

XÂY DỰNG MÔ HÌNH BIOGAS XỬ LÝ CHẤT THẢI CHĂN NUÔI HEO VÀ CUNG CẤP NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO KHÍ SINH HỌC CHO CỘNG ĐỒNG

Trần Sỹ Nam*, Huỳnh Văn Thảo, Huỳnh Công Khánh,
Huỳnh Thị Diễm và Đinh Thái Danh

Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

**Tác giả liên hệ: Trần Sỹ Nam, Email: tsnam@ctu.edu.vn*

Lịch sử bài báo

Ngày nhận: 26/10/2020; Ngày chỉnh sửa: 10/11/2020; Ngày duyệt đăng: 27/11/2020

Tóm tắt

Mô hình chia sẻ khí sinh học (KSH) cộng đồng cho phép thu hồi hiệu quả nguồn năng lượng tái tạo và giảm phát thải khí nhà kính (GHG). Nhằm đánh giá tính khả thi của việc vận hành mô hình chia sẻ năng lượng tái tạo KSH (CBRE), hiệu quả về kinh tế, xã hội, môi trường, sự đồng thuận chia sẻ và hiệu quả sử dụng KSH đã được thu thập để xây dựng mô hình CBRE cho 5 nông hộ sử dụng. Kết quả cho thấy, tỷ lệ số nông hộ đồng ý chia sẻ KSH thừa là 63,3%, trong khi số nông hộ đồng ý sử dụng KSH được chia sẻ là 86,7%. Hệ thống CBRE với quy mô chăn nuôi trung bình là 37 đầu heo/trại nuôi (biến động từ 26-52 con) đã cung cấp đủ nhu cầu sử dụng KSH cho 5 hộ gia đình với 25 thành viên (tương ứng 1,5 đầu heo/người), thời gian sử dụng và thể tích KSH sử dụng trung bình của các nông hộ lần lượt là 1,87 giờ/ngày và 0,74 m³/ngày. Hệ thống CBRE cho phép hộ chăn nuôi giảm phát thải GHG 12,9 tấn CO₂eq/năm (~70 %) từ các nguồn năng lượng truyền thống và sử dụng KSH, tính riêng lợi ích từ việc chia sẻ KSH cho nông hộ giảm phát thải 2,58 CO₂eq/năm. Chi phí tiết kiệm được cho nông hộ KSH là 1,04 triệu đồng/hộ/năm. Xây dựng cơ chế chi trả tiền sử dụng KSH theo thể tích tiêu thụ để duy trì hoạt động của hệ thống CBRE là rất cần thiết để nâng cao tính hiệu quả và bền vững của hệ thống CBRE.

Từ khóa: Chia sẻ khí sinh học, công trình khí sinh học, năng lượng tái tạo, KSH cộng đồng, phát thải khí nhà kính.

DOI: <https://doi.org/10.52714/dthu.10.3.2021.869>

Trích dẫn: Trần, S. N., Huỳnh, V. T., Huỳnh, C. K., Huỳnh, T. D., & Đinh, T. D. (2021). Xây dựng mô hình biogas xử lý chất thải chăn nuôi heo và cung cấp năng lượng tái tạo khí sinh học cho cộng đồng. *Tạp chí Khoa học Đại học Đồng Tháp*, 10(3), 64-76. <https://doi.org/10.52714/dthu.10.3.2021.869>.

IMPLEMENTATION OF BIOGAS DIGESTER TO CLEAN UP PIG LIVESTOCK AND PROVIDE THE COMMUNITY WITH BIOGAS RENEWABLE ENERGY (CBRE)

Tran Sy Nam*, Huynh Van Thao, Huynh Cong Khanh, Huynh Thi Diem,
and Dinh Thai Danh

College of Environment and Natural Resources, Can Tho University, Vietnam

**Corresponding author: Tran Sy Nam, Email: tsnam@ctu.edu.vn*

Article history

Received: 26/10/2020; Received in revised form: 10/11/2020; Accepted: 27/11/2020

Abstract

The community biogas renewable energy (CBRE) model allows for effective renewable energy recuperation and reducing greenhouse gas (GHG) emissions as well. In order to evaluate the feasibility of this model, the aspects of economic efficiency, society and environment, and farmer consensus were investigated to project the CBRE model for a five-household group. The result shows that the percentage of households accepting to share surplus CBRE was 63,3%, while those accepted to use CBRE was 86,7%. A medium-scale livestock around 37 pigs per farm (ranging between 26 and 52 pigs) in the CBRE model provided enough biogas used by 5 households with 25 members in total (i.e. 1.5 pigs for a person), with the average of biogas-combustible time and biogas-consumption of each household volume was 1.87 h/day and 0.74 m³/day, respectively. The CBRE model helped farmers reduce GHG 12.9 tons CO₂eq/year (~70%) in terms of the utilization of traditional energy sources combined with biogas, and with shared biogas, farmers reduced GHG 2.58 CO₂eq/year. Cost savings was 1.04 million VND/year per household. It is essential to develop a clearly financial mechanism for paying relevant costs related to biogas use for improvements in efficient and long-term use of CBRE model.

Keywords: *Biogas digester, biogas sharing, community biogas, greenhouse gas emissions, renewable energy.*

1. Giới thiệu

Chăn nuôi đóng vai trò quan trọng trong lĩnh vực phát triển nông nghiệp và ổn định an ninh lương thực. Bên cạnh đó, lượng chất thải trong quá trình chăn nuôi (phân, nước tiểu) phát sinh cũng rất lớn. Nguồn chất thải từ gia súc, gia cầm và các phế phẩm nông nghiệp là những tác nhân chính gây nên ô nhiễm môi trường nông nghiệp và nông thôn, gia tăng phát thải khí nhà kính nếu không được thu gom, quản lý và xử lý. Việc thu gom, quản lý và sử dụng bền vững nguồn tài nguyên chất thải này là việc làm cấp thiết ở nông thôn, góp phần vào việc giảm thiểu những tác động tiêu cực từ môi trường chăn nuôi và đáp ứng yêu cầu xây dựng tiêu chí nông thôn mới tại các địa phương có tỷ lệ chăn nuôi gia súc cao. Công nghệ khí sinh học được xem là một trong những giải pháp hữu hiệu trong việc thu gom, quản lý và xử lý chất thải chăn nuôi (Fujiwara, 2012; Minamikawa & cs., 2019), khí biogas sinh ra từ quá trình phân hủy yếm khí sẽ được tái sử dụng phục vụ cho nhu cầu sử dụng năng lượng quy mô hộ gia đình, ở quy mô lớn hơn có thể được sử dụng cho sản xuất điện năng. Tại Đồng bằng sông Cửu Long nhiều hộ chăn nuôi heo với qui mô đàn >30 đầu heo/trại nuôi thường đầu tư xây dựng hệ thống biogas (hầm ủ/túi ủ) để xử lý chất thải chăn nuôi và tận dụng khí sinh học như một nguồn nhiên liệu đốt chính trong gia đình. Tuy nhiên, thể tích khí biogas sinh ra hàng ngày lớn hơn nhiều lần so với nhu cầu sử dụng khí biogas của gia đình. Do đó, thể tích khí sinh học thừa sẽ được xả bỏ trực tiếp vào môi trường không khí, điều này không những cho thấy việc sử dụng kém hiệu quả nguồn tài nguyên năng lượng mà còn góp phần gia tăng nhanh chóng phát thải nhà kính. Với mục tiêu xây dựng mối liên hệ giữa cộng đồng trong việc chia sẻ lợi ích nguồn tài nguyên khí sinh học cho các nông hộ, cùng vận hành và sở hữu bởi nhóm cộng đồng. Mô hình sử dụng bền vững nguồn năng lượng tái tạo cộng đồng cho phép các nông hộ kết nối và sử dụng hiệu quả tài nguyên khí sinh học, thay thế năng lượng

