

**DRAFT**

**SPRÁVA O MONITOROVANÍ A REGISTRÁCI  
BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝCH ODPADOV**

**SPRÁVA PRE MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO  
PROSTREDIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

**TWINNING LIGHT PROJECT SLO\_TLP 0128  
“OPTIMALIZÁCIA NAKLADANIA S  
BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝMI ODPADMI”**

**Autori:**

**Martin Steiner  
Fabrizio Adani  
Enzo Favoino**

**[m.steiner@tbu-austria.com](mailto:m.steiner@tbu-austria.com)  
[fabrizio.adani@unimi.it](mailto:fabrizio.adani@unimi.it)  
[favoinomail@tin.it](mailto:favoinomail@tin.it)**

## Obsah

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>ÚVODNÉ POZNÁMKY .....</b>   | <b>3</b>  |
| 1.1      | Monitorovanie & evidencia prúdov odpadov: Princiálne otázky.....   | 3         |
| 1.2      | Obecné metódy monitorovania prúdov komunálnych odpadov .....   | 6         |
| <b>2</b> | <b>STRATÉGIA MONITOROVANIA ODKLONENIA (ZNÍŽENIA<br/>SKLÁDKOVANIA) ODPADOV .....</b>  | <b>10</b> |
| 2.1      | Analýza triedenia .....  | 11        |
| 2.1.1    | Niekoľko úvodných poznámok k analýzám.....   | 12        |
| 2.1.2    | O štatistike a reprezentatívnom odbere vzoriek .....   | 12        |
| 2.1.3    | “Priamy odber vzoriek”, alebo “odber vzoriek zo zberového vozidla“ .....   | 14        |
| 2.1.4    | O ďalšom spracovaní vzorky .....   | 15        |
| 2.1.5    | O prezentácií výsledkov.....   | 18        |
| 2.2      | Respirometria: nástroj na stanovenie biologickej rozložiteľnosti upravovaného odpadu .....   | 20        |
| 2.2.1    | Odpadové hospodárstvo a bio-produkty .....   | 20        |
| 2.2.2    | Biologická stabilita .....   | 21        |
| 2.2.3    | Testovacie metódy na posudzovanie stability .....  | 23        |
|          | <b>PRÍLOHA 1: Prehľad typických zložiek: možný zoznam.....</b>   | <b>26</b> |
|          | <b>PRÍLOHA 2: Stanovenie biologickej stability v komposte a v odpadoch Indexom Dynamickej<br/>Respirácie (DiProVe – Metóda univerzity v Miláne).....</b> | <b>27</b> |

## 1 ÚVODNÉ POZNÁMKY

### 1.1 Monitorovanie & evidencia prúdov odpadov: Princiipiálne otázky

Pravdepodobne nie je potrebné ďalej vysvetľovať, že *akékoľvek moderné nakladanie s vedľajšími produktmi civilizácie* – vyjadrené jednoduchšie a menej pateticky: akýkoľvek racionálny systém odpadového hospodárstva vyžaduje informácie o

- *celkových množstvách odpadov*
- *ich kvalite*, t.j. zloženia a chemicko-fyzikálnych parametrov, relevantných z hľadiska popísania ich hodnoty a vplyvu konečných produktov na životné prostredie
- *ich množstve v budúcnosti* (t.j. *prognóza*) – aby bolo možné
  - odhadnúť *požiadavky na kapacity* (zber, úprava, zhodnocovanie a zneškodňovanie)
  - odhadnúť *náklady* s tým spojené
  - prípadne vypracovať *alternatívne riešenia*
  - stanoviť *dosiahnuteľné ciele*.

*Požiadavky na informácie narastajú úmerne s úrovňou systému odpadového hospodárstva*: V prípade štruktúry, ktorá nie je nič viac ako skládka odpadov (bez ohľadu na jej technický štandard), administratívny orgán zodpovedný za problematiku odpadov požaduje iba základné informácie typu “*Aké množstvo odpadov (aký objem) vzniká (za deň / rok) ?*” – pričom súčasťou odpovede by mal byť odhad životnosti existujúcej skládky a plánovanie novej skládky.

V takýchto “základných” systémoch postačuje na plnenie požiadaviek evidencie inštalácia váhy na skládke odpadov a podrobné informácie o hmotnosti odpadov ukladaných na skládku odpadov sa použijú na *stanovenie nákladov potrebných na prevádzku zneškodňovacieho zariadenia na jedného pôvodcu* (je treba poznamenať, že technické podmienky *čistenia odpadových vôd* neumožňujú také jednoduché a efektívne prerozdelenie nákladov na jednotlivých pôvodcov).

Tieto systémy sa však stali zložitejšími – čo je spôsobené

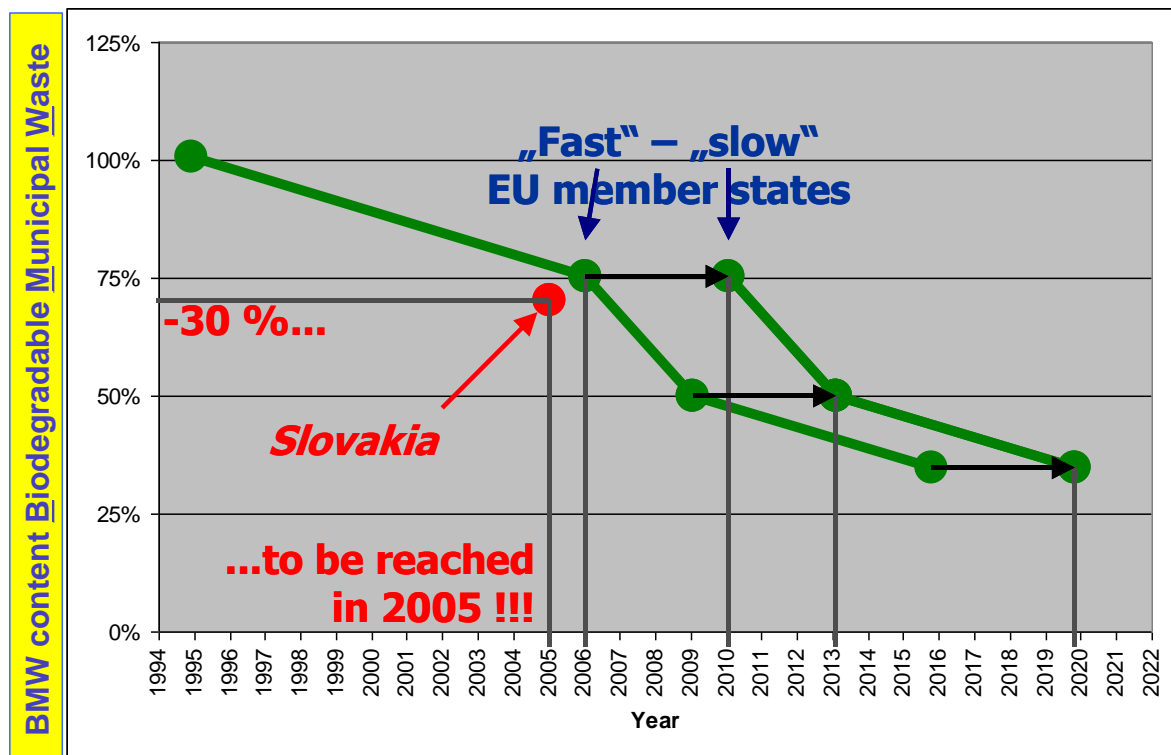
- *nedostatkom kapacít skládok odpadov*  
čo núti zodpovedné orgány znižovať množstvá prúdov odpadov, určených na zneškodňovanie, formou separovaného zberu a využívania vyseparovaných zložiek, alebo znižovaním množstva (zvyškového) zmesového komunálneho odpadu technickými postupmi (predúprava)
- *právnymi požiadavkami,*  
ktoré mali rovnaké alebo veľmi podobné dôsledky (obmedzená dostupnosť skládkovania, zvyšujúce sa náklady na vyspelé systémy skládkovania)

a tak vo všeobecnosti vzrástli požiadavky na informácie o problematike “odpadov”, aby bolo možné odpovedať na rôzne otázky, ako napríklad:

| Otázka  | Požadovaná špecifická informácia   |
|---|--|
| ➤ <i>Bude spĺňať kvalita upraveného špecifického prúdu odpadov – napr. biologicky rozložiteľných odpadov po kompostovaní – požiadavky trhu?</i> | Obsah toxických látok, perzistentných znečisťujúcich látok .....                               |
| ➤ <i>V akom rozsahu sa pôvodca odpadov zapojil do systému separovaného zberu ?</i>  | Obsah recyklovateľných zložiek vo zvyškovom zmesovom komunálnom odpade                         |
| ➤ <i>Splní Slovenská republika cieľ “znižiť o 30 % množstvo biologicky rozložiteľných odpadov v komunálnych odpadoch do roku 2005” ?</i>        | Obsah biologicky rozložiteľných odpadov vo zvyškovom odpade, odhad vývoja na ďalšie obdobie... |

Mimoriadne dôležitý je predovšetkým posledný bod, pretože sa týka stratégie pre nakladanie s biologicky rozložiteľnými odpadmi a plnenia cieľov znižovania množstva odpadov ukladaných na skládky odpadov. Je to konkrétne legislatíva EÚ, ktorá vyzýva k riadnemu monitorovaniu komunálnych odpadov. Obrázok. 1 prezentuje hlavný problém “maximálne množstvo biologicky rozložiteľných odpadov v komunálnych odpadoch” stanovené Smernicou EÚ č.1999/31 („Smernica o skládkach odpadov“).

Z tohto hľadiska je treba cieľ (prezentovaný graficky), ktorý si stanovilo Slovensko (definovaný v Programe odpadového hospodárstva SR) považovať za veľmi náročný. I keď je celkové množstvo ovplyvnené zahrnutím aj odpadu zo žump, čo predstavuje pre Slovensko, vzhľadom na vidiecky spôsob osídlenia, relatívne veľké množstvo.

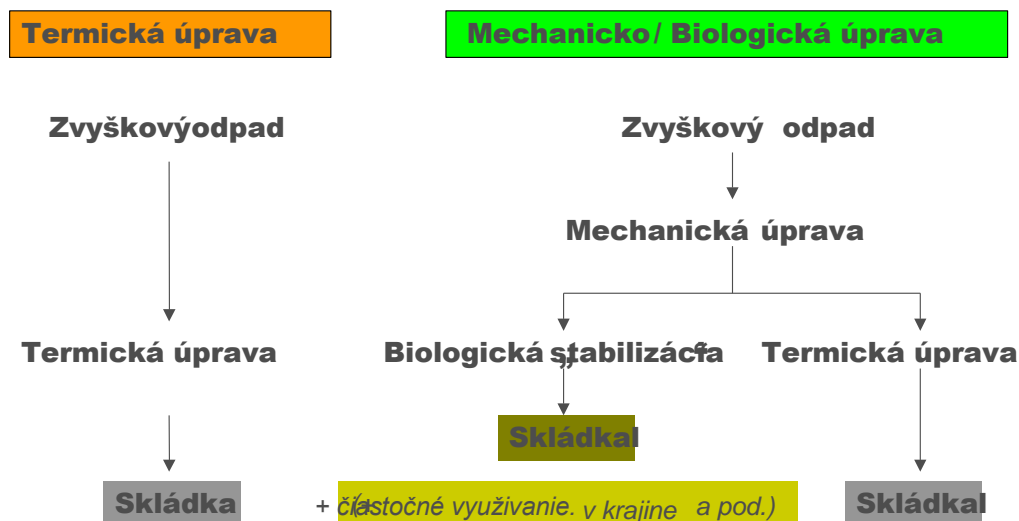


Obrázok. 1: Obsah biologicky rozložiteľných odpadov v komunálnych odpadoch. Smernica EÚ č. 1999/31 ako hlavná hybná sila pre dlhodobé monitorovanie a prognózovanie v oblasti odpadov; porovnanie s cieľmi Slovenskej republiky, stanovenými v Programe odpadového hospodárstva SR do roku 2005

V tejto súvislosti je treba jednoznačne prehlásiť, že každý členský štát EÚ si môže slobodne zvoliť, akú *stratégiu a nástroje* použije na splnenie cieľov, či už to bude

- *odklon od skládkovania* (separovaný zber papiera a biologicky rozložiteľných odpadov), alebo
- *úprava* (stabilizácia biologickými alebo termickými postupmi, ako ukazuje Obrázok. 2),

avšak pri zabezpečení *vhodného monitorovania*.



