

الفصل 4

المعالجة البيولوجية للنفايات الصلبة

المؤلفون

ريتا بيباتي (فنلندا)

جواو فانجر سيلفا ألفيس (البرازيل) وكينجسيان جاو (الصين) وكارلوس كابرييرا (كوبا) وكاترينا ماريكوف (سلوفاكيا) وهانز أونك (هولندا) وإليزابيث شيهل (الولايات المتحدة الأمريكية) وتشيمندرا شارما (الهند) وأليسون سميث (المملكة المتحدة) وبيير سفردال (النرويج) وماساتو يامادا (اليابان)

المحتويات

4-4	1-4	موضوعات منهجية	المعالجة البيولوجية للنفايات الصلبة
5-4	1-1-4	اختيار الأسلوب	
6-4	2-1-4	اختيار بيانات الأنشطة	
6-4	3-1-4	اختيار معاملات الانبعاث	
7-4	2-4	الاستيفاء	
7-4	3-4	إعداد متسلسلة زمنية متسقة	
7-4	4-4	تقدير أوجه عدم التيقن	
7-4	5-4	ضمان الجودة/مراقبة الجودة	
7-4	6-4	الإبلاغ والتوثيق	
8-4		المراجع	

المعادلات

5-4	1-4	انبعاثات الميثان الناجمة عن المعالجة البيولوجية	المعادلة
5-4	2-4	انبعاثات أكسيد النيتروز الناجمة عن المعالجة البيولوجية	المعادلة

الجداول

6-4	1-4	معاملات الانبعاث الافتراضية لانبعاثات الميثان وأكسيد النيتروز الناجمة عن المعالجة البيولوجية للنفايات	الجدول
-----	-----	---	--------

4 المعالجة البيولوجية للنفايات الصلبة

1-4 موضوعات منهجية

يعتبر إنتاج السماد والتحليل اللاهوائي للنفايات العضوية، على سبيل المثال نفايات الأغذية ونفايات الحدائق (الأفنية) والمنتزهات والخبث أمراً شائعاً في كل من البلدان النامية والمتقدمة. تشتمل مميزات المعالجة البيولوجية على: انخفاض حجم مواد النفايات وثبات النفايات وتدمير الكائنات المرضية في النفايات وإنتاج الغاز الحيوي للاستخدام المولد للطاقة. وحسب الجودة، يمكن أن تتم إعادة تدوير المنتجات النهائية للمعالجة البيولوجية على أنها مخصبات أو معدلات للتربة أو يتم التخلص منها في مواقع التخلص من النفايات الصلبة.

عادة ما يرتبط التحليل اللاهوائي باستعادة الميثان والاحتراق للحصول على الطاقة، ولذلك يجب الإبلاغ عن انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الناجمة عن العمليات في قطاع الطاقة. ويتناول الفصل 6، معالجة مياه النفايات والمكبات، معالجة الخبث اللاهوائي في منشآت معالجة مياه النفايات ويجب الإبلاغ عن الانبعاثات ضمن فئات مياه النفايات. ومع ذلك، عند نقل الخبث من معالجة مياه النفايات إلى منشأة لاهوائية والتي تحلل الخبث من النفايات المحلية الصلبة أو أنواع النفايات الأخرى، فإن أي انبعاثات ترتبط بالميثان وأكسيد النيتروز يجب الإبلاغ عنها ضمن هذه الفئة، المعالجة البيولوجية للنفايات الصلبة. عند استخدام هذه الغازات لتوليد الطاقة، يجب الإبلاغ عن الانبعاثات المرتبطة بها في قطاع الطاقة.

إنتاج السماد هو عملية لاهوائية، ويتم تحويل كمية كبيرة من الكربون العضوي القابل للتحلل في مادة النفايات إلى ثاني أكسيد كربون. ويتكون الميثان في الأقسام اللاهوائية للسماد، لكن تتم أكسدته إلى مدى كبير في الأقسام اللاهوائية للسماد. وتتراوح نسبة الميثان التي يتم إطلاقها في الجو بين أقل من 1 في المائة إلى نسبة مئوية قليلة من المحتوى الأولي للكربون في المادة (بيك-فريس، 2001؛ ديتزل وآخرون، 2003؛ أرنولد، 2005).

