

Tối ưu hóa chi phí vận chuyển và xử lý chất thải rắn đô thị dưới tác động của các điều kiện kinh tế xã hội và môi trường

• Lê Thị Kim Oanh

Đại học Văn Lang, Tp.HCM

• Jacqueline Bloemhof Ruwaard

• Jack van der Vorst

Trường ĐH và Trung tâm nghiên cứu Wageningen, Hà Lan

(Bài nhận ngày 03 tháng 10 năm 2014, nhận đăng ngày 21 tháng 10 năm 2014)

TÓM TẮT

Nghiên cứu xây dựng và thử nghiệm mô hình toán đa tiêu chí nhằm tối ưu hóa chi phí vận chuyển và xử lý chất thải rắn đô thị (CTRĐT) dưới tác động của các yếu tố môi trường và xã hội. Mô hình đơn giản, dễ hiệu chỉnh theo điều kiện của địa phương, dễ vận hành, cho kết quả nhanh (vài phút). Mô hình giúp so sánh hiệu quả hoạt động của hệ thống quản lý CTRĐT khi có sự thay đổi của các yếu tố tác động. Mô hình cung cấp các số liệu về: (1) phân bổ lượng CTRĐT từ các nguồn đến các nhà máy, (2) lựa chọn công

nghệ phù hợp, xác định công suất và vị trí xây dựng nhà máy, (3) phân tích chi phí vận chuyển, chi phí xử lý và nguồn thu. Với điều kiện của TpHCM (mô phỏng ở giả thuyết nghiên cứu 2) mô hình đề xuất thành phố nên đầu tư công nghệ ủ kỵ khí dạng mẻ và công nghệ bãi chôn lấp sinh học với tỷ trọng là 70% và 30% tổng khối lượng CTRĐT trong 20 năm tới. Trong trường hợp diện tích đất quy hoạch không đủ thì công nghệ lò đốt sẽ là lựa chọn thay thế.

Từ khóa: CTRĐT, mô hình hóa, công nghệ xử lý CTR, chi phí vận chuyển và xử lý.

1. GIỚI THIỆU

Quản lý CTRĐT đang là một vấn đề nóng tại các thành phố lớn của các nước đang phát triển do khối lượng tăng nhanh trong khi diện tích đất đai cần để xây dựng khu xử lý cũng như kinh phí xử lý lại hạn chế. Một trong những khó khăn của các nhà quản lý là làm thế nào có thể lựa chọn được một công nghệ xử lý với giá thành hợp lý và đáp ứng các yêu cầu bảo vệ môi trường trong bối cảnh hàng chục công nghệ xử lý của nhiều nước trên thế giới được đưa đến tiếp thị. Hơn nữa, nếu đưa thêm chi phí vận chuyển CTRĐT

vào trong bài toán lựa chọn này thì việc lựa chọn công nghệ càng khó khăn hơn khi mà thực tế cho thấy là một công nghệ tốn diện tích đất ít sẽ dễ dàng được xây dựng gần đô thị (chi phí vận chuyển rẻ) thì chi phí đầu tư và vận hành lại cao (ví dụ công nghệ lò đốt). Bài toán lựa chọn lại càng khó khăn hơn khi phải đáp ứng tính đa mục tiêu của xã hội là phải xử lý hết và đạt yêu cầu về môi trường, nhưng cần phải đạt mục tiêu sản xuất nhiều nhất hoặc tối ưu nhất các sản phẩm có giá trị sử dụng từ CTRĐT. “Công cụ hỗ trợ người ra

quyết định- decision support tool” có thể cung cấp các cơ sở để nhà quản lý đưa ra các quyết định phù hợp với điều kiện của địa phương (Jain và cộng sự 2005; Quariguasi và cộng sự 2008; Chaabane và cộng sự 2011; Banias và cộng sự 2011).

Có rất nhiều công cụ (mô hình hóa) hỗ trợ nhà quản lý đã được xây dựng và ứng dụng để hỗ trợ việc quản lý CTR (Chang và Wang 1996, Achilles và cộng sự 2013, Karmperis và cộng sự 2013, Eriksson và cộng sự 2002, Barlishen và Baezt 1996, Valeo và cộng sự 1998, Fiorucci và cộng sự 2003, Jain và cộng sự 2005, Ghose và cộng sự 2006, Kirkeby và cộng sự 2007, Abeliotis và cộng sự 2009, Su và cộng sự 2010, Banias và cộng sự 2011). Karmperis và cộng sự (2013) đã phân loại các dạng mô hình hóa thành 4 loại, gồm: (1) Phân tích vòng đời sản phẩm (Life Cycle Analysis), (2) Phân tích chi phí lợi ích (Cost Benefit Analysis), (3) Phân tích lựa chọn đa mục tiêu (Multi Criteria Decision Analysis) và (4) Lý thuyết trò chơi (Game Theory). Nghiên cứu này cũng cho biết, mô hình

hóa được ứng dụng trong quản lý CTR tập trung vào hai lĩnh vực: tối ưu hóa đoạn đường vận chuyển CTRĐT và tối ưu hóa chiến lược quản lý (ví dụ: lựa chọn công nghệ xử lý CTRĐT).

Nhìn chung, các mô hình toán đang được áp dụng để quản lý CTR hiện nay chủ yếu tập trung vào một hoặc một vài mục tiêu, ít có trường hợp đánh giá dựa trên sự tương tác đa mục tiêu. Hầu hết các mô hình hóa đều có cấu trúc phức tạp với nhiều giả định, giới hạn tính toán và biến số. Cần phải chỉ ra rằng một mô hình phức tạp rất khó có khả năng triển khai và ứng dụng rộng rãi (Powell, 2000).

Mô hình này được xây dựng với mục đích tối ưu hóa chi phí vận chuyển và xử lý CTRĐT trong bối cảnh chịu tác động bởi nhiều yếu tố kinh tế, xã hội, kỹ thuật, và môi trường khác như: thị trường tiêu thụ sản phẩm, chiến lược quản lý của quốc gia và của thành phố... Mô hình thể hiện tính ưu việt do có cấu trúc toán học đơn giản, dễ hiệu chỉnh khi các điều kiện thực tế có thay đổi và dễ bổ sung khi xuất hiện các tác nhân mới tác động đến hệ thống quản lý CTRĐT.