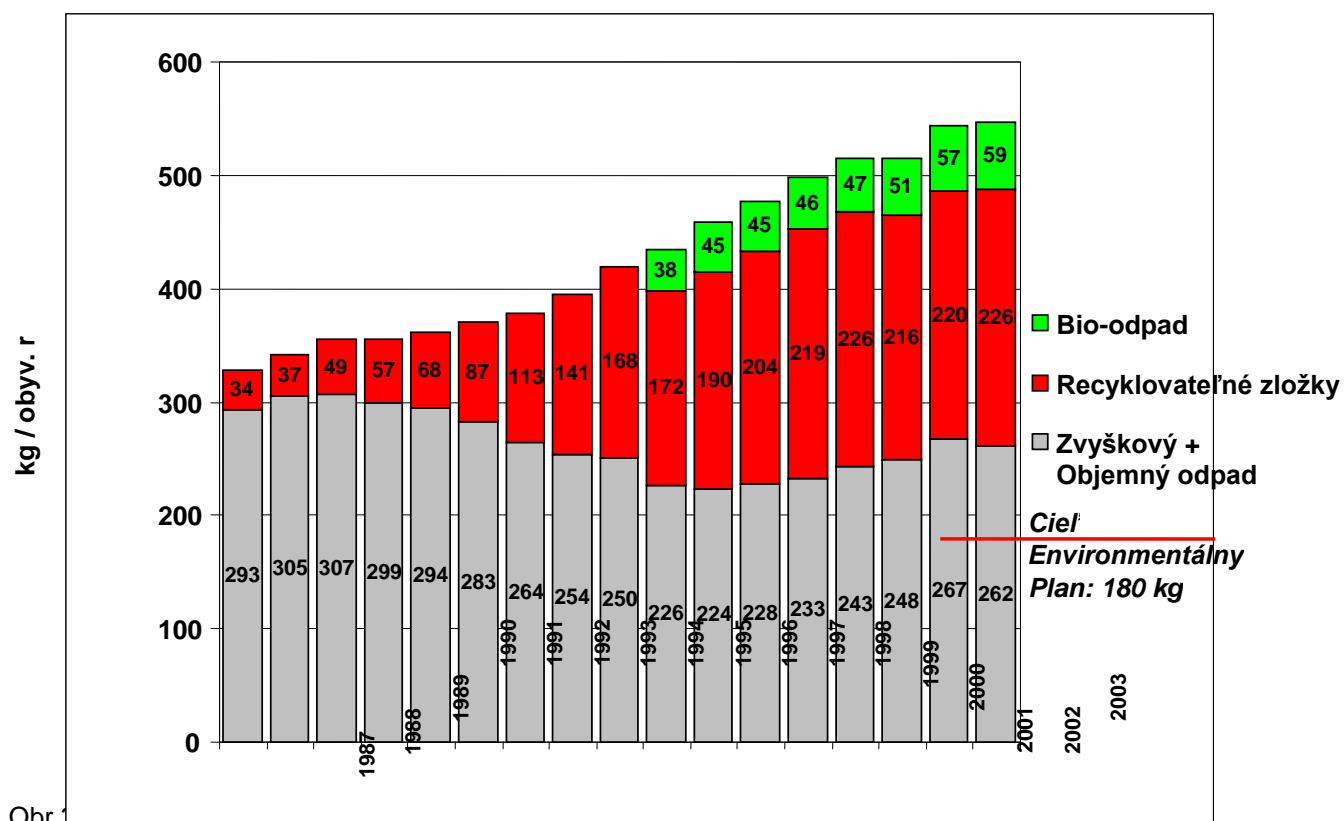
Obrázok. 2: Základné technické možnosti na znižovanie množstva biologicky rozložiteľných odpadov

## 1.2 Obecné metódy monitorovania prúdov komunálnych odpadov

Monitorovanie prúdov komunálnych odpadov je zvyčajne úlohou administratívnych jednotiek, ktoré majú určitú *kontrolnú a riadiacu funkciu* – jednotlivé obce by sa mali zapojiť do monitorovania, v každom prípade sa musí monitorovanie realizovať na vhodnej administratívnej úrovni, prinajmenšom na krajskej úrovni alebo na národnej úrovni. Charakter takéhoto monitorovania je typickou „prácou od písacieho stola“. Nie je k tomu potrebné nič viac, iba telefón a počítač so štandardným programovým vybavením (napr. EXCEL).

Základom akéhokoľvek obecného monitorovacieho systému odpadov je vhodná databáza – hlavne ak sa vyžaduje aj *odhad do budúcnosti* (prognóza) (“ Aké bude množstvo komunálnych odpadov v Slovenskej republike v roku 2010 ?”).

Predpokladá sa, že takáto databáza – v podstate *súčasná množstvá komunálnych odpadov rozpísané na jednotlivé obce* – existuje, s najväčšou pravdepodobnosťou sú k dispozícii aj údaje za uplynulé roky a údaje o “sekundárnych” prúdoch odpadov (vytriedené zložky odpadov, kal z čistiarní odpadových vôd, a podobne). Z nižšie uvedeného príkladu vyplýva, že “história odpadov” evidovaná na väčšom území umožňuje úradu, ktorý má „riadiace funkcie“, odhadnúť trendy jednoduchým *projektovaním nedávneho historického vývoja do (blízkej) budúcnosti*.



Obr. 1

Súčasný dosť typický profil ukazuje celkový medziročný rast odpadov 4 % za rok (= zdvojnásobeniu za 18 rokov!) by mohol byť „riadený“ formou separovaného zberu vzhľadom ku zneškodňovaniu (sivé stĺpce).

Pre účely presnejšieho prognózovania musí byť databáza (= súčasné množstvá) matematicky kombinovaná s faktormi, ktoré ovplyvňujú vývoj v odpadoch. Pri takýchto výpočtoch (zvyčajne robených bežnými tabuľkovými kalkulátormi) časový vývoj komunálnych odpadov sa zvažuje vo vzťahu k jednému alebo viacerým parametrom:

| Parameter  | Zvyčajne aplikovaný na  |
|--|---|
| ➤ Rast populácie ( resp. vývoj populácie, keďže v určitých oblastiach môže byť pozorovaný aj pokles) | Regionálnu úroveň údajov<br>t.j. množstvá odpadov v obciach toho istého územia vynásobené tým istým faktorom, napr. ak štatistický úrad odhaduje rast populácie na západnom Slovensku v rokoch 2004 – 2010 (ročný prírastok obyvateľstva) 1,5 % ⇒<br>Komunálne odpady (množstvo v roku 2004) pre Bratislavu x 1,015 = množstvo v roku 2005,<br>množstvo v roku 2005 x 1,015 = množstvo v roku 2006<br>... rovnako sa násobia aj iné faktory |

|  |   |
|--|---|
| <p>➤ <i>Ekonomický vývoj</i><br/>(zvyčajne vyjadrený ako vývoj HDP): Vznik odpadov do určitej miery súvisí s ekonomickým vývojom <sup>1</sup>.</p>                                 | <p><i>Regionálnu alebo národnú úroveň údajov</i><br/>Odporúča sa aplikovať rast množstva odpadov v závislosti od ekonomického vývoja <i>iba pre „spotrebiteľské“ zložky odpadov (sklo, papier &amp; lepenka, kovy, plasty)</i> – tento parameter a následný parameter (intenzita separovaného zberu) vyžadujú začlenenie <i>údajov o zložení</i> <sup>2</sup> do modelu</p> |
| <p>➤ <i>Intenzita separovaného zberu</i><br/>(podľa zložiek v %).</p>  | <p><i>Obecnú úroveň údajov</i></p>  |
| <p>➤ <i>% obyvateľov zapojených do systému zberu</i><br/>Je možné, že v niektorých vidieckych oblastiach nie všetky bytové jednotky sú zapojené do pravidelného odvozu odpadov</p> | <p><i>Obecnú úroveň údajov</i></p>  |

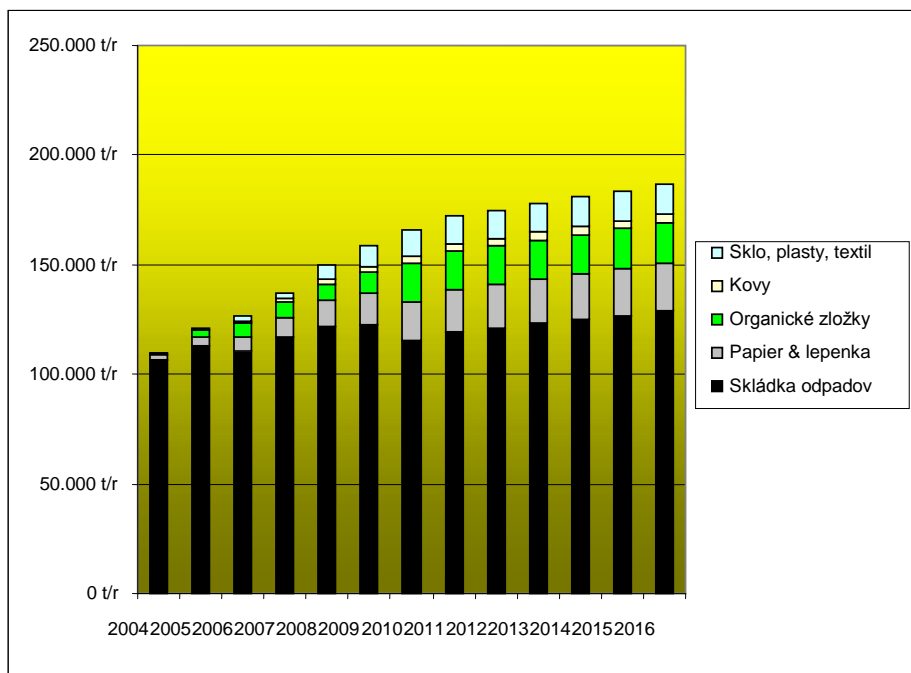
Obmenou uvedených parametrov je možné modelovať akýkoľvek očakávaný vývoj v zmysle *sociálno-ekonomickom* a navrhovať *aktivity v odpadovom hospodárstve*. Takto je možné hodnotiť jednotlivé *scenáre* (Tabuľka 1 uvádza príklad možnej obmeny parametrov), a prognózovať vývoj v jednotlivých obciach, *ako aj v celej krajine* – a teda je možné *modelovať a hodnotiť plnenie cieľov*, vrátane *cieľov pre biologicky rozložiteľné odpady stanovené v smernici EÚ o skládkach odpadov*.

<sup>1</sup> Zvyčajne nie jedna ku jednej, ale pri 50 % raste (t.j. 2 % rast HDP na za následok 1 % rast vzniku odpadov) sa to ukazuje byť rozumné *v prípade, že nie sú k dispozícii úplné a spoľahlivé údaje*

<sup>2</sup> V prvej etape to môže byť *jednoduchý predpoklad bez skúseností*, neskôr pôjde upresnenie reálnych údajov získaných na základe *analýzy*, pozri 2

| Scenár | Rast populácie             | Ekonomický vývoj (HDP)      | Vývoj separovaného zberu  |
|--------|----------------------------|-----------------------------|---|
| 0      | 0,0 % za rok               | + 1,0 % za rok              | Žiaden ďalší vývoj  |
| 1      | 0,14 % za rok <sup>3</sup> | + 3,9 % za rok <sup>3</sup> | Žiaden ďalší vývoj  |
| 2      | 0,14 % za rok              | + 3,9 % za rok.             | “Jednoduchý”, t.j. rovnomerný rast separovaného zberu (cieľ v roku 2010 pre recyklovateľné zložky 40 %, organické zložky) |
| 3      | 0,14 % za rok              | + 3,9 % za rok              | “Rýchly”, t.j. rovnomerný rast separovaného zberu (rovnaké ciele ako v scenári 2), ktoré sa majú dosiahnuť v roku 2006    |

Tabuľka 1: Príklad definovania parametrov pre rôzne scenáre vývoja odpadového hospodárstva



Obrázok 4: "Prognóza vzniku odpadov" v krajinách južnej Európy (údaje nesúvisia priamo s údajmi, ktoré uvádza Tabuľka 1).

<sup>3</sup> Reálne súčasné údaje (2003) pre Slovensko (zdroj: CIA's World Factbook)

## 2 STRATÉGIA MONITOROVANIA ODKLONENIA (ZNÍŽENIA SKLÁDKOVANIA) ODPADOV

Plnenie cieľov Smernice o skládkach odpadov musí byť dôsledne monitorované, aby bolo možné posúdiť efektívnosť zamýšľaných stratégií.

Ako už bolo uvedené, môžeme “odhryznúť” z množstva biologicky rozložiteľných odpadov rôznymi stratégiami, ktoré v zásade súvisia s

- vytriedňovaním pri zdroji vzniku (napr. prevencia vzniku odpadov z obalov; podpora domového kompostovania)
- recykláciou (zavedenie separovaného zberu biologicky rozložiteľných odpadov a ich odvozom do kompostovacieho zariadenia)
- úpravou zvyškového odpadu (tepelným alebo biologickým postupom, aby sa znížila biologická rozložiteľnosť pred jeho uložením na skládku odpadov).

Pre systém monitorovania stratégie (a s tým súvisiacej evidencie výsledkov) je nutné posúdiť, o aké počiatkové množstvo biologicky rozložiteľných odpadov sa znížilo ich skládkovanie pomocou rôznych metód.