như củi, gas công nghiệp... đồng thời cải thiện phúc lợi của gia đình bằng cách cho phép họ gia tăng quy mô chăn nuôi mà không gia tăng những tác động tiêu cực đến môi trường. Mô hình năng lượng tái tạo chia sẻ cho cộng đồng có nhiều tiềm năng ứng dụng để giảm thiểu các ô nhiễm môi trường chăn nuôi, tạo năng lượng sạch thay thế nhiên liệu hóa thạch, giảm phát thải khí nhà kính, nâng cao ý thức và tính liên kết chia sẻ lợi ích của cộng đồng. Nghiên cứu này đã được thực hiện với mục tiêu đánh giá tính khả thi của việc vận hành và hiệu quả sử dụng khí sinh học trong việc thu hồi năng lượng tái tạo, giảm thiểu tác động môi trường của mô hình chia sẻ khí sinh học cho cộng đồng trong xử lý chất thải chăn nuôi heo.

2. Phương pháp thực hiện

2.1. Khảo sát, thu thập thông tin

Đánh giá nhu cầu sử dụng khí sinh học của nông hộ và tính sẵn sàng chia sẻ khí sinh học cho cộng đồng trên cơ sở dữ liệu phỏng vấn của 60 nông hộ tại huyện Vĩnh Thạnh - thành phố Cần Thơ. Phỏng vấn được thực hiện thông qua bảng câu hỏi được soạn sẵn với cấu trúc được thiết kế phù hợp cho các đối tượng phỏng vấn trên cơ sở kinh nghiệm thực tiễn được tích lũy thông qua những cuộc khảo sát về các chủ đề tương tự. Bảng câu hỏi phỏng vấn được hoàn thành sau khi bản nháp đã được kiểm tra trên 5 nông hộ. Các đối tượng phỏng vấn sẽ được lựa chọn ngẫu nhiên gồm (i) 30 nông hộ chăn nuôi heo đã lắp đặt và sử dụng khí sinh học (N1) nhằm tìm hiểu các thông tin liên quan đến quy mô đàn, khối lượng chất thải, loại/mô hình khí sinh học, sản lượng khí sinh học, phương pháp xử lý thể tích khí sinh học thừa từ các công trình khí sinh học và sẵn sàng chia sẻ khí sinh học cho cộng đồng và (ii) 30 nông hộ không có chăn nuôi heo và không có mô hình khí sinh học (N2) nhằm tìm hiểu chi phí nhiên liệu cho hoạt động đun nấu (củi, gas công nghiệp), nhu cầu sử dụng khí sinh học thừa từ công trình khí sinh học và khả năng đầu tư tài chính cho kết nối hệ thống khí sinh học.

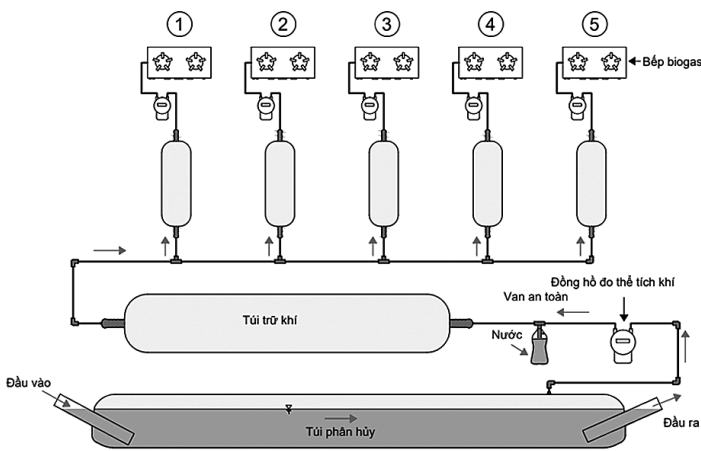
2.2. Lắp đặt và vận hành mô hình khí sinh học cộng đồng

Sau khi hoàn thành đợt khảo sát, một mô hình chăn nuôi heo trên địa bàn xã Thạnh Thắng - huyện Vĩnh Thạnh, thành phố Cần Thơ (N 102,482823; E 105,3113399) đã được chọn từ các nông hộ được khảo sát để lắp đặt một công trình khí sinh học HDPE. Tổng số lượng heo của trại nuôi luôn được duy trì từ 26-52 con với các kích cỡ khác nhau trong suốt thời gian thực hiện. Một công trình khí sinh học HDPE có chiều dài của túi phân hủy 8,5 m, đường kính của túi ủ 1,59 m, với tổng thể tích của túi phân hủy ~17 m³, trong đó thể tích chứa dung dịch ủ ~12 m³, và phần thể tích còn lại để chứa khí biogas ~5 m³. Tổng lượng nước vệ sinh chuồng trại và lượng phân thải vào túi phân hủy hàng ngày dao động từ 0,6 - 1,0 m³, tương ứng thời gian lưu nước trong hệ thống khí sinh học được ước tính từ 12 - 20 ngày. Toàn bộ chất thải chăn nuôi heo được nạp vào túi ủ biogas hàng ngày thông qua hoạt động vệ sinh chuồng trại với khối lượng nạp tính trên hàm lượng chất khô biến động từ 6,85 - 11,42 kgDM/ngày.

2.3. Kết nối hệ thống chia sẻ khí sinh học cộng đồng

Sau 30 ngày, sản lượng khí sinh ra ổn

định, hệ thống khí sinh học được kết nối và chia sẻ cho 5 nông hộ xung quanh (Hình 1). Tổng chiều dài đường ống dẫn kết nối đến các nông hộ là ~250 m. Mỗi nông hộ sử dụng khí sinh học được lắp đặt một túi trữ khí để đảm bảo thể tích khí ổn định đáp ứng yêu cầu sử dụng khí sinh học của hộ gia đình và một đồng hồ đo thể tích khí sinh học để ghi nhận lượng khí tiêu hao cho các hoạt động đun nấu trong ngày. Trong quá trình vận hành mô hình CBRE, các thông số được quan sát gồm (i) biến động về số lượng đàn heo của trại nuôi - được ghi nhận tại các thời điểm xuất chuồng và tái đàn để làm cơ sở cho ước tính khối lượng chất thải được nạp vào công trình khí sinh học và đánh giá khả năng sản xuất khí sinh học; (ii) thể tích khí sinh học sinh ra hàng ngày từ công trình khí sinh học, (iii) thời gian sử dụng khí sinh học của các nông hộ trong ngày - được ghi nhận bằng phiếu thu thập thông tin được soạn sẵn; (iii) thể tích khí tiêu hao trong khi sử dụng khí sinh học (m³) - được ghi nhận bằng đồng hồ đo thể tích khí 2017-DMIT004156; (iv) Hiệu quả kinh tế, xã hội và môi trường từ việc sử dụng khí sinh học sẽ được đánh giá thông qua lượng nhiên liệu củi, hoặc gas công nghiệp (LPG) tiết kiệm được cho mục đích đun nấu và ước tính giảm phát thải khí nhà kính từ lượng khí biogas được chia sẻ.