2. SỐ LIỆU ĐẦU VÀO VÀO MÔ HÌNH

Các số liệu đầu vào của mô hình toán bao gồm: Đặc điểm của hệ thống quản lý CTRĐT, loại công nghệ xử lý có thể áp dụng ở địa phương, chi phí đầu tư, vận hành và nguồn thu của từng công nghệ khi ứng dụng tại địa phương.

Đặc điểm của hệ thống quản lý CTRĐT

Thông số đầu vào mô hình là:

- **Khoảng cách từ các nguồn xả thải đến các khu xử lý.** Khoảng cách có thể xác định là khoảng cách trung bình từ các Quận đến khu xử lý. Nếu nguồn xả được chia nhỏ hơn thì khoảng cách có thể xác định từ điểm hẹn/trạm trung chuyển đến khu xử lý (tại TpHCM là Đa Phước và Phước Hiệp).
- **Khối lượng và thành phần CTRĐT.** Khối lượng CTRĐT phân bố từng khu vực, ví dụ: khối lượng CTRĐT tại các Quận hoặc chi tiết hơn là từng Phường, hoặc từng trạm trung

chuyển/điểm hẹn. Thành phần CTRĐT cần nắm rõ để xác định khối lượng CTRĐT có khả năng xử lý ở từng công nghệ và khối lượng sản phẩm tạo thành. Đối với CTRĐT của TpHCM, theo nhà máy Vietstar (2009) thì thành phần hữu cơ có khả năng phân hủy sinh học được phân loại khoảng 50% và khối lượng sản phẩm compost tạo thành 25-30% khối lượng hỗn hợp đầu vào. Đối với công nghệ lò đốt, CTRĐT phải được phân loại sơ bộ để loại bỏ các thành phần có kích thước lớn và không cháy, thành phần này chiếm khoảng 10%. Độ ẩm cũng là yếu tố cần xác định cụ thể để có thể cân bằng vật chất đối với từng công nghệ xử lý. Một trong những nguồn thu lớn của các nhà máy xử lý CTRĐT là bán các thành phần có khả năng tái chế. Theo nhà máy Vietstar (2009) thì tổng khối

lượng chất thải rắn tái chế các loại chiếm 4% tổng khối lượng CTRĐT đầu vào. Để xem xét khả năng áp dụng công nghệ lò đốt thì nhiệt trị của CTRĐT là một thông số không thể thiếu.

- **Diện tích đất được qui hoạch xây dựng các khu xử lý CTRĐT và thời gian qui hoạch.** Trong trường hợp của TpHCM, hiện có 2 khu liên hiệp xử lý CTR là Đa Phước và Phước Hiệp. Với quỹ đất của thành phố thì không thể qui hoạch thêm khu vực để xây dựng khu xử lý. Nên trong nghiên cứu này sẽ tính toán căn cứ trên 2 khu đất trên và qui hoạch trong 20 năm, với diện tích qui hoạch là 233ha đối với khu Đa Phước và 276 ha đối với khu Phước Hiệp (Sở TN&MT, 2009).

Loại công nghệ có khả năng áp dụng tại địa phương

Hiện có nhiều công nghệ khác nhau để xử lý CTRĐT, để áp dụng tại một địa phương nhất định thì công nghệ phải đáp ứng một số tiêu chí sau: (1) tính khả thi về mặt kỹ thuật: công nghệ phải được minh chứng hiệu quả và địa phương có thể đáp ứng về mặt kỹ thuật; (2) công nghệ phải đạt hiệu quả về môi trường: đạt các tiêu chuẩn/qui chuẩn xả thải của địa phương; (3) Tính kinh tế của công nghệ: tính khả thi về chi phí đầu tư, vận hành, bảo trì và nguồn thu. Bên cạnh đó, cần phải xét đến chi phí vận chuyển. Như đã trình bày ở trên, với công nghệ hiện đại như lò đốt, cần diện tích nhỏ và hạn chế các tác động đến môi trường thì có thể xây dựng ở gần khu dân cư nên tiết kiệm chi phí vận chuyển. Như vậy, nếu chỉ

xét đến chi phí đầu tư, vận hành và nguồn thu từ sản phẩm của bản thân công nghệ là không hợp lý; (4) Công nghệ áp dụng phải phù hợp với qui hoạch sử dụng đất của địa phương.

Trong 4 tiêu chí trên, hai tiêu chí đầu là tiêu chí sàng lọc sẽ được đánh giá trước khi đưa vào mô hình, hai tiêu chí còn lại sẽ được mô hình tính toán và đưa ra kết quả.

Chi phí xử lý của các công nghệ

Chi phí xử lý CTRĐT của các công nghệ khi áp dụng trong điều kiện của Việt Nam đã được Kim Oanh (2012) tính toán như trong bảng 2. Tổng chi phí bao gồm: chi phí đầu tư, vận hành, bảo trì và chi phí chôn lấp phần chất thải không có khả năng xử lý bằng công nghệ lựa chọn. Nguồn thu phụ thuộc vào từng công nghệ, từ bán các nguyên liệu tái chế được thu hồi, compost, biogas, điện, kim loại nặng được thu hồi từ tro lò đốt. Chi phí của từng công nghệ phụ thuộc vào công suất của nhà máy được đầu tư, công suất cao sẽ có chi phí xử lý cho từng tấn sản phẩm nhỏ hơn. Công suất của nhà máy được tính toán trong bảng 2 trong khoảng 100.000 đến 1.100.000 tấn/năm, đây là khoảng công suất phổ biến của các công nghệ trên thế giới. Ở Việt Nam hiện nay, do đất đai sử dụng cho mục đích xử lý môi trường được nhà nước cho không nên chi phí này chưa bao gồm chi phí đất đai. Trong trường hợp nếu đất đai không được cho không mà phải tính chi phí thì chi phí này sẽ được đưa vào mô hình tính toán như một chi phí đơn vị trong tổng chi phí.

