

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE
Fakulta Ekológie a Environmentalistiky v Banskej Štiavnici

DIZERTAČNÁ PRÁCA
(TEORETICKÁ ČASŤ)

31.5.2003

Daniel Lešínský

**KATEDRA ENVIRONMENTÁLNEHO INŽINIERSTVA
FAKULTA EKOLÓGIE A ENVIRONMENTALISTIKY
TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE**

**ENVIRONMENTÁLNE DEGRADOVATEĽNÉ PLASTY
V ODPADOVOM HOSPODÁRSTVE**
(Environmentaly Degradable Plastics in Waste Management)

Študijný odbor: 39-15-9, Environmentalistika

Autor: Ing. Daniel Lešínský

Školiteľ: prof. Imrich Beseda, DrSc.

Školiteľ špecialista: prof. Ing. Dušan Bakoš, DrSc.

Podakovanie – Acknowledgement

Hned úvodom by som rád poďakoval všetkým, ktorí akýmkoľvek spôsobom či formou napomohli k vzniku, k tvorbe a dokončeniu tejto práce. V prvom rade patrí vďaka Dr. J. Fritzovi z rakúskeho výskumného inštitútu IFA v Tullne, kde som pod jeho vedením mohol realizovať všetky potrebné výskumy. Rovnako som zaviazaný prof. Bakošovi, dekanovi FCHPT STU v Bratislave ako aj prof. Besedovi z FEE TU v Banskej Štiavnici, ktorí si napriek svojej zaneprázdnenosti našli čas a svojimi skúsenosťami viedli prácu k úspešnému ukončeniu.

V neposlednom rade by som rád poďakoval P. Bruntonovi, ktorý mi v čase doktorandského štúdia pomohol svojimi Zápisčkami hlbšie pochopiť a postupne realizovať princípy správneho myslenia v živote.

I would like to openly thank to all persons co-operated & hepled on this PhD work. Above all to Dr. Johann Fritz from the Institute for Agrobiotechnology in Tulln - Dep. for Environmental Biotechnology, who enabled and led all experiments done within this project. Than, my thanks belong to scientific group from the Slovak Technical University, Faculty of Chemical and Food Technology - Dep. of Rubber and Plastics namely prof. Bakoš and Dr. Alexy as well as to prof. Beseda from Faculty of Ecology and Environmental Sciences, who ever find time to give me a right advise in many cases. My research stay in Austria – all together 8 months long would be not realised without scholarship given via study programm of the Slovak-Austrian academic agency (SAIA-ÖAD). Last but not least, I would like to thank a lot to Mr. Paul Brunton from Switzerland, who gave me in time of my dissertation - by his “Memories” a knowledge and understanding of human mind’s behaviour and lectors of its accurate use in day to day life. To all helping in this time of my scientific maturing once more cordial thanks.

Zoznam použitých skratiek

ASTM – American Standards™, americké normy
BDP – biodegradovateľné polyméry
CH – hydrolyzát kolagénu (collagen hydrolysate)
CEN – The European comitee for Standardisation, Centrum európskej normalizácie
DIN – Deutsches Institut für Normung e.V., nemecké normy
DIR – DIRECTIVE , direktíva - právny predpis EU
DOC – deluted organic carbon, rozpustený organický uhlík
EC – European Commision, európska komisia
EN – norma platná pre EU
EVV – environmentálne vhodný výrobok
EU – Európska únia
FEE – Fakulta ekológie a environmentalistiky v B.Štiavnici, TU vo Zvolene
FCHPT - Fakulta chemickej a potravinárskej technológie STU v Bratislave
IBAW - International Biodegradable Polymers Association & Working Groups
IFA – Institute for Agrobiotechnology in Tulln, Rakúsko
ISO – International Organisation for Standardisation
KPK – Katedra plastov a kaučuku na FCHPT
LCA – Life cycle assessment, Hodnotenie životného cyklu
MH SR – Ministerstvo hospodárstva Slovenskej republiky
MŽP – Ministerstvo životného prostredia SR
OECD – Organisation for Economic Cooperation and Development
OH – odpadové hospodárstvo
PE – polyetylén, PET – polyetyléntereftalát, PP – polypropylén, PVC - polyvinylchlorid
PHB - polyhydroxybutyrát
PLA – polylactic acid, kyselina polymliečna
PVA – polyvinylalkohol
PVA/CH – zmes polyvinylalkoholu a hydrolyzátu kolagénu, plastová fólia
SPZ – Spoločnosť priateľov Zeme
STN – Slovenská technická norma
TOC – total organic carbon, celkový organický uhlík
STU – Slovenská technická univerzita v Bratislave
TU – Technická univerzita vo Zvolene
VÚSAPL – Výskumný ústav aplikácie plastových látok
ŽP – životné prostredie

OBSAH

	STR.
PodĎakovanie - Acknowledgement	3
Zoznam skratiek	4
1. Úvod a ciele dizertaĎnej práce	6
2. Rozbor problematiky	8
2.1 Súčasná situácia	8
2.2 Plasty a odpadové hospodárstvo na Slovensku	8
2.3 Spracovanie plastového odpadu	10
3. Prehľad v súčasnosti vyrábaných BDP, situácia v strednej Európe a na SR	13
3.1 Hlavné trendy výskumu, vývoja a produkcie BDP vo svete	13
3.2 BDP na Slovensku a v strednej Európe	17
4. Legislatíva a BDP	20
4.1 Medzinárodné normy	20
4.2 BDP a slovenská legislatíva	23
5. Inventarizácia vplyvov BDP na životné prostredie	27
5.1 Životný cyklus BDP	27
5.2 BDP v odpadovom hospodárstve	28
5.2.1 Spracovanie BDP v odpadovom hospodárstve biologickými procesmi	29
5.2.1.1 Kompostovanie	30
5.2.1.2 Anaeróbne splyňovanie	34
5.2.1.3 Kombinované spracovanie	36
5.3 Praktická aplikácia biodegradovateľných plastov – Projekt mesta Kassel 2001/2002	37
5.4 Spracovanie údajov o výrobe, dovoze/vývoze plastov a produkcie plastového odpadu na Slovensku	39
5.5 Spracovanie informácii o legislatíve, testovaní a posudzovaní vplyvov BDP	40
6. Záver	42
7. Prínos práce pre ďalší rozvoj vedy a spoločenskú prax	43
8. Literatúra	44
9. Zoznam tabuliek a obrázkov	47
10. Summary	48

1. Úvod a ciele dizertačnej práce

V súčasnom svete je pri vývoji nových materiálov a technológií potrebné zohľadňovať ich vplyvy na prostredie počas celého životného cyklu. Jedným z aktuálnych problémov je aj zavádzanie efektívneho odpadového hospodárstva, kedy pred pasívnym ukladaním odpadu na skládku sú uprednostňované systematické opatrenia predchádzania jeho vzniku, zavádzanie technológií minimalizácie, recyklácie či iného zhodnotenia odpadov. Tieto trendy sa rozvíjajú na základe poznania, že odpad je často hodnotnou surovinou resp. polotovarom pre výrobu, zdrojom energie, prípadne využiteľnej biomasy. Navyše jeho priame ukladanie na skládku, či spaľovanie je spojené s množstvom rizík voči prírodným ekosystémom, životnému prostrediu a tým i voči zdraviu ľudí.

Syntetické plasty sú dnes široko využívané materiály a život bez nich si v mnohých oblastiach vieme len ťažko predstaviť. Popri výhodách, ktoré sú dané ich vlastnosťami, spôsobujú aj nemálo problémov. Ako odpad sú veľmi odolné poveternostným vplyvom a biologickým procesom a preto plastové odpady často trvalo "skrášľujú" okraje ciest, železníc, brehy riek, parky, lesy, morské pobrežia a pod. Ak by sa teoreticky podarilo všetok takýto odpad zozbierať, jeho materiálové či energetické zhodnotenie je komplikované nielen jeho triedením, ale i znečistením a tak neostáva nič iné, ako ho uložiť na skládku resp. spáliť. Množstvo vyrábaných plastov ako aj odpadov z nich stále narastá, voľná kapacita skládok klesá, náklady na ukladanie úmerne rastú - preto treba dlhodobo i z ekonomických dôvodov hľadať nové lepšie riešenia. Dnes už spoločnosť vyspelej Európy definitívne prekonala "dobu skládkovú".

Veda by mala byť práve tým subjektom, ktorý popri vývoji nových materiálov a technológií rieši problémy súčasnosti a dokáže i predvídať a hľadať riešenie problémov, ktoré nás očakávajú. Príkladom môžu byť odpady z plastov a hľadanie riešenia aj v perspektívnych environmentálne resp. biodegradovateľných plastoch (BDP). Vývoj produktov z biodegradovateľných plastov, ktoré spĺňajú požadované vlastnosti pre danú aplikáciu a po využití sú biologicky rozložiteľné, je významný aj z hľadiska hodnotenia ich životného cyklu (LCA). Rieši sa nielen otázka surovín ale odpadá aj problém s ich následnou likvidáciou. Tak sa predíde problémom pri eventuálnom skládkovaní či spaľovaní, netvorí sa priamo skleníkové plyny, ale naopak pre výrobu sa využívajú zdroje vyprodukovanej biomasy resp. organického odpadu - trvaloudržateľné suroviny.

Dizertačná práca sa zameriava práve na oblasť biodegradovateľných plastov ich aplikáciu v spoločenskej spotrebe a analýzu možných dopadov v odpadovom hospodárstve či na životné prostredie ako také.

Ciele dizertačnej práce

1. Zmapovanie súčasného stavu plastov v odpadovom hospodárstve SR – v súčasnosti nie je dostatočný prehľad o stave s nakladaním s odpadmi z plastov, separácii, či recyklácii rôznych komerčne vyrábaných, ale i dovážaných plastov, či materiálov z plastov.

2. Spracovanie prehľadu o vyrábaných EDP/BDP v regióne strednej Európy a u nás, ako aj stavu výskumu v tejto oblasti.

3. Analýza legislatívy v EU a SR v oblasti EDP/BDP a stavu jej zavádzania do praxe.

4. Inventarizácia možných vplyvov BDP v životnom prostredí.

5. V súvislosti so štúdiom a vývojom biodegradovateľných plastu na báze polyvinylalkoholu a hydrolyzátu kolagénu v spolupráci s Katedrou plastov a kaučuku na FCHPT STU v Bratislave a IFA v Tullne (Rakúsko) prispieť ku štúdiu hodnotením biodegradability a aplikáciou metód testovania ekotoxicity vyvíjaných materiálov.

2. ROZBOR PROBLEMATIKY

2.1 Súčasná situácia

Vývoj materiálov v súčasnej dobe napreduje veľmi rýchlo. Od nových materiálov sa všeobecne očakávajú lepšie vlastnosti a prijateľné ceny. V súčasnosti sa stále viac prihliada na ekologickú, či environmentálnu nezávadnosť resp. kvalitu materiálu, minimalizáciu jeho negatívneho vplyvu na životné prostredie v celom jeho životnom cykle, tzn. od výroby cez použitie až po fázu, kedy sa výrobok stane odpadom („from cradle to grave“).

Ak v súčasnosti končí odpad v spaľovniach, prispieva k tvorbe skleníkových plynov a iných toxických látok. Podobne je to aj pri skládke kde dochádza rovnako k tvorbe skleníkových plynov, nebezpečných priesakových vôd a nutne sa do budúcnosti vytvára ekologická záťaž, ktorú skôr či neskôr bude treba riešiť.

Aj kvôli týmto dôvodom by mohli a mali BDP v rôznych aplikáciách nahradiť komerčné plasty (použitie v poľnohospodárstve a obalovej technike...). BDP možno rovnako, ako komerčné syntetické polyméry funkčne použiť na výrobu obalov, kelímkov, nádob, tašiek, vriec atd. Po splnení ich funkcie ich možno relatívne bezproblémovo likvidovať cestou biologického rozkladu na kompostoviskách, anaeróbnym rozkladom na bioplyn, príp. rozkladom v prírodnom prostredí.

Pri vývoji BDP a ich následnej aplikácii v bežnom živote, zohráva dôležitú úlohu aj toxická nezávadnosť. Tá môže byť daná zložením samotného výrobku ako aj procesom rozkladu a kvalitou vzniknutého kompostu, ktorým sa látky z BDP môžu dostať do potravinového reťazca. Pre aplikácie BDP je významná ich biodegradabilita, ktorá určuje ich schopnosť rozložiť sa do požadovaného času.

2.2 Plasty a odpadové hospodárstvo na Slovensku

Podľa údajov získaných vo VÚSAPL v Nitre (MÁTEL, 2001) sa na Slovensku v súčasnosti ročne vyrábajú tieto termoplastické materiály (**Tab 1**).

Tabuľka č. 1. Prehľad výroby plastických látok na Slovensku

Plastická látka	Vyrábané množstvo (kt)	Export (kt)
LDPE	160	100 - 120
PP	60	20 - 30
PVC	45	15 - 20
Plastikársky typ PET	10	
Plastikársky typ PA-6	3,3	

LDPE – nízko hustotný polyetylén, PP – polypropylén, PVC – polyvinylchlorid, PMMA – polymetylmetakrylát, PET – polyetyléntereftalát, PA-6 – polyamid 6

Na druhej strane sa na Slovensko ročne dováža cca 15-25 kt HDPE, PS a niektorých typov PP a PVC. Trvalo sú dovážané v nižších množstvách i tzv. inžinierske alebo konštrukčné plasty ako PC, POM, PPO, SAN ABS, vyššie typy PA atď. Z toho sa dá predpokladať, že na SR sa ročne spotrebuje cca 220-250 kt plastických látok, z toho asi 150 kt v primárnej forme a 70 - 100 kt vo forme výrobkov (obaly, obalové materiály atď.).

Výrobná kapacita sa využíva približne na 75-80%, najmä vzhľadom na celkový útlm strojárstva či elektrotechniky, ale aj poľnohospodárstva a stavebníctva na Slovensku. Štruktúrou výroby sú zastúpené všetky spôsoby spracovania plastov okrem valcovania. Orientačne možno uviesť, že podiel jednotlivých technológií je v hmotnostnom vyjadrení nasledovný:

- rúry - 25%,

- fólie - 20%,
- vstrekané výrobky - 40%,
- profily - 10%,
- ostatné - 5%.

