

Nghiên cứu vai trò của
Năng lượng Hydrogen
trong cắt giảm phát thải các-bon
đối với các ngành công nghiệp
tại Việt Nam



GIỚI THIỆU BÁO CÁO

Nghiên cứu đánh giá vai trò của hydrogen trong cắt giảm phát thải carbon đối với các ngành công nghiệp tại Việt Nam hướng tới phát thải ròng bằng 0 vào năm 2050. Nghiên cứu cũng gợi mở định hướng phát triển nền kinh tế hydrogen nhằm hỗ trợ thực thi các chính sách về khí hậu và tăng trưởng xanh ở Việt Nam.

ĐƠN VỊ THỰC HIỆN

Công Ty Cổ phần Sáng tạo Xanh Việt Nam (GREEN IN)

Thành lập năm 2018, hoạt động theo mô hình doanh nghiệp xã hội với sứ mệnh truyền cảm hứng và trở thành đối tác tin cậy, cung cấp giải pháp sáng tạo, đột phá cho doanh nghiệp, người lao động và cộng đồng địa phương nắm bắt cơ hội chuyển đổi sang nền kinh tế xanh hướng tới cuộc sống an lành cho mọi người.

Trường Đại Học Công Nghệ Đồng Nai (DNTU)

Thành lập năm 2011 với sứ mệnh đào tạo nguồn nhân lực chất lượng dựa trên nền tảng công nghệ và trải nghiệm; nghiên cứu ứng dụng khoa học và chuyển giao tri thức đáp ứng nhu cầu xã hội, hội nhập quốc tế và phát triển bền vững.

TÁC GIẢ THỰC HIỆN NGHIÊN CỨU

Tiến sỹ Trần Thiện Khánh

Trưởng phòng khoa học công nghệ và hợp tác quốc tế trường Đại Học Công Nghệ Đồng Nai (DNTU) - Chuyên gia, Tổng thư ký hiệp hội nghiên cứu phát triển năng lượng Hydro tiên tiến trực thuộc APEC, phân hội tại Thành Phố Hồ Chí Minh (ACABT-HCM Chapter).

LỜI CẢM ƠN

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ chuyên môn quý báu của 02 chuyên gia tham gia góp ý, phản biện và hiệu chỉnh cho báo cáo này:

Tiến sỹ Nguyễn Hữu Lương, Viện Dầu Khí Việt Nam (VPI)

Tiến sỹ Lê Quang Dũng, Công ty TNHH LAC European

Quá trình thực hiện nghiên cứu này nhận được nhiều sự giúp đỡ, góp ý, và cung cấp thông tin có giá trị từ ***tổ chức APEC Research Center for Advanced Biohydrogen Technology (ACABT), Viện nghiên cứu Green Energy Development Center (GEDC) - thuộc đại học Phùng Giáp, Đài Loan.*** Bên cạnh đó, chúng tôi cũng bày tỏ sự trân trọng và biết ơn đối với kỹ sư Lý Quốc Khánh, chuyên gia thuộc nhà máy xử lý nước thải Bình Hưng vì những đóng góp trong quá trình thu nhập số liệu, khảo sát thị trường, và phân tích các nội dung chuyên môn.



MIỄN TRỪ TRÁCH NHIỆM

Tài liệu này chỉ dành cho mục đích thông tin. Tác giả không bảo đảm, thể hiện hay ngụ ý, và không chịu trách nhiệm pháp lý hoặc trách nhiệm về tính chính xác, đầy đủ hoặc hữu ích của bất kỳ thông tin nào được cung cấp trong tài liệu này. Các quan điểm và ý kiến được trình bày ở đây không nhất thiết phải nêu hoặc phản ánh quan điểm của các đối tác hoặc bất kỳ tổ chức và cá nhân nào đã đưa ra ý kiến khi tài liệu này đang được soạn thảo. Tác giả tự chịu trách nhiệm về nội dung của báo cáo này. Trước khi sử dụng bất kỳ thông tin nào, bạn nên xem xét mức độ phù hợp của thông tin đó với tình huống cụ thể của bạn. Báo cáo này được dùng như một tài liệu tham khảo và không nên được sử dụng để thay thế cho việc phân tích kỹ lưỡng các sự kiện và luật pháp. Tài liệu không nhằm mục đích cung cấp lời khuyên pháp lý hoặc kỹ thuật.

MỤC LỤC

ĐẶT VẤN ĐỀ	7
CHƯƠNG 1: VẤN ĐỀ PHÁT THẢI CARBON TẠI VIỆT NAM VÀ TRÊN THẾ GIỚI: HIỆN TRẠNG, HỆ LỤY, VÀ NHỮNG GIẢI PHÁP	9
1.1. Hiện trạng phát thải carbon trong công nghiệp tại Việt Nam và trên thế giới	9
1.2. Những hệ lụy của quá trình phát thải carbon	13
1.3. Định hướng cắt giảm phát thải carbon trong công nghiệp	15
CHƯƠNG 2: VAI TRÒ CỦA CHUYỂN ĐỔI NĂNG LƯỢNG TRONG HẠN CHẾ PHÁT THẢI CARBON ĐỐI VỚI CÁC NGÀNH CÔNG NGHIỆP.....	21
2.1. Vai trò của hydrogen trong truyền tải và bảo đảm an ninh năng lượng trong công nghiệp ...	25
2.2. Vai trò của hydrogen trong cắt giảm phát thải carbon đối với các ngành công nghiệp đặc thù	26
2.2.1. Vai trò của hydrogen trong ngành công nghiệp sản xuất điện	27
2.2.2. Vai trò của hydrogen trong ngành công nghiệp sản xuất sắt thép.....	30
2.2.3. Vai trò của hydrogen trong ngành công nghiệp lọc hóa dầu	31
2.2.4. Vai trò của hydrogen trong ngành công nghiệp sản xuất ammonia xanh và phân bón	33
2.2.5. Vai trò của hydrogen trong ngành công nghiệp chế biến thực phẩm	34
2.3. Giải pháp sử dụng Hydrogen như là nguồn nguyên liệu cho quá trình thu giữ và lưu trữ carbon	35
CHƯƠNG 3: XÂY DỰNG NỀN KINH TẾ HYDROGEN HƯỚNG TỚI HẠN CHẾ PHÁT THẢI CARBON TRONG CÔNG NGHIỆP TẠI VIỆT NAM.....	37
3.1. Giải pháp xây dựng nền kinh tế hydrogen tại Việt Nam.....	38
3.1.1. Công nghệ sản xuất hydrogen.....	39
3.1.2 Tổng quan về kỹ thuật thu giữ và lưu trữ carbon phát thải (CCS/CCUS)	44
3.1.3. Giải pháp lưu trữ và phân phối hydrogen	46



3.1.4. Giải pháp tiêu thụ hydrogen hiệu quả	49
3.2. Gợi ý phát triển ngành công nghiệp hydrogen tại Việt Nam	54

Danh mục hình ảnh

Hình 1.1. Biểu đồ thể hiện quá trình phát thải carbon tại các quốc gia có ngành công nghiệp phát triển và nhu cầu tiêu thụ năng lượng hóa thạch cao trên thế giới.	10
Hình 1.2. Biểu đồ thể hiện nhu cầu sử dụng năng lượng trong công nghiệp (a) và quá trình phát thải carbon trong những ngành tiêu biểu (b).	11
Hình 1.3. Biểu đồ thể hiện quá trình phát thải carbon tại Việt Nam trong giai đoạn 2000 đến 2021.	13
Hình 1.4. Sự suy giảm GDP theo đầu người tại Việt Nam tại từng khu vực kinh tế khác nhau tương đương với mức chi phí phải sử dụng để ứng phó biến đổi khí hậu.	14
Hình 1.5. Những giải pháp hạn chế phát thải carbon trong công nghiệp.	16
Hình 1.6. Tổng quan về giải pháp điện khí hóa trực tiếp kết hợp với lưới điện nhỏ. Cấp điện trực tiếp (direct electrification): có thể được hiểu là việc sử dụng điện năng thay thế cho một nguồn năng lượng khác và không liên quan đến các nguồn năng lượng được sản xuất từ năng lượng hóa thạch. Ví dụ: xe điện có thể được xem là hình thức sử dụng điện trực tiếp thay vì dùng xăng dầu.	17
Hình 1.7. Tổng quan về quy trình thu giữ carbon với 3 bước chính: thu giữ, lưu trữ, và tái sử dụng	18
Hình 1.8. Ứng dụng của hydrogen trong đời sống và các hoạt động sản xuất, công nghiệp.	19
Hình 2.1. Quá trình chuyển đổi năng lượng được triển khai dựa trên ba vấn đề mấu chốt: sản xuất, lưu trữ và truyền tải, tiêu thụ năng lượng.	22
Hình 2.2. Vai trò chính của Hydrogen trong quá trình chuyển đổi năng lượng và cắt giảm phát thải carbon ở những nhóm ngành công nghiệp trọng điểm.	24
Hình 2.3. Giải pháp tận dụng nguồn điện dư thừa để sản xuất Hydrogen và tiêu thụ nguồn năng lượng này để bình ổn vấn đề cung-cầu trong sử dụng năng lượng. Cơ sở tính toán giả lập này được thực hiện đối với trường hợp Cộng Hòa Liên Bang Đức với công suất tính theo GW, và tầm nhìn hướng tới 2050.	29
Hình 2.4. Sơ đồ so sánh khả năng lưu trữ của Hydrogen và các hình thức lưu trữ năng lượng khác. Hydrogen được xem là giải pháp đầy hứa hẹn trong việc xác định phương án lưu trữ năng lượng lâu dài, hiệu suất cao, an toàn, và ít phát thải carbon.	30
Hình 2.5. Quy trình sản xuất thép bằng phương pháp hoàn nguyên sắt trực tiếp (direct reducing iron ore DRI) sử dụng hydrogen làm nguồn nhiên liệu cấp nhiệt.	31
Hình 2.6. Tổng quan về quy trình hydrocracking trong lọc hóa dầu	32

Hình 2.7. Tổng quan quy trình sản xuất ammonia xanh và các sản phẩm ứng dụng liên quan....	34
Hình 2.8. Quy trình hydro hóa sản xuất chất béo trong công nghiệp thực phẩm	35
Hình 2.9. Mô hình tận dụng Hydrogen để chuyển đổi lượng carbon bị lưu trữ trở thành các sản phẩm phục vụ cho các ngành công nghiệp khác.	36
Hình 3.1. Nền kinh tế hydrogen trong các ngành công nghiệp được xác định dựa trên việc sử dụng hydrogen như nguồn nguyên liệu chủ đạo. Hệ sinh thái hydrogen trong nền kinh tế này trải dài từ quá trình sản xuất hydrogen (hydrogen Production), thông qua quá trình lưu trữ và truyền tải (Supply and Distribution), kết thúc ở quá trình tiêu thụ năng lượng (end-user).....	39
Hình 3.2. Phân loại các sản phẩm Hydrogen theo màu sắc và đặc thù quá trình sản xuất.	40
Hình 3.3. Cơ chế quá trình điện phân tách nước (Electrolysis) trong nghiên cứu của tác giả Thien Khanh Tran trên tạp chí International Journal of Hydrogen Energy năm 2017.....	41
Hình 3.4. Sơ lược về quy trình sản xuất hydrogen lam và hydrogen xám.....	42
Hình 3.5. Phân loại các kỹ thuật thu giữ carbon đang được ứng dụng trong công nghiệp trên toàn thế giới.	45
Hình 3.6. Giải pháp tận dụng nguồn carbon lưu trữ và quy trình biến đổi chúng trở thành nguồn nhiên liệu hữu ích cho những ngành công nghiệp khác.....	46
Hình 3.7. Các phương thức lưu trữ trực tiếp hydrogen và hình ảnh thực tế bồn chứa hydrogen công nghiệp tại trạm không gian Kennedy, Florida, Mỹ.	47
Hình 3.8. Giải pháp chuyển đổi điện năng thành khí (Power to gas)	51
Hình 3.9. Giải pháp chuyển đổi năng lượng thành sản phẩm hóa học.	52
Hình 3.10. Giải pháp sử dụng hydrogen trực tiếp.....	53
Hình 3.11. Giải pháp chuyển hóa hydrogen thành sản phẩm lỏng	53
Hình 3.12. Những định hướng quan trọng trong việc phát triển công nghiệp hydrogen tại Việt Nam trong giai đoạn 2030-2050, tầm nhìn tiến tới xây dựng thành công nền kinh tế hydrogen.	55
Hình 3.13. Đề xuất lộ trình xây dựng nền kinh tế hydrogen trong giai đoạn 2030-2050.	57

