

Đánh giá tiềm năng sử dụng năng lượng tái tạo cho các nhà máy xử lý nước thải đô thị tại Việt Nam

Huỳnh Anh Tuấn^{1*}, Giang Văn Tuyền²

¹ Công ty TNHH đầu tư xây dựng và công nghệ môi trường Huỳnh Gia

² Trường Đại Học Xây Dựng Miền Tây

TỪ KHOÁ

Xử lý nước thải
Khí nhà kính
Biến đổi khí hậu
Năng lượng tái tạo
Phát thải

TÓM TẮT

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu và cạn kiệt năng lượng hóa thạch, việc ứng dụng năng lượng tái tạo vào các nhà máy xử lý nước thải (XLNT) tại Việt Nam là giải pháp hứa hẹn. Các nhà máy XLNT tiêu thụ lượng điện đáng kể (0,3–0,6 kWh/m³ nước thải), chủ yếu từ nhiên liệu hóa thạch, gây phát thải khí nhà kính (KNK). Với tiềm năng lớn về năng lượng tái tạo như mặt trời, gió, sinh khối và khí sinh học, Việt Nam có thể khai thác để giảm chi phí và phát thải KNK. Các giải pháp như lắp đặt pin mặt trời, thu hồi khí sinh học từ bùn thải và sử dụng năng lượng gió đã chứng minh hiệu quả qua dự án thí điểm tại Nhà máy XLNT Bình Hưng (TP.HCM). Để mở rộng, cần chính sách hỗ trợ, đầu tư công nghệ và nâng cao nhận thức. Ứng dụng năng lượng tái tạo không chỉ giảm phát thải mà còn góp phần đạt mục tiêu phát thải ròng bằng 0 vào năm 2050.

KEYWORDS

Wastewater treatment
Greenhouse gas
Climate change
Renewable energy
Emissions

ABSTRACT

In the context of climate change and the depletion of fossil energy resources, the application of renewable energy in wastewater treatment plants (WWTPs) in Vietnam represents a promising solution. WWTPs consume a substantial amount of electricity (0.3–0.6 kWh/m³ of wastewater), primarily derived from fossil fuels, resulting in greenhouse gas (GHG) emissions. With significant potential for renewable energy sources such as solar, wind, biomass, and biogas, Vietnam can leverage these resources to reduce costs and GHG emissions. Solutions such as the installation of solar panels, recovery of biogas from waste sludge, and utilization of wind energy have demonstrated effectiveness through pilot projects at the Binh Hung WWTP (Ho Chi Minh City). To expand these initiatives, there is a need for supportive policies, investment in technology, and enhanced public awareness. The application of renewable energy not only mitigates emissions but also contributes to achieving the net-zero emissions target by 2050.

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu và cạn kiệt nguồn tài nguyên năng lượng hóa thạch, việc chuyển đổi sang sử dụng năng lượng tái tạo đã trở thành xu hướng toàn cầu. Năng lượng tái tạo không chỉ giúp giảm phát thải KNK mà còn góp phần đảm bảo an ninh năng lượng và thúc đẩy phát triển bền vững. Tại Việt Nam, với tiềm năng lớn về năng lượng mặt trời, gió, sinh khối và khí sinh học, việc ứng dụng các nguồn năng lượng này vào các lĩnh vực sản xuất và dịch vụ, đặc biệt là trong XLNT, đang là một hướng đi đầy hứa hẹn.

Các nhà máy XLNT là một trong những ngành tiêu thụ năng lượng lớn, với mức tiêu thụ điện năng trung bình từ 0,3–0,6 kWh/m³ nước thải. Việc sử dụng năng lượng từ nguồn nhiên liệu hóa thạch không chỉ làm tăng chi phí vận hành mà còn góp phần đáng kể vào phát thải KNK. Do đó, việc ứng dụng năng lượng tái tạo như năng lượng mặt trời, khí sinh học từ bùn thải, và năng lượng gió vào các nhà máy XLNT không chỉ giúp giảm chi phí năng lượng mà còn góp

phần bảo vệ môi trường và thực hiện các cam kết quốc tế về giảm phát thải KNK.

Bài viết này sẽ cung cấp cái nhìn tổng quan về năng lượng tái tạo, thực trạng XLNT tại Việt Nam, và tiềm năng ứng dụng năng lượng tái tạo trong các nhà máy XLNT. Đồng thời, bài viết cũng đề xuất các giải pháp và hướng nghiên cứu trong tương lai nhằm thúc đẩy sự phát triển bền vững của ngành XLNT, góp phần hiện thực hóa mục tiêu phát thải ròng bằng 0 vào năm 2050 của Việt Nam.