Bảng 2. Chi phí xử lý CTRĐT ở Việt Nam (Công suất giao động từ 100.000 – 1.100.000 tấn/năm)

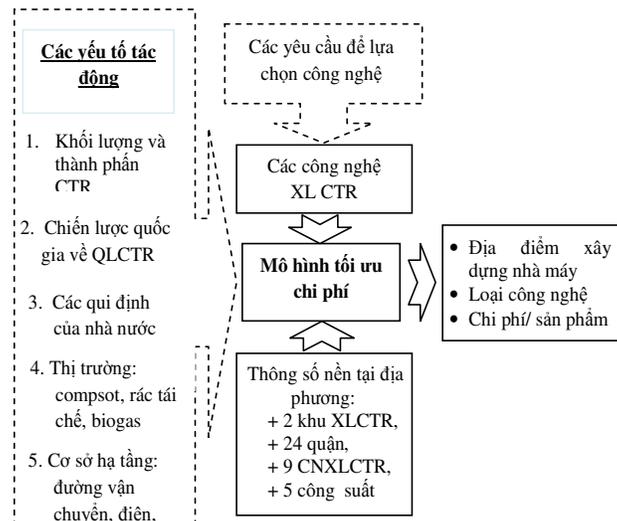
Đơn vị tính: USD/tấn CTR chưa phân loại

Ký hiệu	Công nghệ	Tổng chi phí	Nguồn thu	Chi phí đã trừ nguồn thu
1a	Compost ủ hở thổi khí cưỡng bức	21,2 - 33,1	13,2	8,0 - 19,9
1b	Compost ủ kín, kiểm soát tự động	26,2 - 42,1	13,2	13,0 - 28,9
2a	Kị khí dạng mẻ	25,3 - 40,5	19,2	6,1 - 21,3
2b	Kị khí dạng liên tục	33,2 - 54,7	24,6	8,6 - 30,1
3a	Lò đốt có thu hồi năng lượng	45,7 - 58,6	34,3	11,4 - 24,3

Ký hiệu	Công nghệ	Tổng chi phí	Nguồn thu	Chi phí đã trừ nguồn thu
3b	Lò đốt không thu hồi năng lượng	38,6 - 49,3	0	38,6 - 49,3
4a	Bãi chôn lấp hợp vệ sinh	20,0 - 28,0	13,9	6,1 - 14,1
4b	Bãi chôn lấp sinh học	23,6 - 33,4	17,9	5,7 - 15,5

Ghi chú: Tỷ lệ đổi tiền vào thời điểm tính toán (12/2009) là 18.500 VND/1USD.

3. MÔ HÌNH TỐI ƯU HÓA



Hình 1. Cấu trúc của mô hình.

Hình 1 trình bày cấu trúc tổng quát của mô hình toán. Trong mô hình MILP, X_{ij} và Y_j là những biến số. X_{ij} là biến số về khối lượng CTRĐT được vận chuyển từ Quận i đến nhà máy sử dụng công nghệ j với công suất thiết kế t. Y_j là biến số nguyên (0, 1, 2, 3 ...) thể hiện số lượng nhà máy sử dụng công nghệ j với công suất thiết kế t được xây dựng.

• **Các số liệu sử dụng trong mô hình**

Hình 2 tóm tắt các thông số đầu vào và các kết quả chính thu được sau khi vận hành mô hình. Chi tiết các thông số đầu vào được trình bày bởi Kim Oanh (2012).

Khối lượng CTRĐT

Tính toán trên khối lượng ướt CTRĐT chưa phân loại tại TpHCM. Với khối lượng ước tính trung bình 3,6 triệu tấn/năm trong 20 năm qui hoạch (2012-2032).

Đoạn đường vận chuyển

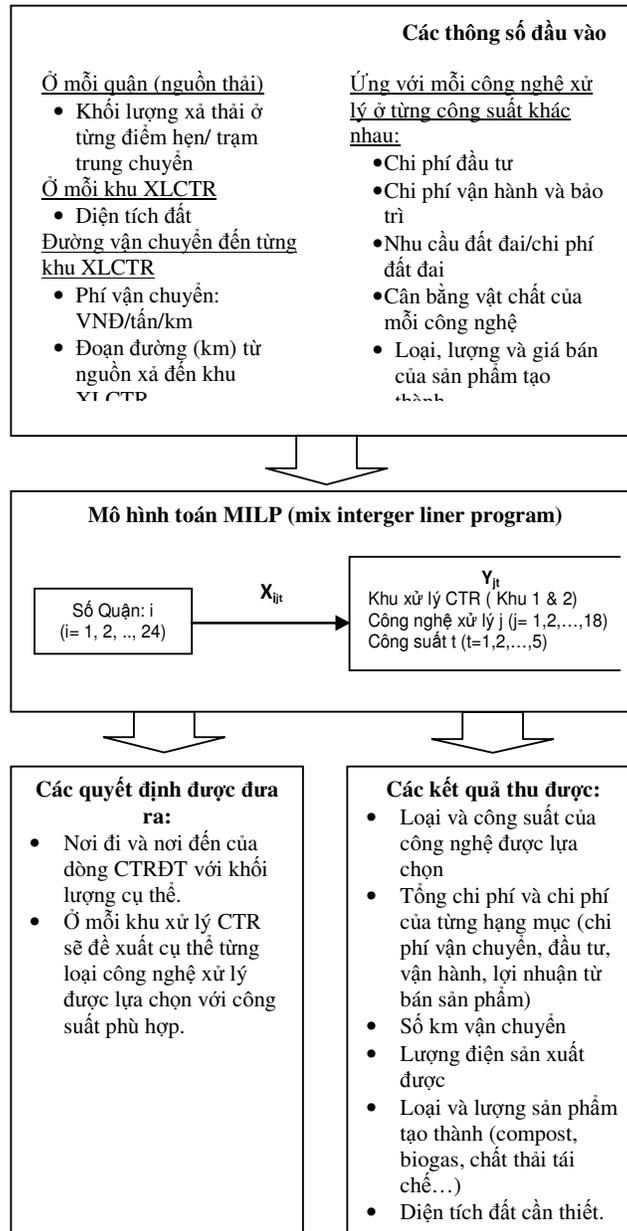
Đoạn đường vận chuyển CTRĐT từ các Quận về các khu xử lý được tính bằng đoạn đường từ các trạm trung chuyển ở các Quận đến khu XLCTR hoặc bằng giá trị trung bình của các điểm hẹn đến từng khu xử lý. Số liệu về đoạn đường vận chuyển được cung cấp bởi Công ty Môi trường Đô thị.