Podľa colnej správy sa v roku 2000 (RYBÁROVÁ, 2001) po odpočítaní dovozu vyviezlo približne 140 tis. t (v r. 1999 -106 300 t) primárneho PE, 44 322 t PP (r.1999 - 42 246), 49 766 t PVC (r. 1999 - 40 466), 546 t Odpadov/odrezkov z plastov (r. 1999 – 546 t) celkovo sa doviezlo 17 230 t primárneho PS (r. 1999 - 17 529). (**Tab 2**)

Tabuľka č. 2 Dovozy a vývozy plastov v rámci SR

	1999				2000			
	Dovoz		Vývoz		Dovoz		Vývoz	
	t	tis. Sk	t	tis. Sk	t	tis. Sk	t	tis. Sk
3901 Polyméry etylénu v primárnych formách:	26	821	132	3559	27	1012	146	5185
	429	637	730	110	168	881	400	164
3902 Polyméry propylénu alebo ostatných olefínov, v primárnych formách:	11	440	53	1078	18	784 619	63	1781
	044	522	290	626	698		020	430
3903 Polyméry styrénu v primárnych formách:	17	667	259	11 014	17	877 667	290	15 794
	788	015			520			
3904 Polyméry vinylchloridu alebo iných halogén-olefínov, v primárnych formách:	11	337	51	1234	12	447 798	61	1916
	361	525	827	302	088		854	538
3915 Odpady, úlomky a odrezky z plastov:	1 495	5 309	949	101 735	1 445	4 800	1 019	77 228
391510 - Z polymérov etylénu	1 413	3 834	519	4 682	1 402	3 300	407	2 762
391520 - Z polymérov styrénu	000	3	0,129	11	8	141	24	199
391530 - Z polymérov vinylchloridu	0	0	45	723	2	7	200	1 536
391590 - Z ostatných plastov:	82	1 473	386	96 320	32	1 351	388	72 731

Z ohľadom na fakt, že na Slovensku je viac veľkoobchodníkov s primárnymi plastmi, ktorý určité množstvo skladujú vo veľkoskladoch nemožno na základe predložených údajov presne kalkulovať jednoduchým rozdielom: vývoz - dovoz = domáca spotreba. Údaje slúžia na približnú orientáciu pre toky plastov v SR.

2.3 Spracovanie odpadu

Z pohľadu technológie ďalšieho spracovania možno plastový odpad rozdeliť na:

1. Priemyselný / technologický, ktorý vzniká priamo pri výrobe
2. Postkonzumentský / komunálny, ktorý vzniká v spotrebiteľskom reťazci.

V prvom prípade je následné spracovanie relatívne jednoduché a bezproblémové vzhľadom na homogenitu vzniknutého odpadu z hľadiska druhu plastu. Takýto odpad sa na Slovensku recykluje/regranuluje v 4 organizáciách s kapacitou celkove nad 12 kt ročne. Spracovanie postkonzumentského nehomogénneho, často znečisteného a rôznorodého odpadu je technologicky podstatne komplikovanejšie a v r. 2001 ho s istými obmedzeniami zabezpečovali materiálovou recykláciou (roztavenie a opätovné vylisovanie) 2 firmy s celkovou kapacitou 0,8 kt/r .

Celkové množstvo plastového postkonzumentského odpadu je podľa MÁTELA(2001) približne 100 kt ročne. Z toho približne 60-70% tvoria polyolefíny, 15% PET, 3% PS, 2% PVC a 10% ostatné. Spracovanie takejto druhotnej suroviny naráža najmä na ekonomické problémy, kedy súčet nákladov na vytriedenie, transport a spracovanie vytvorí vyššiu cenu ako je cena primárneho polyméru, samozrejme naviac pri nižšej kvalite. Tieto problémy sú umocnené často nepredajnosťou konečných výrobkov vzhľadom na obmedzené možnosti aplikácií a pomer kvalita/cena. Tu by bola vhodná istá subvencia štátu príp. Rec. fondu , ktorá by pomohla aplikovať vhodné produkty z recyklovaných plastov ako napr. protihlukové bariéry na diaľnicach úspešne vybudované na úseku Hornej Stredy (z lepšími vlastnosťami ako drevená alternatíva a cenovo na rovnakej úrovni).

Výkup použitých PET fliaš sa stáva atraktívny vzhľadom na zabezpečený koncový odber suroviny. Tu treba upozorniť na skutočnosť, že takto vytriedený, zozbieraný a zlisovaný polymér sa k r.2003 na Slovensku nespracováva, ale vyváža sa do Číny, do Českej republiky a pod.! Tento dlhodobý negarantovaný odber (príde napr. lacnejšia ponuka z východu) má veľmi slabý základ pre celonárodný triedený zber PET a v žiadnom prípade ho nemožno považovať za trvaloudržateľný a konečný. Kapacity na príp. spracovanie postkonzumerského PET na Slovensku dosiaľ neexistujú. Perspektívu a novú dimenziu v spracovaní tohto materiálu dokumentuje i novovybudovaná linka na 100% recykláciu postkonzumerského PET vo Švajčiarsku. Zo získaného regranulátu kvalitou pôvodného je možné opäť vyrábať nápojové fľaše (INFORMÁCIA PAK, 2001).

Kvalitatívne odlišná situácia nastane na území SR po schválení povinného zálohovania jednorázových PET nápojových fliaš obalovým zákonom Zák.č. 529/2002 o obaloch a o zmene a doplnení niektorých zákonov z r. 2002. Hoci možno očakávať ťažkosti pri zavádzaní zálohovej legislatívy do praxe (pravdepodobne od 1.Januára 2004) a určite bude nevyhnutné takýto nový

systém zberu „doladiť na naše podmienky“, toto povinné zálohovanie zabezpečí 100% čistý polotovár - zlisované PET nápojové fľaše. Skúsenosti zo zahraničia (Švédsko, Nórsko, niektoré štáty USA, posledne aj Nemecko) dokazujú, že systém záloh je nevyhnutný pre materiálovo i ekonomicky efektívnu recykláciu s mierou nad 80% a rovnako výrazne zminimalizuje výskyt odpadkov z nápojových fliaš vo voľnom prostredí.

Otvorenou pre budúcnosť zostáva možnosť chemickej recyklácie (rozklad na monoméry a opätovná možnosť polymerizácie), ktorá je v západnej Európe známou technológiou no pri súčasných podmienkach bez dotácii je ekonomicky stratová. (LEŠINSKÝ, 1997)

Budúcnosť sa v našich podmienkach ukazuje i pre energetické využitie najmä zmiešaných postkonzumerických plastov, ktorých dotriedovanie je technologicky veľmi náročné a pri zohľadnení ekonomických aspektov v praxi nerealizovateľné. Po zosúladení legislatívy a istých technologických úpravách môže byť výhodným doplnkovým palivom do cementární, vysokých pecí a pod., s pozitívnym efektom šetrenia neobnoviteľných zdrojov surovín ako aj kapacity skládok. V krajinách EU (Nemecko, Rakúsko...) je takýto spôsob energetického zhodnotenia bežnou praxou už niekoľko rokov. (LEŠINSKÝ, 1997)

Perspektívna a v Európe už využívaná je pre vybrané aplikácie náhrada komerčných syntetických materiálov biodegradovateľnými plastmi, najmä na báze obnoviteľných zdrojov.

Ekonomika doteraz neumožňovala rozbehnúť celoplošný zber postkonzumerických plastov a taktiež ich opätovné využitie a spracovanie neboli systematicky doriešené. Nová situácia nastala po prijatí Odpadového zákona 223/2001, ktorým bol vytvorený tzv. Recyklačný fond pre vybrané komodity (ODPADOVÝ ZÁK. – návrh, 2001). V ňom sa budú kumulovať prostriedky práve na opätovné spracovanie/využitie napr. PET fliaš alebo "sendvičových" - viacvrstvových obalov (TetraPack, EloPack a pod.)

V každom prípade prevláda a pokračuje trend prechádzania na jednorázové obaly väčšinou plastové na úkor vratných obalov. Na Slovensku sa ročne spotrebuje podľa slov ing. MÁTELA (VUSAPL, 2000) asi 60tis t plastov v obalovom priemysle, takéto výrobky majú zväčša krátku životnosť čo sa následne odzrkadľuje na množstve komunálnych odpadov.

Prieskum zloženia komunálneho odpadu KO vrátane kvantifikácie plastov robila napr. mimovládna SPZ (Spoločnosť priateľov zeme), podľa ktorej sú plasty zastúpené 7-9% z celkového množstva KO a každoročne ich podiel narastá. Pri celkovom množstve cca 1,7 mil t KO je to asi 160 tis t plastového odpadu ročne (SPZ, 1995).

3. PREHLAD V SÚČASNOSTI VYRÁBANÝCH BIODEGRADOVATEĽNÝCH PLASTOV - BDP, SITUÁCIA V STREDNEJ EURÓPE A NA SLOVENSKU

V súčasnosti je dostupné už značné množstvo i komerčne vyrábaných BDP, no prekážkou pre ich široké uplatnenie zostáva ich cena a tým znížená konkurenčnosť voči bežným plastom ako PE, PP a PVC. BDP zatiaľ nachádzajú uplatnenie najmä v špeciálnych aplikáciách ako sú kompostovateľné vrecká na bioodpad, vodorozpustné fólie, ale napríklad aj jednorázový riad v prevádzkach McDonald v niektorých krajinách (Rakúsko).

BDP možno podľa pôvodu rozdeliť na tri základné skupiny:

- BDP na syntetickej báze (ropa, zemný plyn ...)
- BDP na báze obnoviteľných zdrojov (škrob, celulóza, proteíny, sacharidické látky, polyhydroxyalkanoáty ...)
- BDP kombinované

Druhá a čiastočne i tretia skupina materiálov rieši okrem problému odpadu aj ďalšie ekologické problémy, keďže aspoň časť suroviny pri ich výrobe je vždy biogénneho - obnoviteľného pôvodu. Navyše pri mnohých je primárna surovina lacným zdrojom získavaným z poľnohospodárskych prebytkov (škrob...) alebo vzniká ako vedľajší produkt z potravinárskych výrob, ktoré sa takto zhodnocujú. V inom prípade sa môže jednáť o efektívne využitie odpadov z kožiarskej výroby i iných organických technológií.

3.1 Hlavné trendy výskumu, vývoja a produkcie BDP vo svete

Ako už bolo spomenuté BDP podľa pôvodu možno rozdeliť na tri základné skupiny. Pri syntetickej báze je zdroj na výrobu viac menej jednotný - ropa, príp. iné fosílné médiá. Druhá skupina, z environmentálneho hľadiska podstatne zaujímavejšia, sú polyméry biogénneho

pôvodu. Táto skupina má podstatne širšie primárne zdroje materiálu podľa čoho možno rozdeliť i trendy výskumu a vývoja tejto oblasti vo svete.

Vychádzajúc z vedeckých prác (BASTIOLI, 2000; GUILBERT, 2000, WEUSTHUIS AT AL. 2000) možno biogénne polyméry (BP) vhodné na výrobu plastov rozdeliť do nasledovných skupín:

1. **BP priamo extrahované z biomasy**

- polysacharidy (škrob a deriváty z celulózy, bavlna, drevo, kaučuk)
- chitozan/chitín...)
- proteíny (živočíšne ako kazeín, srvátka, kolagén a rastlinné napr. kazeín, sója, glutén)
- tuky (sieťované triglyceridy)

2. **BP získavané klasickými chemickými syntézami** - kyselina polymliečna (PLA)...

3. **BP produkované mikroorganizmami** - polyhydroxyalkanoáty (PHAs), bakteriálna celulóza, xantán, pullulan

V súčasnosti medzi najpreskúmanejšie materiály a zároveň najpoužívanejšie materiály v praxi možno podľa (ROBERT VAN TULLA, 2000) zaradiť:

Škrob a jeho deriváty

Škrob je široko dostupný a obnoviteľný polymér, využitelný v mnohých priemyselných odvetviach. Základnými obnoviteľnými zdrojmi škrobu sú kukurica, obilie ryža a zemiaky. Ako napr. obalový materiál samotný škrob neposkytuje dostatočné vlastnosti najmä kvôli hydrofilnému charakteru a malej ohybovej pevnosti. Preto je pri jeho spracovaní potrebné použiť termoplastifikáciu a plastifikátory (ako glycerol, polyétery, močovina...) príp. iné aditíva. Cenovo môže škrob konkurovať ropným produktom, čo sa odzrkadľuje i na nižšej cene BDP a produktov z neho vyrábaných. Výzvou pre vývoj škrobových polymérov je najmä zlepšovanie mechanických vlastností výrobkov pre už spomínanú ich krehkosť a hydrofilnosť. {FOTO 1}

V súčasnosti možno spomenúť materiály ako: Eco-FOAM (fy National Starch), Paragon (fy Avebe), škrob kombinovaný so syntetickými BDP - Mater Bi (Novamont), Biotec (Bioplast), Earth Shell (Earth Shell), Biop (Biopar) a podobne.

Celulóza a jej deriváty

Celulóza je najrozšírenejší prírodný polymér na Zemi. Je lacná, no kvôli svojej hydrofilnosti, nerozpustnosti a kryštalickej štruktúre je ako taká nepoužiteľná pre termoplastické spracovanie. Na výrobu fólie z celulózy napr. celofánu je potrebné použiť veľmi agresívne a toxické chemikálie (proces xantanácie celulózy). Napriek dobrým mechanickým vlastnostiam je celofán vysoko senzitívny voči vlhkosti. Z množstva derivátov vyrábaných na báze celulózy

možno spomenúť acetát celulózy (CA), ktorý sa vo veľkej miere využíva v obalovom priemysle (potravinový...). Veľa derivátov celulózy vykazuje výborné materiálové vlastnosti no ich výroba je ešte veľmi drahá na masové využívanie. Materiál komerčne vyrábaný z celulózy je napr. CA - Bioceta (fy Mazzucchelli)

Kazeín

Kazeín je bielkovina získavaná z mlieka. S vhodnými plastifikátormi je možné dosiahnuť veľmi širokú paletu vlastností získaného plastu, od pevného a krehkého, po ohybný a mäkký produkt. Nie je priamo vo vode rozpustný, no zhruba 50% nárast hmotnosti vykazuje po 24 hodinovom namáčaní. V súčasnosti sa okrem iného používa ako adhezívum na etiketovanie fliaš kvôli výborným adhéznym vlastnostiam. Prekážkou jeho širokého rozšírenia je relatívne vysoká cena na trhu. Bielkoviny zo srvátky (odpad pri výrobe syrov) majú vysokú nutričnú hodnotu. Hlavným potenciálom do budúcnosti sú najmä jedlé fólie na báze týchto bielkovín. Problémom pre ich široké využitie je najmä už spomínaná senzitivnosť voči vlhkosti.

Glutén a sójový proteín

Hlavnou zásobárňou gluténu ako rastlinnej bielkoviny je pšenica a kukurica u sójového proteínu sója. Výhodou týchto materiálov je ich relatívne nízka cena, nevýhodou spracovateľnosť, ktorú vďaka disulfidickému premosteniu sťažuje silne viskózne-elastický charakter základnej masy. Najúspešnejšie využitie sójových bielkovín bolo najmä v Číne, kde sa využívali na výrobu adhezív, farbív a glejenia papiera.

Keratín

Keratín je zďaleka najlacnejšou bielkovinou. Nachádza sa v odpadových materiáloch ako vlasy, nechty, perie... Kvôli štruktúre a vysokému obsahu skupiny cystínu (cysteínu), je keratín taktiež najproblémovjším proteínom na spracovanie. Po spracovaní je výsledný produkt plne biodegradovateľný, nepriepustný pre vodu, ale s nedostatočnými mechanickými vlastnosťami pre možné aplikácie.

Kolagén

Kolagén je vláknitá bielkovina živočíšnych tkanív najmä kože, kostí a šliach so stále sa opakujúcimi jednotkami: glycín, prolín a hydroxyprolín. Je flexibilným polymérom no kvôli jeho chemickej štruktúre a vláknitej makroštruktúre je relatívne ťažko spracovateľný. V súčasnosti je základným materiálom na výrobu želatíny s potenciálom na fólie a peny. Kyslou, prípadne bázičnou hydrolýzou sa získa dobre spracovateľný, no extrémne hydrofilný materiál. Preto pre

využitie napr. v obalovom priemysle sú potrebné ďalšie chemické modifikácie, ktoré by optimalizovali vysokú senzitivnosť voči vlhkosti.