Hình 1. Mô hình chia sẻ khí sinh học cho cộng đồng - Vĩnh Thạnh, Cần Thơ

2.4. Phương pháp tính toán và xử lý số liệu

2.4.1. Phương pháp tính toán giảm phát thải khí nhà kính

Ước tính phát thải khí nhà kính trực tiếp từ nguồn khí sinh học trên cơ sở CH₄ và CO₂ được quy đổi về thể tích khí tiêu chuẩn với 1 m³ CH₄ tương ứng với 0,72 kg CH₄ và 1m³ CO₂ tương ứng với 1,96 kg CO₂. Theo IPCC (2007) thì tiềm năng phát thải khí nhà kính của CH₄ được xác định bởi giá trị 25 kg CO₂ eq./kg CH₄. Công thức tính toán phát thải trực tiếp khí nhà kính được thể hiện qua công thức sau:

$$E_b = TV_b \times (C_m \times 0,72 \times 25 + C_c \times 1,96) \times 10^3. \quad (1)$$

Trong đó:

E_b : phát thải khí nhà kính trực tiếp từ khí sinh học CO₂ (tCO₂eq/năm) V_b : tổng thể tích khí sinh học sinh ra (m³/năm).

C_m : nồng độ khí CH₄ trong thành phần khí sinh học (%).

C_c : nồng độ khí CO₂ trong thành phần khí sinh học (%).

25: hệ số chuyển đổi tiềm năng phát thải khí nhà kính (25 kg CO₂eq/kg CH₄).

Tổng lượng khí CO₂ phát thải từ quá trình đốt cháy hoàn toàn khí CH₄ trong thành phần khí sinh học được tính toán theo công thức của Cuéllar và Webber (2008) như sau:

$$\begin{aligned} TkgCO_2 &= 1 \text{ m}^3_{biogas} \times (x\%CH_4 \times \rho_{CH_4} \times 2,75 \\ &= x\%CO_2 \times \rho_{CO_2}). \end{aligned} \quad (2)$$

Trong đó:

$TkgCO_2$ = tổng lượng khí CO₂ phát thải sau khi đốt 1 m³ khí sinh học.

ρ_{CH_4} = trọng lượng khí CH₄ trong 1 m³ không khí ở điều kiện tiêu chuẩn.

ρ_{CO_2} = trọng lượng khí CO₂ trong 1 m³ không khí ở điều kiện tiêu chuẩn.

Hệ số 2,75 = hệ số chuyển đổi khi đốt cháy hoàn toàn 1 kg CH₄ sinh ra 2,75 kg CO₂.

Ước tính phát thải khí nhà kính từ việc đốt nhiên liệu sinh khối củi được thực hiện theo công

thức tính toán của Izumi & cs. (2015), Matsubara & cs. (2014), và UNFCCC (2011) sau:

$$ER_y = B_y \times B_{NRB-y} \times NCV_{biomass} \times E_{fpf}. \quad (3)$$

Trong đó:

ER_y = giảm phát thải khí nhà kính năm y tính bằng tấn CO₂ (tCO₂/năm).

B_y = sinh khối gỗ được thay thế trong năm thứ y được tính bằng đơn vị tấn.

f_{NRB-y} = phần khối lượng củi thực sự được sử dụng trong năm thứ y, hệ số này là 0,7 được phát triển bởi Matsubara & cs. (2014) và UNFCCC (2015).

$NCV_{biomass}$ = giá trị tỏa nhiệt thực của sinh khối gỗ (TJ/tấn), IPCC đưa ra hệ số mặc định cho nhiên liệu gỗ đốt là 0,015 TJ/tấn.

E_{fpf} = hệ số phát thải để thay thế sinh khối gỗ không thể tái tạo bởi những nông hộ sử dụng tương tự (tCO₂ TJ⁻¹), IPCC đã đưa hệ số mặc định cho sinh khối gỗ là 81,6 tCO₂ TJ⁻¹

Ước tính phát thải khí nhà kính từ việc đốt LPG được thực hiện qua công thức Izumi & cs. (2016) và UNFCCC (2011):

$$BE_{fg} = F_{fg} \times N \times NCV_{fg} \times 10^{-6}. \quad (4)$$

Trong đó:

BE_{fg} = ước tính phát thải từ quá trình đốt LPG cho nhu cầu đun nấu của hộ gia đình (tCO₂/năm).

F_{fg} = số lượng LPG được sử dụng trung bình trong một năm (kg/năm).

N = số nông hộ tham gia trong mô hình chia sẻ khí sinh học cộng đồng

NCV_{fg} = nhiệt lượng thực của LPG được đốt cháy, giá trị mặc định của IPCC cho NCV_{fg} LPG là 47,31 TJ/Gg.

EF_{fg} = hệ số phát thải của LPG khi đốt (tCO₂/TJ), giá trị mặc định của IPCC cho EF_{fg} LPG là 63,1 tCO₂/TJ.

2.4.2. Phương pháp xử lý số liệu

Các số liệu thu thập được nhập liệu và tính

toán bằng phần mềm Microsoft Excel 2019. Vẽ đồ thị bằng phần mềm Sigmaplot 12.5.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Khảo sát thu thập thông tin

3.1.1. Quy mô chăn nuôi

Kết quả khảo sát cho thấy, quy mô chăn nuôi heo của các nông hộ trong vùng khảo sát được xếp vào nhóm chăn nuôi từ nhỏ đến vừa, với số lượng vật nuôi biến động từ 15-70 con/hộ (Nghị định 13/2020/NĐ-CP), trung bình là 36 con/hộ (Bảng 1). Tổng thể tích nước thải (phân, nước tiểu, nước vệ sinh chuồng trại) từ quá trình chăn nuôi heo ước tính biến động trong khoảng từ 26,8 - 45,2 lít/con/ngày, với giá trị trung bình là ~34,5 lít/con/ngày.

Bảng 1. Quy mô chăn nuôi, lượng nước phát sinh và thể tích công trình khí sinh học

Nội dung	Đơn vị	Giá trị
Quy mô chăn nuôi	Con/trại nuôi	36 (15-70)
Thể tích nước thải	L/con/ngày	34,5 (26,8 - 45,2)
Thể tích công trình khí sinh học	m ³	8,2 (6,5 - 14,0)

Ghi chú: số liệu được trình bày trung bình (nhỏ nhất - lớn nhất), n=30 (đối tượng phỏng vấn N1).

Toàn bộ chất thải chăn nuôi heo được các nông hộ đưa vào các công trình khí sinh học để xử lý kỵ khí với thể tích các bể phân hủy chất thải biến động từ 6,5-14,0 m³, phụ thuộc vào quy mô chăn nuôi và điều kiện kinh tế của mỗi nông hộ, trung bình là 8,2 m³. So với quy mô chăn nuôi heo thì thể tích xây dựng của các công trình khí sinh học chưa đáp ứng được hiệu quả xử lý toàn bộ nguồn chất thải trên. Quá trình xử lý nước thải chăn nuôi heo đạt hiệu quả tốt nhất khi thể tích công trình khí sinh học ở mức 1 m³/đầu heo (Nguyễn & Nguyễn, 2010). Như vậy, các thể tích công trình khí sinh học của các nông hộ trong vùng khảo sát chỉ đáp ứng được 22,2% yêu cầu thể tích xử lý nước thải, điều này dễ gây nên quá tải nguyên liệu nạp và áp lực xử lý chất thải cho các công trình khí sinh học.