2. Tổng quan

2.1. Tổng quan về năng lượng tái tạo

Năng lượng tái tạo, còn được biết đến với tên gọi năng lượng sạch hoặc năng lượng tái sinh, là loại năng lượng được hình thành từ các nguồn tự nhiên và có khả năng tái tạo liên tục trong thời gian ngắn. Loại năng lượng này thường được xem là vô hạn và không bị cạn kiệt. Các nguồn năng lượng tái tạo phổ biến bao gồm mặt trời,

*Liên hệ tác giả: anhtuan.18smt21@gmail.com

gió, địa nhiệt, sóng biển... Khác với các nguồn năng lượng truyền thống, năng lượng tái tạo phân bố rộng rãi trên khắp các khu vực trên thế giới, thay vì chỉ tập trung tại một số địa điểm hoặc quốc gia cụ thể. Điều này tạo điều kiện thuận lợi để tất cả các quốc gia có thể khai thác và phát triển mạnh mẽ nguồn năng lượng này, ứng dụng vào đời sống và sản xuất. [1]

2.1.1. Các loại năng lượng tái tạo hiện nay

Năng lượng mặt trời: đã được sử dụng từ lâu, ban đầu để sưởi ấm và trồng trọt. Ngày nay, nó được ứng dụng rộng rãi hơn, như tạo nước nóng và sản xuất điện. Điện mặt trời được tạo ra nhờ pin quang điện, chuyển ánh sáng thành dòng điện một chiều, sau đó thành điện xoay chiều phục vụ sinh hoạt. Ngoài ra, nhiệt mặt trời còn dùng để đun nước, sưởi ấm, nấu ăn, làm mát và thông gió. [1]

Năng lượng địa nhiệt: là nguồn năng lượng tái tạo được lấy từ nhiệt trong tâm Trái Đất, hình thành từ sự phân rã phóng xạ của khoáng vật và bức xạ mặt trời hấp thụ tại bề mặt. Loại năng lượng này thường được dùng để làm nóng nước, sưởi ấm, phục vụ spa, lọc nước biển và phát điện. Nhiệt độ tăng dần theo độ sâu, giúp nguồn năng lượng dồi dào hơn. Tuy nhiên, việc khai thác địa nhiệt còn gặp khó khăn do hạn chế về kỹ thuật và địa điểm, khiến hiệu quả chưa đạt như mong đợi. [1]

Thủy điện: là một nguồn năng lượng sạch, hoạt động bằng cách sử dụng sức nước từ dòng chảy để quay tuabin tạo ra điện. Tuy nhiên, các đập thủy điện không được coi là hoàn toàn tái tạo vì chúng gây ra nhiều tác động tiêu cực. Việc xây dựng đập làm thay đổi dòng chảy tự nhiên của sông, ảnh hưởng đến hệ sinh thái, đời sống của con người và sinh vật xung quanh. Ngoài ra, thủy điện có thể gây ngập lụt, mất đất canh tác, di dời dân cư và làm suy giảm đa dạng sinh học. Nếu không được quản lý chặt chẽ, các dự án thủy điện có thể dẫn đến những hậu quả nghiêm trọng cho môi trường và cộng đồng. [2]

Năng lượng thủy triều: là một dạng năng lượng sạch, được tạo ra bằng cách chuyển đổi sự lên xuống của thủy triều thành điện năng. Tuy nhiên, nguồn năng lượng này chưa được sử dụng phổ biến do chi phí đầu tư cao và chỉ phù hợp ở những khu vực có dòng chảy mạnh hoặc thủy triều lớn. Điều này làm hạn chế việc ứng dụng rộng rãi của năng lượng thủy triều. [2]

Năng lượng sinh khối là một dạng năng lượng tái tạo được sử dụng phổ biến ở nhiều quốc gia, có nguồn gốc từ các vật liệu hữu cơ như động vật và thực vật. Khi bị đốt cháy, sinh khối giải phóng nhiệt hoặc có thể được chuyển đổi thành các dạng năng lượng khác thông qua các quá trình hóa học hoặc sinh học. Đây được coi là một nguồn năng lượng sạch, góp phần giảm sự phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch. Tuy nhiên, việc thu gom, vận chuyển và lưu trữ chất thải sinh khối có thể phát sinh khí carbon, gây ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường nếu không được quản lý chặt chẽ. Ngoài ra, việc chặt phá rừng để lấy nguyên liệu sản xuất năng lượng sinh khối cũng gây ra nhiều vấn đề nghiêm trọng, như phá hủy hệ sinh thái, làm suy giảm thảm thực vật và đe dọa đến môi trường sống của động vật hoang dã. Một

vấn đề khác là mùi hôi từ chất thải sinh khối, không chỉ gây khó chịu mà còn tạo điều kiện thuận lợi cho vi khuẩn phát triển, ảnh hưởng đến sức khỏe cộng đồng. Vì vậy, mặc dù là nguồn năng lượng tái tạo, sinh khối vẫn cần được khai thác và sử dụng một cách bền vững. [1]

Năng lượng gió: được sử dụng rộng rãi để quay tuabin tạo điện và bơm nước phục vụ nông nghiệp. Đây là nguồn năng lượng dồi dào với chi phí thấp. Tuy nhiên, để sản xuất điện gió hiệu quả, cần xây dựng các tuabin lớn với cánh quạt có đường kính rộng, lắp đặt tại những khu vực thoáng đãng, có tốc độ gió mạnh. Việc này đòi hỏi sự quy hoạch và đầu tư hợp lý nhằm đảm bảo hiệu suất tối ưu, giúp khai thác tối đa tiềm năng của nguồn năng lượng tái tạo này. [1]