Kyselina polymliečna (PLA - Polylacticacid)

Kyselina mliečna (monomér PLA) sa ľahko získava prostredníctvom fermentácie principiálne akejkoľvek vodíkovo-uhlíkovej biomasy. Takáto biomasa je produkovaná najmä v poľnohospodárskom sektore: kukurica, obilie, odpadové produkty ako siláž, melasa, srvátka, "zelená šľava"... PLA je polyester s vysokým produkčným potenciálom do budúcnosti. Vlastnosti tohto materiálu sú závislé najmä od pomeru dvoch mezoforiem L a P monoméru kyseliny mliečnej. Optimálny pomer pre obalový priemysel je kopolymér D/L 90/10. Konečný materiál PLA je použiteľný v mnohých aplikáciách od vyfukovaných fólií až po nánosy na papier. Navyše cena výrobkov z PLA je pre trh akceptovateľná. Preto sa očakáva vysoký nárast v produkcii takýchto produktov.

Z materiálov vyrábaných v súčasnosti možno spomenúť: NatureWorks PLA (fy Cargill Dow), LACEA (Mitsui), Galactic (Galactic)

Polyhydroxyalkanoáty (PHA)

Najviac využívaným polyhydroxyalkanoátom je polyhydroxybutyrát (PHB). Ten je za špecifických podmienok akumulovaný baktériami ako zdroj energie a uhlíka. Vďaka jeho ľahkej biodegradovateľosti, ako aj biokompatibiliti, možno očakávať nárast produkcie tohto prírodného polyesteru. Vlastnosti PHB sú veľmi závislé od vlastností monoméru a tie sú závislé od procesu mikrobiálnej fermentácie (zdroj uhlíka a kultúra mikroorganizmov). Veľmi zaujímavými vlastnosťami PHB sú jeho bariérové vlastnosti, najmä odolnosť v priepustnosti vlhkosti, ktorá je blízka LDPE a mechanické vlastnosti blízke izotaktickému polypropylénu. Jeho uplatnenie nájde miesto v obalovom priemysle, poľnohospodárstve, pri výrobe biomedicínskych výrobkov. Ak cena tohoto prírodného polyméru v budúcnosti poklesne, jeho aplikácie sa rozšíria do mnohých oblastí.

Dnes sa na báze PHB/PHV vyrába napr.: Biopol (Was Monsanto), Biomer (Biomer)

Bakteriálna celulóza

V súčasnosti je oblasť výroby celulózy prostredníctvom mikroorganizmov relatívne málo preskúmaná, takto získaná celulóza je jedným z materiálov budúcnosti. Bakteriálne kmene *Acetobacter xylinum* a *Acetobacter pasteurianus* sú schopné produkovať takmer čistú formu celulózy s chemickou a fyzikálnou štruktúrou identickú s celulózou tvorenou v rastlinách. Oproti rastlinnej celulóze má prednosť najmä v tom, že nemusí byť spracovávaná tvrdými spôsobmi na

odstraňovanie lignínu, hemicelulózy a pektínu čím sa znehodnocuje kvalita rastlinnej celulózy. U bakteriálnej celulózy je tak stupeň polymerizácie 15 krát vyšší ako u formy zo spracovania dreva a je vysoko kryštalická. Náklady spojené s výrobou sú vysoké a to najmä kvôli málo efektívnemu bakteriálnemu procesu – iba okolo 10% použitej glukózy je transformované na celulózu. Preto cena okolo 20 EURO/kg je hlavným dôvodom prečo s ňou nemožno zatiaľ počítať pre široké využitie. Napriek tomu si mikrobiálna celulóza našla uplatnenie v oblasti bioinžinierstva, či už ako materiál pre prípravu kožných náhrad, alebo ako akustická, separačná membrána a pod. (ROBERT VAN TUIL, 2000).

Syntetické biodegradovateľné plasty

Medzi materiály vyrábané z čisto syntetických surovín možno zaradiť podľa VINCE J(2000) najmä estery:

- na báze kopolyesterov: Ecoflex (BAFS), Estar Bio (Chemical)
- na báze polycaprolaktónu: CAPA (Solvay), Tone polymer (Union Carbide)
- na báze polybutylénsukcinátu: Bionole (Showa Highpolymer)
- na báze polyesteramidov: BAK (Bayer)
- na báze polyesteruretánov: MHP 9029 (Bayer)
- na báze polyesterkopolymerov: Degranil (Bayer)
- na báze syntetickej PLA: fy Fortum
- na báze polyesteru: Biomax (Dupoint)

Rozširovanie výroby syntetických, ako aj prírodných BDP úzko súvisí i s vývojom medzinárodnej legislatívy a s cenovými reláciami na trhu v porovnaní s cenami ropy a zemného plynu.

Cena akéhokoľvek polyméru je vysoká v prípade produkcie malých množstiev. Cena týchto materiálov sa pohybuje od 5 do 50 US\$/kg. Pri veľkoobjemovej priemyselnej produkcii cena klesá na cca 1-10 US\$/kg. Cena závisí najmä od ceny primárnej suroviny ako aj od ceny chemikálií a technológií použitých pri výrobe. Pri PLA je to priama závislosť predovšetkým na cenu primárnej suroviny.

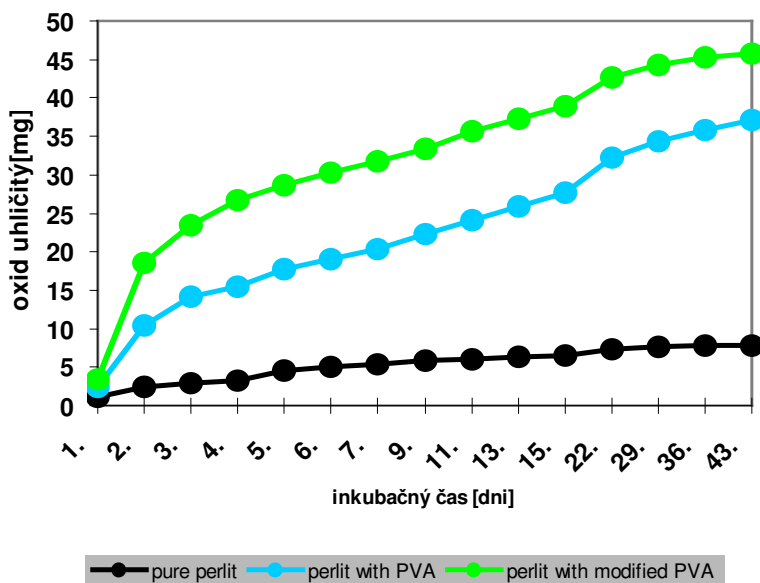
V súčasnosti sa vo veľkom produkujú len BDP na báze škrobu približne 20 tis. ton ročne. V blízkej budúcnosti sa očakáva veľký nárast výroby najmä PLA materiálov - pre rok 2002 - 2003 to je nárast až o 140 tis. ton ročne (Cargill-Dow výrobný proces Nature Works). Tu sa majú vyrábať najmä biodegradovateľné obaly ale aj vytlačované profily, vlákna či vyfukované fľaše s využitím aj na potravinárske účely (INFORMÁCIA PAK, 2000).

3.2 Biodegradovateľné polyméry na Slovensku a v strednej Európe

Napriek tomu, že problematika BDP je relatívne nová aj v celosvetovom merítku, patričná pozornosť sa jej venuje i na Slovensku. Na Katedre plastov a kaučuku na FCHPT, STU Bratislava v spolupráci so zlínskou Technologickou fakultou (ČR) vyvinuli a úspešne aplikovali do praxe degradovateľný, vodorozpustný polymér PVA/CH. Je to zmes na Slovensku vyrábaného polyvinylalkoholu (PVA) s hydrolyzátom kolagénu (CH), ktorý sa špeciálnou technológiou získava z odpadu kožiarskeho priemyslu (ALEXY A KOL., 2000).

Tento materiál možno zaradiť do tretej skupiny kombinovaných BDP, kde podiel CH dosahuje až 30% hmotn. Prítomnosť CH v zmesi s PVA zlepšuje fyzikálne vlastnosti, biodegradovateľnosť (Obr.1) a v neposlednom rade znižuje cenu výsledného produktu. Vlastnosti PVA/CH, najmä jeho vysoká pevnosť za sucha a výborná rozpustnosť vo vode, ho predurčujú pre špeciálne aplikácie, či už v poľnohospodárstve (výsevne pásy), obalovom priemysle (balenie nebezpečných vo vode rozpustných chemikálií napr. dávkovaných pesticídov), ale aj inde (LEŠINSKÝ A KOL., 2000).

Obr.1. Biodegradácia testovaných BD fólií PVA/CH, hodnotená podľa normy ASTM 5209 - meranie predýchaného CO₂ v perlite. Vzorka s čistým PVA, modifikovaná s PVA/CH zmesou v porovnaní so slepým pokusom.



Hydrolyzát kolagénu sa získava z pôvodne kontaminovaného odpadu spracovania chromočinených usní modifikovanou technológiou enzymatickej hydrolýzy vo firme KORTAN, Hrádek nad Nisou (ČR). Táto nová ekologická technológia umožňuje získať podstatne čistejší produkt, spĺňajúci požadované normy, predlžuje životnosť iónových meničov, zvyšuje možnosť regenerácie chrómových solí a zvyšuje celkovú účinnosť procesu (KOLOMAZNÍK A KOL., 2000).

V spolupráci so spomínanými pracoviskami (ČR, Rakúsko) sa v blízkej budúcnosti (2001-2003) plánuje doplniť výsledky biokompatibility testami ekotoxicity, čo je jedným z cieľov práce.

Podľa dostupných údajov z okolitých štátov strednej Európe výskum BDP prebieha najmä v Maďarsku a Poľsku:

Maďarsko

Výskum BDP sa sústreďuje na Výskumnom ústave potravinárskom v Budapešti. Cieľom výskumu je vyvinúť BDP na bázy škrobu s prísadou PVA (polyvinylalkohol) v rôznom obsahovom pomere od 20 do 47%. Zdrojmi škrobu boli poľnohospodárske plodiny ako kukurica, zemiaky a pšenica. Vzorky následne prešli testmi biodegradability. Najlepšie degradovali vzorky vyrobené na báze zemiakového škrobu (BEZNER ET AL., 2000).

Poľsko

Výskum Centra chémie polymérov na Poľskej akadémii vied s ostatnými vedeckými inštitútmi je zameraný na vývoj a testovanie semisyntetických materiálov na báze prírodných a syntetických polyhydroxyalkanoátov (KOWALCZUK, 2000).

Iným zaujímavým smerom sa vedie výskum využitia prírodných polymérov bez chemickej modifikácie v Gzicku. Tu úspešne vyrábajú jednorázový riad z pšeničných otrúb. Taniere, mištičky a rôzne iné nádoby už boli otestované priamo na niekoľkých verejných podujatiach s veľkým úspechom. Podľa výrobcu je takýto riad zn. Bioterm plne biodegradovateľný a environmentálne čistý, keďže sa vyrába iba z otrúb a malého množstva vody úplne vyhovuje hygienickým požiadavkám a je estetickým doplnkom stolovania (BIOTERM, 2001).

4. LEGISLATÍVA BIODEGRADOVATEĽNÝCH POLYMÉROV V EURÓPE A NA SLOVENSKU

Ako nástroj úspešnej, bezpečnej a kontrolovanej implementácie nového materiálu do praxe. Normy a definície kľúčových pojmov.

Pri zavádzaní akýchkoľvek nových produktov, materiálov či technológií je dôležitá kontrola ich požadovanej kvality systémom záväzných noriem, či už na úrovni národnej na ochranu spotrebiteľa, alebo na medzinárodnej, ktorá chráni najmä korektnosť medzinárodného obchodu. Takýto systém noriem má dnes vybudovaný každá vyspelá krajina, pričom na úrovni medzinárodnej poznáme viac druhov noriem a smerníc.

4.1 Medzinárodné normy

Legislatíva v oblasti BDP sa vyvíjala začiatkom 90 rokov postupne na národných úrovniach a to najmä v USA (ASTM) a v Nemecku (DIN). Neskôr v roku 1999 sa prijali medzinárodné normy ISO a v roku 2000 bola Technickou komisiou 261 (CEN TC 261 SC4 WG2) dopracovaná a následne prijatá i základná norma Európskej Únie o kompostovateľných a biodegradovateľných obaloch **EN 13432**.

Základný európsky právny predpis, ktorý vytvára priestor pre aplikáciu BDP v praxi je smernica EU – **DIR 64/62/EC** z 20. Decembra 1994 **O obaloch a odpadoch z obalov** (Packaging and packaging waste Directive). V článku 3, odst. 9 definuje možnosť spracovania BDP ako “organická recyklácia znamená aeróbnu (kompostovanie) alebo anaeróbnu (biometanizácia) úpravu, pri kontrolovaných podmienkach a využitím mikroorganizmov, biodegradovateľných (častí) odpadov z obalov, za vzniku stabilných organických zvyškov alebo metánu. Skládanie sa nepovažuje za metódu organickej recyklácie“ {9. 'organic recycling' shall mean the aerobic (composting) or anaerobic (biomethanization) treatment, under controlled

conditions and using micro-organisms, of the biodegradable parts of packaging waste, which produces stabilized organic residues or methane. Landfill shall not be considered a form of organic recycling}.

V Anexe II tejto smernice (ANNEX II - ESSENTIAL REQUIREMENTS ON THE COMPOSITION AND THE REUSABLE AND RECOVERABLE, INCLUDING RECYCLABLE, NATURE OF PACKAGING) sa v požiadavkách k zloženiu recyklovateľných obalov v bode 3 písmeno (c) uvádza: „Biodegradovateľné obaly nesmú brzdiť/obmedzovať triedený zber ako aj proces kompostovania alebo aktivity s tým súvisiace“. Písmeno (d): BDP musia byť takej povahy, že po chemickom, fyzikálnom, termickom alebo biologickom rozklade sa väčšina vzniknutého kompostu rozloží na CO₂, biomasu a vodu {c} Packaging recoverable in the form of composting Packaging waste processed for the purpose of composting shall be of such a biodegradable nature that it should not hinder the separate collection and the composting process or activity into which it is introduced. d) Biodegradable packaging Biodegradable packaging waste shall be of such a nature that it is capable of undergoing physical, chemical, thermal or biological decomposition such that most of the finished compost ultimately decomposes into carbon dioxide, biomass and water} (DIR EU 94/62/EC)

Normy technického charakteru (ISO, EN, ASTM...) riešia hlavný problém - definíciu vlastností oficiálne deklarovaných pre biodegradovateľné polyméry ako i štandardizáciu ich merania. Ide o **biodegradovateľnosť** v rôznych podmienkach (tuhé/kvapalné prostredie), **rozpadovosť**-dezintegráciu a **kvalitu kompostu** (analýzy konečného produktu – kompostu) ale aj ekotoxicitu a chemické vlastnosti. Je vhodné pripomenúť, že európska norma poskytuje výnimku pre obaly na báze prírodných materiálov s vyšším obsahom lignínu. Ten, totiž napriek svojmu čisto prírodnému pôvodu, svojou degradáciou nespĺňa úplne limity definované v norme, degraduje pomalšie (INNOCENTY A, 2000). Polymérov používaných v obalovom priemysle sa priamo dotýka i smernica EU 94/62/EC o Obaloch a odpadoch z plastov.