Công nghệ XLCTR

Việc lựa chọn công nghệ xử lý CTR phụ thuộc vào yêu cầu của địa phương. Với mô hình mô phỏng này, 8 công nghệ được đưa ra để lựa chọn bao gồm: (1) ủ compost hở, có thổi khí, (2) ủ compost trong thùng kín, kiểm soát tự động, (3) ủ kỵ khí dạng mẻ, (4) ủ kỵ khí dạng liên tục, (5) lò đốt không thu hồi năng lượng, (6) lò đốt có thu hồi năng lượng, (7) bãi chôn lấp hợp vệ sinh, (8) bãi chôn lấp sinh học. Ở các nước phát triển,

thành phần chất thải rắn không có khả năng phân hủy sinh học phải được chôn lấp trong một bãi chôn lấp riêng có tên gọi Residue landfill. Loại

bãi chôn lấp này được xem như công nghệ thứ 9, nó sẽ xuất hiện song song với một hoặc nhiều công nghệ sau: compost, biogas và lò đốt.



Hình 2. Tóm tắt các thông số đầu vào và kết quả đầu ra của mô hình.

Nhu cầu về đất đai

Đất sử dụng cho mục đích xây dựng các khu xử lý CTRĐT ở TpHCM được nhà nước quy định là cấp miễn phí. Nên trong trường hợp nghiên cứu này, mô hình không tính toán chi phí mua đất. Tuy nhiên ở các trường hợp khác, giá đất có thể được đưa vào mô hình để tính toán.

Sản phẩm từ các công nghệ xử lý CTR

Sản phẩm có thể là compost, biogas, điện, nhiệt, chất thải rắn có khả năng tái chế, tro (nếu được tái chế), kim loại. Lượng sản phẩm được tạo thành ứng với từng công nghệ sẽ được đưa vào như số liệu đầu vào của mô hình.

• **Công thức toán**

Danh mục các tập hợp:

- $i \in I = \{1, 2, \dots, 24\}$ = Tập hợp 24 Quận Huyện;
- $j \in J_1 = \{1, 2, \dots, 9\}$ = Tập hợp 8 (+1) loại công nghệ xử lý có thể đầu tư ở Khu xử lý 1;
- $j \in J_2 = \{10, \dots, 18\}$ = Tập hợp 8 (+1) loại công nghệ xử lý có thể đầu tư ở Khu xử lý 2;
- $t \in T = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ = Tập hợp công suất có thể đầu tư của các công nghệ (5 công suất/công nghệ);

Thông số tính toán:

- t_{ij} :Chi phí vận chuyển từ Quận i đến nhà máy xử lý có công nghệ j ($j \in J_1 \cup J_2$) (USD/tấn);
- r_i :Khối lượng CTR ở Quậni (tấn/năm);
- f_{jt} :Chi phí đầu tư nhà máy sử dụng công nghệ j ($j \in J_1 \cup J_2$) với công suất thiết kế t (USD/năm);
- b_{jt} :Chi phí vận hành nhà máy sử dụng công nghệ j ($j \in J_1 \cup J_2$) với công suất thiết kế t (USD/tấn);
- n_{jt} :Nguồn thuthừ nhà máy sử dụng công nghệj ($j \in J_1 \cup J_2$) với công suất thiết kế t (USD/tấn);
- l_{jt} :Diện tích đất mà nhà máy sử dụng công nghệj ($j \in J_1 \cup J_2$) ở công suất t cần (ha);

$v_{j,t}$:Công suất của nhà máy sử dụng công nghệ j và công suất thiết kế t (tấn);

z_1, z_2 :Tổng diện tích của Khu xử lý 1 và 2 (ha);

k_1 :Tỷ lệ CTR bị loại bỏ từ quá trình phân loại của nhà máy compost hoặc biogas (25% tổng khối lượng CTR hỗn hợp);

k_2 :Tỷ lệ CTR có kích thước lớn bị loại bỏ khỏi lò đốt (10% tổng khối lượng CTR hỗn hợp).

Những biến số:

X_{ijt} : Khối lượng CTR từ Quậniđến nhà máy sử dụng công nghệjứng với công suất thiết kế t (tấn/năm).

Y_{jt} : Các biến số nguyên (0, 1, 2, 3 ...): Số lượng các nhà máy sử dụng công nghệ j ứng với công suất thiết kế t. Y_{jt} chỉ ra việc một nhà máy sử dụng công nghệ j ở công suất t có được xây dựng hay không và có mấy nhà máy tương tự như vậy được xây dựng.