Nhiên liệu sinh học được sản xuất từ các hợp chất nguồn gốc động vật hoặc chất béo của động thực vật. Trước đây, nó chỉ được coi là nhiên liệu phụ do số lượng hạn chế, nhưng sau khủng hoảng năng lượng, loại nhiên liệu này đã được chú trọng phát triển. Các nhiên liệu sinh học phổ biến gồm chất béo từ mỡ động vật, dầu dừa; ngũ cốc như lúa mì, đậu tương, ngô; chất thải nông nghiệp như phân gia súc, rơm rạ; và chất thải công nghiệp như mùn cưa, gỗ thải. Đây là nguồn năng lượng tái tạo đang được khai thác rộng rãi. [1]

Nhiên liệu hydro là nguồn năng lượng dồi dào và thân thiện với môi trường, được sử dụng để đốt và sản xuất pin nhiên liệu hydro cung cấp điện cho động cơ. Hiện nay, hydro chủ yếu được sản xuất từ ba nguồn: khí tự nhiên, dầu và than. Khí tự nhiên (metan) khi đốt nóng tách thành CO và hydro. Dầu nặng cần oxy hóa ở nhiệt độ và áp suất cao để tạo hydro. Than cũng phân hủy thành CO và hydro; nếu khí thải được lưu giữ, hydro tạo ra được gọi là hydro xanh. Hydro hứa hẹn là giải pháp năng lượng sạch cho tương lai. [1]

Bên cạnh các nguồn năng lượng tái tạo chính đã đề cập, còn có một số nguồn năng lượng khác như năng lượng đại dương và phản ứng tổng hợp hydro nóng. Những nguồn năng lượng này hiện vẫn đang trong quá trình nghiên cứu và thảo luận nhằm ngăn chặn nguy cơ xảy ra khủng hoảng năng lượng trong tương lai. [1]

2.1.2. Các chính sách đối với năng lượng tái tạo tại Việt Nam

Việt Nam là một trong những quốc gia có tiềm năng lớn về phát triển năng lượng tái tạo, với các nguồn năng lượng dồi dào như gió, mặt trời, sinh khối, và thủy điện nhỏ. Nhận thức được vai trò quan trọng của năng lượng tái tạo trong việc bảo đảm an ninh năng lượng, giảm phát thải KNK và thúc đẩy phát triển bền vững, Chính phủ Việt Nam đã ban hành nhiều chính sách và chiến lược nhằm khuyến khích phát triển lĩnh vực này. Các chính sách được xây dựng không chỉ hướng đến việc thúc đẩy đầu tư mà còn tạo điều kiện để năng lượng tái tạo đóng góp ngày càng lớn trong cơ cấu năng lượng quốc gia.

Chính phủ Việt Nam đã ban hành nhiều chiến lược và quy hoạch dài hạn nhằm định hướng phát triển năng lượng tái tạo. Nổi bật nhất là:

- Chiến lược phát triển năng lượng tái tạo đến năm 2030, tầm nhìn 2045 (Quyết định số 2068/QĐ-TTg năm 2015): Đây là văn bản quan trọng nhằm thúc đẩy phát triển năng lượng tái tạo, đặt mục tiêu

tăng tỷ trọng năng lượng tái tạo trong tổng cung năng lượng sơ cấp lên 32 % vào năm 2030 và 44 % vào năm 2050. Chiến lược này cũng khuyến khích việc áp dụng công nghệ hiện đại, giảm chi phí sản xuất và cải thiện hiệu quả sử dụng năng lượng tái tạo.

- Quy hoạch Phát triển Điện lực Quốc gia VIII (Quy hoạch điện VIII): Được phê duyệt vào năm 2023, Quy hoạch điện VIII đặt mục tiêu đến năm 2030, năng lượng tái tạo (bao gồm điện mặt trời, điện gió, thủy điện nhỏ và điện sinh khối) sẽ chiếm khoảng 30,9 % tổng công suất điện lắp đặt, tương đương khoảng 72.000 MW. Quy hoạch cũng nhấn mạnh ưu tiên phát triển điện gió ngoài khơi và điện mặt trời tại các khu vực có tiềm năng cao.

- Chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu giai đoạn đến năm 2050 (Quyết định số 896/QĐ-TTg năm 2022): Chiến lược này đặt mục tiêu đạt phát thải ròng bằng 0 vào năm 2050. Năng lượng tái tạo đóng vai trò cốt lõi trong việc giảm phát thải KNK trong ngành năng lượng, thay thế dần các nguồn năng lượng hóa thạch.