كما يمكن أن ينجم عن إنتاج السماد انبعاثات أكسيد النيتروز. ويتنوع نطاق الانبعاثات المقدرة من أقل من 0.5 في المائة إلى 5 في المائة للمحتوى الأولي للنيتروجين في المادة (بيترسن وآخرون، 1998؛ هيلبراند 1998؛ فيستريين، 1996؛ بيك-فريس، 2001؛ ديتزل وآخرون، 2003). ومن المحتمل أن الأسمدة غير الجيدة ينبعث منها الميثان وأكسيد النيتروز مع بعضهما (على سبيل المثال، فيستريين، 1996).

التحلل اللاهوائي للنفايات العضوية يسرع مع التحلل الطبيعي للمادة العضوية بدون أكسجين بالحفاظ على درجة الحرارة ومحتوى الرطوبة واحتمالية الهيدروجين قريبة من أفضل القيم. ويمكن استخدام الميثان المنتج لإنتاج الحرارة و/أو الكهرباء، لذلك فإن الإبلاغ عن الانبعاثات الناجمة عن العملية عادة ما يكون ضمن قطاع الطاقة. وتكون انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من أصل حيوي، ويجب الإبلاغ عنها فقط على أنها عنصر معلومات في قطاع الطاقة. وعموماً تتراوح انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من مثل هذه المنشآت نتيجة للتسريبات غير المقصودة خلال اضطرابات العملية أو الأحداث غير المتوقعة الأخرى بين صفر و10 في المائة من كمية الميثان المنتجة. عند غياب معلومات إضافية، استخدام قيمة 5 في المائة على أنها القيم الافتراضية لانبعاثات الميثان. عندما تضمن المعايير الفنية لمصانع الغاز الحيوي أن انبعاثات الميثان غير المقصودة يتم إحراقها، فمن المحتمل أن تكون انبعاثات الميثان قريبة من الصفر. ومن المفترض أن انبعاثات أكسيد النيتروز من العملية ستكون صغيرة، ومع ذلك فإن البيانات الخاصة بهذه الانبعاثات تكون نادرة للغاية.

المعالجة الميكانيكية-البيولوجية (MB) للنفايات أصبحت شائعة في أوروبا. في المعالجة الميكانيكية - البيولوجية، تخضع مادة النفايات لسلسلة من العمليات الميكانيكية والبيولوجية التي تهدف إلى تقليل حجم النفايات بالإضافة إلى تثبيتها لتقليل الانبعاثات الناجمة عن عملية التخلص النهائية من النفايات. وتتنوع العمليات حسب التطبيق. نموذجياً، تفصل العمليات الميكانيكية مادة النفايات إلى كسور تخضع فيما بعد لمعالجة إضافية (إنتاج التسميد أو التحلل اللاهوائي أو الاحتراق أو إعادة التدوير). وقد يشتمل ذلك على الفصل وسحق وطحن المادة. وتشتمل العمليات البيولوجية على إنتاج السماد والتحلل اللاهوائي. ويمكن أن يحدث إنتاج السماد في كميات كبيرة أو في منشآت لإنتاج السماد مع تحسين ظروف العملية بالإضافة إلى ترشيح الغاز المنتج. وتكون احتمالات تقليل كميات المادة العضوية التي سيتم التخلص منها بالدفن في الأرض كبيرة، 40-50 في المائة (كارنتين، 2004). نظراً للكمية المنخفضة في المادة والمحتوى العضوي والنشاط البيولوجية، فإن النفايات التي خضعت للمعالجة الميكانيكية-البيولوجية تنتج حتى 95 في المائة من الميثان أقل من النفايات التي لم تتم معالجتها في مواقع التخلص من النفايات الصلبة. ولقد كانت التخفيضات العملية أقل وتعتمد على نوع ومدة المعالجة الميكانيكية-البيولوجية قيد البحث (انظر على سبيل المثال، بينر، 2002). تعتمد انبعاثات الميثان وأكسيد النيتروز خلال المراحل المختلفة للمعالجة الميكانيكية-البيولوجية على عمليات معينة ومدة المعالجة البيولوجية.

من الناحية العامة، فإن المعالجة البيولوجية للنفايات تؤثر على كمية وتكوين النفايات التي سيتم التخلص منها في مواقع التخلص من النفايات الصلبة. تحليلات تيار النفايات (انظر مثلا المربع 3-1) هي منهجيات موصى بها لتقدير تأثير المعالجة البيولوجية على الانبعاثات الناجمة عن مواقع التخلص من النفايات الصلبة.