Để đạt được mục tiêu giảm thiểu chi phí vận chuyển và chi phí xử lý CTRĐT của thành phố thì công thức tính toán sẽ như sau:

Chi phí tối thiểu để xử lý CTRĐT =

$$\begin{aligned} & \left\{ \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_1} \sum_{t \in T} t_{ij} X_{ijt} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_2} \sum_{t \in T} t_{ij} X_{ijt} + \sum_{j \in J_1} \sum_{t \in T} f_{jt} Y_{jt} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_1} \sum_{t \in T} b_{jt} X_{ijt} + \sum_{j \in J_2} \sum_{t \in T} f_{jt} Y_{jt} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_2} \sum_{t \in T} b_{jt} X_{ijt} - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_1} \sum_{t \in T} X_{ijt} n_{jt} - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_2} \sum_{t \in T} X_{ijt} n_{jt} + \left(k_1 \sum_{i \in I} \sum_{j=1}^4 \sum_{t \in T} X_{ijt} + k_2 \sum_{i \in I} \sum_{j=5}^6 \sum_{t \in T} X_{ijt} b_{9t} + k_1 \sum_{i \in I} \sum_{j=7}^9 \sum_{t \in T} X_{ijt} + k_2 \sum_{i \in I} \sum_{j=10}^{18} \sum_{t \in T} X_{ijt} b_{18t} \right) \right\} \end{aligned}$$

• **Những điều kiện ràng buộc**

Để mô hình toán vận hành theo đúng ý đồ của nhà quản lý thì các điều kiện bắt buộc phải được xác lập. Trong trường hợp của của TpHCM, các điều kiện cụ thể được đề cập sau đây:

Điều kiện ràng buộc (1) yêu cầu toàn bộ CTRĐT của các Quận phải được thu gom và vận

chuyển hết đến các nhà máy xử lý/hoặc bãi chôn lấp (yêu cầu về vệ sinh môi trường)

$$\sum_{j \in J_1} \sum_{t \in T} X_{ijt} + \sum_{j \in J_2} \sum_{t \in T} X_{ijt} = r_i \forall i \in I(1)$$

Điều kiện ràng buộc (2) yêu cầu khối lượng CTRĐT được đưa đến từng nhà máy xử lý phải nhỏ hơn hoặc bằng công suất thiết kế t của nhà máy (tránh hiện tượng quá tải tại nhà máy xử lý).

$$\sum_{i \in I} X_{ijt} \leq v_{jt} Y_{jt}, \forall j \in J_1 \cup J_2, \forall t \in T(2)$$

Điều kiện ràng buộc (3) và (4) yêu cầu tổng diện tích đất sử dụng cho tất cả các công nghệ xử lý và bãi chôn lấp ở từng khu xử lý phải nhỏ hơn hoặc bằng diện tích đất đã được qui hoạch cho khu xử lý đó (tránh hiện tượng quá tải tại các khu xử lý). Điều kiện ràng buộc (3) yêu cầu cho khu xử lý chất thải 1 (Khu Phước Hiệp) và (4) yêu cầu cho khu xử lý chất thải 2 (Khu Đa Phước).

$$\sum_{j=1} \sum_{t \in T} l_{jt} Y_{jt} \leq z_1(3)$$

$$\sum_{j=2} \sum_{t \in T} l_{jt} Y_{jt} \leq z_2(4)$$

Điều kiện ràng buộc (5) (6) yêu cầu tổng khối lượng CTR bị loại bỏ từ khâu phân loại phải nhỏ hơn hoặc bằng công suất chôn lấp của bãi chôn lấp chất thải bị loại bỏ (residue landfill) ở khu xử lý 1 và 2. Khối lượng chất thải bị loại bỏ từ quá trình phân loại của nhà máy compost và biogas là 25% tổng khối lượng CTRĐT đầu vào ($k_1=0.25$) và khối lượng CTR bị loại bỏ từ công nghệ lò đốt là 10% tổng khối lượng CTRĐT đầu vào ($k_2=0.1$).

$$k_1 \sum_{i \in I} \sum_{j=1}^4 \sum_{t \in T} X_{ijt} + k_2 \sum_{i \in I} \sum_{j=5}^6 \sum_{t \in T} X_{ijt} \leq \sum_{t \in T} v_{9t} Y_{9t}(5)$$

$$k_1 \sum_{i \in I} \sum_{j=9}^{12} \sum_{t \in T} X_{ijt} + k_2 \sum_{i \in I} \sum_{j=13}^{14} \sum_{t \in T} X_{ijt} \leq \sum_{t \in T} v_{18t} Y_{18t}(6)$$

Y_{jt} là số lượng nhà máy xử lý bằng công nghệ j với công suất t được xây dựng. Do đó ở điều kiện ràng buộc (7) qui định Y_{jt} là số nguyên không âm.

$$Y_{jt} = 0, 1, 2, \dots \text{ đối với mọi } j, t(7)$$

Điều kiện ràng buộc (8) và (9) yêu cầu CTRĐT hỗn hợp không được đưa vào chôn lấp

tại bãi chôn lấp chất thải được loại bỏ sau quá trình phân loại ở khu xử lý 1 và 2.

$$\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{i9t} = 0(8)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{i18t} = 0(9)$$

Điều kiện ràng buộc (10) là yêu cầu hiển nhiên về khối lượng CTRĐT được chở đến các nhà máy xử lý phải lớn hơn không.

$$X_{ijt} \geq 0 \text{ đối với mọi } i, j, T(10)$$

• Các giả thuyết mô phỏng các khả năng có thể xảy ra ở TpHCM

TpHCM là một thành phố lớn với mật độ dân cư cao và tốc độ phát sinh CTR ngày càng lớn đã dẫn đến một thực tế là nguồn đất đai phục vụ mục đích xử lý CTRĐT ngày càng hạn hẹp (Sở TNMT, 2009). Do vậy, liên quan đến đất đai, mô hình sẽ tính toán và đề xuất phương án công nghệ tối ưu trong 3 giả thuyết sau đây.

(1) Giả thuyết 1: đất đai không hạn chế, thành phố đáp ứng đầy đủ diện tích đất theo yêu cầu xử lý.

(2) Giả thuyết 2: diện tích đất được qui hoạch như hiện nay là 267 ha đối với khu Phước Hiệp và 233 ha đối với khu Đa Phước, phải được sử dụng để xử lý và chôn lấp đủ trong 20 năm.

(3) Giả thuyết 3: dự phòng khả năng nhà nước không thể giải tỏa đủ diện tích như đã qui hoạch (điều này thường xảy ra ở Việt Nam) mà chỉ có 50% diện tích so với ban đầu được qui hoạch nhưng vẫn phải đáp ứng yêu cầu là xử lý và chôn lấp đủ lượng CTRĐT trong 20 năm.