Việt Nam cũng đã ban hành nhiều chính sách cụ thể nhằm khuyến khích đầu tư tư nhân và huy động nguồn lực xã hội vào lĩnh vực năng lượng tái tạo. Một số chính sách nổi bật bao gồm:

- Thực hiện chỉ đạo của Chính phủ, Bộ Công Thương đã xây dựng và trình các quyết định nhằm thúc đẩy phát triển năng lượng tái tạo (NLTT), đặc biệt là điện mặt trời và điện gió. Cụ thể, các quyết định như 11/2017/QĐ-TTg, 13/2020/QĐ-TTg khuyến khích phát triển điện mặt trời, trong khi Quyết định số 37/2011/QĐ-TTg và 39/2018/QĐ-TTg hỗ trợ các dự án điện gió. Theo đó, nhà đầu tư NLTT được hưởng giá cố định (FIT) trong một thời gian nhất định, tạo điều kiện thuận lợi cho phát triển nguồn năng lượng sạch. [6]

- Ngày 11/2/2020, Bộ Chính trị ban hành Nghị quyết số 55-NQ/TW về định hướng chiến lược phát triển năng lượng quốc gia đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045. Nghị quyết nhấn mạnh việc ưu tiên phát triển năng lượng tái tạo (NLTT) với tỉ lệ hợp lý, đảm bảo hài hòa giữa các vùng miền và phù hợp với quy hoạch hệ thống điện. Theo đó, công suất NLTT (không tính thủy điện) dự kiến tăng từ khoảng 17.000 MW hiện nay lên 31.600 MW vào năm 2030, chiếm khoảng 24,3 % tổng công suất toàn hệ thống. [6]

2.2. Thực trạng xử lý nước thải tại Việt Nam

Việt Nam hiện đang có những bước tiến đáng kể trong việc XLNT ở nhiều lĩnh vực, bao gồm sinh hoạt, y tế và công nghiệp. Hiện nay, cả nước có khoảng 71 nhà máy XLNT tập trung đang hoạt động với tổng công suất thiết kế đạt 1,38 triệu m³/ngày, nhưng tỷ lệ thu gom và xử lý nước thải sinh hoạt mới chỉ đạt khoảng 15 % [7]. Trong lĩnh vực y tế, với 51.962 cơ sở y tế trên cả nước, lượng nước thải y tế phát sinh trung bình lên đến 130.000 m³/ngày đêm. Năm 2021, tỷ lệ nước thải y tế được xử lý đạt 93%, trong đó các cơ sở tuyến trung ương, tỉnh và huyện đều đạt trên 94 %, trong khi tuyến xã chỉ đạt 50,76 %. Đáng chú ý, 100 % bệnh viện tư nhân đạt yêu cầu về XLNT [8]. Về lĩnh vực công nghiệp, tính đến ngày 20/02/2024, cả nước có 418 khu công nghiệp với tổng diện tích đất tự nhiên khoảng 129,9 nghìn ha, trong đó 298 khu

công nghiệp đã đi vào hoạt động. Các hệ thống XLNT tập trung tại các khu công nghiệp có tổng công suất thiết kế đạt 1.218.000 m³/ngày đêm, nhưng hiệu suất sử dụng chỉ đạt 66,67 % do tổng lượng nước thải thực tế phát sinh là 812.000 m³/ngày đêm. Khu vực Đông Nam Bộ là nơi có tỷ lệ phát sinh nước thải cao nhất, chiếm 50 % tổng lượng nước thải cả nước, đồng thời cũng là khu vực có tỷ lệ thu gom và XLNT tập trung cao nhất, đạt khoảng 90 %. [9]

3. Sự cần thiết của việc đánh giá tiềm năng ứng dụng năng lượng tái tạo cho các nhà máy XLNT tại Việt Nam

3.1. Chính sách giảm phát thải khí nhà kính tại Việt Nam

Việt Nam đã thể hiện cam kết mạnh mẽ trong việc giảm phát thải KNK thông qua các chính sách và chiến lược cụ thể, nhằm ứng phó với biến đổi khí hậu và hướng tới phát triển bền vững. Tại Hội nghị COP26 năm 2021, Việt Nam cam kết đạt mức phát thải ròng bằng 0 (Net Zero) vào năm 2050, đồng thời đặt mục tiêu giảm 43,5 % lượng phát thải KNK vào năm 2030 so với kịch bản phát triển thông thường (BAU), tương đương giảm 399,2 triệu tấn CO₂-eq. Trong đó, 27 % mức giảm sẽ được thực hiện bằng nguồn lực trong nước, còn 16,5 % cần sự hỗ trợ quốc tế.

Để hiện thực hóa các cam kết này, Việt Nam đã ban hành nhiều chính sách và chiến lược quan trọng. Chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu đến năm 2050 (Quyết định số 896/QĐ-TTg) đặt mục tiêu giảm phát thải KNK trong ngành năng lượng xuống 32 % vào năm 2030 và 70 % vào năm 2050, đồng thời tăng tỷ lệ năng lượng tái tạo lên 42 % tổng công suất điện lắp đặt vào năm 2045. Luật Bảo vệ môi trường 2020 lần đầu tiên quy định về thị trường tín chỉ carbon, tạo cơ sở pháp lý cho việc trao đổi và mua bán tín chỉ carbon, đồng thời yêu cầu các doanh nghiệp lớn báo cáo và kiểm kê KNK định kỳ.