Danh mục bảng

Bảng 1. Tổng hợp nhu cầu sử dụng Hydrogen trong quá trình sản xuất tại các nhà máy lọc hóa dầu tại Việt Nam.	43
Bảng 2. Những hoạt động tiêu thụ hydrogen chủ đạo	49

ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, nhiệm vụ phát triển các ngành công nghiệp theo định hướng bền vững và theo đuổi mục tiêu phát thải ròng bằng không đang là xu hướng tất yếu trên toàn thế giới. Thực chất, câu chuyện phát triển công nghiệp bền vững với các quy trình sản xuất an toàn, hiệu quả, và ít ảnh hưởng tới môi trường không phải là một chủ đề mới trong những năm vừa qua. Đã có rất nhiều giải pháp được đề ra nhằm giải quyết những khuyết điểm của các mô hình sản xuất công nghiệp truyền thống, từ việc cải tiến quy trình sản xuất, xử lý các vấn đề về năng lượng, bảo đảm chuỗi cung ứng, cho đến xây dựng những mô hình kinh doanh tiên tiến..., nhưng nhìn chung, những kết quả khả quan vẫn chưa đạt được. Một trong những khó khăn lớn nhất của việc định hướng phát triển công nghiệp bền vững, an toàn chính là vấn đề cắt giảm phát thải carbon trong vận hành và sản xuất của các ngành công nghiệp. Sự phụ thuộc vào nhiên liệu truyền thống và nhiên liệu hóa thạch tạo ra những rào cản to lớn và không thể được giải quyết trong thời gian ngắn. Có thể thấy rằng, mấu chốt của những rào cản này nằm ở việc kém linh hoạt trong sử dụng năng lượng, từ đó tạo ra khó khăn trong quá trình chuyển đổi năng lượng, cuối cùng dẫn đến hậu quả đặt các ngành công nghiệp liên quan trong tình thế nan giải khi thực hiện cắt giảm phát thải carbon.

Tuy nhiên, sự xuất hiện của năng lượng hydrogen – một hình thái năng lượng mới với những tính năng vượt trội, khả năng ứng dụng linh hoạt, và có thể được sản xuất từ nguồn năng lượng tái tạo đã làm nhen nhóm lên hi vọng đưa ngành công nghiệp năng lượng nói riêng, và các ngành công nghiệp nói chung bước vào một kỷ nguyên năng lượng mới.

Theo đó, việc ứng dụng hydrogen, đặc biệt là hydrogen xanh (*green hydrogen*) trong công nghiệp thật sự sẽ tạo ra một bước ngoặt trong nhiệm vụ cắt giảm phát thải carbon và đặt nền móng cho việc xây dựng nền công nghiệp phát triển bền vững trên toàn thế giới. Hơn thế nữa, sử dụng hydrogen để phục vụ cho quá trình sản xuất công



ngành còn góp phần nhất định trong việc bảo vệ môi trường, hạn chế tác hại của ô nhiễm không khí, và tăng khả năng chống chịu với biến đổi khí hậu.

Theo những nghiên cứu được thực hiện bởi những tổ chức uy tín trên thế giới, nổi bật trong số đó là IRENA (International Renewable Energy Agency), hay IEA (International Energy Agency); vấn đề phát thải carbon trong công nghiệp có thể được giải quyết một cách triệt để từ góc độ *chuyển dịch năng lượng một cách an toàn và hiệu quả*. Cần phải làm rõ rằng *chuyển dịch năng lượng* là giải pháp quan trọng nhưng không phải là duy nhất trong quá trình cắt giảm phát thải carbon trên mọi khía cạnh từ đời sống đến các hoạt động sản xuất; bên cạnh đó, có thể kể đến những giải pháp khác như: *những giải pháp liên quan đến việc áp dụng quy trình sản xuất tiết kiệm nhiên liệu và năng lượng, tận dụng nguồn thải của ngành này làm nguyên liệu đầu vào của ngành khác, xây dựng mô hình kinh tế tuần hoàn cho các ngành công nghiệp, tiêu dùng, giao thông vận tải, hay các hoạt động dân sinh*.

Như đã biết, tại hội nghị lần thứ 26 của các bên tham gia công ước khung của Liên Hợp Quốc về biến đổi khí hậu (COP 26), Thủ Tướng Phạm Minh Chính của nước Cộng Hòa Xã Hội Chủ Nghĩa Việt Nam đã đưa ra cam kết về việc hướng tới tương lai đạt được phát thải ròng bằng không vào năm 2050. Cam kết này của ngài Thủ Tướng đã mở ra một thời đại mới cho nền công nghiệp năng lượng tại Việt Nam nói riêng, và các ngành công nghiệp khác nói chung. Bên cạnh việc thể hiện quyết tâm theo kịp các quốc gia phát triển trên thế giới, đẩy mạnh hội nhập quốc tế và hướng tới phát triển đất nước sạch hơn, xanh hơn, bền vững hơn; cam kết này cũng tạo ra nhiều cơ hội để Việt Nam chuyển mình trở thành một quốc gia dẫn đầu về năng lượng tái tạo trong khu vực vào những lợi thế về mặt địa lý trong phát triển năng lượng tái tạo. Tuy nhiên, cơ hội luôn đi kèm với những khó khăn thử thách, và câu chuyện hướng tới một Việt Nam xanh, sạch, đẹp và an toàn không thể là một nhiệm vụ đơn giản.



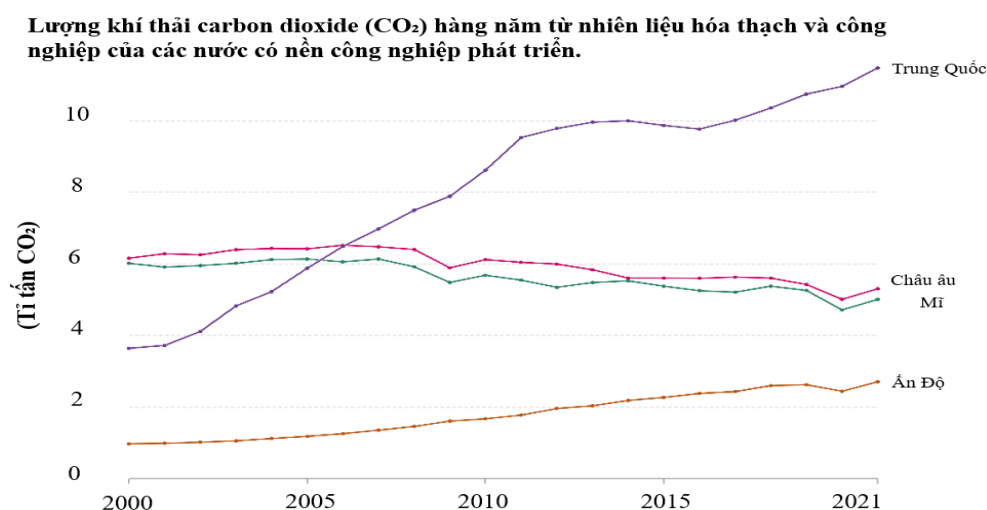
Trên tinh thần đó, Công Ty Cổ phần Sáng tạo Xanh Việt Nam (GREEN IN) phối hợp cùng trường Đại Học Công Nghệ Đồng Nai (DNTU), thực hiện nghiên cứu đánh giá vai trò của việc sử dụng hydrogen trong cắt giảm phát thải carbon đối với các ngành công nghiệp tại Việt Nam theo tầm nhìn hướng tới phát thải ròng bằng không vào năm 2050. Trong nghiên cứu này, tác giả tập trung vào việc phân tích vai trò của hydrogen trong nhiệm vụ cắt giảm phát thải carbon đối với các ngành công nghiệp, mà theo đó quá trình *chuyển dịch năng lượng an toàn* đóng vai trò cốt lõi. Quá trình chuyển dịch năng lượng an toàn này được triển khai trên nền tảng sử dụng hydrogen như là nguồn năng lượng chủ chốt trong quá trình sản xuất công nghiệp. Nghiên cứu cũng chỉ ra giải pháp phát triển ngành công nghiệp hydrogen tại Việt Nam, định hướng xây dựng nền kinh tế hydrogen, và gợi ý đề xuất những chính sách phù hợp với thực trạng quốc gia trong phát triển ngành công nghiệp hydrogen.

CHƯƠNG I: VẤN ĐỀ PHÁT THẢI CARBON TẠI VIỆT NAM VÀ TRÊN THẾ GIỚI: HIỆN TRẠNG, HỆ LỤY, VÀ NHỮNG GIẢI PHÁP

1.1. Hiện trạng phát thải carbon trong công nghiệp tại Việt Nam và trên thế giới

Hiện nay, phát thải carbon là một vấn đề quan trọng đang thu hút được nhiều sự quan tâm trên toàn thế giới, đặc biệt là tại các quốc gia đang phát triển và các quốc gia đang có cơ hội chuyển mình bước vào thời đại mới, trong đó có Việt Nam. Phát thải carbon từ lâu đã gây ra nhiều ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường như biến đổi khí hậu, đẩy nhanh sự nóng lên toàn cầu, giữ vai trò là tác nhân tạo ra những thiên tai và những thảm họa môi trường, từ đó hình thành những mối nguy hại tác động trực tiếp lên sức khỏe con người nói riêng và toàn bộ các sinh vật sống nói chung [1]. Quá trình phát thải carbon có thể diễn ra trên mọi khía cạnh của cuộc sống, từ những hoạt động dân sự thường ngày cho đến những hoạt động giao thông vận tải, hoạt động sản xuất, các quá trình công nghiệp, nông nghiệp [2]. Tuy nhiên, các quá trình công nghiệp được xem là tác nhân chính tạo ra và liên tục thúc đẩy quá trình phát thải carbon.

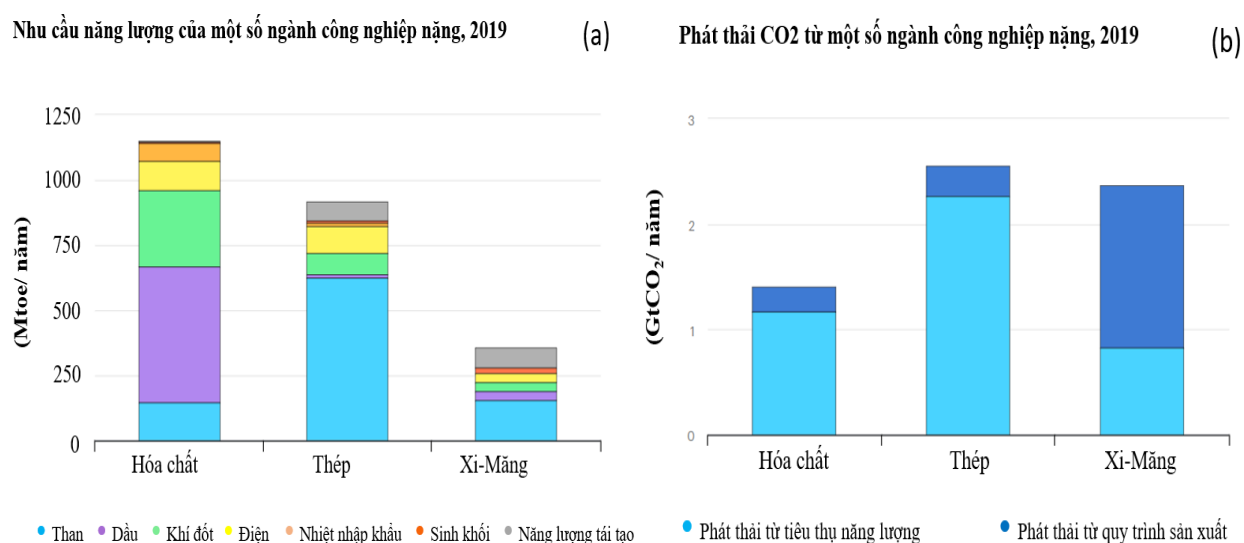
Tóm lược về quá trình phát thải carbon tại một số quốc gia tiêu biểu trên thế giới được thể hiện trong hình 1.1, Trung Quốc đang là quốc gia có lượng phát thải cao nhất trên toàn cầu, mức độ phát thải của Trung Quốc đã gây ra nhiều quan ngại cho chính phủ nước này và cả các quốc gia kề cận với họ.