V zásade je možné zistiť množstvo biologicky rozložiteľných odpadov zachytených vytriedňovaním a kompostovaním monitorovaním kompostovaného množstva v autorizovaných/povolených zariadeniach. Pravdepodobne oveľa ťažšie bude zistiť, aké množstvo odpadov sa kompostovalo vo dvoroch a záhradách. Okrem toho, výsledok určitého spôsobu nakladania vyžaduje aj zadefinovanie, či výsledný materiál je ešte stále možné považovať “biologicky rozložiteľný” (a do akej miery) alebo nie.

Na základe komplexnosti možných prístupov sa odporúča uprednostniť vytvorenie systému, ktorý bude zameraný na *množstvo biologicky rozložiteľných odpadov vo zvyškovom odpade*, pred pokusom vypočítať zníženie množstva skládkovaných odpadov kombinovaním rôznych príspevkov.

Navrhovaný výpočet môže byť sumarizáciu na základe nasledovnej rovnice:

$$MBW_L = [MSW_R \times (\text{sumBWF})] - (MSW_T) \quad (1)$$

kde:

**MBW<sub>L</sub>** = komunálne biologicky rozložiteľné odpady ukladané na skládku odpadov (výpočet ktorých je naším cieľom)

**MSW<sub>R</sub>** = Zvyškový komunálny odpad (po prevencii/znížení množstva/ separácii/recyklácii) uložený na skládke odpadov

**sumBWF** = súčet frakcií biologicky rozložiteľných odpadov (papier, lepenka, odpad zo zelene, kuchynský odpad, drevo, prírodné textilné vlákna, plienky) ako percentuálny podiel komunálnych odpadov

**MSW<sub>T</sub>** = množstvo upravených komunálnych odpadov, ktoré vyhovujú predpisom akceptovateľnosti ako materiálu *“už nie sú biologicky rozložiteľné”*.

Rovnica (1) je jednoduchá a v zásade vyžaduje nasledovné údaje:

- množstvo komunálnych odpadov, ktoré vzniknú v určitom okrese, kraji alebo na celom území (v závislosti od rozsahu analýzy)
- percentuálny podiel BWF *zistený na základe „triediacej (sorting)“ analýzy*
- posúdenie biologickej rozložiteľnosti upraveného zvyškového odpadu, *zistenej pomocou presných testov.*

Tepelné upravené odpady (popol) je pravdepodobne možné považovať „už za biologicky nerozložiteľné“. V prípade odpadov upravených mechanicko-biologickými postupmi sa používa fermentačný test. Bežne sa v širokom meradle využívajú metódy založené na respirometrii (hodnotenie spotreby kyslíka mikroorganizmami pri rozklade), ktoré sú uskutočniteľné, spoľahlivé a relatívne dostupné. Podľa tejto metódy je pod určitým prahom respirácia – a s tým súvisiaca zvyšková biologická rozložiteľnosť - považovaná za „zanedbateľnú“ a takto upravené materiály už nie sú považované za biologicky rozložiteľné odpady, ktoré spôsobujú záťaž pre skládky odpadov.

V zmysle vyššie uvedených faktov sú v nasledovných kapitolách prezentované na jednej strane metódy analýzy triedenia (sorting analysis) a na druhej strane testovacie metódy posudzovania biologickej rozložiteľnosti.

## 2.1 Analýza triedenia

Analýzy triedenia sa aplikujú na upravený aj neupravený (domový) odpad pred vytriedovaním a po vytriedovaní zložiek. Pomocou týchto analýz je možné získať dôležitý súbor informácií o zložení odpadov, o zmenách, ktorým podliehajú v čase, o recyklačných stratégiách, a pod.

V zmysle navrhovanej stratégie monitorovania sa odporúča ich využitie na stanovenie percentuálneho podielu biologicky rozložiteľných odpadov vo zvyškovom odpade.

Na získanie informácií o fyzikálnom zložení určitých prúdov komunálnych odpadov neexistuje, *okrem ručného vytriedovania jednotlivých zložiek*, žiadna iná – napr. analytická, automatizovaná - metóda.

### 2.1.1 Niekoľko úvodných poznámok k analýzam

- *Doposiaľ neexistuje žiadna použiteľná oficiálna Európska norma pre analýzy triedenia.* Jednotlivé členské krajiny majú svoje vlastné národné „predpisy“ a účelom tohto dokumentu je poskytnúť súhrn praktických odporúčaní, vypracovaných na základe skúseností získaných v priebehu posledných 20 rokov v Európe v rámci mnohých kampaní (hlavne v Nemecku, Rakúsku a Taliansku, kde sa podarilo od konca 70. rokov zhromaždiť relatívne spoľahlivé informácie o zložení komunálnych odpadov, ale aj v zámorí (v súvislosti s prípravou národných a regionálnych plánov odpadového hospodárstva alebo plánovaním rozmiestnenia zariadení na nakladanie s odpadmi).
- *Odporúča sa vypracovať „národnú normu“ pre analýzu triedenia, aby bolo možné získať v rámci krajiny porovnateľné výsledky.* V každom prípade by mali národné orgány koordinovať relevantné programy.
- *Analýzy triedenia sú náročné na pracovné sily a teda sú aj relatívne drahé v porovnaní napr. so štandardnými testmi na odpadovú vodu.* Preto sa oplatí uvažovať o *integrovanej kampani o triedení do PR (práce s verejnosťou) v oblasti odpadového hospodárstva* (školské exkurzie na miesta, kde sa vykonávajú analýzy a pod.).

### 2.1.2 O štatistike a reprezentatívnom odbere vzoriek

Pri príprave plánu odberu vzoriek pre analýzu triedenia je treba upustiť od úplného zoznamu *štatistických predpisov*, ktoré by sa mali aplikovať. Tieto predpisy nie sú totiž špecifické pre odpady a závisia od konkrétnej situácie a od rôznych faktorov, ktoré je treba popísať (napr. aký systém zberných nádob prevažuje, aké sú detaily sociálno-ekonomickej situácie a pod.)

Aby sa podarilo kompenzovať vplyv štatistických odchýlok, je treba určiť *minimálnu veľkosť jednej vzorky* – a základné empirické pravidlo hovorí, že

- analyzovaná vzorka by mala byť 100 (min.) ... 1.000 (vysoko postačujúca) krát väčšia ako je najväčšia/najťažšia zložka nájdená v odpade

Keďže najväčšie zložky (domového odpadu) sú v rozmedzí od 700 g (fľaša z ťažkého skla) do 1.500 g (víkendové noviny), „správna veľkosť“ jednej vzorky by mala byť

- v rozmedzí niekoľko sto, povedzme 500 kg.  
(Vzorku takejto veľkosti zvyčajne spracujú 4 - 5 pracovníci; bežný počet vytriedených frakcií počas jedného dňa môže byť 15 až 30, pozri stranu 17).

Z uvedeného vyplýva jedna dôležitá otázka „Koľko pôvodcov odpadov/obyvateľov je možné popísať jednou 500 kg vzorkou?“ To závisí od

#### 1. špecifického vzniku odpadov a frekvencie zberu

Príklad:

- Frekvencia zberu: *raz do týždňa*
- Špecifický vznik odpadov: *250 kg/obyv. rok.*

Keďže 1 obyvateľ „prispieva“ k jednej vzorke ~ 5 kg, takýmto spôsobom je možné popísať 100 obyvateľov. Aplikáciou vyššie uvedeného „všeobecného štatistického pravidla“ (100 krát viac = min., ... 1.000 krát viac = vysoko postačujúce): takýmto spôsobom je možné popísať sociálno-ekonomickú štruktúru povedzme 10.000 obyvateľov.

Typickú štruktúru obydľí a bytov v krajinách strednej Európy, ako je aj Slovensko, je možné bez konkrétnych poznatkov popísať nasledovne:

- *Obytný typ A* (rodinné domy, priemerná veľkosť záhrady > 200 m<sup>2</sup>)
- *Obytný typ B* (1 až 3 poschodia)
- *Obytný typ C* (vysoké/viacpodlažné budovy)
- *Zmiešaný typ obytný/komerčný*
- *Prevažne poľnohospodársky*
- *Centrálny okres s rozvinutým obchodom*
- ...

Ďalej je treba zvážiť prevažujúci *spôsob vykurovania* (oblasti s centrálnym vykurovaním verzus piecky a kachle s možnosťou individuálneho kúrenia) a *ročné obdobie*: Čoraz častejšie sa uskutočňuje buď jedna kampaň za rok (začiatkom leta) alebo dve kampane (počas vykurovacieho obdobia a mimo vykurovacieho obdobia).

Pre stredne veľké územia (do 300.000 obyvateľov) je možné pripraviť špeciálny program, ktorý trvá do 14 dní. Typický program pre provinciu (1 mil. obyvateľov + ) zvyčajne trvá od 4 do 6 týždňov.

### 2.1.3 “Priamy odber vzoriek”, alebo “odber vzoriek zo zberového vozidla”

Ďalším dôležitým aspektom je otázka, či by sa vzorky domového odpadu mali odoberať

- A) *priamo “pri zdroji”,* ..z množstva dovezeného na zneškodnenie,  
t.j. zo zberného vozidla ?
- t.j. z nádoby paralelne so zberom  
(pri nakladaní do špeciálneho  
vozidla) alebo

Jednoznačne sa odporúča možnosť A. Hlavné nevýhody možnosti B sú:

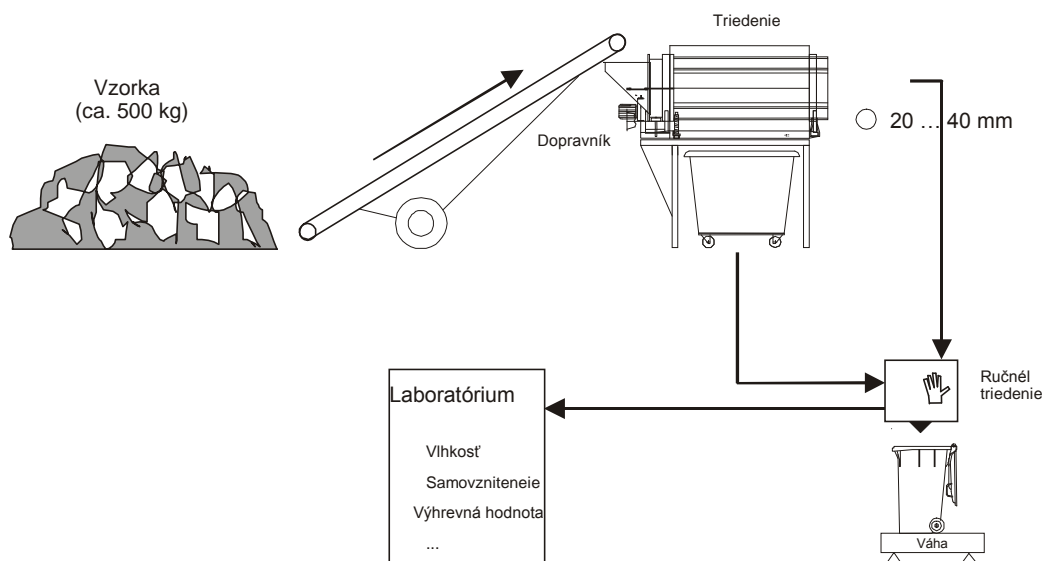
- Veľké množstvo odpadu – napr. stlačený náklad z vozidla o veľkosti povedzme 6 ton – musí byť zredukovaný „kvartáciou“ na vzorku, ktorú treba analyzovať (⇒ Obr. 5).
  - To predstavuje značné riziko z hľadiska bezpečnosti práce, keďže veľký počet vriec na veľkej kope odpadov je nutné ručne otvoriť (poranenia rozbitým sklom, použitými injekčnými striekačkami alebo inými ostrými predmetmi).
  - Miešaním počas kvartácie – ručne alebo pomocou lopaty – vlhký obsah organických frakcií (vlhký kuchynský odpad) kontaminuje ostatné frakcie, ako napr. papier a tak sú výsledky percentuálneho zloženia skreslené.
- Informácie o oblasti odobratej vzorky sa čiastočne stratia – keď sa odoberá vzorka „pri zdroji“ (možnosť A) súčasne sa získavajú informácie o úrovni tvorby odpadov (napr. 30 kontajnerov z danej oblasti, adresy sú súčasťou odoberania vzoriek, 24 z nich poukazuje na domové kompostovanie ...) a navyše, takto odobratá vzorka je reprodukovateľná (v kampani o päť rokov neskôr je možné odobrať vzorky na tých istých adresách).



Obr. 5: Odber vzoriek - možnosť B:  
 Redukovanie množstva odpadov pomocou "kvartácie" na veľkosť vzorky vhodnej pre analýzu

## 2.1.4 O ďalšom spracovaní vzorky

Typické technické zariadenie na analýzu je znázornené na nasledujúcej schéme/obrázku.