Chương trình hành động quốc gia về tăng trưởng xanh giai đoạn 2021-2030 (Quyết định số 1658/QĐ-TTg) đặt mục tiêu giảm cường độ phát thải KNK trên GDP xuống 15 % vào năm 2030 và 30 % vào năm 2050 so với mức năm 2014, thông qua việc đẩy mạnh sử dụng năng lượng tái tạo và phát triển công nghệ carbon thấp. Quy hoạch điện VIII (2023) cũng hướng tới tăng tỷ trọng năng lượng tái tạo lên 31 đến 32 % vào năm 2030, với trọng tâm phát triển điện gió ngoài khơi, điện mặt trời và điện sinh khối. Bên cạnh đó, hệ thống kiểm kê KNK (Nghị định số 06/2022/NĐ-CP) yêu cầu các doanh nghiệp thuộc 5 lĩnh vực chính (năng lượng, công nghiệp, nông nghiệp, đất đai, chất thải) thực hiện kiểm kê KNK hàng năm, tạo cơ sở để xây dựng và theo dõi các chính sách giảm phát thải theo ngành.

3.2. Đánh giá phát thải khí nhà kính từ hệ thống XLNT do sử dụng năng lượng

Hệ thống XLNT đóng vai trò quan trọng trong việc bảo vệ môi trường và sức khỏe cộng đồng. Tuy nhiên, quá trình vận hành các nhà máy XLNT lại tạo ra một lượng đáng kể KNK, chủ yếu từ việc tiêu thụ năng lượng và các phản ứng sinh hóa trong hệ thống. Các KNK chính phát sinh từ hệ thống XLNT bao gồm carbon dioxide (CO₂), methane

(CH₄) và nitrous oxide (N₂O). Trong đó, lượng phát thải từ tiêu thụ năng lượng thường chiếm tỷ lệ lớn nhất, đặc biệt tại các nhà máy sử dụng nhiều thiết bị cơ học như bơm, máy thổi khí và máy ép bùn.

Năng lượng sử dụng trong các hệ thống XLNT thường đến từ các nguồn truyền thống như điện lưới, phần lớn được sản xuất từ nhiên liệu hóa thạch. Do vậy, tiêu thụ năng lượng tại các nhà máy XLNT gián tiếp gây phát thải CO₂, góp phần vào tổng lượng phát thải KNK.

Theo nghiên cứu của Theo He và cộng sự (2019), mức tiêu thụ điện năng trung bình của các nhà máy XLNT tại Trung Quốc đạt khoảng 0,29 kWh/m³, thấp hơn so với các nước phát triển. Điện năng tiêu thụ được phân bổ rõ ràng giữa các đơn vị xử lý, trong đó: hệ thống sục khí chiếm 50 đến 70 % tổng năng lượng, bơm nước chiếm 20 đến 25 %, và xử lý bùn tiêu tốn 6 đến 12 %.

Theo Deborah Panepinto và cộng sự (2016), tổng nhu cầu điện năng của nhà máy XLNT đạt 66,78 GWh/năm, trong đó khoảng 50 % được sử dụng cho quá trình cung cấp oxy trong bể oxy hóa. Nhu cầu năng lượng nhiệt là 49,15 GWh/năm, với hơn 93 % tập trung vào quy trình xử lý bùn. Chỉ số tiêu thụ năng lượng cụ thể liên quan đến nhu cầu điện năng theo dân số tương đương, khối lượng nước xử lý, cũng như lượng COD (nhu cầu oxy hóa học) và nitơ tổng cộng bị loại bỏ. Tỷ lệ tiêu thụ năng lượng nằm trong khoảng 0,3-2,1 kWh/m³ nước xử lý, phù hợp với mức tiêu thụ điển hình trong ngành.

Theo Yifan Gu và cộng sự (2017), mức tiêu thụ điện năng trung bình của các nhà máy lớn là 0,485 kWh/m³, trong khi các nhà máy nhỏ ở nông thôn có mức tiêu thụ cao hơn, đạt 0,915 kWh/m³. Liên quan đến nhu cầu oxy sinh hóa (BOD₅), mức tiêu thụ năng lượng trung bình là 2,27 kWh/kg BOD₅. Về sản xuất năng lượng, trung bình mỗi mét khối biogas tạo ra 1,2 kWhel, và nước thải đã xử lý có thể tạo ra 0,1 kWhel/m³. Khả năng tự cung cấp năng lượng của các nhà máy trung bình đạt 25,2 %, trong đó một số nhà máy có thể tự cung cấp trên 65 %. Mức tiêu thụ năng lượng cũng thay đổi theo công nghệ xử lý. Với công nghệ bùn hoạt tính truyền thống (Conventional Activated Sludge), các số liệu tiêu thụ năng lượng là: Australia 0,46 kWh/m³, Trung Quốc 0,269 kWh/m³, Hoa Kỳ 0,33 đến 0,60 kWh/m³, và Nhật Bản 0,30 đến 1,89 kWh/m³. Đối với công nghệ mương oxy hóa (Oxidation Ditch), mức tiêu thụ tại Australia dao động từ 0,5 đến 1,0 kWh/m³, Trung Quốc 0,302 kWh/m³, và Nhật Bản 0,43 đến 2,07 kWh/m³. Ngoài ra, quy mô nhà máy cũng ảnh hưởng đến mức tiêu thụ năng lượng, với các nhà máy lớn (công suất > 5000 m³/ngày) tiêu thụ trong khoảng 0,331 đến 0,414 kWh/m³.