تقدير انبعاثات الميثان وأكسيد النيتروز الناجمة عن المعالجة البيولوجية للنفايات الصلبة تشتمل على الخطوات التالية:

الخطوة 1: جمع البيانات حول كمية ونوع النفايات الصلبة التي تتم معالجتها بيولوجياً. ويجب جمع البيانات الخاصة بإنتاج السماد والمعالجة اللاهوائية بشكل منفصل، إن أمكن. وردت في الجدول 2-1، الفصل 2، البيانات الافتراضية الإقليمية حول إنتاج السماد، ويمكن الاطلاع على البيانات الخاصة ببعض البلد في الملحق 2-1 بهذا المجلد. ويمكن افتراض أن التحلل اللاهوائي للنفايات الصلبة سيكون صفرًا في حالة عدم توفر بيانات. يجب استخدام البيانات الافتراضية فقط في حالة عدم توفر البيانات الخاصة بالبلد (انظر أيضًا القسم 2-1-4).

الخطوة 2: تقدير انبعاثات الميثان وأكسيد النيتروز الناجمة عن المعالجة البيولوجية للنفايات الصلبة باستخدام المعادلتين 1-4 و 2-4. استخدام معاملات الانبعاث الافتراضية أو الخاصة بالبلد وفقًا للخطوط التوجيهية كما وردت في الأقسام 1-4 و 2-1-4 و 3-1-4.

الخطوة 3: طرح كمية الغاز المستعاد من كمية الميثان التي تم توليدها لتقدير صافي انبعاثات الميثان السنوية، وذلك في حالة استعادة انبعاثات الميثان الناجمة عن التحلل اللاهوائي.

يجب فحص الاتساق بين انبعاثات الميثان وأكسيد النيتروز الناجمة عن إنتاج السماد أو المعالجة اللاهوائية للخبث والانبعاثات الناجمة عن معالجة الخبث التي تم الإبلاغ عنها في فئة معالجة مياه النفايات والمكبات. أيضًا، إذا تم الإبلاغ عن الانبعاثات الناجمة عن التحلل اللاهوائي ضمن المعالجة البيولوجية للنفايات الصلبة، فعلى القائمين على الحصر التأكد من أن هذه الانبعاثات لم يتم تضمينها أيضًا ضمن قطاع الطاقة.

ويجب توثيق المعلومات ذات الصلة بجمع بيانات الأنشطة واختيار معامل الانبعاث والأسلوب المستخدم في تقدير الانبعاثات، ويتم ذلك باتباع الخطوط التوجيهية الواردة في القسم 6-4.

1-1-4 اختيار الأسلوب

يمكن تقدير انبعاثات الميثان وأكسيد النيتروز للمعالجة البيولوجية باستخدام الأسلوب الافتراضي الوارد في المعادلتين 1-4 و 2-4 أدناه:

$$\begin{aligned} & \text{المعادلة 1-4} \\ & \text{انبعاثات الميثان الناجمة عن المعالجة البيولوجية} \\ & CH_4 \text{ Emissions} = \sum_i (M_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-3} - R \end{aligned}$$

حيث:

$$\begin{aligned} CH_4 \text{ Emissions} &= \text{إجمالي انبعاثات الميثان في سنة الحصر، جيجا جول ميثان} \\ M_i &= \text{كتلة النفايات العضوية الخاضعة التي تمت معالجتها حسب نوع المعالجة البيولوجية } i، \text{ جيجا جول} \\ EF &= \text{معامل الانبعاث لمعالجة } i، \text{ جرام ميثان/كجم نفايات تمت معالجتها} \\ i &= \text{إنتاج السماد أو التحلل اللاهوائي} \\ R &= \text{إجمالي كمية الميثان التي تمت استعادتها في سنة الحصر، جيجا جول ميثان} \end{aligned}$$