Obr. 6: Typické technické zariadenie hlavnej časti analytického procesu:  
Dopravník- sito – triedenie na 30 frakcií

- Odporúča sa *preosievanie vzorky* (kontinuálnym spôsobom cez sito s veľkosťou otvorov od 20 do 40 mm), keďže kontinuálny materiálový tok garantuje *lepší a reprodukovateľný výkon* pracovníkov
- Spracovanie vzorky je jednoduchšie a konzistentnosť je väčšia

## „Extra“ Obrázok

Obr. 7: Pred úprava vzorky: Triediace sito s nastaviteľnou veľkosťou mriežky

- *Ďalšiu časť laboratórnych prác je možné navrhnuť individuálne podľa zamýšľaných otázok relevantného programu (Obr. 8). Obsah vlhkosti by sa v každom prípade mal merať na mieste.*



Obr. 8: Kombinovaná triediaca analýza produktu MBT závodu:  
Stôl na triedenie, výstup z triediaceho sita (vpravo), sušička (vzadu)

- Počet a druh *vytriedených frakcií* závisí od podmienok relevantného programu. V prípade posudzovania stupňa vytriedenia biologicky rozložiteľného odpadu stačí odobrať vzorky zo zvyškového odpadu a triediť
  - papierové výrobky
  - organické zvyšky z kuchyne, vhodné na kompostovanie/anaeróbny rozklad
  - odpad zo záhrad
  - drevo
  - textil z prírodných materiálov
  - plienky.

Ak je zámerom vykonať „kompletnú analýzu zvyškového odpadu“ a stanoviť tak efektívnosť separovaného zberu recyklovateľných zložiek v určitej oblasti, ako aj posúdiť

vhodnosť/dôležitosť nových schém separovania, takáto analýza môže pozostávať z 15 - 30 vytriedených frakcií<sup>4</sup>. V Prílohe 1 je uvedený úplný zoznam frakcií, ktoré je možné vytriediť.

## 2.1.5 O prezentácii výsledkov

Pri analýzach nad 10 vytriedených frakcií sa odporúča prezentovať výsledky nielen formou nevýraznej tabuľky, ale aj graficky. Bežne sa využívajú koláčové grafy, ako je uvedené nižšie:

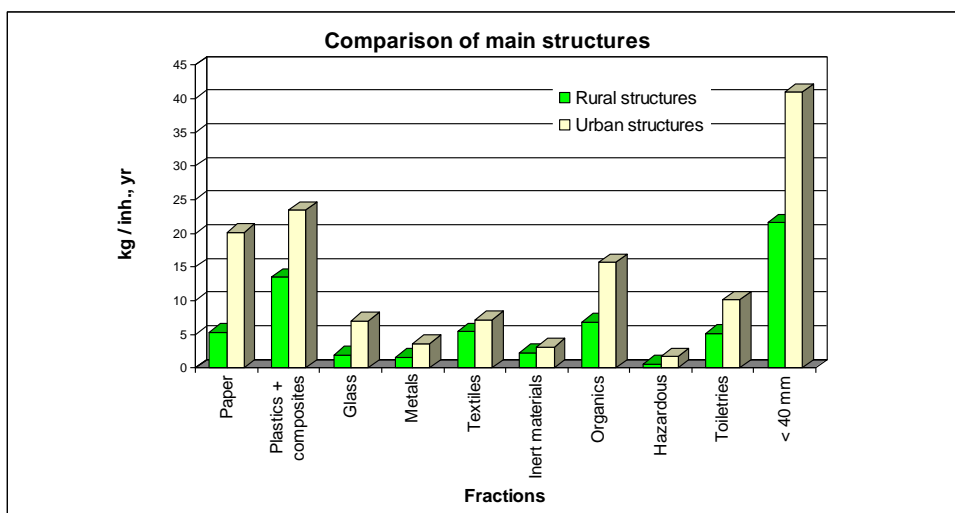


Obr. 9: Komplexné výsledky podrobnej analýzy odpadov (celkový počet vzoriek: 80; celkový počet analyzovaných frakcií: 34, celková hmotnosť analyzovaného odpadu: ≈ 20 t)  
Frakcia „hygienické potreby“ obsahuje *jednorázové plienky*

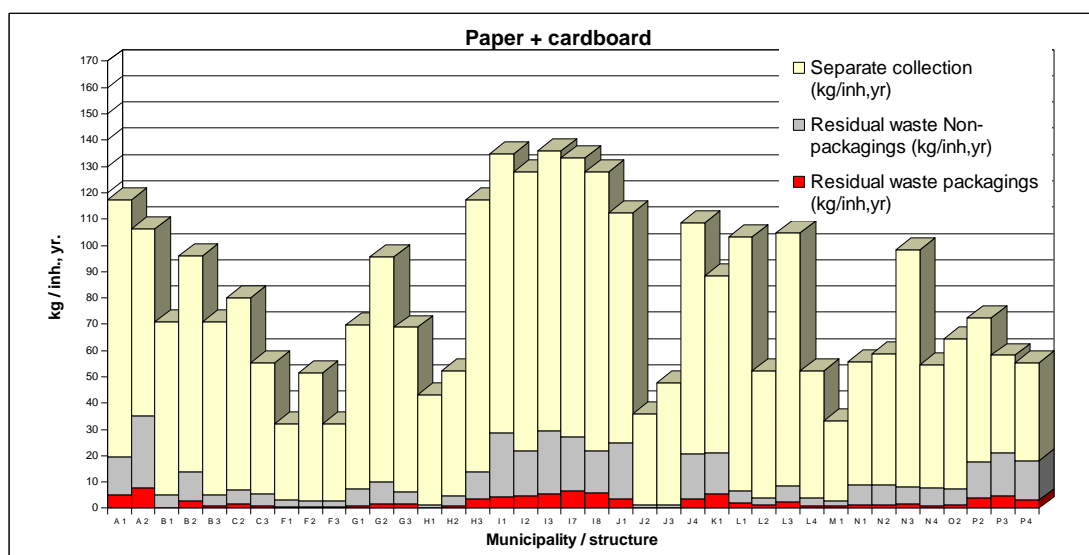
Koláčový graf je perfektným nástrojom na prezentáciu *jednotlivých zložiek*, avšak veľmi dôležitú informáciu o *špecifickom vzniku odpadov* (= ako veľký je koláč ?) nie je možné takto prezentovať, resp. nepúta takú pozornosť, ako si zasluhuje<sup>5</sup>. Z toho dôvodu sa odporúča pracovať so *stĺpcovými diagramami*, hlavne ak ide o porovnávanie (Obr. 10). V ďalšom kroku je vhodné zohľadniť *vytriedené množstvá* (Obr. 11).

<sup>4</sup> Poznámka: pri rovnakých materiáloch je treba rozlišovať *medzi obalom a neobalom* pri určovaní efektívnosti recyklačných schém, ktoré organizuje obalový priemysel v súlade s plnením požiadaviek smernice o obaloch

<sup>5</sup> Príklad: Analýza zvyškového odpadu z 2 obcí:  
Obec A so špecifickým vznikom odpadov 300 kg/obyv. rok ukazuje 10 % papiera.  
Obec B so špecifickým vznikom odpadov 120 kg/obyv. rok ukazuje 15 % papiera, avšak:  
*Avšak je to obec B, kde sa "odhadzuje menej papiera do kontajnerov na odpad" (18 oproti 30 kg na obyv. rok.)*



Obr. 10: Zloženie zvyškového odpadu – porovnanie dvoch štruktúr: Vidiecka/ rural (špecifický vznik odpadov ~ 80 kg/obyv. rok) a mestská/urban (~ 150 kg/obyv. rok).



Obr. 11: Porovnanie rôznych štruktúr z hľadiska jednej recyklovateľnej frakcie (papier a lepenka): Horná časť stĺpca (žltá) prezentuje separovane zbierané množstvá; dve spodné časti prezentujú množstvo nevytriedenej zložky komunálnych odpadov rozdelené na obal (červená) a neobal (sivá)

Vysvetlivky:

Separate collection – Separovaný zber

Residual waste non-packagings – Zvyškový odpad neobaly

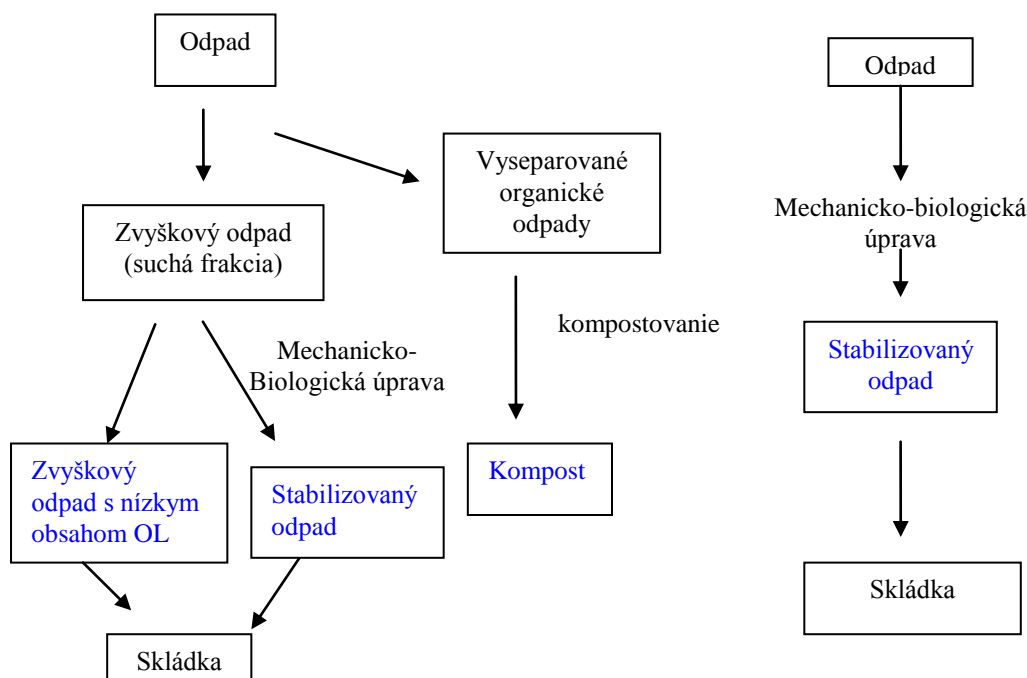
Residual waste packaging – Zvyškový odpad – obaly

## 2.2 Respirometria: nástroj na stanovenie biologickej rozložiteľnosti upravovaného odpadu

### 2.2.1 Odpadové hospodárstvo a bio-produkty

Zníženie množstva biologicky rozložiteľných komunálnych odpadov ukladaných na skládku odpadov je možné dosiahnuť opätovným využitím, kompostovaním, separovaným zberom (napr. papiera, bio-odpadu) a úpravami zvyškového odpadu (ako znázorňuje obrázok 2).

Nezávisle od stratégie odpadového hospodárstva budú konečné produkty/materiály obsahovať určité množstvo organických látok (obrázok 12).



Obr. 12: Znižovanie množstva biologicky rozložiteľných odpadov pomocou separovaného zberu/biologickými úpravami a súvisiace a konečné materiály (modrá farba)

Na základe obrázku 12 (ktorý neobsahuje tepelnú úpravu, v prípade ktorej by sa získal popol s veľmi nízkym obsahom organických látok, určený na skládkovanie) je možné uvažovať o nasledovných typických konečných materiáloch:

- zvyškový odpad (suchú frakcia) s nízkym obsahom organických látok = skládkovanie
- zvyškový odpad (suchá frakcia) s vysokým obsahom organických látok = úprava pred skládkovaním

- stabilizovaný odpad = skládkovanie
- kompost = aplikácia na pôdu

Kompost by mal dosahovať vysokú kvalitu z hľadiska environmentálnych aj agronomických aspektov, čo závisí od zrelosti kompostu. Predovšetkým zvyškový odpad a/alebo stabilizovaný odpad by mal dosiahnuť určitú „stabilitu“, aby sa predišlo typickým vplyvom skládky, ako sú najmä tvorba bioplynu, zápach, priesaky a pod.