Hình 0.1. Biểu đồ thể hiện quá trình phát thải carbon tại các quốc gia có ngành công nghiệp phát triển và nhu cầu tiêu thụ năng lượng hóa thạch cao trên thế giới.

Cụ thể, tổng lượng phát thải của Trung Quốc tăng lên gấp gấp đôi trong 20 năm, từ tiệm cận 4 tỷ tấn vào năm 2000, cho đến đạt mức 11.47 tỷ tấn vào năm 2021 [3]. Từ biểu đồ trong hình 1.1, mức độ phát thải carbon tại Châu Âu đạt 5.6 tỷ tấn, Hoa Kỳ là 5.01 tỷ tấn và cuối cùng là Ấn Độ với 2.71 tỷ tấn vào năm 2021. Điều này phản ánh đúng thực trạng về mối quan tâm và những hành động can thiệp của các quốc gia này trong việc hạn chế phát thải carbon và điều hướng phát triển công nghiệp theo hướng xanh hóa và bền vững. Theo đó, những số liệu trên cũng chỉ ra rằng: hai quốc gia Châu Á là Trung Quốc và Ấn Độ có nền công nghiệp phát triển mạnh, và tham gia chủ yếu vào quá trình phát thải carbon trên toàn thế giới.

Quá trình phát thải carbon tại các quốc gia Châu Âu và Mỹ có xu hướng giảm dần; bắt đầu từ những năm 2008 – 2009 tổng lượng phát thải carbon có xu hướng giảm dần đều, và đạt được mức độ hạn chế gần 1 tỷ tấn phát thải trong 20 năm (từ 6 tỷ tấn phát thải trong giai đoạn những năm 2000, còn lại khoảng 5 tỷ tấn trong giai đoạn 2020-2021). Trước tình hình các hoạt động bảo vệ môi trường đang được kêu gọi ngày càng mạnh mẽ và những thành tựu khoa học công nghệ trong lĩnh vực cắt giảm carbon cũng thay nhau ra đời, có thể dự đoán rằng mức độ cắt giảm phát thải trên thế giới sẽ có sự biến chuyển trong tương lai với sự dẫn đầu của Mỹ và các quốc gia Châu Âu.



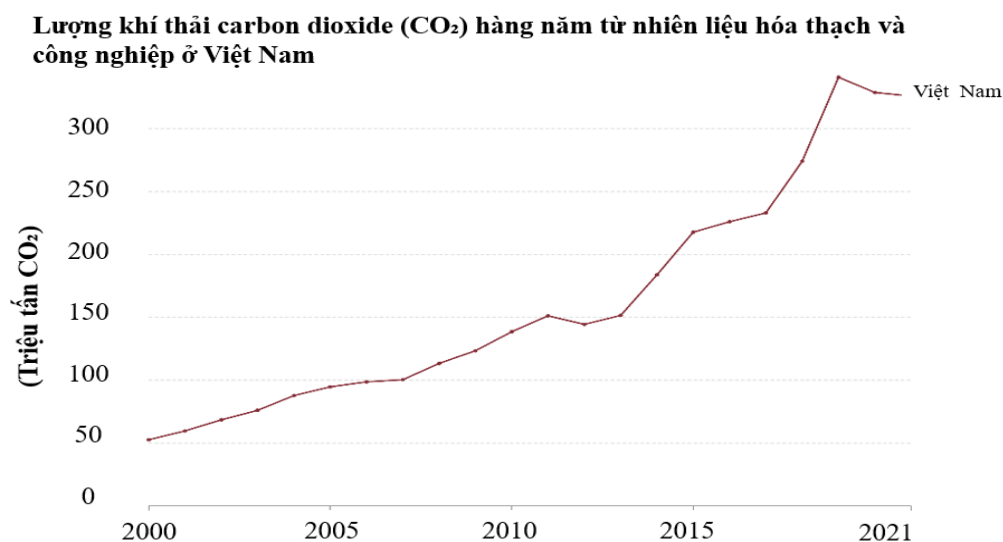
Hình 0.2. Biểu đồ thể hiện nhu cầu sử dụng năng lượng trong công nghiệp (a) và quá trình phát thải carbon trong những ngành tiêu biểu (b).

Theo thống kê của IEA được thể hiện trong hình 1.2 (a) [4] những sản phẩm của các ngành công nghiệp nặng (ngành công nghiệp sản xuất hóa chất, sắt thép, xi măng) cần tiêu tốn rất nhiều năng lượng để sản xuất, trong khi phần lớn nguồn cung cấp

năng lượng cho các quá trình này đến từ các nhiên liệu hóa thạch như dầu, than đá, khí tự nhiên...

Quá trình phát thải carbon trong các ngành công nghiệp cũng được thể hiện trong hình 1.2 (b), ngành công nghiệp sản xuất sắt thép phát thải 2.5 Gt mỗi năm với phần lớn phát thải thuộc về quá trình cung cấp năng lượng cho hoạt động sản xuất, phần phát thải còn lại được gây ra bởi quá trình vận hành sản xuất. Ngành công nghiệp sản xuất hóa chất có xu hướng phát thải tương tự như ngành sản xuất sắt thép, tuy nhiên có tổng lượng phát thải thấp hơn và rơi vào khoảng 1.3 Gt mỗi năm. Ngành công nghiệp sản xuất xi măng có tổng lượng phát thải rơi vào khoảng 2.3 Gt mỗi năm, nhưng phần lớn quá trình phát thải diễn ra trong quá trình vận hành sản xuất.

Tại Việt Nam, lượng phát thải carbon đã gia tăng nhanh chóng trong những năm gần đây do nhu cầu phát triển kinh tế và công nghiệp hóa ngày càng diễn ra mạnh mẽ. Các ngành công nghiệp như sản xuất điện, thép, xi măng và giao thông vận tải được xem là các tác nhân chính chịu trách nhiệm cho việc phát thải carbon.



Hình 0.3. Biểu đồ thể hiện quá trình phát thải carbon tại Việt Nam trong giai đoạn 2000 đến 2021.

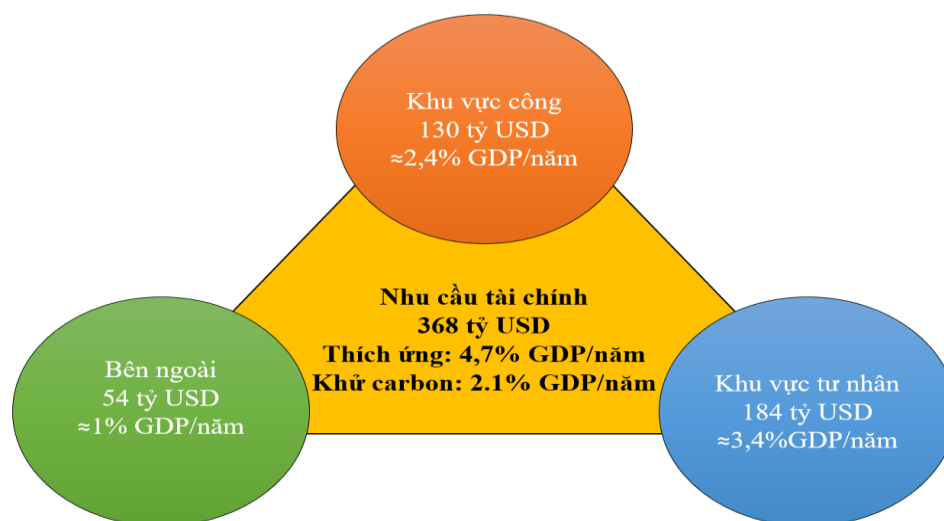
Theo Global Carbon Budget lượng phát thải carbon ở VN bắt đầu tăng và tăng dần một cách ổn định từ năm 2000, và đạt đến 138.58 triệu tấn vào năm 2010 [3]. Theo những số liệu được tổng hợp trong biểu đồ ở hình 1.3, ta thấy rằng tỷ lệ tăng mạnh phát thải carbon có thể được tính từ năm 2015 với mức độ phát thải carbon tăng lên đột ngột và đạt 217.73 triệu tấn [3]. Đỉnh điểm của sự bùng nổ phát thải là năm 2019, tổng lượng phát thải carbon tăng thêm đạt mức 123 triệu tấn, có tỷ lệ gần bằng $\frac{1}{2}$ tổng lượng phát thải trong 4 năm trước đó [3]. Sự xuất hiện của đại dịch Covid 19 phần nào gây ra những ảnh hưởng tiêu cực lên hoạt động công nghiệp và phát triển kinh tế dẫn đến lượng carbon phát thải trong năm 2020 đã có xu hướng suy giảm và đạt mức 362.01 triệu tấn.

1.2. Những hệ lụy của quá trình phát thải carbon

Hệ lụy đầu tiên mà quá trình phát thải carbon gây ra chính là việc xúc tiến hiệu ứng nhà kính, đẩy mạnh sự nóng lên toàn cầu, và tạo ra biến đổi khí hậu nghiêm trọng. Theo tổ chức y tế thế giới (WHO) [5], sự biến đổi khí hậu gây ra những tác hại nghiêm trọng đối với sự sống trên toàn cầu, cụ thể: có đến 20% số ca tử vong tăng lên do ảnh hưởng của việc nhiệt độ toàn cầu gia tăng gần 2°C . Trong năm 2021, tổng lượng phát thải carbon toàn cầu tăng lên thêm gần 1.76 tỷ tấn và gây ra những tác động nghiêm trọng lên vấn đề ô nhiễm nguồn không khí.

Quá trình phát thải carbon tại Việt Nam chủ yếu rơi vào lĩnh vực năng lượng hoạt động với tần suất đốt nhiên liệu cao như sản xuất điện, các ngành công nghiệp nặng khai thác than, dầu khí, và các quá trình giao thông vận tải nói chung [6]. Lượng phát thải trong lĩnh vực xử lý chất thải tại Việt Nam cũng đang có dấu hiệu tiếp tục tăng trưởng ở mức cao với khoảng 15 triệu tấn chất thải rắn thải ra từ nhiều nguồn khác nhau. Theo nghiên cứu về ảnh hưởng của việc phát thải khí nhà kính tại Việt Nam được thực hiện từ những năm 2016 bởi USAID, việc không có biện pháp kiểm

hãm sự gia tăng phát thải sẽ dẫn đến những ảnh hưởng tiêu cực và trực tiếp lên nền kinh tế, đặc biệt là suy giảm tổng sản phẩm trong nước GDP [7]. Hình 1.4 mô tả thiệt hại GDP tại Việt Nam tương ứng với từng lĩnh vực kinh tế khác nhau.



Hình 0.4. Sự suy giảm GDP theo đầu người tại Việt Nam tại từng khu vực kinh tế khác nhau tương đương với mức chi phí phải sử dụng để ứng phó biến đổi khí hậu [8].

Việt Nam sẽ phải tiêu tốn khoảng 368 tỷ USD (tương thích với 4.7% GDP mỗi năm, trong đó chi phí tiêu tốn vào việc khử carbon chiếm 2.1% GDP mỗi năm). Nguồn vốn từ tư nhân có thể huy động thông qua tín dụng xanh từ các nguồn, và đạt giá trị tương đương 3.4% GDP mỗi năm. Trong khi đó khu vực công cần huy động khoảng 130 tỷ USD tương đương 2.4% GDP mỗi năm cho hoạt động này. Các nguồn kinh phí đầu tư hoặc viện trợ từ các nguồn bên ngoài quốc gia sẽ rơi vào khoảng 54 tỷ USD, tương đương 1% GDP mỗi năm.

Các tính toán ban đầu từ World Bank cũng chỉ ra rằng Việt Nam đã mất khoảng 3.2% GDP vào năm 2020 do tác động của biến đổi khí hậu (tương đương 10 tỷ USD). Thiệt hại về GDP sẽ tiếp tục tăng lên theo từng năm tính tới 2050 (ước tính Việt Nam



hao hụt từ 12 đến 14% GDP mỗi năm) và có thể đẩy 1 triệu người Việt Nam vào tình trạng nghèo khó cùng cực vào năm 2030. Những thông số được hiển thị trong hình 1.4 cũng thể hiện một mức vốn đầu tư khổng lồ trên lộ trình đưa Việt Nam vào giai đoạn phát thải ròng bằng 0 vào năm 2050 với các chính sách kêu gọi đầu tư vào ngành công nghiệp năng lượng, giao thông vận tải, nông nghiệp xanh và công nghiệp nặng.