3.1.2. Thể tích khí sinh học thừa

Kết quả điều tra cho thấy, trung bình thể tích khí biogas sinh ra hàng ngày từ công trình khí sinh học của các nông hộ ước tính dao động từ 3,5 - 7,5 m³/ngày với giá trị trung bình 4,7 m³/ngày, trong khi nhu cầu sử dụng khí sinh học của các nông hộ sử dụng cho mục đích đun nấu khoảng 1,3 m³/ngày (Bảng 2), kết quả này tương đồng với nghiên cứu của Rajendran & cs. (2012) với thể tích khí sử dụng phổ biến từ 1,0 - 1,5 m³/ngày. Như vậy, lượng khí biogas thừa từ các công trình khí sinh học được ước tính dao động từ 2,2 - 6,2 m³/ngày cao gấp 2 - 5 lần so với nhu cầu sử dụng khí sinh học của một nông hộ.

Bảng 2. Thể tích khí sinh học và nhu cầu sử dụng

Nội dung	Đơn vị	Giá trị
Thể tích khí sinh học sinh ra hàng ngày	m ³ /ngày/ công trình khí sinh học	4,7 (3,5-7,5)
Nhu cầu sử dụng khí sinh học	m ³ /ngày/hộ	1,3 (1,0-2,0)

Ghi chú: Số liệu được trình bày trung bình (nhỏ nhất - lớn nhất), n=30 (đối tượng N1).

Kết quả khảo sát phương án xử lý khí thừa từ các công trình khí sinh học cho thấy, 100% nông hộ điều thải bỏ trực tiếp lượng khí thừa ra môi trường bên ngoài qua hệ thống van điều chỉnh áp suất tự động từ các công trình khí sinh học. Đồng thời, 100% nông hộ được phỏng vấn nhận thức rõ việc thải bỏ khí sinh học gây lãng phí nguồn tài nguyên năng lượng. Việc thải bỏ khí sinh học trực tiếp vào môi trường là nguyên nhân của việc gia tăng phát thải khí nhà kính, bởi vì CH₄ là thành phần chính trong khí sinh học chiếm 52,1 - 63,4% trong giai đoạn sinh khí ổn định (Trần & cs., 2015), và 1 phân tử khí CH₄ gây phát thải khí nhà kính cao gấp 25 lần so với 1 phân tử khí CO₂ (IPCC, 2007), trong khi nồng độ khí CO₂ trong thành phần khí sinh học của chất thải chăn nuôi heo dao động từ 20,9 - 29,2% (Trần & cs., 2015). So với lượng khí sinh học thải bỏ trực tiếp ra môi trường bên ngoài ước tính thì tổng lượng phát thải khí nhà kính được dao động

từ 8,74 - 24,63 tấn CO₂eq/hộ/năm. Thay vì thải bỏ khí biogas trực tiếp ra môi trường bên ngoài, với lượng biogas thừa trên có thể đủ khả năng cung cấp biogas cho 2,0-5,0 nông hộ xung quanh (~5 thành viên/nông hộ) có nhu cầu sử dụng lượng khí thừa này, điều này mang lại hiệu quả kép trong việc giảm chi phí sử dụng nhiên liệu và những tác động tiêu cực đến môi trường, góp phần vào chiến lược phát triển bền vững trong ngành chăn nuôi.

Bảng 3. Đánh giá sử dụng khí sinh học, phương án xử lý khí thừa và nhận thức của nông hộ về việc thải bỏ trực tiếp khí thừa

Nội dung	Có	Không
Thể tích khí sinh học thừa (% , n=30)	100	0
Phương án xử lý khí thừa (% , n=30)	0	100
Nhận thức của nông hộ về lãng phí năng lượng và gia tăng ô nhiễm phát thải khí nhà kính (% , n=30)	100	0

Ghi chú: Đối tượng khảo sát nhóm N1.

Qua kết quả khảo sát cho 30 công trình khí sinh học trong xử lý chất thải chăn nuôi heo của vùng cho thấy, tỷ lệ 100% số nông hộ được phỏng vấn cho rằng thể tích khí sinh học sinh ra hàng ngày 3,5 - 7,5 m³/ngày trong khi nhu cầu sử dụng khí sinh học của mỗi hộ gia đình chỉ ~1,3 m³/ngày lớn hơn mức tiêu thụ khí sinh học ~2-5 lần. Sản lượng khí thừa từ các công trình khí sinh học được xem như là một nguồn phát thải khí nhà kính đóng góp từ 8,74 - 24,63 tấn CO₂eq/hộ/năm tùy vào quy mô chăn nuôi. Lượng khí sinh học thừa này tác động trực tiếp đến môi trường không khí mà kết quả của sự tác động này chính là sự gia tăng hiệu ứng nhà kính cùng với sự nóng lên toàn cầu. Chia sẻ nguồn khí sinh học thừa này là một trong những biện pháp tối ưu cho việc giải

quyết khí sinh học thừa, thu hồi năng lượng hiệu quả, và góp phần giảm phát thải khí nhà kính.

3.1.3. Nhu cầu sử dụng khí sinh học

Kết quả khảo sát cho thấy, có 63,33% tổng số hộ đầu tư công trình khí sinh học đồng ý chia sẻ lượng khí sinh học thừa cho cộng đồng xung quanh để giảm lượng khí thải phát sinh vào khí quyển và tránh lãng phí nguồn tài nguyên năng lượng. Tuy nhiên, có 36,67% tổng số hộ được khảo sát không đồng ý chia sẻ nguồn khí sinh học thừa bởi lo ngại các vấn đề liên quan đến lợi ích sử dụng khí sinh học. Bên cạnh đó, kết quả khảo sát cho thấy, có 86,67% số lượng nông hộ đồng ý sử dụng khí sinh học thừa được chia sẻ từ các hộ chăn nuôi heo có đầu tư công trình khí sinh học, 13,33% số hộ không đồng ý sử dụng khí sinh học được chia sẻ bởi các nguyên nhân (i) nhu cầu sử dụng thấp, (ii) tốn chi phí vật tư ban đầu và (iii) lo ngại về vấn đề lưu lượng nguồn cấp khí sinh học không ổn định. Tuy nhiên, phần lớn các nông hộ được phỏng vấn đồng ý chi trả chi phí vật tư kết nối hệ thống gồm ống dẫn khí và bếp biogas hồng ngoại chiếm 76,92%, trong khi chỉ có 23,33% yêu cầu hỗ trợ chi phí vật tư hoặc đối ứng 50% tổng chi phí kết nối ban đầu từ các chương trình dự án hoặc các nguồn tài trợ khác của địa phương.

Tỷ lệ các nông hộ có nhu cầu sử dụng khí sinh học và đồng ý chi trả chi phí kết nối hệ thống CBRE lớn cho thấy những thuận lợi trong việc phát triển và nhân rộng hệ thống CBRE trong tương lai. Lợi ích có thể nhìn thấy được từ việc phát triển các mô hình chia sẻ khí sinh học cộng đồng sẽ thay đổi quan điểm của 33,67% số nông hộ sẵn sàng chia sẻ nguồn khí sinh học, đồng thời thúc đẩy 13,33% tỷ lệ nông hộ mong muốn được sử dụng nguồn khí sinh học được chia sẻ, tình nguyện trong việc chi trả 100% chi phí kết nối hệ thống của 23,08% số nông hộ.