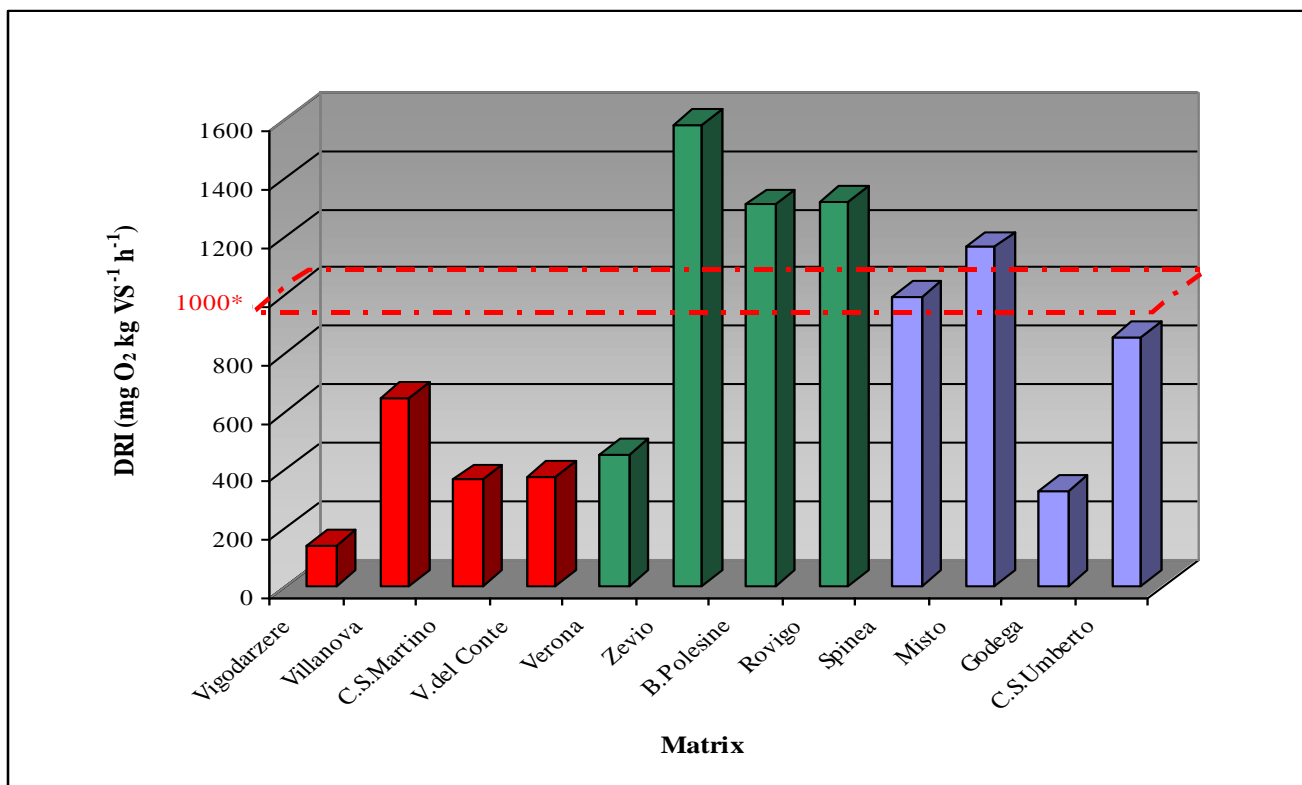
### 2.2.2 Biologická stabilita

Biologické procesy, ako kompostovanie (niekedy spojené s anaeróbnym rozkladom), bio-stabilizácia a bio-sušenie, sa využívajú v odpadovom hospodárstve na konverziu odpadov na produkty použiteľné v poľnohospodárstve (Chen a Inbar, 1993), na úpravu zvyškového odpadu za účelom bezpečného zneškodnenia na skládkach odpadov (Wiemer a Kern, 1996; Adani et al., 2000) a na prípravu paliva na báze odpadov (RDF; Calcaterra et al., 2000). Bez ohľadu na konkrétny proces je cieľom všetkých uvedených metód dosiahnuť určitú úroveň biologickej stability pomocou aeróbného (a niekedy anaeróbného) rozkladu organických látok. Stupeň biologickej stability ovplyvňuje mnohé dôležité aspekty, ako je potenciálny vznik zápachu, produkcia zvyškového bioplynu, fytotoxicita, schopnosť potláčať choroby rastlín, a pod.

“*Biologická stabilita*” určuje stupeň, do ktorého sa organické látky ľahko rozkladajú (Lasaridi a Stentiford, 1996). Identifikuje konkrétny bod, dosiahnutý v procese rozkladu a reprezentuje gradáciu podľa definovanej stupnice hodnôt, čo umožňuje porovnávanie procesov rozkladu (Lasaridi and Stentiford, 1996). Biologická stabilita upravovaných materiálov, nielen počas aeróbnej biologickej úpravy ale aj v konečných produktoch, je dôležitá z hľadiska efektívnej kontroly procesu, efektívneho využívania produktu (v prípade kompostu zo separovane zbieraného bio-odpadu) alebo bezpečného skládkovania (v prípade upraveného zvyškového odpadu). Poskytuje tiež cennú informáciu o efektívnosti procesu a optimalizácii jeho riadenia; (Lasaridi and Stentiford, 1998). Stabilita súvisí s nasledovnými skutočnosťami (Iannotti et al., 1993; Müller et al., 1998) (Obr. 13 a tabuľka 2):

- potenciálny vznik zápachu,
- možnosť ďalšej degradácie biomasy,
- produkcia zvyškového bioplynu
- potenciál opätovného rastu patogénov
- fytotoxicita po aplikovaní výrobku
- schopnosť potlačiť choroby rastliny.

Parametre procesu, ako sú rýchlosť prúdenia vzduchu a čas zadržania, významne ovplyvňujú dosiahnutie určitej stability a je možná ich optimalizácia prostredníctvom určitej procesnej schémy.



Obr. 13. Biologická stabilita meraná vo zvyškovom odpade z kalendárového zberu (červená), kontajnerového zberu (zelená) a dvojnásobného kontajnerového zberu (modrá) (Adani et al., 2003);

Tabuľka 2. Hodnoty biologickej stability (DRI) a korešpondujúce jednotky (OU) pre upravovaný odpad pri rôznom stupni biologickej stability (Adani et al., 2004)

| DRI<br>(mg O <sub>2</sub> kgSV <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) | O.U.<br>(o.u./m <sup>3</sup> ) |
|--|--------------------------------|
| 314  | 300                            |
| 343  | 300                            |
| 508  | 700                            |
| 712  | 320                            |
| 856  | 800                            |
| 862  | 800                            |
| 909  | 900                            |
| 969  | 1100                           |
| 1118   | 1700                           |
| 1337   | 3400                           |
| 2005   | 2300                           |
| 2467   | 10000                          |
| 2885   | 6000                           |
| 3318   | 20000                          |
| 3746   | 17000                          |
| 5142   | 24000                          |
| 5172   | 24000                          |
| 6600   | 21000                          |

### 2.2.3 Testovacie metódy na posudzovanie stability

Pre stanovenie biologickej stability boli navrhnuté viaceré analytické metódy (Chanyasak a Kubota, 1981; Iannotti et al., 1992; Adani et al., 1995; Avnimelech et al., 1996; United States Composting Council, 1997a).

V minulosti bola napr. navrhnutá produkcia zvyškového bioplynu a jeho kalorická hodnota a súčasne sa premietla do legislatívy (napr. v Rakúsku a Nemecku). Obidve metódy sú vhodné na kvalifikovanie produktov. Analýza produkcie zvyškového bioplynu je časovo náročná (20-90 dní) a vyžaduje vysoké náklady. Okrem toho môžu byť výsledky v prípade čerstvého materiálu kontroverzné. Preto sa takéto analýzy odporúčajú iba ako doplnkové.

Výhrevná hodnota neodráža v dostatočnej miere biologickú stabilitu a niekedy dochádza k chybám. Niektoré národné predpisy implementujúce smernicu o skládkach odpadov ustanovujú výhrevnú hodnotu za prahovú pre príjem odpadu na skládku. Avšak v takomto prípade je cieľom predpisu obmedziť skládkovanie organických látok a tak čo najviac zhodnotiť energiu obsiahnutú v odpade. Takže týmto parametrom sa nemeria *biologická stabilita*.

Vedci venovali značnú pozornosť stanoveniu respiračnej aktivity, či už zameraním sa na produkciu CO<sub>2</sub> (Naganawa et al., 1990; Willson and Dalmat, 1986) alebo na spotrebu O<sub>2</sub> (Iannotti et al., 1992; Paletski and Young, 1995; Lasaridi and Stentiford, 1998). Pre účely respirometrie sa preferuje spotreba kyslíka (Lasaridi and Stentiford, 1996) a viaceré medzinárodné štandardizačné inštitúcie (American Public Health Association, 1985; American Society for Testing and Materials, 1992; United States Composting Council, 1997b) ju navrhli za štandardnú metódu.

Respiračné testy založené na spotrebe kyslíka sú buď „statické“ alebo „dynamické“ (Scaglia et al., 2000). Spotreba kyslíka sa meria bez intenzívneho kontinuálneho prevzdušňovania (metóda statická) alebo s jeho pomocou (metóda dynamická).

Statické metódy, ako často využívaná metóda Sapromat (Binner and Zach, 1999), SOLVITA (Changa et al., 2003), alebo metódy používané Radou pre kompostovanie v USA, majú jednu nevýhodu. Neumožňujú disperziu kyslíka v biomase, čím sa obmedzuje difúzia a transfer hmoty (Paletski and Young, 1995). Zníženie difúzie je dôležitým aspektom, pretože obmedzený transfer kyslíka cez vrstvy biomasy a do bakteriálnej bunky sa považuje za rýchlosť limitujúci krok v biologických reakciách fixovaných v tenkých vrstvách, ktoré existujú v organických materiáloch (Paletski and Young, 1995). Preto môže dôjsť pri používaní statických metód *k podhodnoteniu spotreby kyslíka, hlavne v prípade „čerstvých“ organických materiálov*. Okrem toho z dôvodu zabezpečenia aeróbnych podmienok sa testuje iba obmedzené množstvo materiálu. *Tieto*

skutočnosti negatívne ovplyvňujú spoľahlivosť hodnotenia heterogénnych materiálov, akým je upravený zvyškový odpad, keďže malá vzorka nemôže spoľahlivo reprezentovať celý materiál.

Tieto problémy je možné vyriešiť aeráciou biomasy (Adani et al., 2001) respektíve kontinuálnym miešaním biomasy a prerušovaným prevzdušňovaním v kvapalnom skupenstve (metóda SOUR) (Lasaridi a Stentiford, 1998). Metóda SOUR má ďaleko od reálnych podmienok z troch dôvodov: požitie tuhej biomasy v kvapalnom médiu, použitie veľmi malých čiastočiek (t.j., <1 mm) a závislosť SOUR od vodorozpustnej frakcie (Adani et al., 2003a).

Záverom je možné konštatovať, že i keď biologickú stabilitu je možné testovať všetkými respirometrickými metódami, **dynamické metódy by sa mali uprednostňovať hlavne v prípadoch už upravovaného odpadu alebo „mladých“ (t.j. pomerne nestabilných) materiálov.**

V dokumente Návrh biologickej úpravy v EÚ (The 2<sup>nd</sup> Draft of Biological treatment of EU, 2002) sa uvádza dynamická metóda na stanovenie biologickej stability.

AT<sub>4</sub> (alebo Sapromat) sa tiež považuje za užitočnú metódu a nie je v rozpore s platnou legislatívou napr. v Nemecku. Má však určité obmedzenia:

- vysoké náklady (40.000 €) ;
- je účinný iba pre jemnozrnné materiály, získané preosievaním; preto testovacia vzorka nie je reprezentatívna pre všetky materiály, hlavne ak sa má testovať upravený zmiešaný odpad;
- z tohto dôvodu je použitie AT<sub>4</sub> obmedzené len na prečistené biostabilizované materiály;
- je to statická metóda, ktorá podhodnocuje respirometrickú aktivitu hlavne pri testovaní čerstvých materiálov.

Dynamická metóda je uprednostňovaná hlavne v USA (American Standard Testing Material ASTM, 1996), kde sa využíva na stanovenie biologickej stability kompostov a podobných materiálov. Aj v Taliansku už viaceré regióny zaviedli Dynamickú metódu (či už na stanovenie akceptovateľnosti kompostu a upraveného odpadu určeného na skládkovanie alebo na stanovenie zvyškovej fermentovateľnosti, či potenciálnej produkcie zápachu).

Preto sa Index Dynamickej Respirácie (*Respiration Index - DRI*) odporúča ako najvhodnejšia metóda na stanovenie biologickej stability.

Podrobný popis testovacej metódy je uvedený v prílohe 2.

### 2.2.3.1 Posudzovanie stability na Slovensku

V súčasnosti na Slovensku nie je žiadne laboratórium, ktoré by vykonávalo respirometrickú analýzu. Počas našej návštevy sme však zistili veľký záujem o takúto činnosť či už vo verejnom alebo v súkromnom sektore (napr. Ministerstvo životného prostredia SR, Slovenská agentúra životného prostredia, Ekotoxikologické centrum v Bratislave a Slovenská technická univerzita v Bratislave).

V Českej republike jedno takéto laboratórium funguje. Vzhľadom na úroveň implementácie stratégií v odpadovom hospodárstve a na veľkosť krajiny by pre Slovensko mohlo stačiť jedno dobre vybavené laboratórium. Investičné náklady sú relatívne nízke (približne 15.000 €).