1.3. Định hướng cắt giảm phát thải carbon trong công nghiệp

Trong phần này của nghiên cứu, những định hướng cắt giảm phát thải carbon trong công nghiệp sẽ được trình bày và phân tích. Theo diễn đàn kinh tế thế giới World Economic Forum, việc hướng đến những giải pháp hạn chế carbon hiệu quả trong công nghiệp mang tính đặc thù và cần được xây dựng xung quanh bốn nhóm giải pháp chính bao gồm: giải pháp tăng cường hiệu quả hệ thống một cách tuần hoàn, sử dụng cấp điện trực tiếp và tận dụng nguồn nhiệt tái tạo, áp dụng công nghệ lưu trữ carbon, và chuyển đổi sang sử dụng năng lượng hydrogen [9].



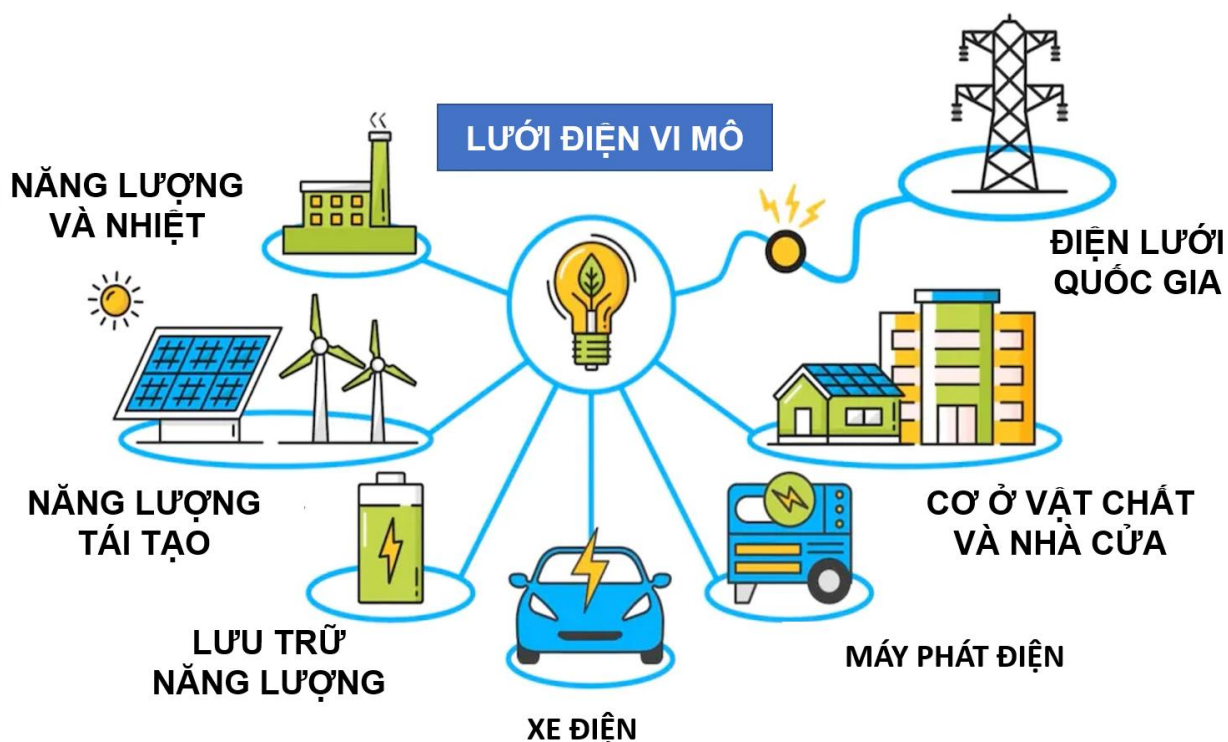
Hình 0.5. Những giải pháp hạn chế phát thải carbon trong công nghiệp [10]

Theo hình 1.5, những giải pháp chính trong hạn chế phát thải carbon đối với quá trình sản xuất công nghiệp sẽ tạo ra kết quả cắt giảm lên đến 40% tổng lượng phát thải carbon tại Châu Âu vào năm 2030 (đạt được mức độ cắt giảm trung bình 12% lượng phát thải carbon trên toàn châu Âu) [10]. Các nhóm giải pháp chủ đạo trong hạn chế phát thải carbon trong công nghiệp có thể được triển khai tùy theo từng ngành công nghiệp nhất định. Các nhóm giải pháp có thể được triển khai theo thứ tự và mức độ ưu tiên khác nhau đối với từng ngành công nghiệp.

Nhóm giải pháp nhằm tăng cường hiệu quả một cách có hệ thống và tuần hoàn (systematic efficiency and circularity): tập trung vào việc tận dụng chia sẻ tài nguyên và năng lượng trong cùng một nhóm ngành sản xuất nhằm giảm tiêu thụ năng lượng,

tiết kiệm chi phí sản xuất và hướng tới chuyển đổi sang một mô hình tiêu thụ năng lượng thân thiện với môi trường hơn.

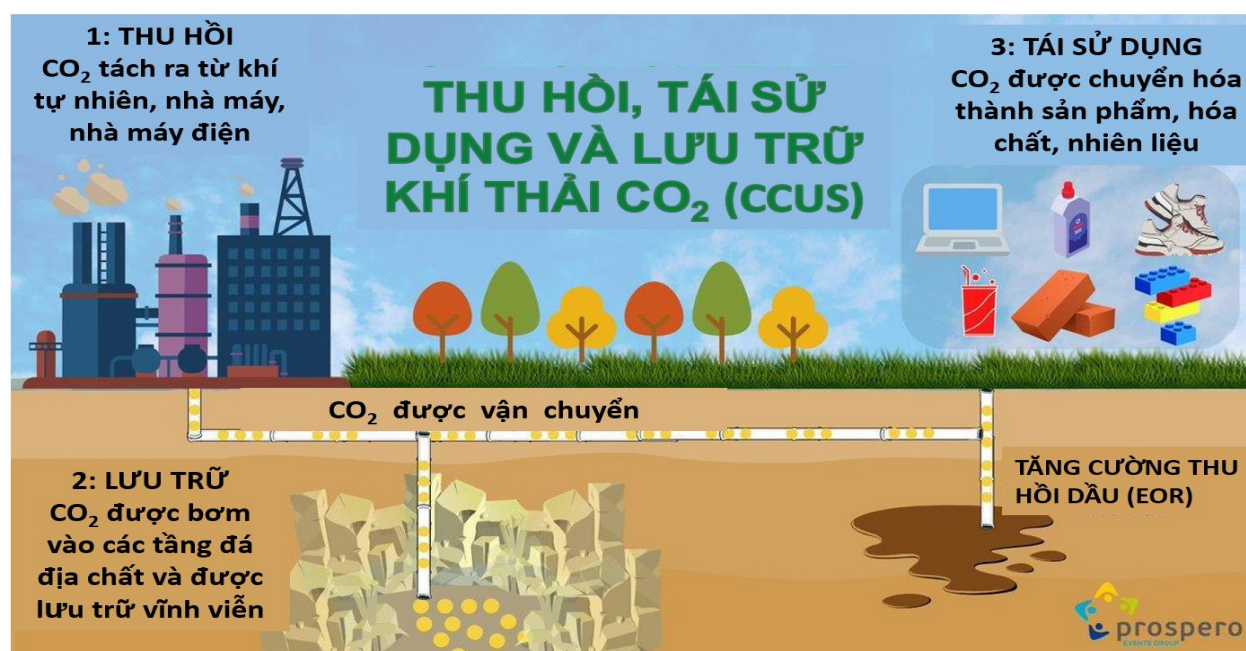
Nhóm giải pháp sử dụng điện khí hóa trực tiếp và tận dụng nguồn nhiệt tái tạo (direct electrification and renewable heat): nhóm ngành công nghiệp liên quan đến tận dụng nhiệt độ trung bình và thấp có thể được phát triển theo hướng tận dụng điện hóa trực tiếp kết hợp với lưới điện nhỏ (microgrid).



Hình 0.6. Tổng quan về giải pháp điện khí hóa trực tiếp kết hợp với lưới điện nhỏ. Cấp điện trực tiếp (direct electrification): có thể được hiểu là việc sử dụng điện năng thay thế cho một nguồn năng lượng khác và không liên quan đến các nguồn năng lượng được sản xuất từ năng lượng hóa thạch. Ví dụ: xe điện có thể được xem là hình thức sử dụng điện trực tiếp thay vì dùng xăng dầu.

Giải pháp này được xem là rất phù hợp với bối cảnh hiện nay trên toàn thế giới, khi mà chi phí điện tái tạo đang giảm dần, chi phí tín chỉ carbon cao dần lên, cơ sở hạ tầng cho những công nghệ cấp điện trực tiếp này có thể được dùng chung và tuần hoàn nguồn nhiệt sinh ra trong quá trình vận hành. [11]

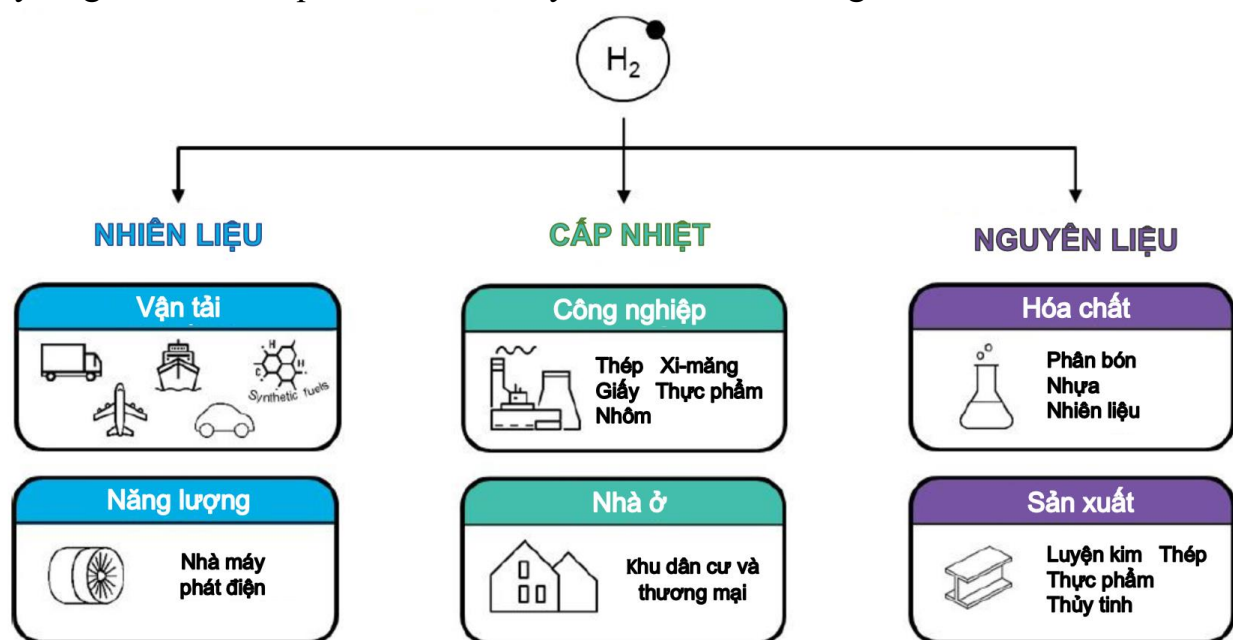
Nhóm giải pháp sử dụng công nghệ thu giữ carbon (Carbon capture, store and utilization – CCUS): công nghệ thu giữ carbon là giải pháp trực diện nhất để đối phó với vấn đề phát thải carbon đang ngày càng trở nên nghiêm trọng tại Việt Nam và trên thế giới. Các công nghệ CCUS đã và đang được triển khai rộng rãi trên toàn cầu nhằm cung cấp giải pháp cho các ngành công nghiệp đang nỗ lực cắt giảm phát thải. Tuy nhiên, việc tính toán quy mô công nghệ liên quan đến công suất lưu trữ và vận chuyển carbon cũng là một trở ngại nhất định với việc áp dụng công nghệ này đối với những công trình có quy mô vừa và nhỏ.