عند الإبلاغ عن انبعاثات الميثان الناجمة عن التحلل اللاهوائي، يجب طرح كمية الغاز المستعاد من كمية الميثان التي تم توليدها. ويمكن إحراق الغاز المستعاد في أنبوب إشعال أو جهاز لتوليد الطاقة. ويتم التعبير عن كمية الميثان التي تمت استعادتها برمز R في المعادلة 1-4. في حالة استخدام الغاز المستعاد لتوليد الطاقة، يجب أيضًا الإبلاغ عن انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الناتجة من إحراق الغاز ضمن قطاع الطاقة. ومع ذلك لا تكون الانبعاثات الناجمة عن إحراق الغاز المستعاد كبيرة، حيث تكون انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من أصل بيولوجي، وتكون انبعاثات الميثان وأكسيد النيتروز صغيرة للغاية، لذا فإن الممارسة السليمة في قطاع النفايات لا تتطلب تقديرها. ومع ذلك، فعند الرغبة في تقدير هذه الانبعاثات، فيجب الإبلاغ عن الانبعاثات الناجمة عن الإشعال ضمن قطاع النفايات. ورد في المجلد 2، الطاقة، الفصل 2-4، مناقشة للانبعاثات الناجمة عن الإشعال، كما وردت تفاصيل أكثر. لم تتم معالجة الانبعاثات الناجمة عن الإشعال في المستوى 1.

$$\begin{aligned} & \text{المعادلة 2-4} \\ & \text{انبعاثات أكسيد النيتروز الناجمة عن المعالجة البيولوجية} \\ & N_2O \text{ Emissions} = \sum_i (M_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

حيث:

$$\begin{aligned} N_2O \text{ Emissions} &= \text{إجمالي انبعاثات أكسيد النيتروز في سنة الحصر، جيجا جول ميثان} \\ M_i &= \text{كتلة النفايات العضوية الخاضعة التي تمت معالجتها حسب نوع المعالجة البيولوجية } i، \text{ جيجا جول} \\ EF &= \text{معامل الانبعاث لمعالجة } i، \text{ جرام أكسيد نيتروز/كجم نفايات تمت معالجتها} \\ i &= \text{إنتاج السماد أو التحلل اللاهوائي} \end{aligned}$$

فيما يلي موجز للمستويات الثلاثية المستخدمة مع هذه الفئة.

المستوى 1: يستخدم المستوى 1 معاملات الانبعاث الافتراضية للهيئة.

المستوى 2: يستخدم المستوى 2 معاملات الانبعاث الخاصة بالبلد التي تعتمد على قياسات تمثيلية.

المستوى 3: ستعتمد أساليب المستوى 3 على القياسات الخاصة بالمنشأة أو الموقع (الفورية أو الدورية).

2-1-4 اختيار بيانات الأنشطة

يمكن أن تعتمد بيانات الأنشطة المعنية بالمعالجة البيولوجية على الإحصائيات الوطنية. ويمكن تجميع البيانات الخاصة بالمعالجة البيولوجية من السلطات الإقليمية أو المحلية المسؤولة عن معالجة النفايات أو من شركات معالجة النفايات. ورد في الجدول 1-2 في الفصل 2، بيانات توليد النفايات وتكوينها ومعالجتها، القيم الافتراضية الإقليمية حول المعالجة البيولوجية. يمكن في ملحق 1-2 بهذا المجلد العثور على القيم الافتراضية الخاصة بالبلد لبعض البلدان. ويمكن استخدام هذه البيانات كنقطة بداية. من الممارسة السليمة أن تستخدم البلدان البيانات الوطنية والتي يتم تجميعها سنويًا أو دوريًا، عند توفرها.

3-1-4 اختيار معاملات الانبعاث

1-3-1-4 المستوى 1

تعتمد الانبعاثات الناجمة عن إنتاج السماد والتحلل اللاهوائي في منشآت الغاز الحيوي على معاملات مثل نوع النفايات التي يتم تسميدها وكمية ونوع المادة الداعمة (على سبيل المثال رقائق الأخشاب والخث) المستخدمة ودرجة الحرارة ومحتوى الرطوبة والتهوية خلال العملية.

يوضح الجدول 1-4 المعاملات الافتراضية لانبعاثات الميثان وأكسيد النيتروز الناجمة عن المعالجة البيولوجية لأسلوب المستوى 1.