*Skôr ako sa takéto laboratórium zriadi, je možné využívať jednoduchú a aplikovateľnú metódu, t.j. samozahrievací test.* Podrobnosti tejto metódy uvádza USA Rada pre kompostovanie v USA. (1997). V stručnosti povedané, táto metóda využíva opätovné zahriatie biomasy vloženej do špeciálneho (Dewar) kontajneru. Rozdiel medzi teplotou biomasy a teplotou miestnosti udáva „triedu stability“.

Tabuľka 3 uvádza limity biologickej stability a vzájomné porovnávanie metód testovania.

Tabuľka 3. Porovnanie hodnôt pre DRI, ASTM a test samozahrievania (1996)

| Klasifikácia kompostu pomocou ASTM | DRI (ASTM)<br>mg O <sub>2</sub> kg VS <sup>-1</sup> 96h <sup>-1</sup> | DRI <sub>DiProVe</sub><br>mg O <sub>2</sub> kg VS <sup>-1</sup> 96h <sup>-1</sup> | DRI <sub>DiProVe</sub><br>mg O <sub>2</sub> kg VS <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> | Samozahrievanie - Test |
|------------------------------------|---|---|---|------------------------|
| Kompost 1                          | 258000  |   |   | II                     |
| Kompost 2                          | 109000  |   |   | III                    |
| Kompost 3                          | 35000   | 57000   | <b>1000</b>   | IV                     |
| Kompost 4                          | 23000   | 29000   | <b>500</b>  | IV                     |
| Kompost 5                          | 20000   |   |   | IV                     |
| Kompost 6                          | 8000  |   |   | IV                     |

## PRÍLOHA 1: Prehľad typických zložiek: možný zoznam

| Oblasť odberu vzorky:                             |               | List č.:         | Dátum odberu: |
|---|---------------|------------------|---------------|
| Dátum:  | Objem vzorky: | Hmotnosť vzorky: |               |
| <b>Zložka:</b>                                    |               |                  |               |
| Noviny  |               |                  |               |
| Lepenka (obalový materiál)                        |               |                  |               |
| Ostatné lepenky                                   |               |                  |               |
| Papierové obaly                                   |               |                  |               |
| Ostatný papier (čistý)                            |               |                  |               |
| Ostatný papier, (vlhký)                           |               |                  |               |
| Plastové fólie, obalové                           |               |                  |               |
| Plastové fólie, ostatné                           |               |                  |               |
| „Tvrde“ plastové obaly                            |               |                  |               |
| PET fľaše   |               |                  |               |
| Ostatné „tvrdé“ plasty                            |               |                  |               |
| Polystyrénová pena                                |               |                  |               |
| Viacvrstvé obaly na nápoje                        |               |                  |               |
| Ostatné zmesné obaly                              |               |                  |               |
| Ostatné zmesné materiály                          |               |                  |               |
| Elektroodpad                                      |               |                  |               |
| Obalové sklo (zelené/hnedé/biele)                 |               |                  |               |
| Ostatné sklo                                      |               |                  |               |
| Kovové obaly (železné/neželezné)                  |               |                  |               |
| Ostatné kovy                                      |               |                  |               |
| Textilné obaly                                    |               |                  |               |
| Ostatný textil                                    |               |                  |               |
| Drevené obaly                                     |               |                  |               |
| Ostatné drevo                                     |               |                  |               |
| Inertné obaly (keramické fľaše...)                |               |                  |               |
| Ostatné inertné materiály                         |               |                  |               |
| Organické materiály (zo záhrad)                   |               |                  |               |
| Organické materiály (kuchynské) kompostovateľné   |               |                  |               |
| Organické materiály (kuchynské) nekompostovateľné |               |                  |               |
| Jednorázové plienky                               |               |                  |               |
| Hygienické potreby                                |               |                  |               |
| Nebezpečné materiály                              |               |                  |               |
| Residuals overflow                                |               |                  |               |
| < 40 mm   |               |                  |               |

## **PRÍLOHA 2:** Stanovenie biologickej stability v komposte a v odpadoch Indexom Dynamickej Respirácie (DiProVe – Metóda univerzity v Miláne)

### **1. Úvodné poznámky**

Index Dynamickej Respirácie (DRI) je stanovený na základe vyčíslenia spotreby kyslíka za jednotku času, ktorý je potrebný na biologickú degradáciu fermentovateľných frakcií obsiahnutých v biomase. Podľa operatívnych podmienok vytvorených pre respirometrický test je index definovaný ako Reálny Index Dynamickej Respirácie (RDRI), ak sa vykonáva v laboratórnej vzorke. Potenciálny Index Dynamickej Respirácie (PDRI) je definovaný pre vzorku, ktorá je štandardizovaná pre hlavné procesné parametre (umožňujúce vykonávať činnosť v kontrolovaných podmienkach a vzájomne porovnávať výsledky rôznych testovaných vzoriek). Respirometrické údaje tak môžu byť vyjadrené v jednotkách hmotnosti Celkových tuhých látok (Total solids – TS) z Prchavých tuhých látok (Volatile Solids - VS).

### **2. Odber vzoriek z kompostu (alebo odpadu)**

Na odber reprezentatívnej vzorky na stanovenie respiračného indexu bola použitá UNI metóda Americkej rady pre kompost (The US Composting Council methods for SRF or compost sampling; UNI, 1992; The U.S. Composting Council, 1997a). Objektívna vzorka pre respirometrický test býva v rozmedzí od 5-50 litrov materiálu.

#### Stanovenie Reálneho indexu dynamickej respirácie (RDRI)

Vzorka odobratá popísaným spôsobom sa použije na stanovenie RDRI (cfr. 6).

#### Stanovenie Potenciálneho indexu dynamickej respirácie (PDRI)

V prípade stanovenia PDRI, chápaného ako miera mikrobiologickej aktivity v štandardných podmienkach, nasledovné parametre sú korigované v rámci nasledovných limitov:

vlhkosť = 750 g kg<sup>-1</sup> záchytnéj kapacity vody;

pH = 6.5 – 8.5;

hustota < 0.70 Mg m<sup>-3</sup>.

### **3. Charakteristika vzorky**

**3.1. Stanovenie vlhkosti** (The U.S. Composting Council **b**, 1997)

**3.2. Stanovenie pH** (The U.S. Composting Council **c**, 1997)

**3.3. Stanovenie hustoty** (The U.S. Composting Council **d**, 1997)

### **4. Štandardizácia vzorky**

## 4.1 Štandardizácia vlhkosti vzorky

### 4.1.1 Stanovenie záchytnej kapacity vody ( water holding capacity- WHC)

Test na stanovenie maximálneho zachytenia vody WHC sa vykoná nasledovne:

- Stanoví sa vlhkosť vo vzorke (cfr. 3.1).
- Vloží sa bavlnené vrece v dostatočne širokom a hlbokom kontajneri (takým spôsobom, že medzi vrecom a stenami nádoby bude dostatočný voľný priestor).
- Naváži asi 1000 g vzorky ( $P_i$ ) a vloží sa do vreca vo vnútri kontajnera
- Zaleje sa vodou až kým vzorka nie je úplne ponorená
- Bavlnené vrece sa uzatvorí
- Vreco so vzorkou bude držať pod vodou tak, že sa použije závažie (avšak nie veľmi ťažké, aby nedošlo k stlačeniu vzorky, ani k pritlačeniu vreca ku dnu kontajnera).
- Ponorenie vo vode musí trvať 12 hodín, potom sa vyberie a nechá sa sušiť 6 hodín.
- Materiál sa odstráni opatrne z vreca a odváži sa ( $P_f$ ).

Voda absorbovaná počas testu sa stanoví ako rozdiel medzi hmotnosťou vzorky pred testom a po teste. Tá spolu s vodou už obsiahnutou vo vzorke predstavuje maximálne množstvo vody, ktoré môže vzorka absorbovať a definuje podmienku záchytnej kapacity vody.

### 4.1.2 Výpočet WHC

$$M_{av} = P_i * M_{rv} / 1000$$

$$TS_{av} = P_i - M_{av}$$

$$WHC_{av} = P_f - TS_{av}$$

$$WHC_{75av} = 0.75 * WHC_{av}$$

$$J = WHC_{75av} - M_{av}$$

Kde:

$P_i$  = pôvodná hmotnosť vzorky (g)

$P_f$  = konečná hmotnosť vzorky (g)

$M_{av}$  = absolútna vlhkosť (g)

$M_{rv}$  = relatívna vlhkosť ( $g\ kg^{-1}\ w.w.$ )

$TS_{av}$  = absolútna hodnota tuhej látky (g)

$WHC_{av}$  = absolútna hodnota záchytnej kapacity vody (g)

$WHC_{75av} = 750\ g\ kg^{-1}\ WHC_{av}$  (g)

J = voda pridaná k  $P_i$  na dosiahnutie  $750\ g\ kg^{-1}\ WHC$  (g)

Po stanovení J vzorka môže byť navlhčená tak, že jej vlhkosť je štandardizovaná na hodnotu  $750 \text{ g kg}^{-1}$  WHC za účelom stanovenia Indexu dynamickej respirácie (DRI).

$$X = J * P_{\text{DRI}} * P_i^{-1}$$

kde:

$P_{\text{DRI}}$  = hmotnosť vzorky na stanovenie (g)

X = voda, ktorú treba pridať k  $P_{\text{DRI}}$  na dosiahnutie  $75 \text{ g kg}^{-1}$  WHC (g)

#### **4.2 Štandardizácia pH vzorky (ak jeho hodnota nie je v indikovanom rozmedzí)**

pH analyzovanej vzorky sa koriguje opätovným navlhčením suchej hmoty za použitia zriedených vodných kyslých (kyselina sírová) alebo zásaditých (hydrouhličitan vápenatý) roztokov.

#### **4.3 Štandardizácia hustoty (ak hodnota nie je v uvedenom rozmedzí)**

Použije sa biologicky inertný materiál.

### **5. Materiály**

Respiračný test sa vykonáva za použitia „kontinuálneho prietokového aeróbného respirometra“.

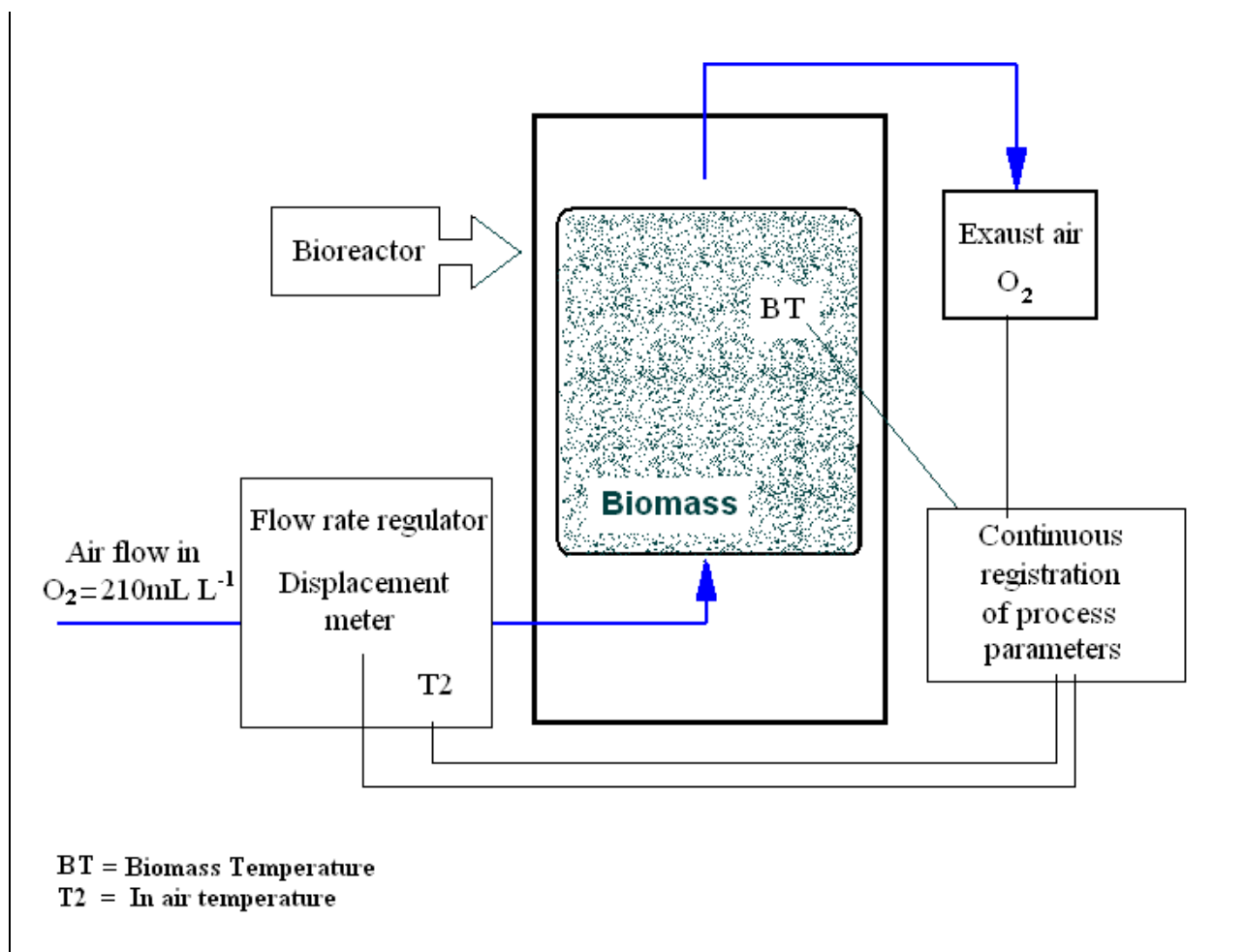
Respirometer (obrázok 1) pozostáva z:

- adiabatického reaktora o kapacite vyjadrenej v litroch, rovnej vzorke priemernej veľkosti, vyjadrenej v milimetroch (napr. pre priemernú vzorku 10 mm bude objem reaktora 10 litrov);
- aeračného systému s prietokovým regulátorom a vysunutým metrom;
- systému na meranie koncentrácie kyslíka;
- merania vnútornej a vonkajšej teploty vo fermentovanej biomase;
- systému kontinuálneho zaznamenávania koncentrácie kyslíka, teploty a prúdenia vzduchu.