Pre názornosť možno uviesť príklady jednotlivých noriem platných v tejto oblasti:

Biodegradovateľnosť je meraná prostredníctvom spotreby O₂ resp. produkcie CO₂ sústavou, v ktorej za definovaných podmienok pri rozklade vzorky pôsobia mikroorganizmy. Pri tvorbe jednotlivých noriem aeróbného rozkladu bolo treba dohodnúť podmienky rozkladu ako aj podiel množstva biodegradovateľného materiálu, ktorý sa rozloží za určitý čas. Norma limituje rovnako aj maximálny obsah ťažkých kovov. Čo sa týka laboratórneho zariadenia, používa sa dynamická normou stanovená sústava tzn., že vzduch je stále dodávaný a priebežne odčerpávaný. Ako referenčná vzorka k získaniu 100% miery degradácie sa používa kryštalická celulóza.

Pre prostredie pevného substrátu, kompostu, boli vypracované tieto normy:

EN 13 432 - pomletá vzorka BDP zmiešaná s kompostom, termofilné inokulum, 58° C, degradácia na 90% (oproti referenčnej vzorke) do 6 mesiacov, CO₂

ISO 14 855. detto

ASTM D 6400 – 99

- pre homopolyméry a štatistické kopolyméry s degradáciou na 60% do 3 mesiacov
- pre ostatné plasty degradácia na 90% do 6 mesiacov alebo 60% pre každú zo zložiek (>1%)

DIN V 54 900

- pre všetky zložky degradácia na 60% do 6 mesiacov pre celý materiál,
- pre homopolyméry a kopolyméry so štatistickou distribúciou monomérených jednotiek je to na 60% do 6 mesiacov
- pre ostatné na 90% do 6 mesiacov
- v kvapalnej fáze pre farby, atramenty, aditíva....

ISO 14 851, 14 852 (EN prevzala ISO metodiku)

ASTM D 5209-92.(v kaloch z ČOVky)

Doteraz nie je na európskej úrovni ujednotená legislatíva pre anaeróbnú biodegradáciu.

Rozpadovosť - Dezintegrácia sa testuje v podmienkach kompostu, kam sa pridáva nepomletý produkt (vo forme akej sa predáva - kúsky fólie sáčkov a pod.)

EN 13 432 - kúsky pôvodného materiálu v 200 litrovom reaktore (kompostore) – Požaduje sa aby 90% materiálu po 3 mesiacoch kompostovania prepadlo cez 2 mm sito

ISO 16 929, DIN 54 900, ASTM D 6400-99. - .detto

- výnimka platí pre ligno-celulóзовé produkty, keďže lignín má pomalší rozpad napriek čisto prírodnému pôvodu (INNOCENTY B, 2000).

Kvalita kompostu (ekotoxická) sa určuje tak, že vzorky kompostu s degradovaným polymérom sú porovnávané k vzorkám bez polyméru.

EN 13 432 porovnáva sa rast vyšších rastlín - nesmú sa vyskytnúť žiadne rozdiely

DIN 54 900 taktiež porovnáva rast min. 2 druhov vyšších rastlín, kedy sa nesmú vyskytnúť

žiadne viditeľné rozdiely oproti referenčným vzorkám.

ASTM D6002-96 - detto + test klíčivosti rastlín (INNOCENTY, 1999)

Popri týchto "bio" testoch sa vyžadujú podrobné chemicko-fyzikálne analýzy na hustotu, obsah sušiny, prchavé látky, obsah solí, pH, obsah celkového dusíka, NH₃ horčičk, draslík (PR EN 13432, 1999).

Vývoj noriem pre BDP sa v rámci EU bude v blízkej budúcnosti vyvíjať smerom definovania a štandardizácie biodegradability aj pre prostredie kvapalné (ČOV) a pôdy (poľnohospodárstvo).

Prijatie takýchto noriem je dôležité pre producentov, verejné inštitúcie, manažérov kompostární, zákazníkov, ale vytvára aj bariéru pre tzv. biodegradovateľné plasty vyrábané súkromnými prevádzkami bez spoločných pravidiel, pre trh a zákazníkov.

Preto ak dnes chce mať niektorý výrobca zabalený výrobok, napr. potraviny, v označenom biodegradovateľnom resp. kompostovateľnom obale, musí požadovať jeho certifikáciu. Výrobca obalov musí rovnako žiadať certifikovaný materiál a producent primárneho materiálu musí mať otestované a certifikované všetky komponenty daného materiálu. Iba takouto reťazou je možné zabezpečiť prehľadnosť a legálnosť na trhu s BDP.

Dôležitým, najmä pre konečných zákazníkov bude spoločné, jednoznačné a jasné značenie takýchto výrobkov predávaných na trhu. Usmerní konzumenta, ktorý ho po použití môže vyhodiť pri triedenom zbere odpadov do nádoby na bioodpad. Oficiálne, spoločné logo pre EU, prípadne celý svet doteraz (rok 2003) neexistuje. Najväčšia registrovaná organizácia zastrešujúca producentov BDP so sídlom v Nemecku (IBAW - the International Biodegradable Polymers Association & Working Groups, <http://www.ibaw.org/>) prezentujúca svoje logo (obr. 2), zaručuje kompletne analýzy kompostovateľnosti a biodegradability, v súlade s požiadavkami jednotlivých krajín využívaním EU noriem.

Takéto výrobky môžu byť následne označené spomínaným logom (RESKE, 1999). V súčasnosti má spomínaná firma dominantné postavenie na nemeckom a dá sa povedať i na európskom trhu.

Obr.2. Logo pre kompostovateľné obaly(hexagón) a výrobky



4.2 BDP a slovenská legislatíva

Na Slovensku doteraz nemáme podobné normy prijaté, jedinou výnimkou je nepovinná smernica environmentálne vhodného výrobku MŽP SR 0013 o biodegradovateľných plastových obalových materiáloch. Popri iných predpisoch zaväzuje menovaná vyhláška, že biodegradovateľné plastové obaly musia byť funkčne spôsobilé pre uspokojenie potrieb spotrebiteľov. Musia spĺňať požiadavky platných technických predpisov, predpisov v oblasti ochrany zdravia ľudí, ochrany spotrebiteľa a predpisy týkajúce sa ochrany a tvorby ŽP, vzťahujúce sa na výrobok a jeho výrobu a to predovšetkým:

- Zákon č. 309/1991 Zb. o ochrane ovzdušia v znení neskorších predpisov,
- Zákon č. 138/1973 Zb. o vodách v zn. zák. č 238/1993 Zúz. a nariadenia vlády č 242/1993 Z.z.
- Zákon č 307/1992 o ochrane poľnohospodárskeho pôdneho fondu
- Zákon č 238/1991 o odpadoch v zn. zákona č 255/1993 Z.z
- Nariadenie vlády č. 606/1992 Zb. o nakladaní s odpadmi v zn. nar. vl. č 190/1996
- Vyhláška MŽP SR č 19/1996 Z.z, ktorou sa ustanovuje kategorizácia odpadov a vydáva Katalóg odpadov
- Zákon č 17/1992 Zb. o životnom prostredí v znení zák. č 127/1994 Z.z. a zákona 287/1994
- zák. č 272/1994 Z.z o ochrane zdravia ľudí v zn. zák. 209/1996 Z.z.
- zák. č 634/1992 Zb. o ochrane spotrebiteľa v znení neskorších predpisov
- zák. č 76/1998 Z.z. o ochrane ozónovej vrstvy Zeme a o doplnení zák. č 455/1991 - Zb. o živnostenskom podnikaní v zn. neskorších predpisov
- Zák. č 264/1999 Z.z. o technických požiadavkách na výrobky a o posudzovaní zhody a o zmene a doplnení niektorých zákonov
- Zák.č. 223/2001 o odpadoch a jeho novelizácie z r. 2003
- Zák.č. 529/2002 o obaloch a o zmene a doplnení niektorých zákonov
- Potravinový kódex SR

Smernica MŽP 0013 sa v súvislosti so špecifickými vlastnosťami biodegradovateľných materiálov odvoláva na ISO resp. ASTM normy a nedefinuje eko(ne)toxickú, ktorá je bezpochyby jednou z kľúčových vlastností takýchto materiálov. Definuje sa až v smernici MŽP č. 0016 pre tekuté čistiace prostriedky, kde je **ekotoxická** definovaná ako „*vlastnosť látky, ktorá predstavuje okamžité alebo neskôršie nebezpečenstvo v dôsledku zaťaženia životného prostredia biologickou akumuláciou alebo toxickými účinkami na biologické systémy*“.

Ekotoxická tejto smernici stanovuje ako:

- akútna toxicita LC₅₀ (letálna koncentrácia – letal concentration), ktorá pri podmienkach pokusu udáva percentuálne uhynutie prítomných organizmov,

- účinná koncentrácia EC₅₀ (effective concentration), pri ktorej dochádza k zmenám v správaní organizmov,

- inhibičná koncentrácia IC₅₀ (inhibition concentration), pri ktorej dochádza k potlačeniu rastu skúšaných organizmov.

Koncentrácia LC sa používa pre ryby a skúšky trvajú minimálne 96 hod. Stanovenie EC, resp. IC sa skúša na perloočkách alebo riasach počas 48, resp. 72 hodín (SMERNICA MŽP, 2000).

Spomínané definície sú súčasťou "dobrovoľných" smerníc MŽP pre „environmentálne vhodný výrobok“ EVV, teda nie súčasťou zo zákona povinných noriem. Tie sa budú musieť v procese integrácie do EU skôr či neskôr implementovať do našej legislatívy a preto by bolo vhodné vypracovať takúto normu pre slovenské podmienky.

Testovaním biodegradovateľných materiálov v súlade s platnými európskymi normami sa zaoberá aj výskumný ústav IFA (Inštitút pre agrobiotechnologický výskum) v Tullne, v Rakúsku. Pred nedávnom sa zavíjal výskum niektorých biodegradovateľných polymérov, kde sa testovali rôzne materiály. Výsledky testov ukazuje tabuľka č. 3.

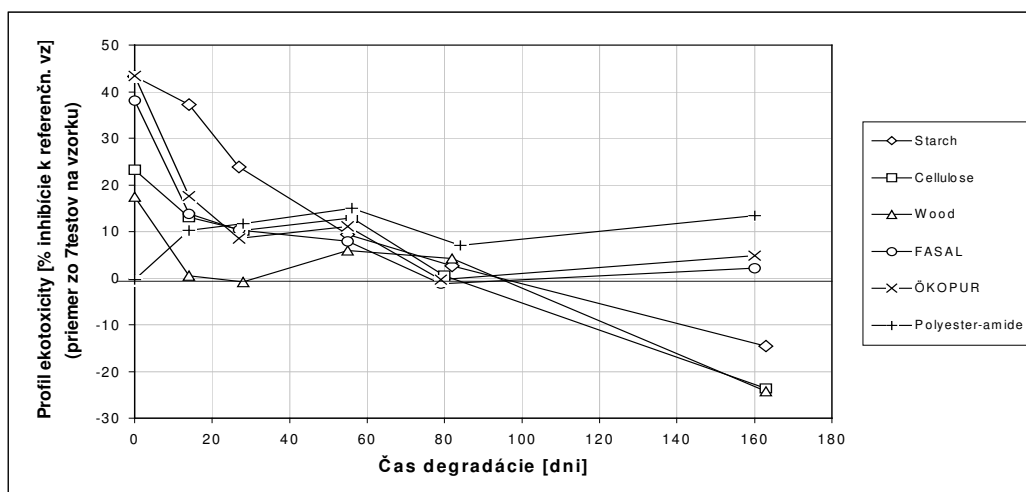
Tabuľka č. 3. Prehľad dôležitých výsledkov analýzy vzoriek kompostu po procese degradácie biodegradovateľných polymérov. Hodnoty - Δ sú porovnávané so slepými pokusmi (kompost bez polyméru). Profily ekotoxicity uvádzané ako priemerné, pozitívne hodnoty definujú inhibičný účinok. Hodnoty sa získali z biotestov na vyšších rastlinách (tri druhy), pôdnych červoch, dafniách, siniciach (dva druhy) a luminiscenčných baktériách. uvádzané sú spolu s počtom testov a ich štandardnou odchýlkou. Farba bola stanovená spektrofotometricky pri λ 485 nm, TKN je stanovenie obsahu celkového dusíka, kedy 100 je koncentrácia N slepého pokusu.

Materiál	Degradácia	Zmeny parametrov v porovnaní k slepému pokusu				Profil ekotoxicity [% inhibition]		
		Teoret.-CO ₂ [%]	ΔpH [units]	Δvodiv. [%]	Δfarba [%]	TKN [%]	Priemer sigma	n
Škrob	85,3	+0,2	-9,2	+135	100	-7	23	6

Celulóza	50,6	-0,2	-14,2	+2	100	-37	47	7
Drevo (rezný prach)	46,1	-0,3	-19,9	+73	102	-3	11	3
Prírodná živica	16,1	-0,8	-27,2	+129	100	14	6	3
Papier	75,8	-	-	-	100	-19	42	8
Zanášaný papier	46,4	-	-	-	100	-47	93	8
FASALbáza dreva	60,1	-0,3	-8,6	+160	102	-16	43	14
ÖKOPUR (b. pektín)	78,9	-0,1	-3,7	+4	110	-9	22	11
PHB, čistý	72,8	-0,1	-16,7	+100	100	-10	25	11
PHB-produkt	60,0	-	-	-	-	-10	27	4
Poly-co-butylénadip.	78,4	-0,1	-15,5	-11	100	-25	37	7
Poly-co-ethylensukc.	61,9	+0,2	-12,2	+8	100	-16	31	4
PLA	68,5	-	-	-	-	0	12	3
PLA-U	71,1	-0,6	-5,0	+138	100	-1	20	6
Polyester-amid1	79,4	+0,5	-5,2	>10000	142	71	23	7
Polyester-amid2	77,1	+0,5	-15,4	>1000	133	29	14	4

Keďže BDP materiály sa po doslúžení potencionálne dostávajú do cyklu prírodného ekosystému a prostredníctvom potravinového reťazca sa môžu dostať až k človeku (kompost ako záhradkárske hnojivo) ich možné vplyvy musia byť testované najmä na živých systémoch - rastlinách a živočíchoch. Nasledujúci obr. 3 vykresľuje účinky vybraných BDP počas procesu degradácie na rast resp. aktivitu mikroorganizmov.