الجدول 1-4 معاملات الانبعاث الافتراضية لانبعاثات الميثان وأكسيد النيتروز الناجمة عن المعالجة البيولوجية للنفايات					
ملاحظات	معامل انبعاث أكسيد النيتروز (جم أكسيد نيتروز/كجم نفايات معالجة)		معاملات انبعاث الميثان (جم ميثان/كجم نفايات معالجة)		نوع المعالجة البيولوجية
	على أساس الوزن الرطب	على أساس الوزن الجاف	على أساس الوزن الرطب	على أساس الوزن الجاف	
افتراضات النفايات التي تمت معالجتها: 25-50% كربون عضوي قابل للتحلل في الجسم الجاف، 2% نيتروز في الجسم الجاف، محتوى الرطوبة 60%.	0.3 (0.6 - 0.06)	0.6 (1.6 - 0.2)	4 (8 - 0.03)	10 (20 - 0.08)	إنتاج السماد
يتم تقدير معاملات الانبعاث للنفايات الجافة من معاملات الانبعاث الخاصة بالنفايات الرطبة على افتراض محتوى رطوبة يبلغ 69% في النفايات الرطبة.	من المفترض أنها قليلة	من المفترض أنها قليلة	1 (8 - 0)	2 (20 - 0)	التحلل اللاهوائي في منشآت الغاز الحيوي
المصادر: أرنولد، م (2005) الاتصالات الشخصية، بيكفريس (2002)؛ ديتزل وآخرون. (2003)؛ بيترسن وآخرون. 1998؛ هيلي براند 1998؛ هوج، د (2002)، فيسترنين (1996).					

يمكن تقدير الانبعاثات الناجمة عن المعالجة الميكانيكية-البيولوجية باستخدام القيم الافتراضية الواردة في الجدول 1-4 للمعالجة البيولوجية. ويمكن افتراض صغر حجم الانبعاثات الناجمة عن العمليات الميكانيكية.

2-3-1-4 المستوى 2 و المستوى 3

في المستوى 2، يجب أن تعتمد معاملات الانبعاث على القياسات التمثيلية التي تغطي خيارات المعالجة البيولوجية المطبقة في البلد. في المستوى 3، ستعتمد معاملات الانبعاث على القياسات الخاصة بالمنشأة/الموقع (الفورية أو الدورية).

2-4 الاستيفاء

يؤدي الإبلاغ عن انبعاثات الميثان وأكسيد النيتروز الناجمة عن المعالجة البيولوجية، عند وجودها، إلى استيفاء الإبلاغ عن الانبعاثات الناجمة عن مواقع التخلص من النفايات الصلبة وإحراق النفايات ويساهم في التغطية الكاملة لكل المصادر في قطاع النفايات. ويكون ذلك هامًا بشكل خاص في البلدان التي تعتبر فيها المعالجة البيولوجية هامة للغاية أو من المتوقع أن تصبح كذلك.

3-4 إعداد متسلسلة زمنية متسقة

حيث إن الخطوط التوجيهية المنهجية لتقدير والإبلاغ عن الانبعاثات الناجمة عن المعالجة البيولوجية لم يتم تضمينها في الخطوط التوجيهية السابقة للهيئة، فيوصى بأن يتم تقدير كامل المتسلسلة الزمنية باستخدام نفس المنهجية. ربما لا تتوفر بيانات الأنشطة للسنوات السابقة لدى لكل البلدان. كما قد لا يتم جمع البيانات الحالية حول المعالجة البيولوجية بشكل سنوي. ورد في المجلد 1، الفصل 5، اتساق المتسلسلات الزمنية، وصف للأساليب المعنية بالحصول على البيانات المفقودة. وتعتمد معاملات الانبعاث الافتراضية على عدد محدود من الدراسات. من المتوقع أن يتم تحسين توفر البيانات في السنوات التالية. من الممارسة السليمة استخدام المعلومات العلمية المحدثة لتحسين معاملات الانبعاث عند توفرها. ومن ثم، ينبغي إعادة حساب تقديرات كامل المتسلسلة الزمنية وفقًا لذلك.

4-4 تقدير أوجه عدم التيقن

ستعتمد درجة عدم التيقن من بيانات الأنشطة على كيفية جمع البيانات. يمكن تقدير تقديرات عدم التيقن من توليد النفايات وكسر النفايات التي تمت معالجتها بيولوجيًا بنفس الأسلوب المستخدم مع النفايات الصلبة المحلية التي تم التخلص منها في مواقع التخلص من النفايات الصلبة (انظر الجدول 5-3). علاوة على ذلك، ستعتمد درجات عدم التيقن على جودة جمع البيانات.