### **6. Postup**

Index dynamickej respirácie (DRI) sa určuje na základe kvantifikovania hodinovej spotreby kyslíka testovanou biomasou. Na to sa využíva vyššie popísaný kontinuálny

adiabatický respirometer. Pripravená vzorka sa vloží do respirometra, kde sa vystaví kontinuálnemu prevzdušňovaniu, pri garantovaní koncentrácie kyslíka vo vzduchu na výstupe viac ako  $140 \text{ mL l}^{-1}$ . Počas testovania sa vzorka udržiava vo fermentore 1 až 4 dni v závislosti od trvania lag fázy. Meranie sa vykonáva v 2 hodinových intervaloch.



Obrázok 1. Schéma aeróbného adiabatického dynamického respirometra

## 7. Výpočet DRI

Meranie množstva kyslíka spotrebovaného aeróbnou biologickou činnosťou sa odvodí z rozdielu koncentrácie kyslíka na vstupe a na výstupe respirometra a vypočíta sa ako priemer momentálnych respirometrických indexov ( $DRI_i$ ) (rovnica 1) počas 24 hodinovej najvyššej respirácie biomasy (rovnica 2).

$$DRI_i = Q * h * (O_{2i} - O_{2f}) * V_g^{-1} * 31.98 * VS^{-1} * h^{-1} \quad 1.1.1.1.1$$

kde:

$DRI_i$  = Index dynamickej momentálnej respirácie (meranej každé 2 hodiny);

Q = prúd vzduchu ( $\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$ );

$(O_{2i} - O_{2f})$  = rozdiel v koncentrácii kyslíka na vstupe a výstupe z respirometra ( $\text{mL l}^{-1}$ )

$V_g$  = objem ktorý zaberá jeden mól plynu. Za predpokladu, že štandardné hodnoty  $T_1 = 273.15 \text{ K}$  a  $P_1 = 1 \text{ atm}$  sa rovnajú  $V_{g1} = 22.4 \text{ L mol}^{-1}$ , korigovaná hodnota  $V_g$  ( $V_{g2}$ ) pri teplote  $T_2$  sa vypočíta pomocou rovnice:  $V_{g2} = (V_{g1} * T_2 / T_1)$ , kde T je Kelvinova teplota.

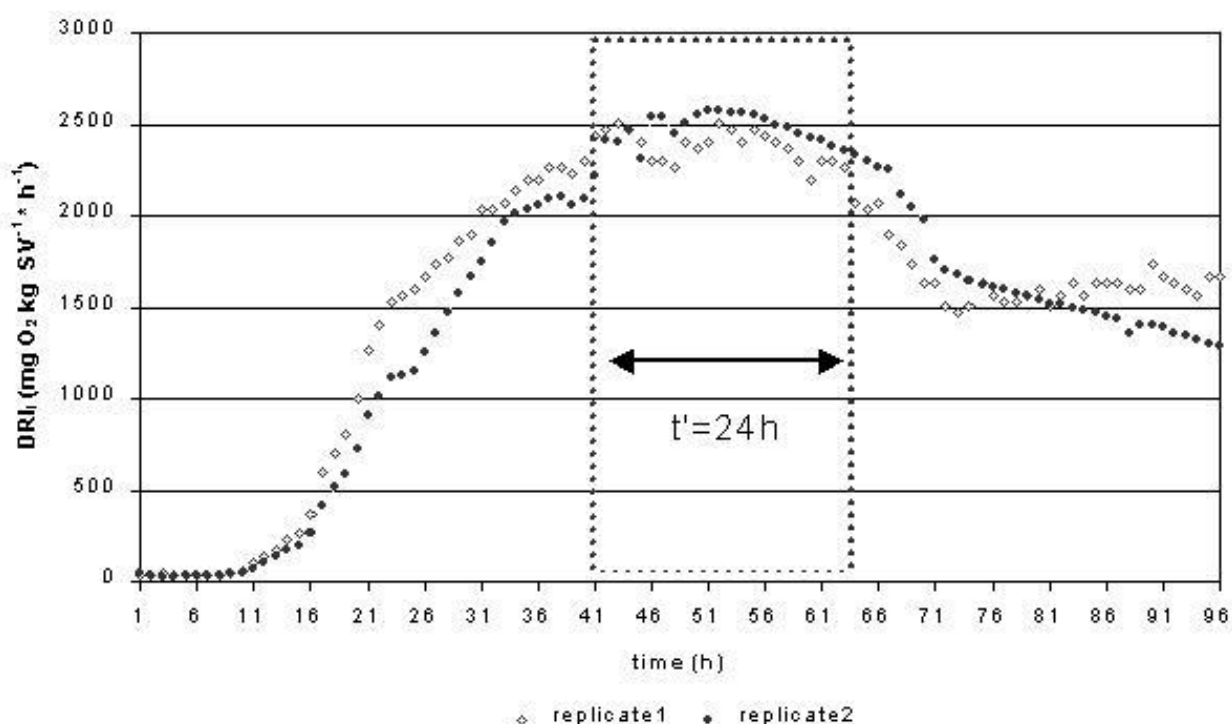
31.98 = molekulová váha kyslíka ( $\text{g mol}^{-1}$ );

VS (volative solids) = prchavé tuhé látky (kg). Aeróbnu biologickú aktivitu je možné vyjadriť na celkové tuhé látky (total solids - TS).

h = meranie v hodinách (2h).

$$DRI = \frac{\sum_{i=0}^{24} DRI_i}{12} \quad \text{Eq. 2}$$

kde  $t'$  je časový úsek (24 h) počas ktorého sa meria maximálna hodnota DRI (Obrázok 2).



Obrázok 2. Priebeh DRI

## 8. Poznámky

Podmienky popísanej metódy by mali simulovať čo najvernejšie realitu, v ktorej sa testované substráty nachádzajú počas celého cyklu biologického spracovania.

Kontinuálne prevzdušňovanie, ktorému je vystavený daný materiál počas testovania, je nepochybne silným bodom celého procesu, ktorý sťažuje koncentráciu  $O_2$  a je fenoménom limitujúcim difúziu a disperziu  $O_2$ . Princíp merania spotreby dynamickým respirometrickým indexom, založeným na meraní rozdielu koncentrácie na vstupe a výstupe reaktora, umožňuje realizovať merania v ľubovoľne veľkých reaktoroch a poskytuje optimálnu reprodukovateľnosť merania v reaktoroch rôznej veľkosti (od 10 do 50 l); okrem toho tu nedochádza k problémom s kalkuláciou priestoru pre voľný vzduch (FAS).

V prípade vysoko heterogénneho odpadu ( $\varnothing = 5$  cm), reaktor s minimálnou kapacitou 50 litrov umožňuje vytvoriť alikvotné vzorky v dostatočnom množstve (20 – 50 litrov) a teda správne výsledky.

## 9. Navrhované limity stability

### 9.1 Limity biologickej stability navrhované metódou DiProVe

| Druh biomasy                             | PDRI   |
|--|--|
| kompost (alebo odpad) strednej stability | $\leq 1000 \text{ mg O}_2 \text{ kg VS}^{-1} \text{ h}^{-1}$ |
| kompost (alebo odpad) stabilný           | $\leq 500 \text{ mg O}_2 \text{ kg VS}^{-1} \text{ h}^{-1}$  |

### 9.2 Vzťah medzi limitmi podľa DiProVe a ASTM (1996)

| Klasifikácia kompostu ASTM | DRI (ASTM) $\text{mg O}_2 \text{ kg VS}^{-1} 96\text{h}^{-1}$ | DRI <sub>DiProVe</sub> $\text{mg O}_2 \text{ kg VS}^{-1} 96\text{h}^{-1}$ | DRI <sub>DiProVe</sub> $\text{mg O}_2 \text{ kg VS}^{-1} \text{ h}^{-1}$ | Test samozahrievania | Biologická stabilita |
|----------------------------|---|---|--|----------------------|----------------------|
| Kompost 1                  | 258000  |   |  | II                   |                      |
| Kompost 2                  | 109000  |   |  | III                  |                      |
| Kompost 3                  | 35000   | 57000   | <b>1000</b>  | IV                   |                      |
| Kompost 4                  | 23000   | 29000   | <b>500</b>   | IV                   |                      |
| Kompost 5                  | 20000   |   |  | IV                   |                      |
| Kompost 6                  | 8000  |   |  | IV                   |                      |

## 10. Potvrdenie platnosti procesu (validácia)

Validácia procesu DRI je v súčasnosti v rukách dvoch talianskych inštitúcií: Ricicla Group -DiProVe-Università degli Studi di Milano a the Public Health Institute of Rome (Ústav verejného zdravia).

Cieľom snaženia je stanoviť presnosť metódy, jej opakovateľnosť ( $s_r$ ) a reprodukovateľnosť ( $s_R$ ) na štyroch rôznych vzorkách odpadov v súlade s normou ISO 5725-2.

Doposiaľ boli otestované dve vzorky, v ktorých boli stanovené DRI, VS, vlhkosť, kapacita zadržiavania vody, pH a objemová hmotnosť. Výsledky boli spracované štatisticky s využitím softvéru Colidata 4.1.2 (Confalonieri e Scaglia, 2002).

10.1 Výsledky

|             | <u>Vlhkosť'</u><br>(g kg <sup>-1</sup> ) | Stredná<br>hodnota | Štandardná<br>odchýlka | Opakovateľnosť | Reprodukovateľ<br>nosť |
|-------------|--|--------------------|------------------------|----------------|------------------------|
| Vzorka<br>1 | Lab. X                                   | 184.5              | 2.5                    | 12.0           | 13.6                   |
|             | Lab. Y                                   | 186.2              | 1.0                    |                |                        |
|             | Lab. Z                                   | 188.0              | 3.6                    |                |                        |
|             | Lab. W                                   | 195.0              | 26.9**                 |                |                        |
| Vzorka<br>2 | Lab. X                                   | 289.5              | 5.4                    | 5.8            | 6.2                    |
|             | Lab. Z                                   | 287.6              | 7.3                    |                |                        |
|             | Lab. Y                                   | 293.5              | 2.6                    |                |                        |
|             | Lab. J                                   | Chýbajú údaje      |                        |                |                        |