Obr. 3. Profily ekotoxicity počas 160 dní degradácie šiestich degradovateľných materiálov. Jednotlivé profily - krivky sú výslednicou priemerných hodnôt 7 meraní pri každej vzorke. Pozitívne hodnoty znamenajú inhibičný účinok, negatívne hodnoty naopak stimulačný účinok na rast rastlín príp. aktivitu mikroorganizmov. Testované materiály: Starch – škrob; Cellulose – celulóza; Wood – drevo; Fasal, Ökopur (komerčné názvy materiálov vyrábaných na báze odpadov z drevospracujúcej výroby); Polyesteramide – polyestera



5. INVENTARIZÁCIA VPLYVOV BDP NA ŽIVOTNÉ PROSTREDIE

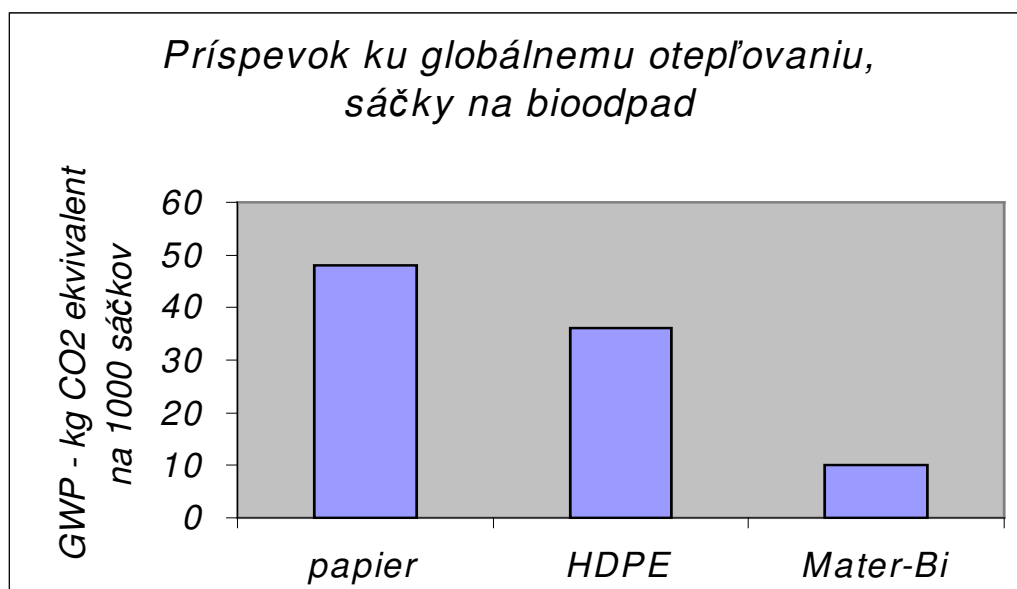
5.1 Životný cyklus BDP

Pri hodnotení životného cyklu (Life Cycle Analysis – LCA) treba posudzovať celý životný cyklus produktu od výroby až po jeho likvidáciu. Na biodegradovateľné obaly v porovnaní s komerčnými, vzhľadom na konkrétne výrobky, bolo urobených niekoľko podrobných analýz LCA (BUWAL STUDY, 1996; COMPOSTO, 1998; IFEU/BIFA, 2000). Štúdie dokazujú, že z pohľadu produkcie skleníkových plynov a úspor energie majú BDP plasty jednoznačne pozitívny vplyv na ŽP v porovnaní so synteticky vyrábanými materiálmi. Navyiac spôsob likvidácie synteticky vyrábaných plastov často vedie k ich spaľovaniu alebo skládkovaniu, kým pri „likvidácii“ BDP je potenciál zisku kompostu či bioplynu. BDP môžu negatívne vplývať na zvýšenú eutrofizáciu vôd, prípadne zníženú biodiverzitu prostredníctvom nesprávneho použitia v komerčnom poľnohospodárstve (získavanie primárnej hmoty na ich výrobu - rastlinná výroba > škrob, kyselina mliečna...) (INNOCENTY B, 2000).

Konkrétnym príkladom by mohlo byť hodnotenie životného cyklu kompostovacích sáčkov na bioodpad v súlade s normou ISO 14 040. Boli porovnávané sáčky, slúžiace k rovnakému účelu z rôznych materiálov: papiera, Mater-Bi - biodegradovateľný polymér na báze škrobu a syntetického polykaprolaktónu (PCL) a vysokohustotného polyetylénu (HDPE).

Zo štúdie možno spomenúť aj spotrebu energie v prepočte na 1000 vyrobených sáčkov: papier - 4800 MJ, HDPE - 1000 MJ a Mater Bi - 900 MJ. Vysoká spotreba energie na papierové sáčky je spôsobená najmä ich vysokou hmotnosťou.

Obr.4. Celkový príspevok k otepľovaniu Zeme, ekvivalent pre 1000 sáčkov: papier 49 kg CO, vysokohustotný polyetylén HDPE - 36 kg , biodegradovateľný plast Mater-Bi -10 kg. GWP – global warming potential.



Skúmané boli i ďalšie potenciálne oblasti dopadu ako acidifikácia, ozónový efekt, znečistenie vzduchu, znečistenie vody. Negatívnejší dopad na ŽP ako papier a HDPE mal Mater-Bi v potenciálnom zasoľovaní prostredia a pri hodnotení vplyvu odpadov vznikajúcich od výroby po likvidáciu. (MATER-BI, 1997).

Z pohľadu ŽP je výrazným prínosom ak sa k výrobe materiálu využíva obnoviteľná surovina. Ďalej sa hodnotí spotrebiteľský cyklus, kde BDP musia spĺňať požadované materiálové a hygienické normy. Tretím štádiom životného cyklu výrobku je spôsob jeho likvidácie, recyklácie a opätovného využitia. Táto posledná etapa je z hľadiska projektu dizertačnej práce najzaujímavejšia a preto je analyzovaná ďalej podrobnejšie.

Vychádzajúc z európskej smernice EU - Dir. 94/62/EEC, čo je základná smernica členských štátov EU pre Obaly a odpad z obalov z r. 1994, boli stanovené nasledovné priority:

1. predchádzať vzniku odpadu (napr. substitúcia materiálov),
2. opätovné použitie (napr. vratné systémy),
3. recyklácia,
4. využitie (materiálové a energetické).

Za najvýhodnejšiu z ciest využitia (4. priorita) sa považuje kompostovanie, pri ktorom spracovaním odpadu vzniká nový hodnotný prírodný produkt. V krajinách s fungujúcim systémom triedeného zberu a značenia obalov zeleným bodom "Der Grüne Punkt"(Nemecko, Rakúsko, Belgicko, atď.) sa zvýhodnenie takýchto obalov odráža aj ekonomicky. Kým za obal vyrobený z klasického plastu zaplatil za jeho uvedenie do predaja výrobca 20 ATS/kg tak za kompostovateľný BDP obal platí výrobca 2 ATS /kg, čo nie je zanedbateľný rozdiel (FRITZ, 1998).

5.2 BDP v odpadovom hospodárstve

BDP v praxi majú za úlohu pri niektorých aplikáciách nahradiť doteraz používané polyméry, pričom zmysel tejto substitúcie je v minimalizácii negatívnych dopadov na životné prostredie. Tie plastové odpady, ktoré často znečistené končili na skládkach alebo v spaľovniach a takto prispievali k zvyšovaniu environmentálnej záťaže, budú v budúcnosti spracovávané na hodnotný kompost prípadne bioplyn.

Aby bolo možné zúžitkovať environmentálne výhody, ktoré poskytujú BDP svojimi špecifickými vlastnosťami oproti tradičným materiálom, **musia byť vytvorené vhodné podmienky najmä na ich optimálnu likvidáciu resp. spracovanie.** V súvislosti s tým je potrebné zabezpečiť:

- dostatočnú propagáciu a osvetu medzi občanmi prostredníctvom médií, reklám
- separovaný zber odpadov s možnosťou triediť bioodpad
- efektívne využitie vytriedeného odpadu, koncoví odberatelia
- vhodné technológie spracovania bioodpadu: kompostovanie, anaeróbne splyňovanie resp. kombinovaný proces
- využitie a garantovanie kvality koncového produktu – kompostu
- ekonomickú efektívnosť celého procesu (legislatíva, skládkové poplatky..)
- zabezpečenie odbytu vzniknutého kompostu

Vybudovanie takejto komplexnej infraštruktúry nie je potrebné výhradne len kvôli BDP, ale je nevyhnutné pre efektívne spracovanie biologického odpadu ako takého.

Na Slovensku sa ročne vyprodukuje 1,7 mil. t komunálneho odpadu z čoho asi 40% (680 tis. t) tvorí bioodpad. K tomu možno prirátat približne 27 tis. t odpadu rastlinného a živočíšneho pôvodu (skup. 11, 12, 15) čo výsledne dáva cca 700 tis. t bioodpadu ročne, ktorý sa až na malé výnimky dnes ukladá na skládky (SPRÁVA MŽP, 1999), kde prispieva k produkcii skleníkových plynov a iných environmentálnych záťaží. Pritom integrácia našej krajiny do EU nás skôr či neskôr prinúti dodržiavať spoločnú európsku legislatívu.

Smernica Rady EU 1999/31/EC o skládkach odpadov ukladá členským štátom vypracovať národné stratégie pre znižovanie množstva biologicky rozložiteľného komunálneho odpadu, ktorý sa ukladá na skládky. Táto stratégia má zaistiť aby v roku 2010 bolo toto množstvo znížené na 25% celkovej hmotnosti z roku 1995 (VÁŇA, 2001). V našich podmienkach to znamená znížiť toto množstvo približne na 175 tis. t ročne v r 2010. Pripravované právne predpisy ukladajú členským štátom povinné vybudovanie kompostární v mestách nad 100 000 obyvateľov do 3 rokov a v mestách nad 2000 obyvateľov do 5 rokov, čo podporí spomínanú smernicu (SLEJŠKA, 2001).

5.2.1 Spracovanie biodegradovateľných plastov v odpadovom hospodárstve biologickými procesmi - kompostovaním resp. anaeróbnym splyňovaním.

Biodegradovateľné plasty ako nový materiál 21 storočia, môžu čiastočne pomôcť riešiť problémy likvidácie odpadov z postkonzumentských plastov - najmä obalov, ktoré majú veľmi krátky životný cyklus a tak dynamika hromadenia obalových odpadov je výrazná. V prípade využitia obnoviteľných zdrojov ako základnej suroviny (napr. škrob, kys. mliečna...) redukovujú BDP skleníkové plyny náhradou ropy - dnes ešte stále dominantnej suroviny pri výrobe plastov. V súčasnosti sa aj v rozvinutých krajinách s vybudovaným triedeným zberom sa takéto odpady,

kvôli ich rôznorodosti a častému znečisteniu, likvidujú spaľovaním resp. skládkovaním. Tým sa znemožňuje ich materiálové zhodnotenie a pri spaľovaní vznikajú škodlivé látky rovnako ako skleníkové plyny.

Za ekologicky, či environmentálne vhodné spracovanie plastov v odpadovom hospodárstve pripadajú do úvahy tri riadené a jeden neriadený proces. Sú to :

- kompostovanie,
- anaeróbna digescia,
- kombinovaný proces a
- neriadený spôsob domáceho kompostovania.

5.2.1.1 Kompostovanie

Kompostovanie je aeróbny proces rozkladu organickej hmoty pôsobením širokej škály organizmov a mikroorganizmov za vzniku CO₂, H₂O a kompostu (pri ideálnych podmienkach). Ten má, pri splnení požadovaných limitov pre ťažké kovy, príp. patogénne organizmy, široké využitie pri zúrodňovaní pôdy. Je treba dodať, že na spracovanie bioodpadu z komunálnych odpadov je potrebné zaviesť efektívny triedený zber podporovaný sústavnou osvetou. Iba tak je možné zabezpečiť relatívne čistý bioodpad potrebnej kvality vhodný na kompostovanie. Pri zavádzaní biodegradovateľných výrobkov (plasty a pod.) do bežnej spotreby je potrebné myslieť na separovaný zber bioodpadov ako aj na jasné označenie produktov z biologicky odbúrateľných materiálov.

Pre dosiahnutie efektívneho rozkladu organickej hmoty je potrebné proces kompostovania riadiť a regulovať. Dôležité činitele (LEŠINSKÝ, 2001) sú:

- pomer C/N vstupného materiálu
- vlhkosť substrátu
- prísun dostatočného množstva O₂ resp. vzduchu
- zachovanie jednotlivých fáz procesu
- zabezpečenie dostatočného množstva živín
- zabezpečenie požadovaného pH
- optimalizácia teplotného režimu

Materiál vhodný na kompostovanie

Pri navrhovaní a kalkulovaní procesu kompostovania je potrebné počítať s lokálnymi resp. regionálnymi zdrojmi (minimalizácia dopravných nákladov) vhodných materiálov. V reálnych podmienkach sa vždy kombinuje viacero druhov bioodpadu tak aby sa dosiahli

požadované vlastnosti substrátu. Samotný ligno-celulóзовý odpad (parkový, záhradnícky - odrezky konárov...) predlžuje dobu kompostovania, preto je vhodné ho zmiešať napr. s kuchynským odpadom resp. aktívnymi kalmi z ČOViek pri dodržaných limitoch.

Ideálnym pomerom C/N pre aeróbne kompostovanie je 30-35/1 podľa MOŇKA (2001) resp. 25-30/1 podľa LOTITO (1997). Vyšší pomer, čo znamená viac uhlíkatých látok, proces spomaľuje až zastavuje a naopak pri nižšom pomere pod 20/1 vzniká nebezpečenstvo produkcie NH₃, čo spôsobuje zápach. Pri procese kompostovania slúži uhlík ako zdroj energie a dusík pre tvorbu bielkovín pre stavbu mikroorganizmov. V **Tab.4** je znázornené zastúpenie C/N niektorých druhov bioodpadov. Pri kompostovaní v hrobliach je optimálna veľkosť častíc do 4-8 cm.

Tab. 4. zastúpenie C/N v niektorých druhoch bioodpadu (MOŇOK, 2001)

Surovina	pomer C/N	Surovina	pomer C/N
odpad zo zeleniny	20/1	hov.hnojovica	10/1
Tráva	12/1	zemiak. Vňate	25/1
bioodpad z domácností	25/1	Perie, vlasy, vlna	30/1
Konský hnoj	25/1	kal z ČOV	18/1
Ovčí hnoj	17/1	Kôra	115/1
hov. Hnoj	20/1	piliny, hobliny	20/1
hydínový trus	10/1	Hrabanka z ihličnanov	65/1
hnojovica ošípaných	7/1	Hrabanka z lístia*	50/1
hnojovica hydiny	5/1	Papier	350/1
Močovka	3/1	Slama	70/1
Starina z lúk	50/1	odrezky z kríkov	125/1
hrabanka z lístia (jelša, hrab)	25/1	*lipa, dub, topoľ, breza, buk	

Vlhkosť a prísun O₂ resp. vzduchu

Vhodná vlhkosť substrátu je podľa (V.LOTITO, 1997) 50-60% čo v praxi znamená 70% pórovitosti zaplnenej vodou. Prílišné zamokrenie spôsobuje zvýšenie anaeróbného rozkladu a vzniku zápachu naopak v suchom substráte sa rozmnožia plesne a zabrzdia proces rozkladu vlhkosť 15% je spodným limitom pre biologickú aktivitu baktérií.

Dostatočné prekysličené je opäť nevyhnutné pre biologickú aktivitu aeróbných (mikro)organizmov. Optimálna hodnota je 5-15% O₂. Podkysličené spôsobuje vznik anaeróbných procesov, prekysličené urýchľuje pokles teploty, následné spomalenie procesu degradácie a nedostatočnú sanitáciu patogénnych mikroorganizmov. Spotreba kyslíka je

funkciou teploty, vlhkosti a stupňa degradácie. Špecifickú spotrebu kyslíka môžeme vyjadriť ako:

$$O_2 = 0,07 * 10^{0,031 * T}$$

kde O_2 znázorňuje spotrebu v g O_2 /kg substrátu (nie sušiny)/hodinu; T je teplota v °C.