Theo nghiên cứu của Igor Bodík và Miroslava Kubaská (2013), tiêu thụ năng lượng từ các nhà máy XLNT lớn và nhỏ ở Slovakia, chỉ ra rằng tiêu thụ năng lượng trung bình là 0,485 kWh/m³ đối với các nhà máy lớn và 0,915 kWh/m³ đối với các nhà máy nhỏ. Nhu cầu năng lượng trung bình liên quan đến tải BOD₅ là 2,27 kWh/kg BOD₅.

Theo Bộ Năng lượng Hoa Kỳ (DOE), ngành cấp nước sạch và XLNT tiêu thụ khoảng 3 % tổng năng lượng quốc gia, tương đương 56 tỷ kWh mỗi năm. Năng lượng này chủ yếu được sử dụng cho các quy trình như bơm nước, lọc, khử trùng, khử muối, tái chế nước và XLNT. [20]

Theo Báo cáo của Tổ chức Hợp tác và Phát triển Kinh tế (OECD, 2020), XLNT là một trong những ngành tiêu thụ năng lượng lớn nhất trong lĩnh vực dịch vụ đô thị, chiếm khoảng 3 đến 4 % tổng tiêu thụ điện toàn cầu, tương đương phát thải khoảng 130 triệu tấn CO₂ mỗi năm. Đối với các nhà máy XLNT hoạt động tại Việt Nam, mức tiêu thụ năng lượng dao động từ 0,3 đến 0,6 kWh/m³ nước thải xử lý tùy thuộc vào công nghệ áp dụng (theo Báo cáo của Ngân hàng Thế giới, 2022). Nếu điện lưới sử dụng được sản xuất từ nhiên liệu hóa thạch, lượng phát thải CO₂ sẽ tương ứng khoảng 0,2 đến 0,4 kg CO₂/m³ nước thải.

3.3. Tiềm năng ứng dụng năng lượng tái tạo cho các nhà máy xử lý nước thải tại Việt Nam

Việt Nam sở hữu nhiều lợi thế tự nhiên để phát triển năng lượng tái tạo, đặc biệt là năng lượng mặt trời và gió. Các vùng Nam Trung Bộ và Tây Nguyên được đánh giá là những khu vực có bức xạ mặt trời cao nhất cả nước, với số giờ nắng trung bình từ 2.000 đến 2.500 giờ/năm và cường độ bức xạ đạt 4,5 đến 5 kWh/m²/ngày. Đây là điều kiện lý tưởng để phát triển các dự án điện mặt trời. Theo Tập đoàn Điện lực Việt Nam (EVN), tính đến năm 2022, Việt Nam đã lắp đặt hơn 16.500 MW công suất điện mặt trời, đưa nước ta trở thành một trong những quốc gia dẫn đầu khu vực Đông Nam Á về lĩnh vực này. Bên cạnh đó, Việt Nam cũng có tiềm năng lớn về năng lượng gió, đặc biệt tại các vùng ven biển như Bình Thuận, Ninh Thuận, Sóc Trăng và Bạc Liêu. Theo Ngân hàng Thế giới (WB), hơn 39 % diện tích lãnh thổ của Việt Nam có tốc độ gió trung bình trên 6 m/s, đủ điều kiện để lắp đặt các tua-bin gió công suất lớn. Hiện nay, Việt Nam đã vận hành hơn 4.000 MW công suất điện gió, với nhiều dự án điện gió ngoài khơi đang được triển khai. Ngoài ra, Việt Nam còn có tiềm năng phát triển năng lượng sinh khối nhờ nguồn phụ phẩm nông nghiệp dồi dào như trấu, mía và gỗ. Theo Báo cáo của Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, Việt Nam sản xuất khoảng 45 triệu tấn phụ phẩm nông nghiệp mỗi năm, nhưng chỉ khoảng 10 % được tận dụng làm nhiên liệu sinh học.