Hình 0.7. Tổng quan về quy trình thu giữ carbon với 3 bước chính: thu giữ, lưu trữ, và tái sử dụng [12]

Nhóm giải pháp chuyển đổi năng lượng và sử dụng hydrogen (hydrogen energy usage): hydrogen đang nổi lên như một ứng cử viên tuyệt vời và hứa hẹn sẽ đóng vai chính trong câu chuyện chuyển đổi năng lượng sẽ sớm diễn ra trong tương lai.

Hydrogen cung cấp nguồn lực mạnh mẽ, hiện đại, đa năng, và là một nguồn năng lượng sạch có thể sản xuất được thông qua nhiều quy trình với quy mô và cách tiếp cận khác nhau. Trong những nhóm ngành như công nghệ sản xuất sắt thép và sản xuất hóa chất, hydrogen có thể hưởng lợi lớn từ việc sử dụng năng lượng hydrogen phục vụ quy trình sản xuất. Tuy nhiên, chi phí năng lượng tái tạo đầu vào và nền kinh tế hydrogen còn đang non trẻ sẽ là những cản trở mà ngành công nghiệp hydrogen cần vượt qua trước khi chuyển mình và tỏa sáng.



Source: BloombergNEF

Hình 0.8. Ứng dụng của hydrogen trong đời sống và các hoạt động sản xuất, công nghiệp. [13]



Như vậy, quá trình cắt giảm phát thải carbon trong công nghiệp có thể được triển khai một cách hiệu quả thông qua bốn nhóm giải pháp được trình bày ở trên. Trong đó, quá trình chuyển đổi năng lượng từ sử dụng nhóm các nguồn năng lượng, nhiên liệu truyền thống sang nguồn năng lượng mới sạch hơn, ít phát thải hơn, và an toàn hơn được xem là trọng tâm của quá trình này. Một quá trình chuyển đổi năng lượng được xem là an toàn và hiệu quả khi nó bảo đảm được hiệu suất tiêu thụ, duy trì các quy trình sản xuất, và vẫn có thể được tiếp tục phát triển trong tương lai. Theo đó, sử dụng hydrogen phục vụ cho các hoạt động công nghiệp được xem là giải pháp bền vững và giữ vai trò chủ đạo trong thiết lập quá trình chuyển đổi năng lượng an toàn cho các ngành công nghiệp [13].

Kết hợp với những giải pháp tức thời như ứng dụng kỹ thuật CCS/CCUS, giải pháp quản trị như tăng cường hiệu quả hệ thống một cách tuần hoàn, và nhóm giải pháp triển khai như ứng dụng điện khí hóa trực tiếp, tận dụng nguồn nhiệt tái tạo; quá trình hạn chế và cắt giảm phát thải carbon trong công nghiệp tại Việt Nam hoàn toàn có thể được triển khai một cách hiệu quả.

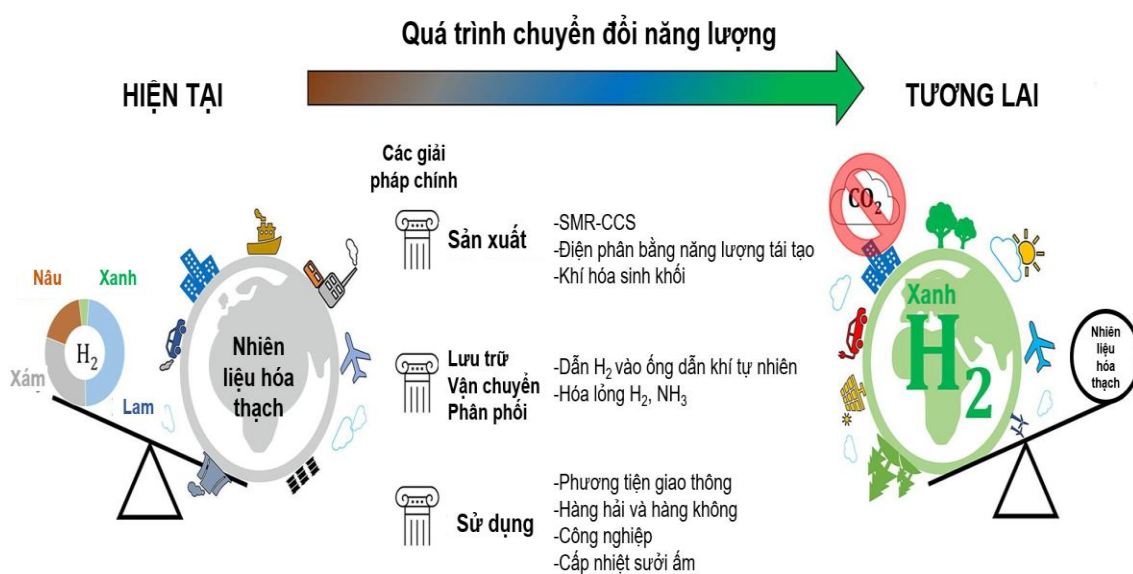


CHƯƠNG II: VAI TRÒ CỦA CHUYỂN ĐỔI NĂNG LƯỢNG TRONG HẠN CHẾ PHÁT THẢI CARBON ĐỐI VỚI CÁC NGÀNH CÔNG NGHIỆP

Câu chuyện hạn chế phát thải carbon trong sản xuất công nghiệp được xem là trọng tâm trong công cuộc theo đuổi sự phát triển bền vững, hướng tới kỷ nguyên xã hội trung tính tại hầu hết các quốc gia trên thế giới. Như đã trình bày ở phần trước, việc sử dụng năng lượng một cách hiệu quả trong sản xuất công nghiệp sẽ góp phần tạo ra hiệu quả lâu dài và có tính bền vững trong nhiệm vụ giảm thiểu phát thải carbon, trong khi việc áp dụng các công nghệ thu giữ và lưu trữ carbon sẽ đóng vai trò là giải pháp tức thời [14, 15]. Trên tinh thần đó, việc sử dụng năng lượng hydrogen một cách hiệu quả cho công nghiệp phải được thực hiện thông qua một quá trình chuyển đổi năng lượng đặc thù cho riêng đối tượng hydrogen, và có tính hệ thống, kết nối chặt chẽ với nhiều lĩnh vực liên quan khác.

Những quốc gia như Mỹ, Trung Quốc, Nhật Bản, Đài Loan hoặc các quốc gia Châu Âu đang ngày càng quan tâm đến việc xây dựng nền kinh tế hydrogen, nơi mà quá trình chuyển đổi năng lượng an toàn có thể được triển khai một cách hiệu quả. Quá trình chuyển dịch kể trên được mô tả trong hình 2.1, với sự cắt giảm dần trong nhu cầu sử dụng năng lượng, nhiên liệu truyền thống, thông qua quá trình chuyển dịch năng lượng hướng tới việc sử dụng năng lượng hydrogen, cắt giảm triệt để phát thải carbon và hướng tới mục tiêu phát thải ròng bằng không trong công nghiệp nói riêng, và toàn xã hội nói chung. Bài toán hạn chế phát thải carbon được giải quyết một cách gọn gàng trên cả phương diện sản xuất công nghiệp, sinh hoạt thường nhật, đặc biệt là đối với những nhóm ngành khó cắt giảm phát thải như sản xuất sắt thép, công nghiệp nặng, và giao thông vận tải hạng nặng. Việc chuyển sang sử dụng các phương tiện giao thông sử dụng năng lượng sạch, ít phát thải, hoặc phát thải bằng không (ví dụ: xe điện - EV, xe điện sử dụng pin nhiên liệu – FCEV) cũng là một khía cạnh quan trọng của quá trình chuyển đổi năng lượng an toàn.

Theo nghiên cứu mới đây của T. Capurso và các cộng sự, vai trò của hydrogen trong quá trình chuyển đổi năng lượng ở thế kỷ 21 là không thể bàn cãi [16].



Hình 0.1. Quá trình chuyển đổi năng lượng được triển khai dựa trên ba vấn đề mấu chốt: sản xuất, lưu trữ và truyền tải, tiêu thụ năng lượng [16].

Như vậy, thông qua việc làm rõ vai trò của hydrogen trong một quá trình chuyển dịch năng lượng đặc thù với hình thái năng lượng này, mối liên hệ giữa việc cắt giảm và hạn chế phát thải carbon trong công nghiệp với năng lượng hydrogen có thể được xác định. Theo đó, các sản phẩm hydrogen sở hữu những tính chất độc đáo để có thể tham gia vào quá trình chuyển đổi năng lượng một cách hiệu quả, tùy theo từng loại sản phẩm riêng biệt. Sản phẩm hydrogen có thể được chia làm ba loại chủ đạo:

- Hydrogen tinh khiết: sản phẩm chủ đạo là hydrogen xanh, được sản xuất từ quá trình điện phân nước sử dụng nguồn năng lượng tái tạo.
- Hydrogen sạch đã xử lý phát thải carbon trong quá trình sản xuất: sản phẩm chủ đạo là hydrogen lam, được sản xuất từ quá trình nhiệt phân sinh khối,

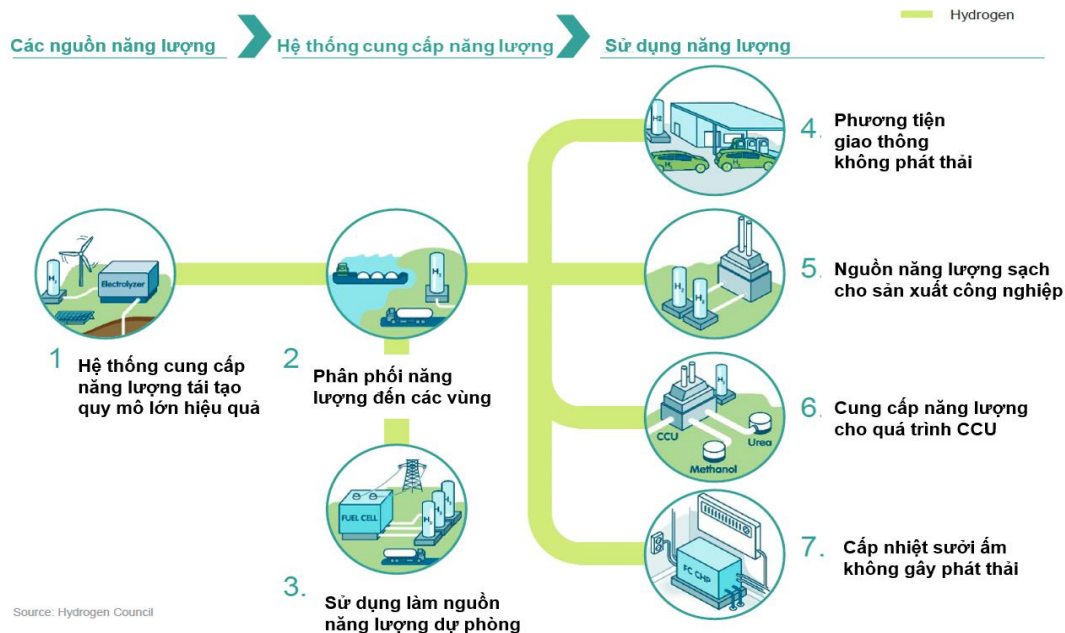


hoặc các kỹ thuật truyền thống, tuy nhiên lượng phát thải trong quá trình sản xuất được xử lý thông qua các quá trình lưu trữ và thu giữ carbon.

- Hydrogen truyền thống: sản phẩm chủ đạo là hydrogen xám hoặc hydrogen nâu, thường được sản xuất thông qua quá trình reforming, sử dụng nguồn nhiên liệu truyền thống và gây ra phát thải trong quá trình sản xuất.

Định nghĩa và phân loại sản phẩm hydrogen được cập nhật với tiến độ nhanh và liên tục theo vai trò ngày càng được khẳng định của loại hình năng lượng này. Với vai trò đã được khẳng định, nhóm sản phẩm hydrogen hứa hẹn sẽ tiếp tục tăng nhanh. Ngày nay, những sản phẩm hydrogen mới được sinh ra từ việc ứng dụng những kỹ thuật mới nhưng vẫn dựa trên nền tảng của những phương pháp chủ đạo. Có thể kể đến những sản phẩm hydrogen mới đầy tiềm năng như:

- Hydrogen hồng (pink hydrogen) – sản phẩm được tạo thành từ quá trình tận dụng nguồn năng lượng dư thừa của các công trình năng lượng hạt nhân;
- Hydrogen đen (black hydrogen) – sản phẩm được tạo thành từ quá trình nhiệt phân than đá, kèm theo các kỹ thuật xử lý carbon;
- Hydrogen xanh ngọc (turquoise hydrogen) – sản phẩm được tạo thành từ quá trình nhiệt phân sử dụng khí tự nhiên.