Vzduch možno privádzať buď tlakom cez priedušné kanále pod hroľou alebo podtlakom - nasávaním. Druhá, i keď investične náročnejšia technológia nám umožňuje bezproblémové zachytenie všetkých vznikajúcich plynov a ich následné čistenie biofiltrom resp. biopráčkou.

pH

Optimálne pH je v rozsahu 5.5 až 8, no kompostovanie je možné i pri širšom rozmedzí pH od 3 do 11 (LOTITO, 1997). Neutrálne prostredie je optimálne pre biologickú aktivitu baktérií, kyslejšie prostredie vyhovuje najmä hubám. Vysoké pH spojené s vysokými teplotami môže viesť k úniku N procesom prchania amoniaku (zápach).

Proces kompostovania

Proces možno rozdeliť na 4 hlavné fázy, ktorých dĺžka závisí od zloženia substrátu ako aj technológie. Počas procesu sa bielkoviny rozkladajú postupne cez peptidy, aminokyseliny až na amoniak a dusík. Uhl'ohydráty zasa cez cukry a organické kyseliny na CO_2 .

1. Fáza - termofilná fáza, fáza hygienizácie. Doba trvania 1-3 týždne (môže byť aj dlhšia). Teplota tu dosahuje v max. až 70 °C. Lahko odbúrateľné makromolekuly bielkovín a sacharidov podporujú biologickú aktivitu a rozmnožovanie baktérií čo produkuje teplo. Aktivita termofilných baktérií končí pri presiahnutí teploty približne 75 °C. Produktom metabolizmu takejto biologickej aktivity sú najmä CO_2 , NH_3 a voda (vodná para). Na likvidáciu patogénov postačujú teploty okolo 60 °C.

2 Fáza - mezofilná. Postupne sa teplota znižuje až na 40 (35) °C a rozmnožovať sa začína mezofilná fauna. Prichádzajú najmä huby rozkladajúce lignín a celulózu. Objem substrátu sa znižuje, uvoľňuje sa amoniak. Doba trvania 2-4 týždne. V tejto fáze je vhodná tzv. inokulácia - očkovanie špecifických kultúr mikroorganizmov (likvidácia patogénov, odstránenie ropných látok...).

3. Fáza - konečná. Začínajú sa tvoriť komplexné humusové látky a rozmnožovať nižšie živočíchy ako roztoče, chvostoskoky, nematódy a dážďovky - brzdí sa rast húb. Doba trvania 2-4 týždne.

4 Fáza stabilizácie a dozrievania. V podstate sa zastavuje biologická aktivita. Prevládajú tu už humifikačné procesy, pri ktorých sa vytvárajú humusové látky ako humínové kyseliny, fulvokyseliny a pod. Tie spôsobujú aj charakteristickú tmavohnedú až čiernu farbu. Tieto

procesy vyžadujú tak aeróbne ako aj anaeróbne podmienky, preto už nie je vhodné kompost prekopávať. (LEŠINSKÝ, 2000)

Konečný produkt - vyzretý kompost.

Výstupným produktom by mal byť vyzretý kompost, ktorý sa tmavou farbou podobá humusu, je stabilný - bez zápachu a patogénnych mikroorganizmov, obsahuje okolo 2% dusíka, 1% fosforu veľa stopových prvkov no najmä vysoký podiel organických látok. Jednoduché zlúčeniny sú procesom kompostovania rozložené na elementárne prvky, komplexné zlúčeniny sú humifikované. Podmienkou vhodného využitia na zlepšenie vlastností pôdy (fyzikálne aj živinové) je neprekročenie hygienických limitov obsahu nebezpečných látok (ťažké kovy, patogénne ...)

Limity pre tieto látky platné na SR pre využiteľný kompost ukazuje **Tab. 5**.

Tab. 5 - Najvyššie prípustné limity sledovaných látok pre komposty podľa STN 46 5735.

Sledovaná látka	komp. I triedy v mg/kg	komp. II triedy v mg/kg
As*	10	20
Cd	2	4
Cr	100	300
Cu	100	400
Hg	1,0	1,5
Mo*	5	20
Ni*	50	70
Pb	100	300
Zn	300	600

Stanovuje sa v prípadoch, kedy je možné očakávať zvýšené množstvá vzhľadom k použitým surovinám. Mg/kg – miligram na 1 kg sušiny kompostu.

Dĺžka procesu kompostovania

Všeobecne možno povedať že rýchlosť rozpadu organických častíc závisí hlavne od pomeru C/N, teplotného a vlhkostného režimu , prevzdušňovania, pH a veľkosti častíc. Za minimálny čas pre priebeh základných fáz kompostovania sa pri optimálnych podmienkach a zloženia považuje 14 dní. Avšak napríklad pre drevné štiepky zmiešané s ČOV-kalom je potrebných 20 dní (LOTITO, 1997). Po tejto dobe treba rátať ešte s časom na dozretie resp. stabilizáciu kompostu, čo už ale nevyžaduje špecifické zabezpečenie ako areáciu alebo

temperovanie. Pre celý proces sa kalkulujú zvyčajne 3 mesiace. Ukončenie tohoto procesu signalizuje ustálená teplota a špecifická tmavohnedá farba. Ukazovateľom ukončenia hlavného procesu je aj neprítomnosť škrobov, ktoré sa pri správnom postupe úplne rozkladajú ako aj stabilizovaný pomer C/N približne na 12:1, max. 30:1 (MOŇOK, 2001).

Patogenita

Biodpad z domácností môže byť kontaminovaný na jednej strane rastlinnými patogénmi na strane druhej patogénmi živočíšneho pôvodu ako napr. rod Salmonela, Toxoplazma, Giardia, a taktiež rôznymi skupinami vírusov. Všetky tieto mikroorganizmy by sa pri nedodržaní správneho postupu kompostovania mohli preniesť do konečného produktu a tak ohroziť zdravie ľudí či rast poľnohospodárskych plodín. Preto je dôležité dodržiavať čas termofilného rozkladu, kedy teplota substrátu dosiahne 55-60 °C). Minimálny čas potrebný na likvidáciu všetkých patogénov sa líši v závislosti od druhu vstupného substrátu, no max. sa podľa RAKÚSKEJ NORMY ÖNORM S 2022 PRE KVALITU KOMPOSTU požaduje 65 °C počas 6 dní resp. 2x3dni.

Kompost ako zlepšovateľ pôdy

Pri dodržaní stanovených hygienických limitoch nám kompost zlepšuje nasledujúce vlastnosti pôdy: veľmi pozitívne ovplyvňuje vodný režim pôd - zvyšuje obsah vody v pôde, taktiež zvyšuje zádržnú schopnosť vody pôdou, ako aj vsakovanie vody, svojou štruktúrou zlepšuje areáciu - prevzdušnenie pôdy nevyhnutné pre biologickú aktivitu, je prísunom živín pre rastliny a stavebných látok pre pôdne (mikro)organizmy. (MOŇOK, 2001)

5.2.1.2 Anaeróbna digestia - splyňovanie

Jedná sa o spracovanie biodpadu technológiou bez prístupu kyslíka za vzniku bioplynu, vody a zostatkového materiálu vhodného na stabilizáciu a využitie kompostovaním.

Tento postup je podstatne menej náročný na využívanú plochu je lepšie kontrolovateľný (odplyny a výluhy) a časovo efektívnejší ako kompostovanie. Naviac produkciou bioplynu je možné pokryť vlastné energetické nároky a dodávať prebytkové teplo/bioplyn/energiu do verejných sietí.

Technológia AD je náročnejšia na vstupný kapitál. Je podľa (GOSCH A., 1997) vhodná na spracovanie najmä ľahko degradovateľého materiálu s vysokým podielom vody - nad 80% (jedálenský odpad, kal z ČOV pozor na ŤK..). Nevhodným je naopak substrát s vysokým obsahom lignocelulóзовých zložiek (napr. drevný odpad, odpad z orezávky stromov...), ktorý sa rozkladá predovšetkým hubami za prítomnosti kyslíka.

Proces AD (anaeróbnej digescie - splyňovania)

Už názov hovorí, že rozklad biologického materiálu tu prebieha v anaeróbných podmienkach v špeciálnych uzavretých reaktoroch. Proces fermentácie prebieha v dvoch teplotných optimách: - v mezofilnej fáze - teplota okolo 35 °C alebo
- v termofilnej f. pri teplote 55 °C.

Termofilný spôsob je finančne náročnejší no zabezpečí potrebnú likvidáciu patogénnych zárodkov, odbúrava o 10% C viac a AD prebehne rýchlejšie. Pri mezofilnom procese prebieha rozklad biologického materiálu pomalšie, a hygienická nezávadnosť konečného produktu je neistá no proces spotrebuje menšie množstvo energie, čím je energeticky efektívnejší výstupný bioplyn má lepšie zloženie a je termostabilnejší v porovnaní s termofilným procesom. (GOSCH A., 1997) Optimálne pH pre oba procesy je neutrálne. Pri oboch procesoch je potrebné zabezpečiť kontinuálne miešanie obsahu reaktora, ktoré okrem iného podporuje biologickú aktivitu. Fermentácia - produkcia metánu CH₄, je ukončená približne už do 3 týždňov čo je opäť výhodou oproti aeróbnemu kompostovaniu. Proces možno prevádzkovať s statickom alebo dynamickým čiže kontinuálnom režime.

Pri fermentácii hygienicky problémových substrátov (živočíšne exkrementy, komunál. bioodpad...) je potrebné pred alebo po procese AD inštalovať zariadenie na prehrievanie substrátu čím sa zaručí 100% hygienizácia.

Produkcia bioplynu

Výstupným produktom AD je bioplyn a pofermentačný zostatok vhodný na kompostovanie. Zloženie bioplynu ako zdroja obnoviteľného zdroja energie závisí najmä od vstupného materiálu, obsahuje 50-70% CH₄ (V.LOTITO, 1997) resp. 60-80% CH₄ (GOSCH A., 1997), 39-19% CO₂ a malé množstvá H₂S.

Po energetickej stránke má čistý metán - CH₄ 36 MJ/m³, kým bioplyn - v závislosti od zloženia 18 - 29 MJ/m³. Pre porovnanie, energetickú hodnotu zemného plynu je 38 MJ/m³ (GOSCH A, 1997). Pri prepočte na el. energiu je to pri bioplyne 6,5 kW/m³ (65% obsah CH₄) je možné ho klasicky spaľovať prípadne z neho vyrábať metanol. Ak sa bioplyn nevyužíva ihneď, dá sa podobne ako zemný plyn kompresiou skvapalniť a uložiť do tlak. fliaš. (GOSCH A.,1997 II). Spotreba energie prevádzky anaeróbného splyňovania sa pohybuje okolo 30 kWh/t a produkcia energie netto okolo 1,065 kWh/t. (V.LOTITO, 1997)

Produkcia plynu pri optimálnych podmienkach závisí najmä od substrátu a jeho zloženia, podľa (GOSCH A.,1997 II) je množstvo vyprodukovaného bioplynu z :

- odpadu zo zeleniny 600 l/kg(suš.)
- zeleného, parkového odpadu 600 l/kg(suš.)
- potravinových odpadov 1000 l/kg(suš.)
- komunálneho bioodpadu 450 l/kg(suš.)
- tuk. odpad z prevádzky 1000 l/kg(suš.)
- hydínová močovica 400-700 l/kg(suš.)

Získaný bioplyn treba samozrejme upraviť. Prvým stupňom je zachytenie pevných čiaštočiek na filtri, následne ochladenie na bod kondenzácie H₂O jej odobratie. Pri koncentráciách H₂S nad 1000 ppm je potrebné ho odstrániť, pretože neskôr spôsobuje koróziu teplárenských zariadení. Pridávaním vzduchu do bioreaktoru je možné dosiahnuť výraznú redukciu H₂S jeho bakteriálnou oxidáciou na elementárnu síru S.

5.2.1.3 Kombinované spracovanie

Ideálnym spôsobom spracovania rôznorodých bioodpadov pre väčšie prevádzky so stálym prísunom bioodpadu je práve kombinácia oboch spomínaných postupov.

V prvej fáze sa anaeróbnou digesciou spracujú a tak čiastočne stabilizujú tzv. bezštruktúrne bioodpady v vysokom podielom vody. Vedľajším výhodným procesom je produkcia bioplynu. Pofermentačný zostatok sa ako veľmi vhodná prísada využíva najčastejšie k ligno-celulóзовému substrátu, kedy prebehne aeróbne kompostovanie za vzniku nepatogénneho kvalitného kompostu. Je dôležité dbať na dodržanie limitov ŤK. Výhody možno zhrnúť do nasledujúcich bodov:

- zlepšenie kontroly a využitia odplynov a výluhov (spoločná ČOVka/biofiltre)
 - možnosť spracovania širokého druhu bioodpadov
 - zisk bioplynu - energie
 - zisk kvalitného kompostu
- vyššia efektívnosť práce, rovnakí zamestnanci pre obe prevádzky.

Kapacita takejto kombinovanej prevádzky je ekonomicky optimálna v rozmedzí min.6-8 tis. ton až 15-20 tis. ton ako maxima. Akúkoľvek prevádzku spracovania bioodpadu v tesnej blízkosti aglomerácie treba budovať v uzavretom systéme, intenzívne areovanú s výstupom cez účinné biofiltre, tak je možné predísť nežiadúcemu zápachu v prostredí.

Čistenie emisií z prevádzok kompostovania resp. anaeróbnej digescie.

Biologicky možno degradovať v podstate všetky netoxické organické látky v primeraných koncentráciách. Pred budovaním akéhokoľvek zariadenia na čistenie emisií je potrebné urobiť čo najpodrobnejšiu analýzu ich množstiev a zloženia (K.FISCHER ET AL.,1990).

Podľa analýz rovnakého autora, bolo pomocou kapilárnej plynovej chromatografie v emisiách z kompostární určených viac ako 30 rôznych látok. Ich odbúranie biofiltrom sa pohybovalo v rozmedzí 75% (2-Propanol) až 99% (väčšina zlúčenín). Po určení zloženia a množstva je možné vybrať vhodnú technológiu selektívnych/neselektívnych, viac/jednostupňových biofiltrov resp. biopráčiek.

Aktívne prostredie mikroorganizmov – baktérií (najmä biopráčky), húb a aktinomicét (najmä biofiltre) vyžaduje dodržanie základných podmienok ich existencie. Ide najmä o :

- **vlhkosť** (min. 15%, optimálna vlhkosť biofiltra je 40-60%)
- **tlak**
- **teplota** (pre psychrofilu 15-20 °C, mezofily 20-37 °C, termofily 50-65 °C) Rýchlosť reakcie rastie s teplotou +10 °C 2-3 násobne. Vysoké teploty môžu spôsobiť nekontrolovaný únik amoniaku.
- **pH**, rôzne v závislosti od mikroorganizmov. Pri biologickej oxidácii NH_3 resp. H_2S vzniká veľmi kyslé prostredie, ktoré je potrebné neutralizovať.
- **obsah kyslíka**
- **pomer živín** (C, N, P) vo všeobecnosti optimálny pomer je 100:5:1. N a P je potrebné často pridávať vo forme hnojiva.