Tiềm năng ứng dụng năng lượng tái tạo cho các nhà máy XLNT tại Việt Nam là rất lớn. Đầu tiên, với sự phát triển của công nghệ pin năng lượng mặt trời, có thể lắp đặt hệ thống pin mặt trời trên mái nhà hoặc khu đất trống của nhà máy XLNT để cung cấp điện cho các thiết bị như máy bơm, máy thổi khí, hệ thống chiếu sáng và vận hành các hệ thống khử trùng bằng tia UV. Thứ hai, quá trình xử lý bùn thải trong nhà máy có thể tạo ra khí sinh học (biogas) chứa methane, một nguồn năng lượng tái tạo hiệu quả. Việc thu hồi khí sinh học từ bể phân hủy kỵ khí và sử dụng để phát điện hoặc cung cấp nhiệt cho các quy trình xử lý là một giải pháp khả thi. Tích hợp hệ thống phát điện từ khí sinh học (CHP - Combined Heat and Power) có thể tối ưu hóa hiệu suất sử dụng năng lượng. Một dự án thí điểm tại Nhà máy XLNT Bình Hưng (TP. Hồ Chí Minh) đã cho thấy việc chuyển đổi bùn thải thành biogas có thể đáp ứng khoảng 30 % nhu cầu điện năng của nhà máy. Ngoài ra, tại các khu vực ven biển và cao nguyên có tiềm năng

gió tốt, với tốc độ gió trung bình từ 6–10 m/s, có thể lắp đặt tua-bin gió cỡ nhỏ để cung cấp điện cho các nhà máy XLNT. Cuối cùng, các quy trình XLNT cũng có thể tạo ra nhiệt thải, đặc biệt là trong quá trình phân hủy kỵ khí. Việc thu hồi nhiệt thải để sưởi ấm hoặc cung cấp nhiệt cho các quy trình xử lý khác là một giải pháp tiết kiệm năng lượng hiệu quả.

4. Kết luận và kiến nghị

Việt Nam có tiềm năng lớn trong việc ứng dụng năng lượng tái tạo vào các nhà máy XLNT, góp phần giảm tiêu thụ năng lượng từ nhiên liệu hóa thạch, giảm phát thải KNK và hướng tới phát triển bền vững. Các nguồn năng lượng tái tạo như năng lượng mặt trời, khí sinh học (biogas), năng lượng gió và nhiệt thải có thể được khai thác hiệu quả tại các nhà máy XLNT. Những giải pháp như lắp đặt hệ thống pin mặt trời, thu hồi khí sinh học từ bùn thải và tận dụng năng lượng gió tại các khu vực phù hợp đã chứng minh tính khả thi và hiệu quả cao.

Các dự án thí điểm, như tại Nhà máy XLNT Bình Hưng (TP.HCM), cho thấy việc chuyển đổi bùn thải thành khí sinh học có thể đáp ứng một phần đáng kể nhu cầu năng lượng của nhà máy. Ngoài ra, việc thu hồi nhiệt thải từ các quy trình xử lý giúp tiết kiệm năng lượng và giảm chi phí vận hành. Tuy nhiên, để khai thác hết tiềm năng này, cần có sự hỗ trợ mạnh mẽ từ chính sách, đầu tư công nghệ và nâng cao nhận thức về lợi ích của năng lượng tái tạo. Các chính sách như giá mua điện ưu đãi (FIT) và các cơ chế tài chính cần được thúc đẩy để khuyến khích doanh nghiệp đầu tư vào giải pháp này.

Trong tương lai, nghiên cứu nên tập trung phát triển các mô hình tích hợp nhiều nguồn năng lượng tái tạo (mặt trời, gió, khí sinh học) vào hệ thống XLNT để tối ưu hóa hiệu quả sử dụng năng lượng và đảm bảo tính ổn định. Công nghệ lưu trữ năng lượng như pin và hydro cũng cần được nghiên cứu để giải quyết vấn đề biến động của năng lượng tái tạo. Đồng thời, cần phân tích chi phí đầu tư, lợi ích kinh tế và môi trường khi áp dụng năng lượng tái tạo tại các nhà máy XLNT. Các chính sách ưu đãi và mô hình hợp tác công-tư (PPP) cũng cần được đề xuất để huy động nguồn lực từ khu vực tư nhân.

Việc triển khai các dự án thí điểm tại các nhà máy quy mô khác nhau sẽ giúp đánh giá hiệu quả và nhân rộng mô hình thành công trên toàn quốc, đặc biệt tại các khu vực có tiềm năng lớn. Ngoài ra, nghiên cứu công nghệ xử lý bùn thải tiên tiến, như phân hủy kỵ khí, sẽ giúp tối đa hóa lượng khí sinh học thu hồi và giảm thiểu tác động môi trường.

Ứng dụng năng lượng tái tạo trong các nhà máy XLNT mang lại nhiều lợi ích về kinh tế, môi trường và cam kết giảm phát thải KNK. Để hiện thực hóa mục tiêu này, cần có sự phối hợp chặt chẽ giữa nghiên cứu, chính sách và sự tham gia của các bên liên quan.

5. Tài liệu tham khảo

[1]. *Năng lượng tái tạo là gì? Các nguồn năng lượng tái tạo hiện nay*. Truy cập ngày 23/02/2025 tại: <https://hoaphatsolar.vn/nang-luong-tai-ao-la-gi/>.