Theo logic cho thấy với diện tích đất sẵn có nhỏ hơn thì mô hình sẽ chọn lựa công nghệ ít tiêu tốn đất đai hơn. Tuy nhiên, việc sử dụng mô hình để tính toán sẽ cho biết giá trị cụ thể là với diện tích đất nhất định, để tối ưu hóa chi phí vận chuyển và xử lý thì công nghệ nào nên được lựa chọn và với công suất là bao nhiêu. Bên cạnh đó mô hình cũng cung cấp số liệu cụ thể về chi phí cho từng tấn CTRĐT được sản xuất, lượng sản phẩm tạo thành... ứng với từng giả thuyết trong thời gian vài phút vận hành mô hình toán.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

- Công nghệ xử lý và tỷ trọng từng loại công nghệ được mô hình lựa chọn để tối ưu hóa chi phí

Công nghệ xử lý và công suất của từng nhà máy được mô hình lựa chọn ở từng khu xử lý được trình bày trong bảng 3 và hình 4.

Bảng 3. Công nghệ xử lý và công suất của từng nhà máy được mô hình lựa chọn ở từng khu xử lý ứng với 3 giả thuyết.

Gt	Khu xử lý 1	Khu xử lý 2
1	- BCL sinh học (31%): 1.100.000 tấn/năm x 1 (bãi chôn lấp/nhà máy)	- Ủ kỵ khí dạng mẻ (8%): 300.000 tấn/năm x 1 - BCL sinh học (61%): 1.100.000 tấn/năm x 2 - BCL CTR bị loại bỏ: 100.000 tấn/năm x 1
2	- Ủ kỵ khí dạng mẻ (14%): 500.000 tấn/năm x 1 - BCL sinh học (30%): 1.100.000 tấn/năm x 1 - BCL CTR bị loại bỏ: 100.000 tấn/năm x 2	- Ủ kỵ khí dạng mẻ (56%): 500.000 tấn/năm x 4 - BCL CTR bị loại bỏ: 500.000 tấn/năm x 1
3	- Ủ kỵ khí dạng mẻ (33%): 500.000 tấn/năm x 2 200.000 tấn/năm x 1 - BCL vệ sinh (3%): 100.000 tấn/năm x 1 - BCL CTR bị loại bỏ: 300.000 tấn/năm x 1	- Ủ kỵ khí dạng liên tục (14%): 500.000 tấn/năm x 1 - Lò đốt thu hồi n.lượng (50%): 600.000 tấn/năm x 3 - BCL CTR bị loại bỏ: 300.000 tấn/năm x 1

Ghi chú: trong ngoặc là tỷ lệ phần trăm khối lượng CTRET được áp dụng công nghệ.

Giả thuyết 1 khi đất đai không là yếu tố giới hạn, mô hình chọn công nghệ bãi chôn lấp sinh học là công nghệ chủ đạo do công nghệ này có chi phí rẻ nhất trong 8 công nghệ lựa chọn. Giả thuyết 2 khi đất đai đáp ứng đúng theo qui hoạch của thành phố, mô hình đã kiến nghị thay thế một phần công nghệ phân hủy kỵ khí dạng mẻ thay chỗ cho công nghệ bãi chôn lấp sinh học như trong giả thuyết 1 do công nghệ phân hủy kỵ khí dạng mẻ cần ít đất hơn. Ở giả thuyết 3 khi đất chỉ còn một nửa so với giả thuyết 2, mô hình đã đề xuất thay thế một phần bằng công nghệ kỵ khí liên tục và công nghệ lò đốt có thu hồi điện năng.

Đây là 2 công nghệ có chi phí đắt hơn nhưng cần ít đất hơn. Khu xử lý 2 gần các nguồn xả hơn khu xử lý 1, do đó để giảm chi phí, khối lượng CTR có xu hướng chuyển nhiều đến khu xử lý 2 và để cân bằng với diện tích đất thì xu hướng công nghệ tốn ít đất sẽ được lắp đặt ở khu xử lý 2.

Kết quả chạy mô hình cho thấy khi diện tích đất sẵn có giảm (ứng với 3 giả thuyết đất đai 1, 2 và 3) thì mô hình đã thay đổi công nghệ từ công nghệ bãi chôn lấp sinh học (giả thuyết 1) sang công nghệ kỵ khí dạng mẻ (giả thuyết 2) và sau cùng là công nghệ lò đốt phát điện (giả thuyết 3).



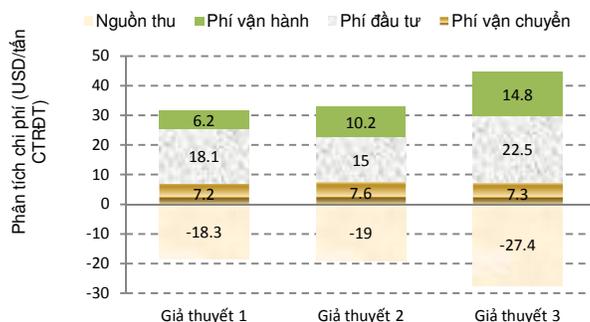
Hình 4. Công nghệ đề xuất ứng với 3 giả thuyết đất đai

Phân tích chi phí

Bảng 4 trình bày chi phí xử lý thuần (chi phí hàng mục xử lý ứng với 3 giả thuyết đất đai của trừ lợi nhuận) và Hình 5 trình bày chi phí từng TpHCM.