V súčasnosti už existujú zmesi mikroflór, ktoré sa v reálnych podmienkach prispôbia - z nej sa rozmnožia senzitívne druhy pre dané emisie. Pri zložitých prevádzkach, príp. vysokých koncentráciách emisií je vhodné inštalovať viacstupňové čistenie. V prvom stupni je možné odbúravať kyslú zložku napr. H_2S a v druhom stupni - neutrálnom prostredí zasa organické zvyšky.

5.3 Praktická aplikácia biodegradovateľných plastov – Projekt mesta Kassel

Aplikácia vedeckých poznatkov do praxe mala byť, a bola úspešne otestovaná „Modellprojektom - Kassel“ v Hessensku (Nemecko). V meste Kassel s približne 200 tis. obyvateľmi sa v Máji 2001 začalo testovanie výrobkov, obalov z biodegradovateľných resp. kompostovateľných, certifikovaných materiálov. Tento projekt s rozpočtom 2,5 mil. EURO je

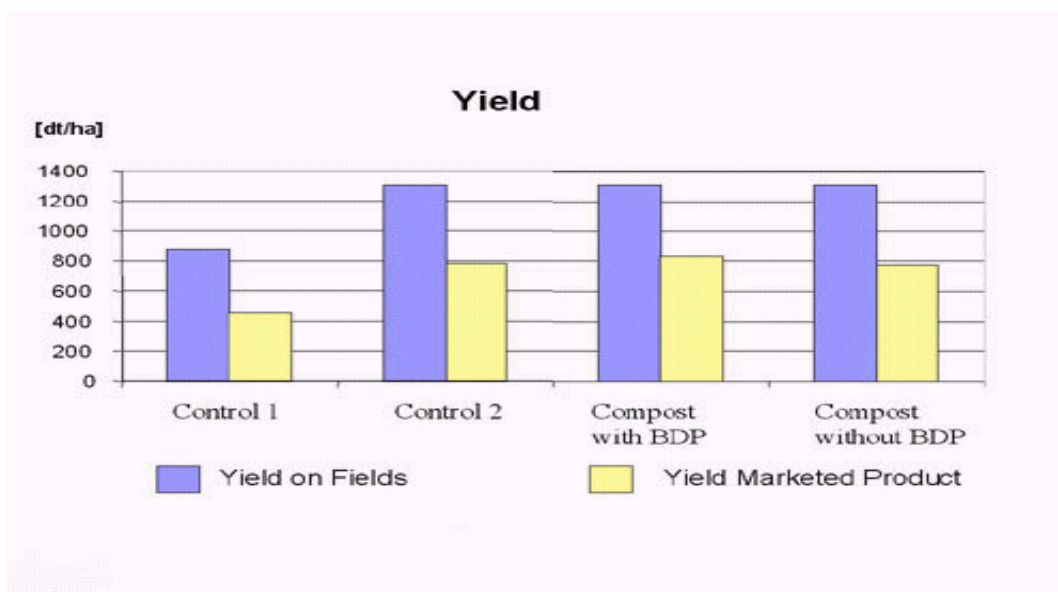
rozsahom najväčšia a najkomplexnejšia analýza vplyvov BDP v praxi, v celosvetovom merítku. V meste Kassel bola už niekoľkoročná tradícia separovaného zberu vrátane bioodpadu – „biobin“ systém od roku 1994. Cieľom výskumu bolo odpovedať na dve základné otázky:

1. Ako ovplyvní prítomnosť BDP produktov kvalitu „biobin“ kompostu (porovnanie so stavom pred začatím projektu)?
2. Ako budú reagovať občania na nové materiály, značenie, triedenie?

V záverečnej správe výskumu the Department of Waste Management at the Bauhaus University of Weimar (Oddelenie odpadového hospodárstva univerzity vo Weimari) pod vedením Prof. Dr. Bidlingmaiera v r.2002 sa v TLAČOVOM KOMUNIKÉ z 20.9.2002 uvádza, že: „zavedenie biodegradovateľných produktov (prevažne obalov) nespôsobilo výrazné zmeny v množstve nevhodného odpadu (mishrows) v bioodpade zbieraného systémom „biobin“, v skutočnosti množstvo nevhodného odpadu malo klesajúcu tendenciu“.

Druhým zásadným poznatkom bola skutočnosť, že vyzretý kompost s prítomnosťou rozložených, certifikovaných BDP bol v poľnohospodárskom využití ako hnojivo rovnako dobre aplikovaný ako kompost bez BDP, tzn. že priebežne monitorovaná kvalita kompostu v súlade s nemeckými štandardmi nebola rozloženými biodegradovateľnými produktami znížená (Obr. 5).

Obr. 5. Vplyv BDP na kvalitu kompostu. Porovnávanie úrodnosti poľnohospodárskych plôch - Yield on Fields a množstiev predaných produktov - Yield Marketed Products, pri aplikácii kompostu s degradovanými BDP (Compost with BDP) do pôdy, kompostom bez BDP (Compost without BDP) v porovnaní s úrodnosťou plôch bez pridania kompostu (Control 1,2).



Od mája 2001 mohlo 200 tis. Občanov mesta Kassel kupovať zo širokej ponuky produktov balených kompostovateľnými obalmi. Od mliečnych produktov, ovocia a zeleniny, mäsa, BDP sáčky na kompost, nákupné tašky ako aj riady na jedno použitie. Po použití mali všetky tieto produkty skončiť v triedenom zbere v bioodpade.

Dôležité boli aj výsledky marketingového prieskumu, kedy po 5 mesiacoch 20% obyvateľov už kúpilo produkt zabalený BDP z toho 85% zákazníkov považovalo takýto tovar za dobrý až veľmi dobrý a boli rozhodnutí si ho kúpiť opäť.

Projekt bol predĺžený do konca roka 2002. Dôležitým výsledkom prieskumu verejnej mienky v Kasseli je vysoká akceptovanosť zákazníkmi, kedy až 90% obyvateľov mesta považuje projekt za dobrý až vynikajúci a sú pripravení (po skončení dotácií) akceptovať zvýšené ceny takýchto produktov. Nárast cien bude pri očakávanej produkcii BDP materiálov zhruba 50%, čo znamená 5 centov na obal - zo súčasných 10 na 15 centov. (TLAČOVÉ KOMUNIKÉ z 20.9.2002) Podrobnejšie informácie sú prehľadne spracované na <http://www.modellprojekt-kassel.de/>

5.4 Spracovanie údajov o výrobe, dovoze/vývoze plastov a produkcii plastového odpadu na Slovensku

Získavanie podkladov na vypracovanie ucelenej správy o nakladaní s plastovými odpadmi je v podmienkach SR veľmi komplikované, pretože dodnes neexistuje ucelený systém monitoringu takéhoto odpadu. Zdrojmi relevantných informácií boli osobné konzultácie na VÚSAPL (Výskumný ústav aplikácie plastových látok <http://www.vusapl.sk/>) v Nitre a komunikácia s Oddelením colnej štatistiky Ministerstva hospodárstva. Treba zdôrazniť, že získane informácie sa dotýkajú hlavne primárnych plastov vyrábaných alebo dovážaných, teda nie výrobkov. V súčasnosti je nemožné napríklad získať presné informácie o množstve PET - nápojových fliaš ako obalov nealkoholických nápojov a všetky publikované údaje sú viac alebo menej presné odhady. Hlavnou databázou by v oblasti plastových odpadov u nás malo byť Ministerstvo životného prostredia SR, no napriek opakovaným prosbám i osobným návštevám pracovníci MŽP neboli schopní dodať požadované údaje. To isté platí i pre Agentúru životného prostredia SR.

Čiastkové informácie o objeme plastov v rámci komunálneho odpadu je možné nájsť i na stránkach mimovládnej organizácie SPZ - Spoločnosti Priateľov Zeme (<http://www.changenet.sk/spz>), ktorej jednou z priorít činnosti sú aktivity smerujúce k zníženiu množstva a škodlivosti odpadov vznikajúcich na území SR. Kapacity na recykláciu/využitie plastového odpadu taktiež nie sú doteraz vecne spracované.

Výraznú zmenu v zdroji kvalitných a relevantných informácií ohľadom tokov plastov (výroba, dovoz, odpad, spracovanie...) na Slovensku sa očakáva po prvých rokoch existencie Recyklačného fondu založeného v r. 2001 na základe ustanovení Odpadového zákona – 233/2001 Z.z. Recyklačný fond je popri iných komoditách zodpovedný aj za výber poplatkov za plasty uvedené na slovenskom trhu – PE, PET, PS, PP... ich kumuláciu ako aj následné rozdelenie pre účely efektívneho zberu, spracovania a recyklácie. Príspevok do Recyklačného fondu sa vypočíta ako súčin množstva alebo hmotnosti výrobkov alebo materiálov, za ktoré sa tento príspevok platí a sadzby za ten ktorý materiál (§ 56 zákona č. 223/ 2001 Z. z. o odpadoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov).

Ministerstvo životného prostredia SR podľa § 68 ods. 3 písm. m), zákona č. 223/ 2001 Z. z. o odpadoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov, ustanovuje vyhláškami Ministerstva životného prostredia SR č. 516/2001 Z. z., č. 337/2002 Z. z. (vozidlá) a č. 733/2002 Z. z. (kovové obaly). Výška sadzby do Recyklačného fondu je podľa § 46 ods. 1 pre výrobky z polyetylénereftalátu - PET, polyetylénu - PE, polypropylénu - PP, polystyrénu - PS a z polyvinylchloridu - PVC je 5 Sk za kilogram (rok 2003). Podrobnejšie informácie možno nájsť na <http://www.recfond.sk/>.

Podľa slov námestníka riaditeľa p. ing. Mikulénka z 27.5.2003, vzhľadom na nedostačujúci a doteraz nezjednotený informačný systém štatistiky odpadov vznikajúcich na území Slovenska, prvé relevantné a reprezentatívne výsledky vzniku a tvorby odpadov, teda i plastov a obalov z plastov, možno očakávať koncom roku 2003.

5.5 Spracovanie informácií o legislatíve, testovaní a posudzovaní vplyvov BDP

Keďže problematika BDP využívaných vo verejnej spotrebe je veľmi mladá, ako podklady pre potrebné údaje som využil najmä osobnú účasť a následne literatúru z konferencie v Kodani (LEŠINSKÝ, 2000) resp. medzinárodného UNIDO Workshopu v Smoleniciach (1999). Výraznou pomocou pri obstarávaní požadovaných noriem a pri ďalšej spolupráci je Inštitút pre agro-bio-ekologický výskum IFA, v Tullne v Rakúsku. Po osobných konzultáciách s odborníkmi a následnej korešpondencii bolo možné získať ucelenejší obraz o stave európskej legislatívy v oblasti BDP. Práve v laboratóriách vedeckého inštitútu IFA v Tullne, oddelení Biotechnológií životného prostredia - <http://www.ifa-tulln.ac.at/> boli testované všetky vzorky biodegradovateľných polymérov, okrem iných aj slovenského PVA/CH {FOTO 13}. Študijnovo-vedecký pobyt bol dva krát podporený prostredníctvom medzivládneho programu Akcia Rakúsko-Slovensko (koordinátori ÖAD/SAIA – <http://www.saia.sk/>) a plánovane prebehol od Októbra do Jan. 2001 (3,5 mesiaca) a od Januára do Mája 2003 (4 mesiace).

Ďalším partnerom vo výskume BDP PVA/CH bola Katedra plastov a kaučuku FCHPT STU v Bratislave – http://www.chtf.stuba.sk/kpk/pak_index_sk.html a české pracovisko Univerzity T. Bati v Zlíne, Technologickej Fakulty - <http://www.ft.utb.cz/>. Hodnotným zdrojom informácií pri spracovaní problematiky LCA biodegradovateľných plastov, legislatívy biodegradovateľnosti či ekotoxicity bola komunikácia s expertmi pre danú problematiku - Dr. Fritz (Rak.){FOTO 11}, Dr. Innocenty (Tal.), IBAW (Interessenagemeinschaft Biologisch Abbaubare Werkstoffe – International Biodegradable Polymers Association & Working Groups, Germany - <http://www.ibaw.org/> (zastrešujúca spoločnosť výrobcov BDP so sídlom v Nemecku) a samozrejme intenzívna práca s internetom.

Experimenty boli nie len časovo náročné - približne 2000 hodín laboratórnej práce ale aj finančne náročné – realizácia výskumov stála viac ako **15 881€ (cca 660tis. Sk)** a pobytové náklady boli **7680€ (cca 319 tis. Sk)**. **Spolu presiahol rozpočet výskumného pobytu v Rakúsku 23 561€ čiže približne 977 781 Sk.** Z toho všetky výskumné náklady hradil, po dohode s Dr. Fritzom, inštitút IFA v Tullne; 7 mesiacov pobytu bolo financovaných po získaní štipendia akcie Rakúsko – Slovensko SAIA-ÖAD a jeden pobytový mesiac bol hradený z vlastých prostriedkov. Na experimenty prispela aj KPK FCHPT STU v Bratislave sumou 5000 Sk. Všetkým, ktorí pomohli pri financovaní tak náročného experimentu by som sa aj na tomto mieste rád poďakoval.

8. ZÁVER

Polyvinylalkohol je len jedným z prichádzajúcich „inteligentných“ materiálov, ktoré by mali napomôcť k vyriešeniu najmä environmentálnych problémov v mnohých oblastiach praktického života. Biodegradovateľné polyméry spájajú klady výborných materiálovo-funkčných vlastností, v spoločnosti široko využiteľných plastov so zákonmi prírodného cyklu základných prvkov - vzniku a rozpadu materiálov, pri minimalizácii negatívnych vplyvov. Tak sa darí človeku spraviť opäť jeden krok bližšie k dokonalejšiemu a trvaloudržateľnému systému života na Zemi. Je však ešte mnoho otázok, ktoré treba riešiť a vyriešiť skôr ako začneme uplatňovať nové materiály v praxi s plnou zodpovednosťou za ich dopady na kvalitu produktov, života človeka a prostredie do ktorého sa skôr či neskôr dostanú.

Výsledky tejto práce nás dovedli k poznaniu, že pri aplikácii biodegradovateľných plastov v spoločnosti ako nového, ekologickejšieho materiálu v obalovom či v inom priemysle musíme posudzovať celý životný cyklus materiálu či výrobku, so zameraním sa na hodnotenie týchto základných oblastí:

- zloženie/ výroba BDP; s dôrazom na obnoviteľné – prírodné zdroje: škrob, produkty kyseliny mliečnej (PLA) atď.; je potrebné minimalizovať a postupne vylúčiť škodlivé a ťažkorozložiteľné prímеси (plastifikátory, stabilizátory...); a rovnako zavádzať nízkoenergetické a čistejšie (bezodpadové) technológie výroby
- úžitkové vlastnosti výrobkov z biodegradovateľných materiálov, napr. obalov, musia spĺňať hygienické ako aj technické požiadavky, a nemali by znižovať funkčnú kvalitu produktov počas distribúcie, predaja a používania.
- v koncovom štádiu odpadu, treba po zohľadnení technológie využitia (kompostovanie, anaeróbne splyňovanie) kvalitatívne a kvantitatívne posudzovať:
 - **rozpadovosť** (desintegration)
 - **biodegradovateľnosť** (aeróbne/ anaeróbne podmienky, teplotný režim)
 - **ekotoxickosť** na rôznych úrovniach, a následne
 - **kvalitu vzniknutého produktu** – kompostu.