[2]. *Năng lượng tái tạo là gì? Lợi ích và xu hướng sử dụng* | Schneider Electric Việt Nam. Truy cập ngày 23/02/2025 tại: <https://www.se.com/vn/vi/work/solutions/local/nang-luong-tai-ao-la-gi.jsp>.

[3]. Quyết định số 2068/QĐ-TTg năm 2015, Chiến lược phát triển năng lượng tái tạo đến năm 2030, tầm nhìn 2045.

[4]. *Quy hoạch điện VIII, Bộ Công Thương 2023*. Truy cập ngày 23/02/2025 tại: <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Thuong-mai/Quyết-dinh-500-QĐ-TTg-2023-Quy-hoach-phat-trien-dien-luc-quoc-gia-2021-2030-tam-nhin-2050-566461.aspx>.

[5]. *Bộ Tài nguyên và Môi trường, Chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu đến năm 2050*. Truy cập ngày 23/02/2025 tại: <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Tai-nguyen-Moi-truong/Quyết-dinh-896-QĐ-TTg-2022-phe-duyet-Chien-luc-quoc-gia-bien-doi-khi-hau-den-2050-523527.aspx>.

[6]. *Làm rõ thêm về chính sách phát triển năng lượng tái tạo tại Việt Nam*. Truy cập ngày 23/02/2025 tại: <https://www.erav.vn/tin-tuc/t877/lam-ro-them-ve-chinh-sach-phat-trien-nang-luong-tai-ao-tai-viet-nam.html>.

[7]. *Thoát nước và xử lý nước thải tại Việt Nam: Hiện trạng và định hướng thiết lập khung pháp lý*. Truy cập ngày 23/02/2025 tại: <https://tapchixaydung.vn/thoat-nuoc-va-xu-ly-nuoc-thai-tai-viet-nam-hien-trang-va-dinh-huong-thiet-lap-khung-phap-ly-20201224000013424.html>.

[8]. *Xử lý chất thải, nước thải y tế của Việt Nam và những con số*. Truy cập ngày 23/02/2025 tại: <https://congnghepmoitruong.vn/xu-ly-chat-thai-nuoc-thai-y-te-cua-viet-nam-va-nhung-con-so-10428.html>.

[9]. *Vì sao nhiều khu công nghiệp chưa có hệ thống xử lý nước thải tập trung? - Nhịp sống kinh tế Việt Nam & Thế giới*. Truy cập ngày 23/02/2025 tại: <https://vneconomy.vn/techconnect/vi-sao-nhieu-khu-cong-nghiep-chua-co-he-thong-xu-ly-nuoc-thai-tap-trung.htm>.

[10]. Bộ Xây dựng, Báo cáo tổng kết ngành xây dựng 2022.

[11]. Bộ Tài nguyên và Môi trường, Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia 2022.

[12]. Nghị định số 06/2022/NĐ-CP, Quy định về giảm phát thải khí nhà kính và bảo vệ tầng ozone.

[13]. Quyết định số 896/QĐ-TTg, Chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu đến năm 2050.

[14]. Quyết định số 1658/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ: *Phê duyệt Chiến lược quốc gia về tăng trưởng xanh giai đoạn 2021 - 2030, tầm nhìn 2050*.

[15]. Báo cáo Đóng góp do quốc gia tự quyết định cập nhật năm 2022.

[16]. Nhìn lại 2 năm Việt Nam hiện thực cam kết COP 26. Truy cập ngày 23/02/2025 tại: <https://baotainguyenmoitruong.vn/nhin-lai-2-nam-viet-nam-hien-thuc-cam-ket-cop-26-366323.html>.

[17]. Yan He và cộng sự (2019), *Assessment of energy consumption of municipal wastewater treatment plants in China*.

[18]. Deborah Panepinto và cộng sự (2016), *Evaluation of the energy efficiency of a large wastewater treatment plant in Italy*.

[19]. Yifan Gu và cộng sự (2017), *Energy self-sufficient wastewater treatment plants: feasibilities and challenges*.

[20]. *Tiết kiệm năng lượng trong xử lý nước: Phương pháp và Giải pháp* — Filtech Co. Truy cập ngày 24/02/2025 tại: <https://vietloc.com/bai-viet/kien-thuc-loc-nuoc/tiet-kiem-nang-luong-trong-xu-ly-nuoc-phuong-phap-va-giai-phap>.

[21]. Igor Bodík và Miroslava Kubaská (2013), *Energy and sustainability of operation of a wastewater treatment plant*.

[22]. Bộ Công Thương, Báo cáo Năng lượng Việt Nam 2022.

[23]. Tập đoàn Điện lực Việt Nam (EVN), Tổng quan phát triển năng lượng tái tạo tại Việt Nam.

[24]. Ngân hàng Thế giới (WB), Vietnam Wind Resource Mapping Report 2022.

[25]. Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, Báo cáo Phụ phẩm Nông nghiệp 2022.

[26]. Trung tâm Điều độ Hệ thống điện Quốc gia (A0), Ứng dụng năng lượng tái tạo trong vận hành hệ thống.