Bảng 4. Sự đồng thuận chia sẻ khí sinh học và nhu cầu sử dụng khí sinh học và chi phí kết nối hệ thống

Nội dung	Đối tượng	Có	Không
Đồng ý chia sẻ khí sinh học (% , n=30)	N1	66,33	33,67
Nhu cầu sử dụng khí sinh học (% , n=30)	N2	86,67	13,33
Đồng ý trả chi phí kết nối hệ thống (% , n=26)	N2	76,92 [†]	23,08 [†]

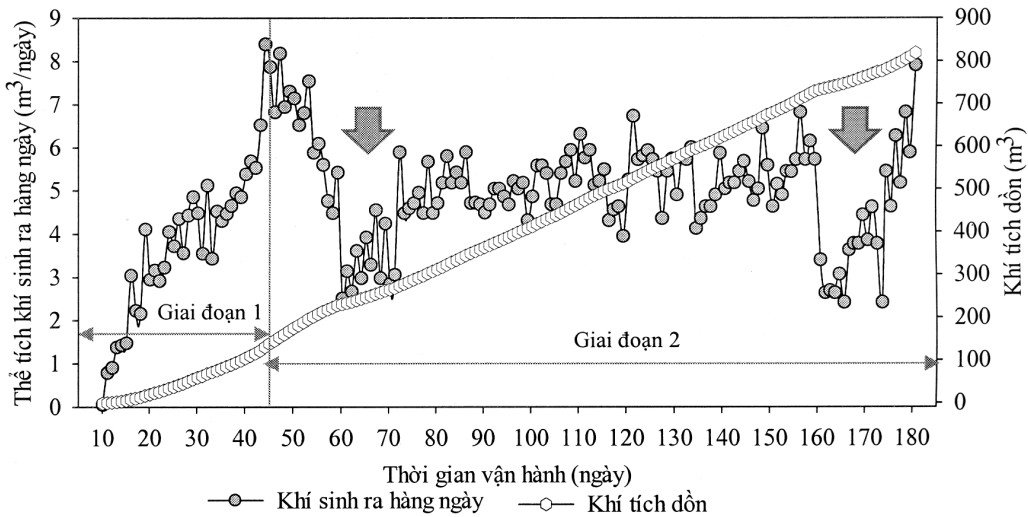
Ghi chú: [†] chi trả chi phí kết nối hệ thống khí sinh học được tính trên số lượng nông hộ có nhu cầu sử dụng khí sinh học được chia sẻ.

3.2. Vận hành mô hình chia sẻ khí sinh học

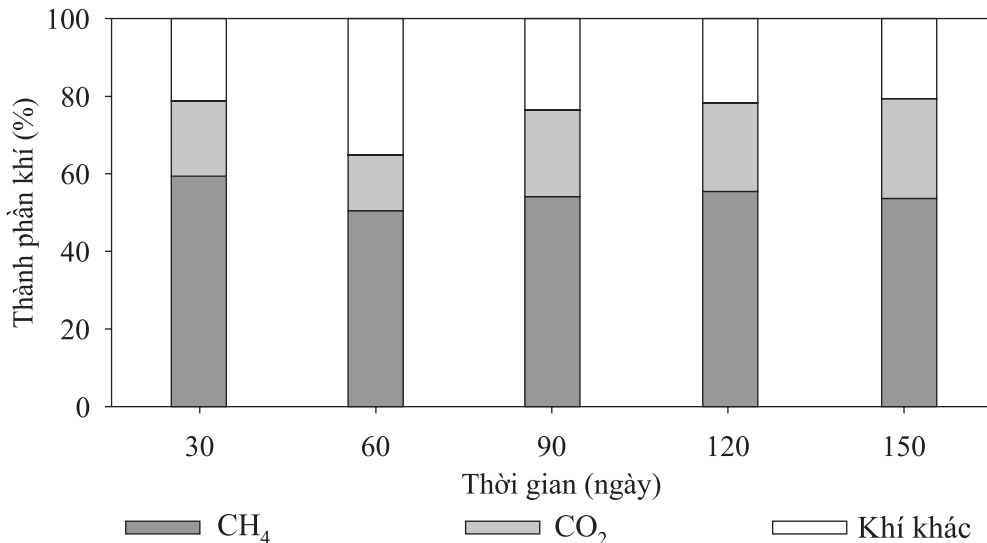
3.2.1. Khí sinh học

Kết quả Hình 2 cho thấy, sản lượng khí sinh ra hàng ngày có thể được chia thành 2 giai đoạn. Giai đoạn (i) giai đoạn khởi động (0-45 ngày) của quá trình sinh khí với lượng chất thải chăn nuôi heo tích lũy gia tăng lên, đồng thời sản lượng khí sinh ra hàng ngày cũng tăng lên tương ứng với giá trị ghi nhận được là 8,40 m³/ngày; (ii) giai đoạn sinh khí ổn định với sản lượng khí sinh ra hàng ngày được duy trì trong khoảng từ 2,43 - 8,19 m³/ngày. Ngoài ra, Hình 2 cho thấy, có 2 thời điểm sản lượng khí sinh ra thấp hơn so

với các giai đoạn khác gồm (i) từ ngày 60 - 71 và (ii) ngày 160 - 173, nguyên nhân dẫn đến sản lượng khí sinh ra thấp hơn so với các thời điểm khác là do nguồn nguyên liệu nạp bị gián đoạn trong giai đoạn heo được tái đàn và xuất chuồng. Theo kết quả nghiên cứu cho thấy, tại các thời điểm heo được tái đàn và xuất chuồng thì sản lượng khí sinh học giảm 38,08 - 39,07% so với các thời điểm khí sinh ra ổn định (Hình 2). Với số lượng heo nuôi biến động trong khoảng từ 26 - 52 con thì tổng thể tích khí tích dồn trong 180 ngày ghi nhận được từ một công trình khí sinh học là 818,62 m³, như vậy, trung bình thể tích khí sinh học sinh ra mỗi ngày là 4,55 m³.