Merateľným definovaním týchto vlastností v štandardných podmienkach – kvantifikáciou ekologickej kvality BDP sa v súčasnosti zaoberajú medzinárodné tímy odborníkov a výsledkom ich práce sú a budú normy či štandardy na svetovej (ISO) , medzinárodnej (EN) či národnej (STN) úrovni.

Všeobecným – celospoločenským problémom je cenové presadenie sa produktov z biodegradovateľných polymérov pretože v cene výrobkov z ropy, ktoré sú ich najčastejšími konkurentmi, nie je zahrnuté zaťaženie životného prostredia v rámci celého LCA. Táto finančná bariéra šírenia BDP v praxi je postupne prekonateľná vhodnými legislatívnymi resp. ekonomickými opatreniami a rovnako zvyšovaním ekologického vedomia (dopytu) občanov.

Dôkazom toho, že je už aj dnes možné v spoločnosti presadiť takéto výrobky s vysokou pridanou ako aj ekologickou hodnotou sú stále častejšie prípady z ich uplatnenia v praxi napr. OH v Sydney, projekt v nem. meste Kassel, Expo v Hamburgu ale aj dlhoročné úspechy firiem pôsobiacich v tejto oblasti – Novamont, Cargill-Dow, ...

Je viac ako pravdepodobné, že aj v našej krajine sa skôr či neskôr stretneme s „ekologickými“ obalmi, degradovateľnými sáčkami na bioodpad, či v prírode rozložiteľným jednorázovým riadom. Záleží aj na nás, našom povedomí a správaní ako skoro (či neskoro) sa objavia tieto už poznané produkty ľudského umu a sily prírody v našich domácnostiach.

Výsledky testov biologickej degradácie PVA poukazujú na veľmi slabú schopnosť degradovať takýto materiál pôdnymi mikroorganizmami či mikroorganizmami bežných, komunálnych čistiarň odpadových vôd. Táto skutočnosť orientuje ďalší výskum smerom hľadania a kultivácie vhodnej mikroflóry schopnej plnej degradácie materiálov na báze PVA. Rovnako usmerňuje vývoj možných aplikácií na uplatnenie PVA/CH v uzavretých systémoch využívajúcich vodné prostredie ako čistiace médium (veľkopráčovne, nemocnice a pod.), kde je možné regulovať špecifické podmienky pre degradáciu.

PRÍNOS PRÁCE PRE ĎALŠÍ ROZVOJ VEDY A SPOLOČENSKÚ PRAX

Dizertačná práca „**Environmentálne degradovateľné polyméry v odpadovom hospodárstve**“:

- monitoruje súčasťnú situáciu biologicky degradovateľných plastov v celosvetovom meradle ako aj stav produkcie komerčných plastov na Slovensku
- sumarizuje existujúce normy ako aj legislatívne opatrenia na medzinárodnej i národnej úrovni
- predkladá podmienky efektívneho spracovania biologických odpadov, keďže BDP zákonite vstúpia do tohto reťazca
- komplexne analyzuje a hodnotí na úrovni medzinárodných štandardov biodegradovateľnosť a ekotoxickú vybraných, na Slovenku vyrábaných degradovateľných polymérov
- definuje potreby zavedenia systému zberu a spracovania bioodpadov, teda i BDP v praxi a naznačuje smerovanie výskumu a vývoja Biologicky degradovateľných plastov pre ich environmentálne neškodné začlenenie sa do spoločenského života

9. LITERATÚRA

1. Alexy P. a kol. (1999): Modified polyvinylalcohol with collagen hydrolysisate specified for blow extruded films, pp. 76 - 79, In Selected papers IW on Environmentally Degradable Plastics - Smolenice Oct. 1999
2. Bastioli, C. (2000): Global Status of the Production of Biobased Packaging Materials, in The Food Biopack Conference papers, pp 2-7, Copenhagen, Denmark August 2000
3. Beczner J., Vásárhelyi-Perédi K., Fehér J. and Keszler B. (2000): Biodegradable packaging materials based upon starch/PVAL, pp 117-118, In The Food Biopack Conference papers, Copenhagen, Denmark August 2000
4. Bidlingmaier W. (June 2002): Model Projekt Kassel – Application of biodegradable Packaging Items in Real Test Market and Their Recovery Via the Municipal Organic Waste Collection, Summary-Interim Report; Weimar
5. Bioterm - informačná stránka (2001), <http://www.ecoplate.com>
6. CEN-EN 13432(2001): Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation – Test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging
7. CEN/TC 261/SC 4/WG 2 N 60 (1999): ISO/FDIS 14852: Determination of ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in an aqueous medium – Method by analyses of evolved carbon dioxide.
8. CEN/TC 261/SC 4/WG 2 N 104 (2001): prEN 14046: Packaging – Evaluation of ultimate aerobic biodegradability of packaging materials under controlled composting conditions – Method by analyses released carbon dioxide
9. Chiellini E. et al. (2003): Biodegradation of poly(vinylalcohol) based materials, pp 963 – 1014, in PROGRESS IN POLYMER SCIENCE No. 28, ELSEVIER – <http://www.elsevier.com/locate/ppolysci>
10. Dalenberg, J.W., and G. Jager (1989): Priming effects of some organic additions to ¹⁴C-labelled soil. Soil Biol. Biochem. 21, 443-448
11. Degli-Innocenti F. (1999): Compostability of Man-made Materials: Standard Test Methods and Criteria, pp 21-26, In Selected papers of the IW - Smolenice Oct. 1999
12. Degli-Innocenti F., (a) 2000: Environmental impact of biobased materials: Biodegradability and compostability, pp 107-113; in Biobased Packaging Materials for the food industry - Status and perspectives, C.J. Weber, Copenhagen, Nov. 2000
13. Degli-Innocenti F., (b) 2000: Environmental impact of biobased materials: Life cycle analysis of agriculture, pp 114-123, in Biobased packaging Materials for the food industry - status and perspectives, C. J. Weber (Ed), Nov. 2000, Copenhagen

14. DIR EU 94/62/EC: European Parliament and Council Directive 94/62/EC of 20 December 1994 on packaging and packaging waste
15. Fischer K. et al.(1990):Biologische Abluftreinigung; Edd. W.J.Bartz - Technische Akademie Esslingen, expert verlag
16. Fritz (1998): Biologisch abbaubare Werkstoffe in der Biotonne, pp 59-67, in Kompostgutesicherung in Ostereich, 2.Fachtagung, 1. Auflage, März 1998
17. Fritz J. at all (2000): Environmental Impact of Biobased/Biodegradable Packaging, in The Food Biopack Conference in Copenhagen (august 2000) papers, pp 44-49
18. Fritz J., Lešínský D.(2001): Working plan for study research stay in Austria (IFA - Tulln)
19. Fritz J., Link U., Stacher Ch. and Braun R. (2000): Environmental effects - metabolites, by-products and residues during and after the biodegradation process; pp 34-38, Proceedings of the ORBIT-meeting "Biodegradable Polymers", Wolfburg, Germany
20. Gosch A. (1997): Aerobe und/oder anaerobe Behandlung von Abfällen, in Tempus Summer school Waste management 21.5.1997 v Račkovej doline; ed. A.Moncmanová, Maj 1997 SR
21. Gosch A. (1997):Stand und aktuelle Probleme Biogastechnologie im Landwirtschaftlichen Bereich, in Tempus Summer school Waste management 21.5.1997 v Račkovej doline; ed. A.Moncmanová, Maj 1997 SR
22. Guilbert S. (2000): Potential of the Protein Based Biomaterials for the food Industry, in The Food Biopack Conference papers, pp 13–18, Copenhagen, Denmark August 2000
23. Informácia Plasty a kaučuk (2000): Plasty z obnoviteľných prírodných zdrojů , No. 9, p. 278
24. Informácia v Plasty a Kaučuk (2001): PET nápojové láhve ze 100% recyklátu, No. 3, pp 92-93
25. Kolomazník K. a kol. (1999): Application of protein hydrolysisate for manufacturing of biodegradable plastics, pp 100-102, In selected papers IW on Environmentally Degradable Plastics - Smolenice Oct. 1999
26. Kowalczyk M, Adamus G, Sikorska W, Hazer B, Borcakl M, Arkin A.H,(2000): Novel Biodegradable Packaging Materials Based upon Atactic Poly [(R,S)-3-hydroxybutyrate] and natural Poly(hydroxyalkanoate)s, pp 39-43, In The Food Biopack Conference papers, Copenhagen, Denmark August 2000
27. Lešínský D. (1997): Kunststoff -"Schwarzer Peter" im Abfallrecycling?, pp 23 -27, FH Giessen-Friedberg , Germany, Juli 1997
28. Lešínský D., P. Alexy, D. Bakoš, K. Kolomazník, S. Javorekova (2000): Research and production of biodegradable polymers in Slovakia, pp 96-100, In The Food Biopack Conference papers, Copenhagen, Denmark - Aug. 2000

29. Lešinský D. (2001): Spracovanie biologických odpadov, Odpadové Hospodárstvo, pp 1-4, Banská Štiavnica – Febr. 2001
30. Lotito V. (1997): Waste composting, in Tempus Summer school Waste management 21.5.1997 v Račkovej doline; ed. A.Moncmanová, Maj 1997 SR
31. Mátel František (2001): Správa o stave plastov na Slovensku, VUSAPL, marec 2001
32. Mater-Bi: Life Cycle Analysis (1997), www.materbi.com
33. Moňok B.(2001): KOMPOSTOVANIE - príručka pre obce; Spoločnosť priateľov Zeme - február 2001
34. Odpadový zákon 223/2001: § 23 o Príspevku do recyklačného fondu a § 50 o Recyklačnom fonde
35. OECD norm 208 (1984): Terrestrial Plants, Growth Test; OECD GUIDELINE FOR TESTING OF CHEMICALS
36. ÖNORM S 2022 - Gütekriterien für Müllkompost; rakúska norma o kvalite kompostu z bioodpadu – „Biotone“
37. ÖNORM S 2023 Untersuchungsmethoden und Güteüberwachung von Komposten, rakúska norma o analytických metodach stanovovania kvality kompostu
38. Reske Jöran, Schroeter Johannes (1999): Certification, application and waste management potions for biodegradable polymers: The latest experiences from the emerging German market., pp 34-38; in Selected papers of the International Workshop on Environmentally Degradable Plastics - Smolenice Oct. 1999
39. Robert van Tuil, P. Fowler, M. Lauther, C.J.Weber (2000): Properties of biobased packaging materials, pp 13-44, In Biobased Packaging Materials for the food industry - Status and perspectives, C.J.Weber (Ed), KVL-Copenhagen, Nov. 2000
40. Rybárová (2001): Dovozy a vývozy plastov v rámci SR, colná štatistika MH SR
41. Slejška Antonín (2001): Zdroj kompostu a energie - biotický odpad, In ODPADY 1/2001, pp 18-19
42. Smernica MŽP (2000): pre environmentálne hodnotenie výrobkov „Obaly z biodegradovateľných plastov“ a udelenie používať značku EVV, č. 0013, 0016
43. Správa MŽP o stave ŽP na Slovensku pre rok 1999, pp 143 – 150
44. SPZ, Spoločnosť priateľov Zeme (1996): Analýza zloženia komunálneho odpadu v košickom okrese v r. 1995, www.changenet.sk/spz
45. tlač. komuniké (sept 2002): Press reiease - Kassel continues with testing new packaging Model-project with biodegradable packaging has been prolonged; http://www.modellprojekt-kassel.de/eng/seiten/news_frameset.htmlwww

46. Tuomela M. (2002): Degradation of lignin and other 14 C-labelled compounds in compost and soil with an emphasis on white-rot fungi. PhD Thesis at University of Helsinki, Finland
47. Váňa Jaroslav (2001): Další možnosti rozvoje kompostování v roce 2001, In ODPADY 1/2001, p 15
48. Weusthuis R.A, Walle G.A.M van der, and Eggink G. (2000): Potential of PHA Based Packaging Materials for the Food Industry, in The Food Biopack Conference papers, pp 24-27, Copenhagen, Denmark August 2000

Zoznam tabuliek a obrázkov

- s. 9, Tab. 1. Prehľad výroby plastických látok na Slovensku
- s.10, Tab. 2 Dovozy a vývozy plastov v rámci SR
- s. 25, Tab. 3. Prehľad dôležitých výsledkov analýzy vzoriek kompostu po procese degradácie biodegradovateľných polymérov
- s.31, Tab. 4. zastúpenie C/N v niektorých druhoch bioodpadu (MOŇOK, 2001)
- s.33, Tab. 5 Najvyššie prípustné limity sledovaných látok pre komposty podľa STN 46 5735.
- s.18, Obr. 1 Biodegradácia testovaných BD fólií PVA/CH
- s.23, Obr.2 Logo pre kompostovateľné obaly(hexagón) a výrobky
- s.26, Obr.3 Profily ekotoxicity počas 160 dní degradácie šiestich degradovateľných materiálov.
- s.27, Obr.4 Celkový príspevok k otepľovaniu Zeme
- s.38, Obr.5 Vplyv BDP na kvalitu kompostu

10. SUMMARY

Biologically degradable plastics are coming more and more as an issue into discussions, research, development and also practical use. They play important role in way toward environmental friendly materials/packaging of high quality. They will find the place in broad spectrum beginning with special medical devices to in day to day application for broad public. They can improve environmental profile of different products and/or can help to solve some difficult problems in fields of agriculture, medicine, packaging industry, (bio)waste management...

One of such ambitious material the **water-soluble plastic blend PVA/CH** was developed in Slovakia in cooperation with Czek Republic. The blend PVA/CH (Polyvinylalcohol/collagen hydrolysate) is a unique mixture of synthetic – Polyvinylalcohol and Collagen - biogenic material. Its properties have potential for a special use in practice beginning with agriculture chemicals, pesticides packaging through sieving tapes and mulching foils ending with the packaging of contaminated cloths in hospitals. Positive impact of the BDP usage generally was described on global, regional and local level (Fritz at al., 2000). Important characteristic of material, coming out from these applications, is biological degradability and ecotoxicological impact of used material on natural ecosystems, composting process and also water treatment systems.

The study: “**Environmentally Plastics in Waste management**“ present general review of

- currently known types of biodegradable plastics (BDP),
- the survey on international standards measuring the quality of these materials and
- methods needed to be applied in (bio)waste management for successful introduction of BDP into the practice.

Moreover the study bring a new results from detailed analyses on biodegradability and ecotoxicity mentioned material plastic blend PVA/CH. Experiments, which have been done in laboratories of the IFA institute in Tulln, Austria – at the Department for Biotechnology, were focused on analytical, biodegradation and ecotoxicity tests of plastic blend in the different environments and with different microorganisms.

Results prove a positive influence of collagen hydrolysate on degradation rate but also show a measurable toxicity of the detected collagen. The rate of biological degradation of PVA/CH blend was nevertheless generally low. In the composting test, degradation does not exceed 46%, which could be partly caused by the structure of PVA (water affinity, conformation of hydroxyl groups...), the degree of polymerisation (high molecular weight about 40 000) and so on.

The lost of solubility of the material during the composting process was also very interesting and very important finding for a practical applications. This plastics' netting could be caused physically by composting condition - humidity, temperature and also chemically by reaction with humic acids.

The highest negative influence on plant (cress) growth and water ecotoxicity tests had apparently higher Chromium (Cr) content fixed in collagen, which was proved also by chemical analyses.