Hình 0.2. Vai trò chính của Hydrogen trong quá trình chuyển đổi năng lượng và cắt giảm phát thải carbon ở những nhóm ngành công nghiệp trọng điểm [17].

Như đã mô tả trong hình 2.2, nghiên cứu của The Hydrogen Council chỉ ra bảy vai trò chủ đạo của hydrogen (đặc biệt là hydrogen xanh) trong quá trình chuyển đổi năng lượng và góp phần tích cực trong hạn chế phát thải carbon ở những nhóm ngành công nghiệp trọng điểm.

Quá trình chuyển đổi năng lượng được đề cập ở đây liên quan đến sự chuyển đổi với từng nhóm ngành công nghiệp nhất định, được làm rõ thông qua việc xác định vai trò và ứng dụng của việc sử dụng năng lượng hydrogen trong từng ngành, từ đó chỉ ra tiềm năng và đánh giá quá trình chuyển đổi năng lượng với đối tượng hydrogen trong ngành đó. Khái niệm này không phủ định nhưng không trùng lặp với sự chuyển dịch năng lượng sang sử dụng năng lượng tái tạo chung quy đối với toàn bộ ngành công nghiệp năng lượng.

2.1. Vai trò của hydrogen trong truyền tải và bảo đảm an ninh năng lượng trong công nghiệp

Truyền tải năng lượng là nội dung tối quan trọng trong ngành công nghiệp năng lượng nói chung, và ngành công nghiệp hydrogen đang nhận được nhiều sự quan tâm nói riêng. Hệ thống năng lượng tại mỗi khu vực cần được kết nối với nhau một cách hiệu quả, đặc biệt là với sự bùng nổ của năng lượng tái tạo trong thời gian qua, việc truyền tải năng lượng đã trở nên đa dạng và phong phú, tuy nhiên kèm theo điều đó cũng phát sinh những khó khăn nhất định cho ngành công nghiệp năng lượng. Những quốc gia như Nhật Bản gặp khó khăn về vị trí địa lý trong nhiệm vụ tạo ra mạng lưới năng lượng trên cơ sở điện gió và điện mặt trời [18, 19]. Trong khi một vài quốc gia có điều kiện tự nhiên phù hợp lại cần thời gian để kêu gọi đầu tư và thiết lập cho mình một kế hoạch năng lượng tái tạo bền vững, Việt Nam là một quốc gia thuộc nhóm này.

Trên tinh thần đó, việc truyền tải năng lượng thương mại từ khu vực vành đai mặt trời (sun-belt countries: bao gồm trung và bắc Phi, Nam Phi, Trung Quốc, Ấn Độ, Úc, và một số quốc gia Châu Á khác) đến khu vực nhận được ít mật độ chiếu sáng hơn sẽ là giải pháp tuyệt vời để giải quyết vấn nạn thiếu năng lượng một cách hiệu quả, kinh tế, và bền vững [20]. Tuy nhiên, nếu điện năng được truyền tải qua một khoảng cách địa lý lớn thì vấn đề tiêu hao năng lượng trong quá trình đó sẽ đủ sức cản trở mọi kế hoạch triển khai liên quan, dù cho có được đầu tư về công nghệ và chính sách hỗ trợ tốt đến đâu. Mặt khác, hydrogen với đặc thù hóa tính của mình lại hoàn toàn có thể được truyền tải thông qua giải pháp sử dụng đường ống (pipeline distribution) với hiệu suất gần như 100% [21]. Lợi thế này giúp hydrogen trở thành một ứng viên sáng giá và đầy tiềm năng mà thông qua quá trình chuyển đổi năng lượng an toàn có thể trở thành trọng tâm của ngành công nghiệp năng lượng trong tương lai.



Theo EIA, giả sử chi phí sản xuất điện gió và điện mặt trời hiện hành ở Hà Lan rồi đem so sánh với chi phí sản xuất tương tự ở khu vực vành đai mặt trời, người ta sẽ đạt được chi phí sản xuất điện thông qua phương pháp điện phân nước (electrolysis) vào khoảng 2 cent cho mỗi 1 KWh, và 2.5 cent cho mỗi 1 KWh cho việc hóa lỏng và vận chuyển Hydrogen [22].

Như vậy, giải pháp sử dụng hydrogen làm nguồn cung cấp năng lượng chủ đạo (*giải pháp này không liên quan đến việc hoàn toàn thay thế điện năng*) là hoàn toàn khả thi, với những tiêu chí đi kèm như: tính kinh tế hợp lý, phù hợp với giải pháp lâu dài, đóng vai trò nguồn năng lượng dự trữ (*nhờ vào mật độ năng lượng cao và khả năng lưu trữ lâu dài*) – đặc biệt vào giai đoạn mùa đông, khi mà các nguồn năng lượng tái tạo khác gặp khó khăn trong duy trì công suất.

2.2. Vai trò của hydrogen trong cắt giảm phát thải carbon đối với các ngành công nghiệp đặc thù

Hiện nay, việc cấp năng lượng mà chủ yếu là nhiệt và điện cho các ngành công nghiệp được thực hiện thông qua nhiên liệu truyền thống như khí tự nhiên, dầu, và than và quá trình này chịu trách nhiệm cho 20% tổng phát thải toàn cầu. Với mục tiêu cắt giảm phát thải đã được xác định, các ngành công nghiệp cần tập trung vào giải pháp tăng cao hiệu suất tiêu thụ năng lượng – điển hình như: tận dụng lượng hơi quá nhiệt, các nguồn nhiệt lượng hao phí. Trong công nghiệp, hydrogen thường được sử dụng trong ngành công nghiệp lọc dầu (25%), sản xuất ammonia (55%), sản xuất methanol (10%), và một số ngành công nghiệp khác (10%) [23]. Đóng góp của hydrogen trong sản xuất công nghiệp có thể được phân chia thành hai nhóm chính, với yếu tố sử dụng nhiệt độ đặc thù trong quy trình sản xuất làm tiêu chí phân loại:

- *Đối với nhóm ngành công nghiệp vận hành ở nhiệt độ thấp (dưới 400 °C), hydrogen có được những lợi thế rõ ràng khi có thể thu được như là sản phẩm phụ của các ngành công nghiệp hóa chất; Trong khi đối với nhiều ngành công*



nghiệp yêu cầu một nguồn cấp năng lượng liên tục và song song với nhiệt lượng (*sản xuất linh kiện điện tử, sản xuất ô tô...*), hydrogen có thể được đốt thông qua hệ thống lò đốt đặc thù hoặc sử dụng thông qua hệ thống pin nhiên liệu (Fuel-Cell) [24].

- *Đối với nhóm ngành công nghiệp vận hành ở nhiệt độ cao (trên 400 °C), những ngành công nghiệp thuộc nhóm này có đặc trưng là nhu cầu sử dụng nhiệt năng liên tục, tần suất cao, và phát thải lớn (điển hình như ngành sản xuất sắt thép, nhóm ngành sản xuất vật liệu bán dẫn, hoặc ngành công nghiệp năng lượng...).* Giải pháp sử dụng lò đốt hydrogen và sinh ra nhiệt độ cao hoàn toàn có thể được sử dụng để hỗ trợ các quá trình gia nhiệt bằng điện, và qua đó giảm thiểu nhu cầu tiêu thụ điện năng.

Việc kết hợp các phương án gia nhiệt chẳng những mở ra một mô hình tiêu thụ điện năng mới cho sản xuất, mà còn tạo ra cơ hội để phát triển những công nghệ hàng đầu như pin nhiên liệu (Fuel-Cell), và lò đốt hydrogen đặc thù (Hydrogen Burner). Công nghệ pin nhiên liệu cung cấp một giải pháp năng lượng toàn diện, hiệu suất cao, và rất đa dụng trong công nghiệp, tuy nhiên rào cản về chi phí đầu tư đối với công nghệ này vẫn chưa thật sự được gỡ bỏ. Mặt khác, lò đốt hydrogen chỉ yêu cầu quá trình bảo trì và hiệu chỉnh hợp lý với những trang thiết bị và điều kiện công nghệ hiện hành. Bên cạnh phân loại chung được trình bày ở trên, vai trò hydrogen cũng có thể được đánh giá thông qua các ngành công nghiệp riêng biệt. Nhóm ngành công nghiệp này được nhìn nhận bao gồm 4 ngành chính: sản xuất sắt thép, sản xuất phân bón, lọc dầu, và chế biến thực phẩm;

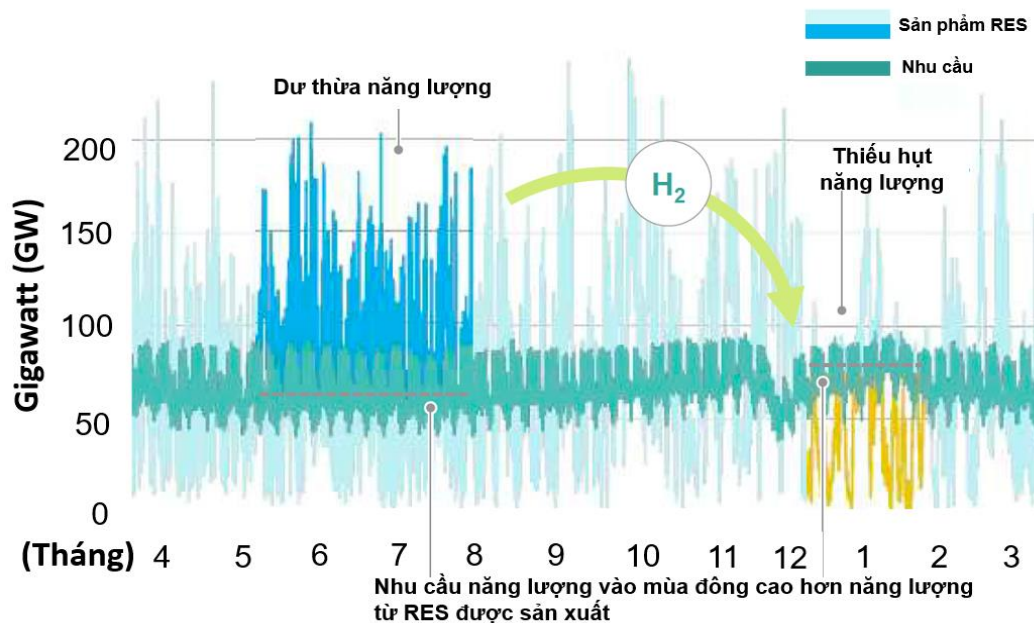
2.2.1. Vai trò của hydrogen trong ngành công nghiệp sản xuất điện

Việc sử dụng năng lượng hydrogen trong ngành công nghiệp điện tạo ra những lợi thế có giá trị trong việc *tận dụng triệt để nguồn điện dư thừa*, ngoài ra năng lượng hydrogen có thể giữ vai trò như là một *hình thức lưu trữ năng lượng* hiệu quả, không phát thải carbon trong thời gian dài. Thật vậy, vấn nạn thừa điện có thể gây ra những

hậu quả nghiêm trọng, tạo ra sự bất ổn đối với an ninh năng lượng nếu như không có những điều chỉnh phù hợp đối với điện năng lượng tái tạo và điện lưới [25]. Với việc tận dụng công nghệ điện hóa phân tách nước để tạo ra hydrogen (*Electrolysis processes*), nguồn điện thừa có thể được tận dụng hiệu quả để phục vụ công nghệ sản xuất hydrogen này.

Sản phẩm hydrogen tạo ra sau quá trình điện hóa có thể được dùng như một nguồn cung cấp năng lượng dự phòng trong những thời điểm thiếu hụt năng lượng hoặc có thể được dùng cho các nhóm ngành công nghiệp khác như giao thông vận tải, công nghiệp sản xuất hóa chất, hoặc dùng trong sinh hoạt thường nhật.

Giải pháp sử dụng hydrogen cũng tạo ra một nguồn năng lượng dự phòng tập trung hoặc phi tập trung cho các ngành công nghiệp trọng điểm, tương tự như với loại hình năng lượng khí gas – nguồn năng lượng đến từ hydrogen có thể được triển khai nhanh chóng và hoàn thành một cách gọn gàng [26].