Hình 2. Thể tích khí sinh ra hàng ngày và thể tích khí tích dồn



Hình 3. Thành phần khí sinh học

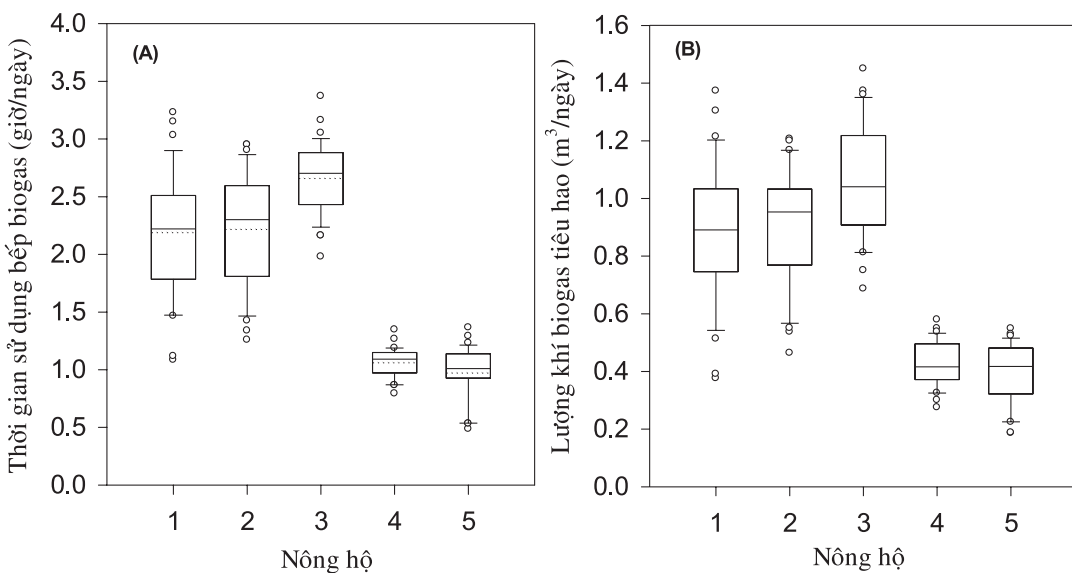
Kết quả Hình 3 cho thấy, CH₄ là thành phần chính trong khí sinh học sau 30 ngày với giá trị biến động từ 50 - 59,1%, trung bình là 54,26% trong khi nồng độ CO₂ chiếm tỷ lệ thấp 14,4 - 25,8%, trung bình 20,92%. Mức nồng độ CH₄ và CO₂ tìm thấy phổ biến trong thành phần khí sinh học (El-Mashad & Zhang, 2010; Ye & cs., 2013; Nam & cs., 2016). Ngoài ra, thành phần khí H₂S trong khí sinh học được đo đạc tại cùng một thời điểm với các giá trị biến động từ 509 - 926 ppm, trung bình là 706 ppm. Tổng hợp từ nhiều nghiên cứu cho thấy, nồng độ H₂S lớn hơn 200 ppm cần công nghệ xử lý phù hợp để loại bỏ chất này trước khi được sử dụng để giảm mùi hôi và ăn mòn thiết bị (Hao & cs., 2020; Fortuny & cs., 2011).

3.2.2. Thời gian sử dụng bếp và thể tích khí tiêu hao

Kết quả nghiên cứu cho thấy, thời gian sử dụng bếp khí sinh học giữa các nông hộ biến động trong khoảng 0,49 - 3,37 giờ/ngày (Hình 4A). Thời gian sử dụng bếp khí sinh học trung bình là 1,83 giờ/ngày. Trong các nông hộ được chia sẻ khí sinh học, nông hộ 1 - 3 có số người trong gia đình nhiều hơn các nông hộ còn lại (5 - 6 nhân khẩu/hộ) nên có nhu cầu sử dụng khí sinh học dao động từ 2,22 - 2,66 giờ/ngày, cao hơn 2 nông hộ

(4 nhân khẩu/hộ) với thời gian sử dụng bếp dao động từ 0,98 - 1,07 giờ/ngày. Izumi & cs. (2015) khảo sát trên tổng số 122.296 ngày sử dụng khí sinh học của 961 nông hộ cho thấy thời gian sử dụng khí sinh học cho hoạt động đun nấu trung bình của các nông hộ là 2,9 giờ/ngày, kết quả ghi nhận được trong nghiên cứu này thấp hơn so với nghiên cứu trên 1,07 giờ/ngày. Tuy nhiên, thời gian sử dụng khí sinh học chưa đánh giá được toàn diện thể tích khí tiêu hao trong quá trình sử dụng bởi vì lượng khí tiêu hao phụ thuộc vào (i) công nghệ bếp biogas được sử dụng (bếp đốt tạo nhiệt hồng ngoại hoặc cháy thông thường), (ii) mức điều chỉnh van của bếp đốt, (iii) áp suất khí dẫn truyền trong quá trình đốt cháy khí sinh học, (iv) thành phần khí CH₄ trong khí sinh học và (v) nhu cầu đun nấu (sử dụng 1 đầu đốt hoặc 2 đầu đốt cùng một thời điểm). Do đó, ghi nhận thể tích đốt là cơ sở để đánh giá thể tích khí tiêu hao trong quá trình sử dụng.

Kết quả Hình 4 cho thấy, thể tích khí sinh học tiêu hao của các nông hộ được chia sẻ khí sinh học dao động từ 0,19 - 1,45 m³/ngày (Hình 4B). Tương tự thời gian sử dụng bếp khí sinh học, nông hộ 1 - 3 có thời gian sử dụng khí sinh học lớn trong ngày cho thấy thể tích khí tiêu hao khi sử dụng bếp khí sinh học dao động



Hình 4. Thời gian sử dụng bếp và thể tích khí tiêu hao

từ 0,89 - 1,08 m³/ngày, trong khi các nông hộ 4 - 5 còn lại có thời gian sử dụng bếp khí sinh học thấp 0,39 - 0,43 m³/ngày. Kết quả tính toán thể tích khí sinh học tiêu hao trung bình được ghi nhận cho toàn bộ hệ thống chia sẻ khí sinh học là 0,74 m³/ngày, thấp hơn so với kết quả được tìm thấy bởi Rajendran & cs. (2012) với thời gian sử dụng bếp khí sinh học phổ biến từ 1 - 1,5 m³/ngày. Nhu cầu sử dụng khí sinh học phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau trong đó số nhân khẩu trong gia đình và công nghệ bếp sử dụng khí sinh học đóng vai trò chủ đạo trong việc quyết định thể tích khí tiêu hao. Ngoài ra, kết quả tính toán thể tích khí sinh học tiêu hao dựa trên thời gian sử dụng và thể tích khí tiêu hao trong ngày trên loại bếp hồng ngoại mà các nông hộ đang sử dụng là 0,4 m³/giờ, phù hợp với nhận định của nhiều tác giả với mức tiêu thụ bếp sử dụng khí sinh học dao động từ 0,34 - 0,45 m³/giờ (Singh & cs., 1990; Chandra & cs., 1991; Kurchania & cs., 2011).

Kết quả nghiên cứu cho thấy, tổng lượng khí sinh học được sinh ra trung bình mỗi ngày là 4,55 m³/ngày, trong khi tổng lượng khí biogas tiêu hao cho toàn bộ hệ thống CBRE với 5 nông hộ sử dụng khí mỗi ngày là 3,68 m³/ngày. Như vậy, lượng khí dư từ công trình khí sinh học ước tính trung bình là 0,87 m³/ngày sau khi chia sẻ cho 5 nông hộ sử dụng, với lượng khí sinh học thừa này có thể đủ cung cấp thêm cho nhu cầu sử dụng khí đốt của một nông hộ. Hay nói cách khác, với quy mô đàn heo ổn định từ 26 - 52 con, thể tích công trình khí sinh học 12 m³ có thể đáp ứng được nhu cầu sử dụng khí sinh học cho khoảng 6 nông hộ.

3.2.3. Hiệu quả kinh tế, xã hội và môi trường của hệ thống CBRE

Củi đốt và gas công nghiệp (LPG) là 2 nguồn nguyên liệu được sử dụng chính cho hoạt động đun nấu của các hộ gia đình trước khi hệ thống chia sẻ khí sinh học được kết nối, thông thường để tiết kiệm các chi phí những nông dân thường sử dụng kết hợp cả bếp đốt bằng củi và LPG. Bảng 4 cho thấy, việc kết nối hệ thống

chia sẻ khí sinh học CBRE đã giảm được 79% khối lượng củi đốt trong năm (~747 kg/năm) và 78,3% kgLPG/năm (~216 kg/năm) tính cho toàn bộ 5 nông hộ sử dụng khí sinh học, hay nói cách khác những nông hộ sử dụng khí sinh học chỉ sử dụng 78,65% tổng nhu cầu sử dụng năng lượng khí sinh học cho một năm, với tổng số tiền tiết kiệm được tương ứng 5,21 triệu đồng cho 1 năm vận hành hệ thống chia sẻ khí sinh học CBRE, số tiền tiết kiệm được tương ứng là 1,04 triệu đồng/hộ/năm (~45 USD/hộ/năm), phù hợp với nghiên cứu của Izumi & cs. (2015).