يمكن تقدير درجات عدم التيقن من معاملات الانبعاث الافتراضية باستخدام النطاقات الموضحة في الجدول 4-1. وستعتمد درجات عدم التيقن من معاملات الانبعاث الخاصة بالبلد على أسلوب جمع العينات وأساليب القياس المستخدمة لتحديد معاملات الانبعاث.

5-4 ضمان الجودة/مراقبة الجودة

تمت مناقشة متطلبات ضمان الجودة/مراقبة الجودة في القسم 3-8 في الفصل 3، التخلص من النفايات الصلبة، وهي تنطبق على المعالجة البيولوجية للنفايات.

6-4 الإبلاغ والتوثيق

من الممارسة السليمة توثيق وأرشفة كل المعلومات المطلوبة لإنتاج قائمة حصر وطنية لغازات الاحتباس الحراري كما ورد في القسم 6-11 من الفصل 6، ضمان الجودة/مراقبة الجودة والتحقق، في المجلد 1 من الخطوط التوجيهية التي بين يديك. في الفقرات التالية أمثلة قليلة على وثائق معينة وإبلاغ معين خاص بهذه الفئة.

- يجب وصف مصادر بيانات الأنشطة والإبلاغ عن مراجعها. ويجب توفير المعلومات الخاصة بعدد مرات الجمع والتغطية (على سبيل المثال، ما إذا كان قد تم تضمين إنتاج السماد في المنازل أم لا).
 - يجب توفير معلومات حول أنواع النفايات (على سبيل المثال، نفايات الأغذية ونفايات الحدائق والمنتزهات) التي تم تسميدها أو معالجتها لاهوائيًا، في حالة توفرها.
 - يجب تمييز المعاملات الافتراضية الخاصة بالبلد وتحديد مراجعها.
 - في الحالات التي سيتم فيها تقسيم الإبلاغ عن المعالجات البيولوجية ضمن العديد من القطاعات و/أو الفئات، يجب توضيح طرق الإبلاغ ضمن كل الفئات/القطاعات المعنية، وذلك لتفادي الحذف أو ازدواجية الحساب.
- ورد في نهاية هذا المجلد أوراق العمل التي تم وضعها لتقدير انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الناجمة عن المعالجة البيولوجية. تشمل أوراق العمل هذه على معلومات حول بيانات الأنشطة ومعاملات الانبعاث المستخدمة في حساب التقديرات.

المراجع

- Arnold, M. (2005). Espoo: VTT Processes: Unpublished material from measurements from biowaste composts. (Personal communication).
- Beck-Friis, B.G. (2001). *Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane during composting of organic household waste*. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences. 331 p. (Doctoral Thesis).
- Binner, E. (2002). *The impact of Mechanical-Biological Pretreatment on the Landfill Behaviour of Solid Wastes*. Workshop Biowaste. Brussels, 8-10.04.2002. 16 p.
- Detzel, A., Vogt, R., Fehrenbach, H., Knappe, F. and Gromke, U. (2003). *Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung und internationale Richtlinien: Teilbericht Abfall/Abwasser*. IFEU Institut - Öko-Institut e.V. 77 p.
- Hellebrand, H.J. (1998). 'Emissions of nitrous oxide and other trace gases during composting of grass and green waste', *J. agric, Engng Res.*, 69:365-375.
- Hogg, D., Favoino, E., Nielsen, N., Thompson, J., Wood, K., Penschke, A., Economides, D. and Papageorgiou, S., (2002). *Economic analysis of options for managing biodegradable municipal waste*, Final Report to the European Commission, Eunomia Research & Consulting, Bristol, UK.
- Kaartinen, T. (2004). *Sustainable disposal of residual fractions of MSW to future landfills*. Espoo: Technical University of Helsinki. (Master of Science Thesis). In Finnish.
- Petersen, S.O., Lind, A.M. and sommer, S.G. (1998). 'Nitrogen and organic matter losses during storage of cattle and pig manure', *J. Agric. Sci.*, 130: 69-79.
- Vesterinen, R. (1996): *Impact of waste management alternatives on greenhouse gas emissions: Greenhouse gas emissions from composting*. Jyväskylä: VTT Energy. Research report ENE38/T0018/96. (In Finnish). 30p.