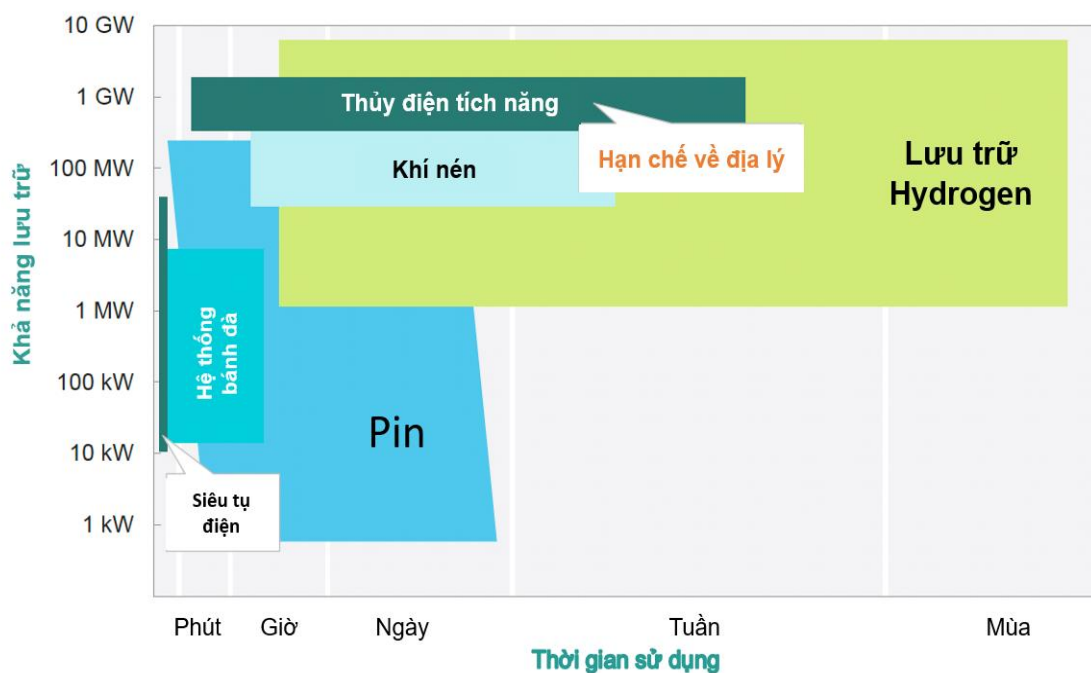




Hình 0.3. Giải pháp tận dụng nguồn điện dư thừa để sản xuất Hydrogen và tiêu thụ nguồn năng lượng này để bình ổn vấn đề cung-cầu trong sử dụng năng lượng. Cơ sở tính toán giả lập này được thực hiện đối với trường hợp Cộng Hòa Liên Bang Đức với công suất tính theo GW, và tầm nhìn hướng tới 2050.

Như vậy, việc sử dụng năng lượng hydrogen rõ ràng góp phần trong việc giải quyết các tình huống khẩn cấp có thể phát sinh khi sử dụng nguồn năng lượng tái tạo (bản thân hydrogen là một nguồn năng lượng tái tạo đầy tiềm năng). Hình 2.3 mô tả hiệu quả của việc tận dụng nguồn điện dư thừa để sản xuất Hydrogen và sử dụng nguồn năng lượng này như một hình thức lưu trữ năng lượng tại Cộng Hòa Liên Bang Đức, theo tầm nhìn tới 2050.

Trên phương diện là một giải pháp lưu trữ năng lượng lâu dài, an toàn, không phát thải và hiệu quả, hydrogen cũng được chứng minh là mang tính khả thi bền vững. Trong khi những hình thức lưu trữ truyền thống như pin lưu trữ, siêu tụ điện, hoặc khí nén có thể hỗ trợ tính năng lưu trữ rất cân bằng, thì những hình thức này lại thiếu đi công suất và thời hạn lưu trữ cần thiết để giải quyết vấn đề mất cân bằng trong nhu cầu sử dụng năng lượng (*như trong hình 2.4 mô tả*). Theo EIA, mặc dù giải pháp sử dụng năng lượng hydrogen để hướng tới quá trình lưu trữ năng lượng hiệu quả đang là một vấn đề rất mới; tuy nhiên, đã có rất nhiều dự án được lên kế hoạch và triển khai trên toàn thế giới [27].



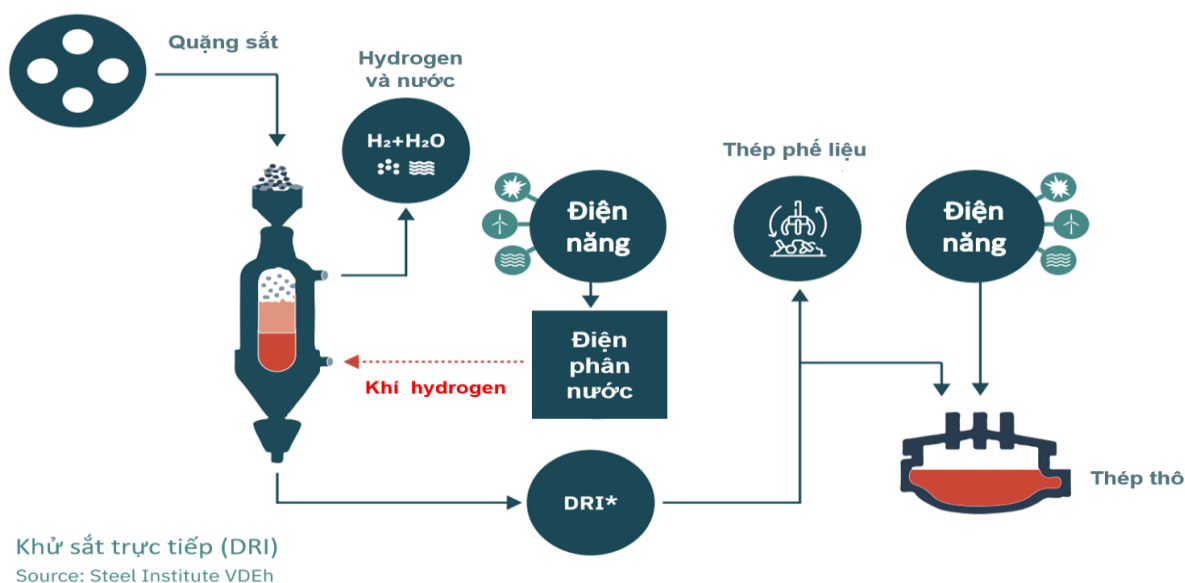
Hình 0.4. Sơ đồ so sánh khả năng lưu trữ của Hydrogen và các hình thức lưu trữ năng lượng khác. Hydrogen được xem là giải pháp đầy hứa hẹn trong việc xác định phương án lưu trữ năng lượng lâu dài, hiệu suất cao, an toàn, và ít phát thải carbon.

Ý tưởng xây dựng hệ thống lưu trữ hydrogen khổng lồ dưới lòng đất để phục vụ chung cho nhiều nhóm ngành công nghiệp cũng nhận được rất nhiều sự quan tâm. Đặt giả thuyết rằng những kế hoạch về hệ thống lưu trữ hydrogen dùng chung khổng lồ được thiết lập, chi phí lưu trữ hydrogen có thể được cắt giảm đến 140 €/MWh trong năm 2030 đối với trường hợp lưu trữ hydrogen trong các hang động muối (Mức giảm giá này tạo ra cạnh tranh với hình thức sử dụng/lưu trữ năng lượng dạng thủy điện vốn sẽ có giá trị rơi vào khoảng 400 €/MWh trong năm 2030).

2.2.2. Vai trò của hydrogen trong ngành công nghiệp sản xuất sắt thép

Sản xuất sắt, thép là ngành công nghệ được triển khai dựa trên quy trình nhiệt tác động vào các quặng sắt để tạo ra thành phẩm, quy trình này được gọi là hoàn nguyên sắt (*reducing iron ore*). Quy trình nhiệt của ngành công nghiệp sản xuất thép được

cung cấp năng lượng chủ yếu từ than, và sự tác động nhiệt với tần suất cao lên than tạo ra lượng phát thải carbon khổng lồ [28]



Hình 0.5. Quy trình sản xuất thép bằng phương pháp hoàn nguyên sắt trực tiếp (direct reducing iron ore DRI) sử dụng hydrogen làm nguồn nhiên liệu cấp nhiệt.

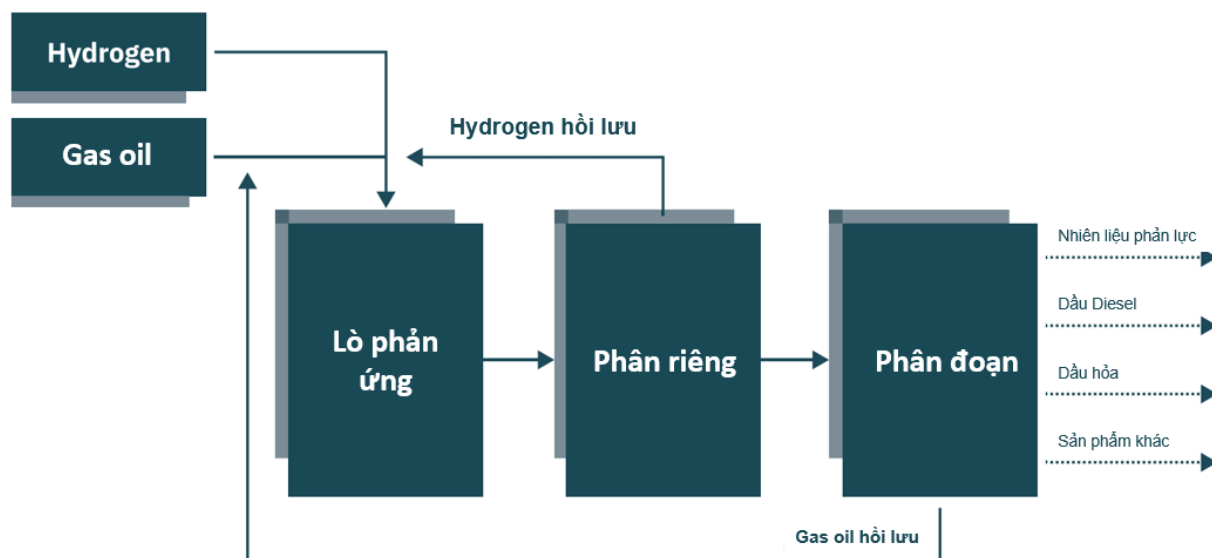
Việc ứng dụng hydrogen vào quy trình sản xuất sắt thép để cấp nhiệt thay cho than được gọi là hoàn nguyên sắt trực tiếp (*direct reducing iron ore*); quá trình này thải ra hơi nước trong quá trình vận hành. Hình 2.5 mô tả quá trình ứng dụng hydrogen vào quy trình hoàn nguyên sắt và hình thành quy trình sản xuất sắt thép hạn chế phát thải carbon.

2.2.3. Vai trò của hydrogen trong ngành công nghiệp lọc hóa dầu

Theo nghiên cứu của tổ chức EIA, Hydrocracking là quá trình bẻ gãy các phân tử hydrocarbon mạch dài có trong nguyên liệu dầu nặng thành nhiên liệu nhẹ với các phân tử có mạch carbon ngắn hơn. Trong quá trình này, hydrogen đóng vai trò là tác

chất phản ứng. Hydrogen sẽ kết hợp với các phân tử dầu sau khi bị bẻ gãy mạch để no hóa, giúp ổn định sản phẩm nhiên liệu thu được [29].

Quá trình hydrocracking được thực hiện trong môi trường hydro tại nhiệt độ thấp và áp suất quy trình cao, cho phép thu được các sản phẩm hydrocarbon nhẹ hơn từ các hydrocarbon nặng. Khác với các ngành công nghiệp khác, hydrogen được sử dụng từ lâu trong ngành công nghiệp lọc hóa dầu như một nguyên liệu không thể thiếu. Việc sử dụng hydrogen trong ngành công nghiệp này không hoàn toàn phục vụ cho nhu cầu cắt giảm phát thải carbon.