Ngoài ra, sau khi kết nối hệ thống CBRE, lượng khí phát thải từ việc tiết kiệm nhiên liệu củi và LPG giảm tương ứng là 79% (~0,64 tấn CO₂eq/năm) và 76% (~0,57 tấn CO₂eq/năm). Tương tự, việc kết nối chia sẻ CBRE cho phép nông hộ sử dụng khí sinh học giảm 69,2% (~11,7 tấn CO₂eq/năm) lượng khí phát thải nhà kính trực tiếp từ một công trình khí sinh học. Tính cho toàn bộ hệ thống CBRE (5 nông hộ) giảm 69,7% (~12,9 tấn CO₂eq/năm) tổng lượng khí phát thải bao gồm củi đốt, LPG và đốt khí sinh học. Hay nói cách khác, hệ thống CBRE cho phép nông hộ sử dụng khí sinh học có thể góp phần giảm phát thải khí nhà kính 2,58 tấn CO₂eq/hộ/năm. Nếu tính lợi ích của việc giảm phát thải khí nhà kính từ việc chia sẻ khí sinh học cho 4 nông hộ (không bao gồm hộ chăn nuôi heo) thì tổng lượng khí phát thải nhà kính giảm 10,32 CO₂eq/năm. Hơn nữa, các nghiên cứu Green & cs. (2002), Gautam & cs. (2009) và Rajendran & cs. (2012) cho thấy, bằng việc sử dụng khí sinh học cho đun nấu cho phép giảm thời gian nấu ăn, giảm áp lực thời gian cho phụ nữ trong việc vệ sinh bếp và dụng cụ nấu ăn; tiết kiệm chi phí sử dụng năng lượng hộ gia đình; nâng cao tiêu chuẩn sống và cơ hội việc làm; sức khỏe người dùng khí sinh học được cải thiện hơn so với đốt nhiên liệu hóa thạch. Với những lợi ích mang lại được từ hệ thống CBRE về các khía cạnh kinh tế, xã hội và môi trường và lợi ích cho những người tham gia vào hệ thống CBRE có thể cho phép hộ chăn nuôi

gia tăng quy mô đàn, số lượng vật nuôi và đồng thời tận dụng hiệu quả khí thừa từ các công trình

khí sinh học để mở rộng mạng lưới cho nông hộ sử dụng khí sinh học trong tương lai.

Bảng 5. Hiệu quả kinh tế, xã hội và môi trường từ hệ thống CBRE

Thông số	Năng lượng	Đơn vị	Trước	Sau	Chênh lệch
Nhiên liệu	Củi	kg/năm	945	189	-747
	LPG		276	60	-216
Chi phí	Củi	triệu đồng	0,90	0,19	-0,71
	LPG		5,75	1,25	-4,50
	Tổng cộng		6,65	1,44	-5,21
Khí nhà kính	Củi	tCO ₂ eq/năm	0,81	0,17	-0,64
	LPG		0,75	0,18	-0,57
	KSH		16,9	5,2	-11,7
	Tổng cộng		18,5	5,6	-12,9

Ghi chú: Số liệu trình bày được tính toán cho toàn bộ hệ thống CBRE với 5 nông hộ sử dụng khí sinh học khác.

3.2.4. Những thách thức trong hệ thống chia sẻ khí sinh học

Mặc dù hiệu quả về kinh tế, xã hội và môi trường trong hệ thống khí sinh học đã được chứng minh thông qua nghiên cứu này. Tuy nhiên, vận hành hệ thống khí sinh học có thể đối mặt với những thách thức bao gồm (i) vấn đề về kỹ thuật kết nối khí sinh học bằng hệ thống ống dẫn khi dẫn truyền đi xa thì áp suất giảm đáng kể, đối với một số bếp sử dụng khí sinh học bằng phương pháp đốt trực tiếp thông thường sẽ kém hiệu quả. Những giải pháp có thể áp dụng được khi dẫn truyền khí sinh học đi xa như trợ áp bằng máy bơm, tuy nhiên giải pháp này ít được chú ý đến bởi vì gia tăng chi phí đầu vào. Thông thường, những phương pháp có tính khả thi cho việc sử dụng ở áp suất thấp là lắp đặt một túi trữ khí gần bếp sử dụng khí sinh học để điều áp, kết hợp sử dụng bếp hồng ngoại cải tiến có hệ thống quạt gió và bộ phận phối trộn khí giúp điều áp và cháy tốt được trong điều kiện áp suất ở mức thấp (<1 cm H₂O). Ngoài ra, hệ thống ống dẫn khí sinh học thường gặp trở ngại về việc ngưng tụ nước trong ống dẫn, bởi vì thành phần khí sinh học chiếm một tỷ lệ nước nhất định, sự ngưng tụ nước và tích lũy nước trong ống dẫn một thời gian dài sẽ

gây tắt nghẽn sự dẫn truyền khí sinh học, thông thường phương pháp khả thi để xử lý vấn đề này là việc lắp đặt hệ thống van xả nước tự động ở các điểm thấp nhất trên hệ thống dẫn khí; (ii) vấn đề về xã hội: kết nối hệ thống ống dẫn là một thách thức lớn trong việc vận hành hệ thống CBRE bởi vì hệ thống ống dẫn đi qua diện tích đất thuộc sở hữu của những người không sử dụng khí sinh học, điều này dễ gây nên những mâu thuẫn về mặt lợi ích xã hội. Do đó, trong CBRE cần phải có sự đồng thuận của các bên, sự ủng hộ của các hộ dân xung quanh và sự chấp nhận sử dụng khí sinh học của người dân; (iii) tính bền vững: hệ thống CBRE sẽ phải đối mặt với những rủi ro trong chăn nuôi cụ thể bao gồm sự biến động về giá cả thị trường, tái đàn, dịch tả lợn Châu Phi và các rủi ro khác. Người dân sẽ ngừng chăn nuôi nếu không có lợi nhuận, điều này dẫn đến sự thiếu hụt nguyên liệu nạp cho các công trình khí sinh học cũng như vận hành hệ thống CBRE; (iv) bảo trì hệ thống CBRE: xây dựng cơ chế thu phí để phục vụ cho các khoản chi liên quan đến bảo trì hệ thống CBRE.