Bảng 4. Chi phí xử lý thuần ứng với 3 giả thuyết đất đai

	Giả thuyết		
	1	2	3
Chi phí theo năm (triệu USD/năm)	47.4	49.5	61.5
Chi phí theo tấn (USD/tấn)	13.3	13.9	17.2
Chi phí theo đầu người trên năm (USD/người/năm)	5.0	5.2	6.5



Hình 5. Phân tích chi phí cho từng hạng mục xử lý ứng với 3 giả thuyết đất đai

Đúng theo dự đoán, giả thuyết 1 (diện tích đất không giới hạn) sẽ cho chi phí xử lý thấp nhất và giả thuyết 3 khi diện tích đất bị hạn chế thì chi phí xử lý sẽ cao nhất. Tuy nhiên, hiệu quả của mô hình đã cho thấy mối liên hệ giữa chi phí xử lý và khả năng sẵn có đất để xử lý CTRĐT. So sánh

giữa giả thuyết 1 và 2 cho thấy chi phí thuần của giả thuyết 2 không cao hơn nhiều so với giả thuyết 1 (khoảng 5%, 13.9 >> 13.3USD/tấn). Điều này cho thấy diện tích đất theo qui hoạch của thành phố trong 20 năm (giả thuyết 2) gần đáp ứng đủ trong trường hợp lựa chọn công nghệ

cần diện tích đất lớn nhất (chi phí thuần sẽ nhỏ nhất). Trong khi đó, trong giả thuyết 3, chi phí xử lý tăng 24% ($17.2 > 13.3$ USD/tấn) cho thấy đất đai là yếu tố giới hạn và đã làm tăng đáng kể chi phí xử lý CTRĐT của thành phố.

• **Sản phẩm từ công nghệ xử lý CTRĐT**

Sản phẩm tạo thành từ các công nghệ xử lý CTRĐT là compost, khí sinh học, điện, nhiệt và chất thải tái chế. Sản lượng sản phẩm từ các công

nghệ được đề xuất ứng với 3 giả thuyết nghiên cứu được tóm tắt trong bảng 5. Sản lượng của từng sản phẩm được cộng dồn từ tất cả các nhà máy xử lý ở cả 2 khu xử lý ứng với khối lượng CTRĐT trung bình cần xử lý là 3,6 triệu tấn/năm. Với các sản lượng sản phẩm được mô hình dự báo này, các nhà quản lý có thể dự trù kế hoạch tiêu thụ sản phẩm trong tương lai.

Bảng 5. Sản lượng sản phẩm sản xuất ra từ các công nghệ xử lý CTRĐT ứng với 3 giả thuyết nghiên cứu tại TPHCM.

Loại sản phẩm	Đơn vị	Đơn vị/năm		
		Giả thuyết		
		1	2	3
Compost	tấn	$60 * 10^3$	$500 * 10^3$	$340 * 10^3$
Khí sinh học	m^3	$348 * 10^6$	$210 * 10^6$	$75 * 10^6$
Điện	kWh	0	0	$581 * 10^6$
Nhiệt	kWh	0	0	$1,163 * 10^6$
PE	tấn	$9.6 * 10^3$	$80 * 10^3$	$54 * 10^3$
Nguyên liệu tái chế	tấn	$5.4 * 10^3$	$45 * 10^3$	$31 * 10^3$
Nhôm (thu hồi từ tro lò đốt)	tấn	0	0	$1.6 * 10^3$
Sắt (thu hồi từ tro lò đốt)	tấn	0	0	$28 * 10^3$

Lưu ý: Năng lượng nhiệt từ lò đốt được sử dụng để tuần hoàn lại khâu sấy giảm ẩm chất thải trước khi đốt, không được dùng để bán.

Sản phẩm tạo thành trong giả thuyết 1 (khi đất đai không giới hạn) chủ yếu là khí sinh học từ bãi chôn lấp sinh học, trong khi ở giả thuyết 2 sản phẩm tạo thành là khí sinh học, compost và sản phẩm tái chế từ công nghệ kỵ khí. Ở giả thuyết 3 sản phẩm tạo thành đa dạng hơn, sản phẩm chủ đạo là điện và nhiệt từ lò đốt. Khí sinh học có thể được dùng để sản xuất điện và nhiệt với hệ số chuyển đổi là 1.9kWh điện và 3.8 kWh nhiệt/1m³ khí sinh học có tỷ lệ CH₄ 55%. Ở các nước nhiệt đới, nhu cầu nhiệt chỉ phục vụ các hoạt động công nghiệp. Do đó, nếu công nghệ này được áp dụng thì các nhà quản lý cần phải có

kế hoạch cụ thể để sử dụng hiệu quả nguồn tài nguyên này.

Trong giả thuyết 2 cho hiệu quả thu hồi PE tái chế cao nhất, khoảng 80.000 tấn/năm. Theo số liệu cung cấp bởi Công ty Vietstar (2011) thì khối lượng PE nguyên liệu được sản xuất từ PE tái chế chiếm khoảng 40% khối lượng đầu vào. Do đó, lượng PE nguyên liệu được sản xuất khoảng 32.000 tấn/năm. Lợi nhuận thu được từ giả thuyết 3 cao hơn nghiên cứu 1 và 2. Có nghĩa là, giả thuyết 3 này cũng bị tác động nặng nề hơn bởi thị trường tiêu thụ sản phẩm (điện, nhiệt, compost, nhựa tái chế).

5. KẾT LUẬN

Bài viết tập trung xây dựng và thử nghiệm mô hình toán đa tiêu chí để tối ưu hóa chi phí vận chuyển và xử lý CTRĐT dưới tác động của các yếu tố kỹ thuật, kinh tế, xã hội và môi trường. Kết quả cho thấy mô hình toán vận hành tốt có hiệu quả cao trong việc so sánh và đánh giá hiệu quả của hệ thống quản lý CTRĐT. Mô hình toán cung cấp các số liệu/thông tin về: (1) phân bổ vận chuyển CTRĐT từ 24 Quận Huyện về các khu xử lý CTRĐT và đến từng nhà máy xử lý một cách hiệu quả nhất; (2) Lựa chọn các công nghệ xử lý phù hợp, xác định công suất và định vị nhà máy xử lý ở từng khu xử lý; (3) phân tích chi phí vận chuyển, chi phí đầu tư, vận hành, nguồn thu từ sản phẩm và chi phí chôn lấp các chất thải loại bỏ từ quá trình phân loại hoặc tro từ lò đốt. Mô hình dễ vận hành với thời gian cho kết quả nhanh (trong vài phút), dễ hiệu chỉnh hoặc bổ sung theo điều kiện của địa phương hoặc theo yêu cầu của nhà quản lý.