\*\*Podľa Testu Cochran

|             | Prchavé tuhé<br>látky<br>(g.kg <sup>-1</sup> d.m.) | Stredná<br>hodnota | Štandardná<br>odchýlka | Opakovateľnosť | Reprodukovateľ<br>nosť |
|-------------|--|--------------------|------------------------|----------------|------------------------|
| Vzorka<br>1 | Lab X  | 389.8              | 3.9                    | 16.3           | 7.7                    |
|             | Lab Y  | 367.3              | 9.4                    |                |                        |
|             | Lab Z  | 401.7              | 6.5                    |                |                        |
|             | Lab W  | 380.8              | 8.3                    |                |                        |
| Vzorka<br>2 | Lab X  | 483.2              | 25.5                   | 22.6           | 32.3                   |
|             | Lab Z  | 475.0              | 19.4                   |                |                        |
|             | Lab Y  | 463.6              | 15.8                   |                |                        |
|             | Lab J  | 412.4              | 34.1                   |                |                        |

|             | <u>pH</u> | Stredná<br>hodnota | Štandardná<br>odchýlka | Opakovateľnosť | Reprodukovateľ<br>nosť |
|-------------|-----------|--------------------|------------------------|----------------|------------------------|
| Vzorka<br>1 | Lab X     | 8.00               | 0.14                   | 0.18           | 0.09                   |
|             | Lab Y     | 8.07               | 0.12                   |                |                        |
|             | Lab Z     | 7.93               | 0.06                   |                |                        |
|             | Lab W     | 8.07               | 0.40                   |                |                        |
| Vzorky<br>2 | Lab X     | 7.32               | 0.01                   | 0.100          | 0.095                  |
|             | Lab Z     | 7.30               | 0.10                   |                |                        |
|             | Lab Y     | 7.20               | 0.14                   |                |                        |
|             | Lab J     | 7.40               | 0.40                   |                |                        |

|          | <b>Objemová hmotnosť</b><br>(kg l <sup>-1</sup> )          | Stredná hodnota | Štandardná odchýlka | Opakovateľnosť | Reprodukovateľnosť |
|----------|--|-----------------|---------------------|----------------|--------------------|
| Vzorka 1 | Lab X  | 0.66            | 0.01                | 0.05           | 0.01               |
|          | Lab Y  | 0.69            | 0.02                |                |                    |
|          | Lab Z  | 0.59            | 0.01                |                |                    |
|          | Lab W  | 0.70            | 0.00                |                |                    |
| Vzorka 2 | Lab X  | 0.69            | 0.03                | 0.023          | 0.054              |
|          | Lab Z  | 0.57            | 0.02                |                |                    |
|          | Lab Y  | 0.62            | 0.01                |                |                    |
|          | Lab J  | 0.61            | 0.03                |                |                    |
|          | <b>Kapacita zadržiavania vody</b><br>(g kg <sup>-1</sup> ) | Stredná hodnota | Štandardná odchýlka | Opakovateľnosť | Reprodukovateľnosť |
| Vzorka 1 | Lab X  | 507.0 a         | 14.1                | 12.4           | 10.7               |
|          | Lab Y  | 484.3 a         | 12.0                |                |                    |
|          | Lab Z  | 495.0 a         | 3.0                 |                |                    |
|          | Lab W  | 498.7 a         | 12.1                |                |                    |
| Vzorka 2 | Lab X  | 556.2           | 1.7                 | 22.1           | 14.3               |
|          | Lab Z  | 603.0           | 30.4**              |                |                    |
|          | Lab Y  | 571.6           | 8.3                 |                |                    |
|          | Lab J  | 578.2           | 13.5                |                |                    |

\*\*Podľa Testu Cochran

|          | <b>DRI</b><br>(mgO <sub>2</sub> / kg <sup>-1</sup> VS h <sup>-1</sup> ) | Stredná hodnota | Štandardná odchýlka | Opakovateľnosť | Reprodukovateľnosť |
|----------|---|-----------------|---------------------|----------------|--------------------|
| Vzorka 1 | Lab X   | 524             | 37                  | 49             | 60                 |
|          | Lab Y   | 496             | 85                  |                |                    |
|          | Lab Z   | 505             | 30                  |                |                    |
|          | Lab W   | 1840●●          | 137                 |                |                    |
| Vzorka 2 | Lab X   | 3522            | 64                  | 125            | 149                |
|          | Lab Z   | 3317            | 156                 |                |                    |
|          | Lab Y   | 3475            | 106                 |                |                    |
|          | Lab J   | 1821●●          | 1097**              |                |                    |

\*\*Podľa Testu Cochran

●● Podľa Testu Grubbs

### 10.1.1 Koeficienty percentuálnej odchýlky opakovateľnosti (cv<sub>r</sub>) a reprodukovateľnosti (cv<sub>R</sub>) pre analyzované parametre

|          |                      | Koeficient odchýlky opakovateľnosti | Koeficient odchýlky reprodukovateľnosti |
|----------|----------------------|-------------------------------------|---|
| Vzorka 1 | Vlhkosť              | 7.30                                | 6.44                                    |
|          | Prchavé tuhé látky   | 2.00                                | 4.23                                    |
|          | pH                   | 1.08                                | 2.24                                    |
|          | Objemová hmotnosť    | 1.50                                | 7.57                                    |
|          | Kapacita zadrž. vody | 2.16                                | 2.50                                    |
|          | <b>DRI</b>           | 11.80                               | 9.64                                    |

|                 |                      |      |      |
|-----------------|----------------------|------|------|
| <b>Vzorka 2</b> | Vlhkosť              | 1.99 | 2.14 |
|                 | Prchavé tuhé látky   | 4.93 | 7.04 |
|                 | pH                   | 1.37 | 1.30 |
|                 | Objemová hmotnosť    | 3.22 | 9.70 |
|                 | Kapacita zadrž. vody | 2.48 | 3.82 |
|                 | <b>DRI</b>           | 3.63 | 4.33 |

## 10. APPENDIX

### Štandardná odchýlka opakovateľnosti ( $s_r$ )

$$s_r = \sqrt{s_r^2} \quad (1)$$

kde:

$$s_r^2 = \frac{\sum_{i=1}^p (n_i - 1) \cdot s_i^2}{\sum_{i=1}^p (n_i - 1)} \quad (2)$$

kde:

- p počet laboratórií, ktoré sa zúčastnili v medzi-laboratórnom testovaní
- $n_i$  počet výsledkov testov získaných v každom  $i$  laboratóriu na jednej úrovni
- $s_i^2$  odchýlka vypočítaná pre každé  $i$  laboratórium.

### Štandardná odchýlka reprodukovateľnosti ( $s_R$ )

$$s_R = \sqrt{s_R^2} \quad (3)$$

kde:

$$s_R^2 = s_L^2 + s_r^2 \quad (4)$$

$s_L^2$  rozdiel medzi laboratóriami (5).

$s_r^2$  (2) rozdiel v reprodukovateľnosti.

Rozdiel medzi laboratóriami:

$$s_L^2 = \frac{s_d^2 - s_r^2}{n} \quad (5)$$

kde:

$$s_d^2 = \frac{1}{1-p} \left[ \sum_{i=1}^p n_i (\bar{y}_i)^2 - (\bar{y})^2 \sum_{i=1}^p n_i \right] \quad (6)$$

kde:

$\bar{y}_i$  aritmetický priemer výsledkov  $n_i$  testov ( $y$ ) pre každé  $i$  laboratórium.

$\bar{y}$  celkový priemer výsledkov testov (7).

$$y = \frac{\sum_{i=1}^p n_i \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^p (n_i - 1)} \quad (7)$$

### **Koeficient odchýlky opakovateľnosti (cv<sub>r</sub>)**

$$cv_r = 100 * \frac{s_r}{\bar{y}}$$

$\bar{y}$  aritmetický priemer výsledkov  $n_i$  testov ( $y$ ) v každom  $i$  laboratóriu.  
 $s_r(1)$  štandardná odchýlka opakovateľnosti.

### **Koeficient odchýlky reprodukovateľnosti (cv<sub>R</sub>)**

$$cv_R = 100 * \frac{s_R}{\bar{y}}$$

$\bar{y}$  aritmetický priemer výsledkov  $n_i$  testov ( $y$ ) v každom  $i$  laboratóriu.  
 $s_R(3)$  štandardná odchýlka reprodukovateľnosti

## **11. Literatúra**

### ➤ Bibliografické odkazy

**ADANI F., SCATIGNA L., GENEVINI P.L.** (2000). Biostabilization of mechanically separated municipal solid waste fraction. *Waste Management Research*, 18:471-477.

**ADANI F., LOZZI P., GENEVINI P.L.** (2001). Determination of biological stability by oxygen uptake on municipal solid waste and derived products. *Compost science & Utilization*, 9 (29), 163-178.

**ADANI F., TAMBONE F., SCAGLIA B., GENEVINI P.L.** (2001). Biostabilization of municipal solid waste. *Proceedings Sardinia 2001. Eight International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari*, vol I: 556-562.

**ADANI F.** (2002). Compost quality: an Italian approach. *In* F. C. Michel, Jr., R. F. Rynk and H.A.J. Hoitink (eds), *Composting and Compost Utilization*, The J.G Press. Inc. Emmaus, PA, pp. 496-511.

**ADANI F., BAIDO D., CALCATERRA E. AND GENEVINI P.L.** (2002). The influence of biomass temperature on biostabilization-biodrying of municipal solid waste. *Bioresource Technology*, 83 (3), 173-179.

**ADANI F., GIGLIOTTI G., VALENTINI F. AND LARAIA R.** (2002). Respiration index determination: a comparative study of different methods. *Compost Science & Utilization*, spring.

**ADANI F., UBBIALI C., TAMBONE F., SCAGLIA B., CENTEMERO M. AND GENEVINI P.L.** (2002). Static and dynamic respirometric indexes\_Italian research and studies. *Biological*

treatment of biodegradable waste – Technical Aspects – Brussesl, 8-10 April (invited paper).

**CALCATERRA E., BALDI M., ADANI F.** (2000). An innovative technology for municipal solid waste energy recovery. IV European Waste Forum, CIPA (Ed.), 123-135.

**COSSU R., LARAIA R., ADANI F. AND RAGA R.** (2001). Test methods for the characterization of biological stability of pretreated municipal solid waste in compliance with EU directives. Proceedings Sardinia 2001, Eight International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, vol I: 546-554.

**SCAGLIA B., TAMBONE F., GENEVINI P.L., ADANI F.** (2000). Respiration Index determination: a dynamic and static approach. Compost Science and Utilization, Spring 8(2), 90-98.

- Právne predpisy

**REGIONE BASILICATA** (2002) (Basilicata, Italy). Linee-Guida per la progettazione, la costruzione e la gestione degli impianti di compostaggio e di stabilizzazione – Regione Basilicata-Dipartimento Ambiente e Territorio (pag. 32 - 1.3.7 I trattamenti biologici per le frazioni non valorizzabili).

**REGIONE CAMPANIA** (2002) (Campania, Italy). Criteri e linee guida per l'utilizzo della frazione organica stabilizzata - Comitato Tecnico ex Ordinanza Commissariale n. 058/2002 (pag. 33 - 6.3 Indici di qualità e carichi ammissibili).

**REGIONE LOMBARDIA** (1999) (Lombardy, Italy). Studio degli impianti di produzione di compost e definizione delle corrispondenti linee guida. Approvato nella seduta del Comitato Tecnico, ex art. 17 l.r. 94/80 del 6/4/1999, e nella seduta del CRIAL ex art. 1 l.r. 35/84 in data 12/5/1999: 2-3.

**REGIONE PUGLIA** (2002) (Puglia, Italy). Bollettino Ufficiale Regione Puglia - n. 135 del 23-10-2002 (pag. 9978 - 5.4.2 Opzione 2 - Produzione di RBM e FSC - 2.B Trattamento di biostabilizzazione primaria).

**REGIONE SICILIA** (2002) (Sicily, Italy). Bollettino Ufficiale Regione Sicilia - n. 27 Parte I del 14-06-2002. Linee guida per la progettazione, la costruzione e la gestione degli impianti di compostaggio, pp. 12-32.

**EUROPEAN UNION.** (2001). Working Document Biological Treatment of Biowaste 2<sup>nd</sup> draft.

## 12. Bibliografia

ASTM. 1996. Standard test method for determining the stability of compost by measuring oxygen consumption. American Society for testing and materials , D 5975- 96.

Confalonieri, R., Scaglia, B., 2002. Colidata: documentazione e manuale dell'utente. Dipartimento di Produzione Vegetale, Università degli Studi di Milano. Report interno. ISO 5725-2. 1984 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results Part 2: Basic method for the determination of reproducibility of a standard measurement method.

UNI (1992). Combustibili solidi minerali ricavati da rifiuti urbani (RDF)- indicazione di base per il campionamento sistematico dei combustibili. UNI - ottobre 1992, n. 9903, parte 3a.

The U.S. Composting Council **a.** 1997. Respirometry. In : P.B. Leege and W.H.Thompson (Eds.) Test methods for the examination of composting and compost, The U.S. Composting Council, Bethesda, Maryland USA, Method 06.01-A; pp. 6-10,23.

The U.S. Composting Council **b.** 1997. Respirometry. In : P.B. Leege and W.H.Thompson (Eds.) Test methods for the examination of composting and compost, The U.S. Composting Council, Bethesda, Maryland USA, Method 07.09-A; pp. 7- 78,86.

The U.S. Composting Council **c.** 1997. Respirometry. In : P.B. Leege and W.H.Thompson (Eds.) Test methods for the examination of composting and compost, The U.S. Composting Council, Bethesda, Maryland USA, Method 08.07-A; pp. 8- 193,205.

The U.S. Composting Council **d.** 1997. Respirometry. In : P.B. Leege and W.H.Thompson (Eds.) Test methods for the examination of composting and compost, The U.S. Composting Council, Bethesda, Maryland USA, Method 07.03-A; pp. 7- 46,50.

The U.S. Composting Council **e.** 1997. Respirometry. In : P.B. Leege and W.H.Thompson (Eds.) Test methods for the examination of composting and compost, The U.S. Composting Council, Bethesda, Maryland USA, Method 07.02-A; pp. 7- 32,35.