4. Kết luận

Nghiên cứu cho thấy việc chia sẻ khí sinh học của mô hình CBRE làm giảm phát thải khí

nhà kính so với mô hình biogas truyền thống không có chia sẻ khí sinh học. Hệ thống CBRE cho phép những hộ chăn nuôi heo giảm 11,7 tấn CO₂eq/năm (~69,2%) tổng lượng phát thải khí nhà kính trực tiếp từ một công trình khí sinh học với quy mô chăn nuôi heo 26 - 52 con/trại nuôi. Hơn nữa, lượng khí sinh học tiêu hao từ CBRE kết hợp với khối lượng nhiên liệu đốt (củi đốt và LPG) tiết kiệm được cho các hoạt động đun nấu giảm 12,9 tấn tấn CO₂eq/năm (~69,7%) cho 5 nông hộ sử dụng khí sinh học. Tổng chi phí tiết kiệm được cho mỗi nông hộ khí sinh học là 1.040 ngàn đồng/hộ/năm. Ngoài ra, sản lượng khí sinh ra hàng ngày cung cấp đủ nhu cầu sử dụng khí sinh học cho 5 hộ gia đình với thời gian sử dụng khí trung bình là 1,87 giờ/hộ/ngày và thể tích khí tiêu hao tương ứng 0,74 m³/hộ/ngày. Tuy nhiên, nông hộ sử dụng khí sinh học chỉ sử dụng 78,65% nhu cầu năng lượng cho hoạt động đun nấu trong gia đình, sản lượng khí thừa còn lại có thể đủ để chia sẻ thêm cho một nông hộ sử dụng. Để hệ thống CBRE hoạt động hiệu quả và bền vững trong dài hạn cần xây dựng cơ chế chi trả một phần tiền sử dụng khí sinh học theo thể tích khí tiêu thụ thực tế được ghi nhận của mỗi nông hộ cho hoạt động duy tu, bảo dưỡng hệ thống CBRE.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được tài trợ kinh phí bởi Trường Đại học Cần Thơ trong khuôn khổ thực hiện đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường (Mã số: T2019-49). Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn những nông hộ tham gia mô hình chia sẻ khí sinh học cộng đồng tại huyện Vĩnh Thạnh - thành phố Cần Thơ./.

Tài liệu tham khảo

- Chandra, A., Tiwari, G. N., Srivastava, V. K., & Yadav, Y. P. (1991). Performance evaluation of biogas burners. *Energy Conversion and Management*, 32(4), 353-358. [https://doi.org/10.1016/0196-8904\(91\)90053-L](https://doi.org/10.1016/0196-8904(91)90053-L)
- Cuéllar, A. D., & Webber, M. E. (2008). Cow Power: The Energy and Emissions Benefits of Converting Manure to Biogas. *Environmental Research Letters*, 3(3) 1-8. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/3/3/034002>.
- El-Mashad, H. M., & Zhang, R. (2010). Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. *Bioresource Technology*, 101(11), 4021-4028.
- Fortuny, M., Gamisans, X., Deshusses, M.A., Lafuente, J., Casas, C., & Gabriel, D (2011). Operational aspects of the desulfurization process of energy gases mimics in biotrickling filters. *Water Res*, 45, 5665-5674. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.08.029>.
- Fujiwara, T. (2012). Concept of an Innovative Water Management System with Decentralized Water Reclamation and Cascading Material-cycle for Agricultural Areas. *Water Science and Technology*, 66(6), 1171-7. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.246>.
- Gautam, R., Baral, S., & Herat, S. (2009). Biogas as a sustainable energy source in nepal: Present status and future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(1), 248-252.
- Green, J. M., & Sibisi, M. N. T. (2002). Domestic biogas digesters: A comparative study. *In proceedings of domestic use of energy conference, Cape Town, South Africa*, 33-38.
- Hao, H. N., Van, L. T. T., & Luu, T. L. (2020). Removal of H₂S in biogas using biotrickling filter: Recent development. *Process Safety and Environmental Protection*, (144), 297-309. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.07.011>.
- IPCC. (2007). *IPCC fourth assessment report: Climate change 2007*. The Intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Izumi, T., Higano, Y., Matsubara, E., Dung, D. T., Minh, L. T., & Chiem, N. H. (2015). Effect of appropriate technology introduction to farm households in Vietnam for GHC

- emission reduction. *Journal of Sustainable Development*, 8(8), 147-158. <http://dx.doi.org/10.5539/jsd.v8n8p147>
- Izumi, T., Matsubara, E., Dung, D. T., Ngan, N. V. C., Chiem, N. H., and Higano, Y., (2016). Reduction of Greenhouse Gas Emissions in Vietnam through Introduction of a Proper Technical Support System for Domestic Biogas Digesters. *Journal of Sustainable Development*, 9(3), 224-235. <https://doi.org/10.5539/jsd.v9n3p224>.
- Kurchania, A. K., Panwar, N. L., and Pagar, S. D. (2011). Development of domestic biogas stove. *Biomass Conversion and Biorefinery*, (1), 99-103. <https://doi.org/10.1007/s13399-011-0011-5>.
- Matsubara, E., Izumi, T., Nguyen, H. C., and Nguyen, H. T. (2014). Emission Reduction and Financial Feasibility Evaluation of a Household Biogas CDM Project in Vietnam. *Irrigation, Drainage and Rural Engineering Journal*, (294), 55-64.
- Minamikawa, K., Khanh, H. C., Yasukazu, H., Nam, T. S., and Chiem, N. H. (2019). Variable-Timing, Fixed-Rate Application of Cattle Biogas Effluent to Rice Using a Leaf Color Chart: Microcosm Experiments in Vietnam. *Soil Science and Plant Nutrition*, 66(1), 225-234.
- Nam, T. S., Hong, L. N. D., Thao, H. V., Chiem, N. H., Viet, L. H., Ingvorsen, K., and Ngan, N. V. C. (2016). Enhancing biogas production by anaerobic co-digestion of water hyacinth and pig manure. *Journal of Vietnamese E*, 8(3), 195-199. <https://doi.org/10.13141/jve.vol8.no3.pp195-199>.
- Nguyễn, Q. K., & Nguyễn, G. L. (2010). *Tỷ sách khí sinh học tiết kiệm năng lượng - Công nghệ khí sinh học chuyên khảo*. Hà Nội: NXB Khoa học tự nhiên và Công nghệ.
- Rajendran, K., Aslanzadeh, S., and Mohammad, J. T. (2012). Household Biogas Digesters—A Review. *Energies*, 5(8), 2911-2942. <https://doi.org/10.3390/en508291>.
- Singh, N., and Gupta R.K. (1990). Community biogas plants in India. *Biological Wastes*, 32(2), 149-153. [https://doi.org/10.1016/0269-7483\(90\)90079-8](https://doi.org/10.1016/0269-7483(90)90079-8).
- Trần, S. N., Huỳnh, V. T., Huỳnh, C. K., Nguyễn, V. C. N., Nguyễn, H. C., & Lê, H. V. (2015). Đánh giá khả năng sử dụng rơm và lục bình trong ủ yếm khí bán liên tục - Ứng dụng trên túi ủ biogas polyethylene với quy mô nông hộ. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, Phần A: Khoa học Tự nhiên, Công nghệ và Môi trường*, (36), 27-35.
- UNFCCC. (2011). *Indicative simplified baseline and monitoring methodologies for selected small-scale CDM project activity categories: I.C./Version 19 EB61, CDM Executive Board*. <http://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/EM51TG3UVKADPA25IPUHJ85HE8A>
- UNFCCC. (2015). *CDM project design document 'Farm household biogas project contributing to rural development in Can Tho City'* (6132). <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/JACO1335502236.58/view>
- Ye, J., Li, D., Sun, Y., Wang, G., Yuan, Z., Zhen, F., and Wang Y. (2013). Improved Biogas Production from Rice Straw by Co-Digestion with Kitchen Waste and Pig Manure. *Waste Management*, (33), 2653-58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.05.014>.