Để tối ưu hóa chi phí vận chuyển, mô hình đề xuất xây dựng các nhà máy ứng dụng công nghệ xử lý tốn ít đất như công nghệ lò đốt ở khu xử lý gần nguồn xả thải (khu xử lý 2) và lựa chọn công suất vừa đủ với diện tích đất đã được qui hoạch trong 20 năm. Ngược lại, ở khu xử lý xa

nguồn thải, mô hình đề xuất lựa chọn loại công nghệ có chi phí thấp (cần nhiều đất) như công nghệ bãi chôn lấp sinh học.

Nếu chỉ lựa chọn công nghệ dựa trên chi phí thì công nghệ bãi chôn lấp sinh học là lựa chọn đầu tiên, tiếp theo là công nghệ kị khí dạng mẻ và chi phí cao nhất là công nghệ lò đốt không thu hồi năng lượng, các công nghệ còn lại nằm ở giữa. Nếu căn cứ trên nhu cầu đất đai sử dụng để lựa chọn công nghệ thì công nghệ lò đốt là ưu tiên đầu tiên, tiếp theo là công nghệ kị khí dạng liên tục, và sau cùng là công nghệ bãi chôn lấp vệ sinh. Do đó, cân nhắc để giảm thiểu chi phí trong điều kiện đất đai đã được qui hoạch sẵn (không thể mở rộng), mô hình đã chọn lựa cùng lúc nhiều công nghệ bao gồm: bãi chôn lấp sinh học, kị khí dạng mẻ và lò đốt có thu hồi năng lượng.

Kết quả của giả thuyết 2 (là giả thuyết mô phỏng điều kiện của TPHCM hiện nay) thì TPHCM nên đầu tư công nghệ ủ kị khí dạng mẻ (70% tổng khối lượng CTR) và công nghệ bãi chôn lấp sinh học (30%) để xử lý CTRĐT trong 20 năm tới. Công nghệ lò đốt có thu hồi năng lượng sẽ là lựa chọn tiếp theo nếu xảy ra giả thuyết nhà nước không thể qui hoạch đủ diện tích đất như đã dự kiến.

Optimization the transport and treatment cost of municipal solid waste under the effected of economy, socio and environment

- **Le Thi Kim Oanh**

Van Lang University, Ho Chi Minh City

- **Jacqueline Bloemhof Ruwaard**

- **Jack van der Vorst**

Wageningen University & Research Center, the Netherlands

ABSTRACT

The multi-decision support model is developed and demonstrated to minimise the cost of transport and treatment of municipal solid waste under the effected of socio and environment. The tool is simple, easy to upgrade to fit with the local condition, easy and fast running (some minutes). The model is used to compare the operation of MSW system if there are some changes in impact factors. The results of model show: (1) the distribution of amount of MSW from sources to treatment plants, (2) the

selected treatment technologies, its capacity and location, (3) cost analysis of transport, treatment of MSW and the income. In the current situation of HCMC (case study 2), the model proposed 2 treatment technologies in 20 years planning, called bath anaerobic digestion technology and bioreactor landfill, with the treatment amount of 70% and 30%, respectively. In case of the planned land for treatment zone is not reached as case study 2, incineration technology will be a good choice.

Keywords: Municipal solid waste, modelling, solid waste treatment technology, transport and treatment fee.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Achillas, C., N. Moussiopoulou, et al. (2013). "The use of multi-criteria decision analysis to tackle waste management problems: a literature review." *Waste Management & Research* 31(2): 115-129.
- [2]. Baniyas, G., Achillas, Ch., Vlachokostas, Ch., Moussiopoulou, N. & Papaioanou, I. (2011) A web-based Decision Support System for the optimal management of construction and demolition waste. *Waste Management*, 31(12), 2497-2502.
- [3]. Barlishen, K. D. & Baetz, B. W. (1996) Development of a decision support system for municipal solid waste management system s planning. *Waste Management and Research*, 14 (1), 71-86.
- [4]. Chang, Ni- Bin & Wang, F.W. (1996) The development of an environmental Decision Support System for Municipal Solid Waste Management. *Computers, Environment and Urban Systems*, 20 (3), 201-212.
- [5]. Eriksson, O., B. Frostell, ABjörklund, G Assefa, J-O Sundqvist, J Granath, A Baky, L

- Thyselfius(2002). "ORWARE—a simulation tool for waste management." *Resources Conservation & Recycling*36(4): 287-307.
- [6]. Fiorucci, P., Minciardi, R. , Robba, M. & Sacile, R. (2003) Solid waste management in urban areas: Development and application of a decision support system. *Resources, Conservation and Recycling*, 37 (4), 301-328.
- [7]. Ghose, M. K., Dikshit, A. K. & Sharma, S. K. (2006) A GIS based transportation model for solid waste disposal – A case study on Asansol municipality. *Waste Management*, 26 (11), 1287-1293.
- [8]. Jain, A., Kaur, H. & Khanna, S. (2005) Computer model for municipal solid waste treatment in developing countries. *Environmental science technology*, 39 (10), 3732-3735.
- [9]. Karmperis, A. C., K. Aravossis, et al. (2013). "Decision support models for solid waste management: Review and game-theoretic approaches." *Waste Management*33: 1290-1301.
- [10].Kim Oanh, L. T. (2012) SURMAT decision support tool to select municipal solid waste treatment technologies. Case study in Ho Chi Minh City, Vietnam. PhD thesis, Wageningen University, the Netherlands, ISBN 978-94-6173-439-6.
- [11].Kirkeby, J. T., H. Birgisdottir, et al. (2006a). "Environmental Assessment of Solid Waste Systems and Technologies (EASEWASTE)." *Waste Management Research*. 24: 3-15.
- [12].Quariguasi, F. N. J., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Nunen, J.A.E.E. van & Heck, E. van (2008) Designing and evaluating sustainable logistic networks. *International Journal of Production Economics*, 111 (2), 195-208.
- [13].Sở TNMT (2009) The report on overview of the SWM system of HCMC in 2009 and planning for 2010. HCMC's report.
- [14].Vietstar (2009, 2010, 2011) Khảo sát thực tế tại nhà máy.