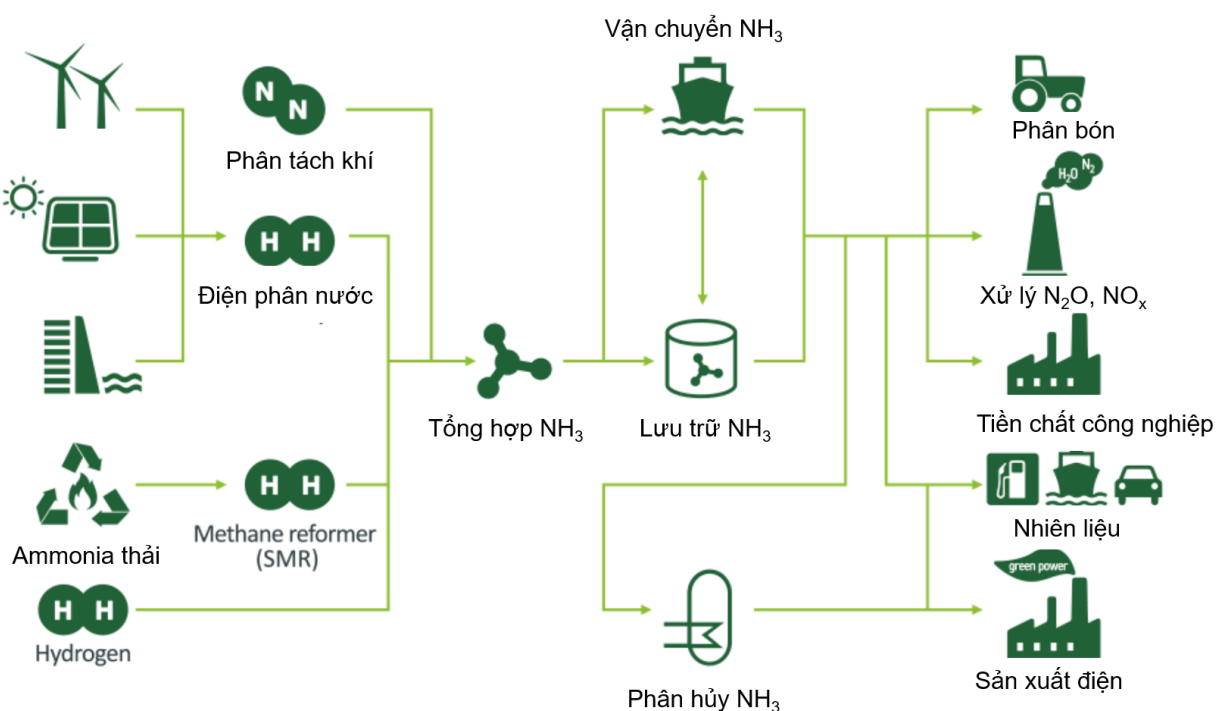
Hình 0.6. Tổng quan về quy trình hydrocracking trong lọc hóa dầu

Tuy nhiên, nếu như nguồn hydrogen được sử dụng được sản xuất theo quy trình hạn chế phát thải carbon, thì quá trình lọc hóa dầu cũng được xem là tiêu thụ nhiên liệu sạch, và có góp phần hạn chế phát thải trong quá trình vận hành.

2.2.4. Vai trò của hydrogen trong ngành công nghiệp sản xuất ammonia xanh và phân bón

Ammonia là một nhiên liệu quan trọng trong sản xuất phân đạm có thể được sản xuất bằng cách sử dụng hydrogen và nitrogen theo quy trình Haber-Borsch. Ngày nay, sản phẩm ammonia xanh (*green ammonia*) cũng thu hút được rất nhiều sự chú ý và cũng được xem là một giải pháp năng lượng sạch đầy tiềm năng. Trong ngành công nghiệp sản xuất phân bón, nếu sử dụng hydrogen xanh hoặc hydrogen lam kết hợp cùng nitrogen làm nguyên liệu đầu vào; Toàn bộ quá trình sản xuất sử dụng nguồn điện sinh ra từ năng lượng tái tạo, thì sản phẩm được tạo ra có thể xem là ammonia xanh và sạch.

Trên tinh thần đó, quá trình sản xuất ammonia xanh cũng tạo điều kiện để tạo ra sản phẩm phân đạm theo quy trình xanh. Hình 2.7 mô tả tổng quan quy trình tạo ra sản phẩm green ammonia và các sản phẩm liên quan.



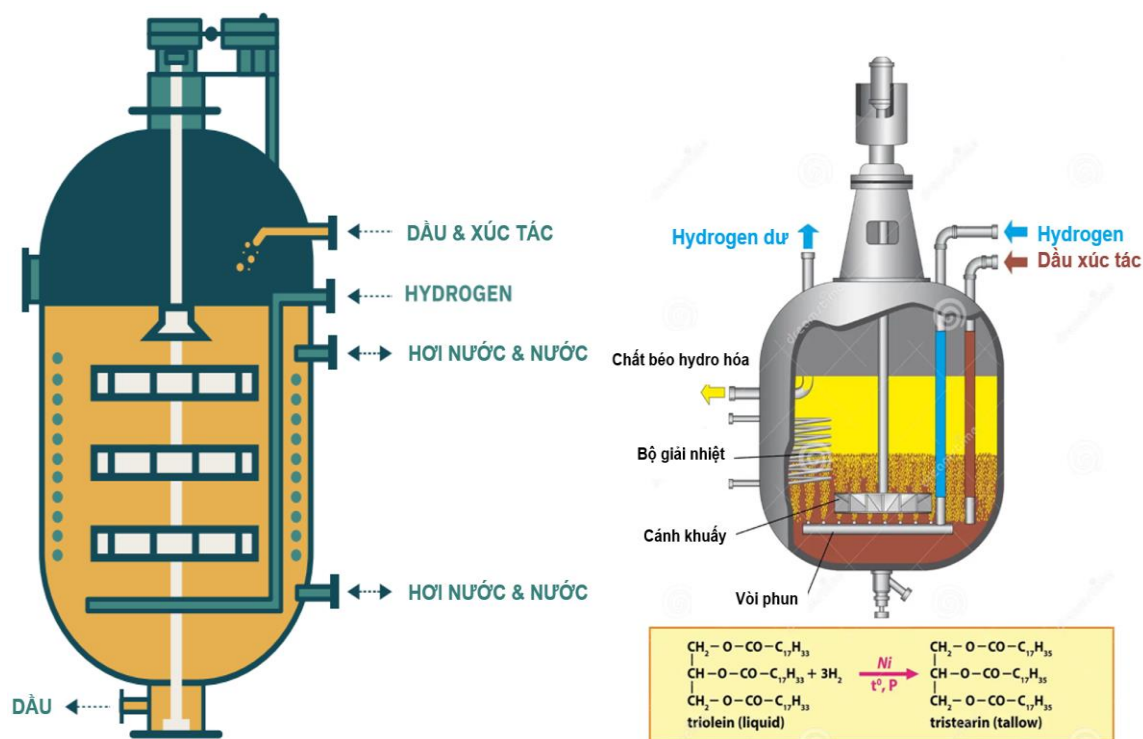


Hình 0.7. Tổng quan quy trình sản xuất ammonia xanh và các sản phẩm ứng dụng liên quan.[30]

2.2.5. Vai trò của hydrogen trong ngành công nghiệp chế biến thực phẩm

Chất béo là một nguyên liệu quan trọng trong ngành công nghiệp thực phẩm, chất béo bão hòa và chất béo không bão hòa đều là những hạng mục phân loại chủ đạo trong quá trình sản xuất. Chất béo bão hòa được sản xuất từ quá trình hydro hóa (*hydrogenation process*) những chất béo không bão hòa. Các sản phẩm như bơ lát, bơ đậu phộng, hoặc các sản phẩm có nguồn gốc từ dầu, chất béo thực vật đều được sản xuất thông qua quy trình này.

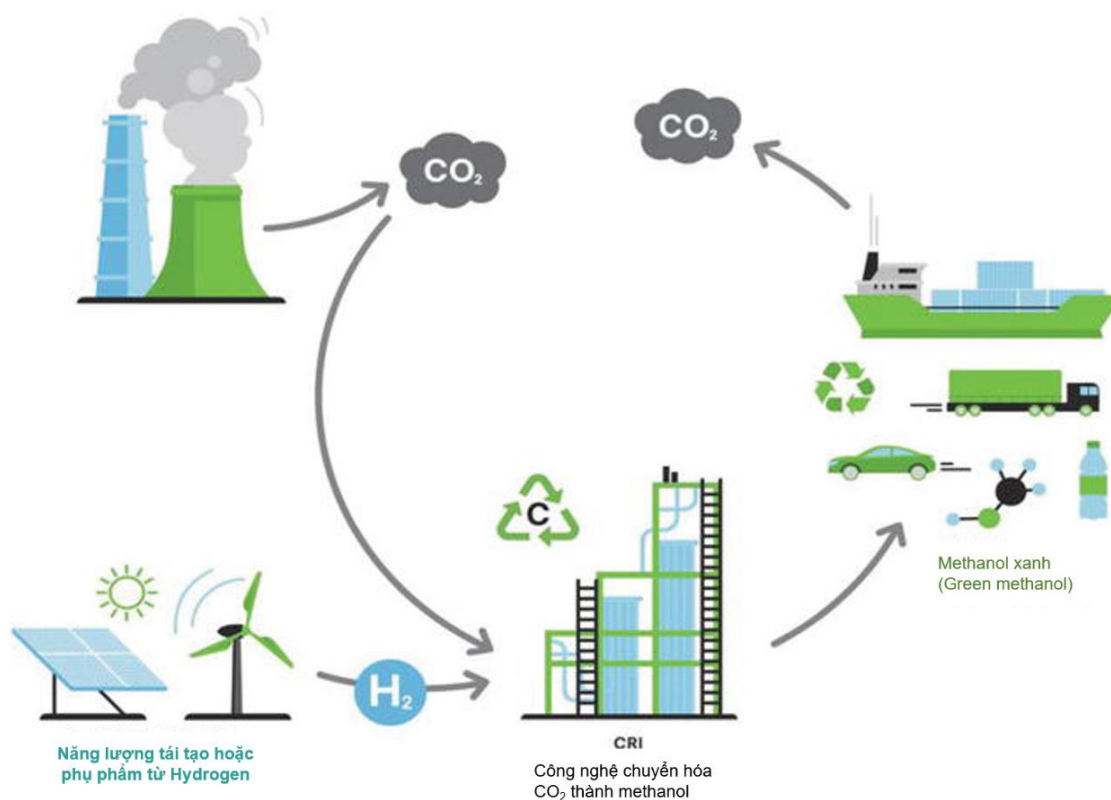
Như vậy, việc ứng dụng hydrogen sạch (bao gồm hydrogen xanh hoặc hydrogen lam) kết hợp với nguồn điện tái tạo, quy trình chế biến và sản xuất thực phẩm cũng có thể được xem là được xanh hóa, trở nên ít phát thải và sạch hơn. Hình 2.8 mô tả quy trình hydro hóa tạo ra sản phẩm chất béo bão hòa trong ngành công nghiệp chế biến và sản xuất thực phẩm.



Hình 0.8. Quy trình hydro hóa sản xuất chất béo trong công nghiệp thực phẩm

2.3. Giải pháp sử dụng Hydrogen như là nguồn nguyên liệu cho quá trình thu giữ và lưu trữ carbon

Như đã trình bày ở các phần trên, công nghệ thu giữ và lưu trữ carbon (CCS/CCUS) đóng vai trò là giải pháp trực diện để xử lý phát thải carbon, đặc biệt trong sản xuất công nghiệp. Theo dòng phát triển của công nghệ CCS/CCUS, việc lưu trữ carbon có những giới hạn nhất định về mặt lý tính, giải pháp và không gian lưu trữ cần được luân chuyển và mở rộng nhằm tạo tính bền vững cho quá trình lưu giữ carbon này. Trên tinh thần đó, công nghệ CCS/CCUS cần những giải pháp chuyển hóa lượng carbon đã được lưu trữ trở thành những sản phẩm nhất định và việc tận dụng Hydrogen (đặc biệt là Hydrogen xanh) để chuyển hóa lượng carbon được lưu trữ thành các sản phẩm hóa chất như acid formic, urea, methane... đang là một giải pháp nhận được rất nhiều sự quan tâm.



Hình 0.9. Mô hình tận dụng Hydrogen để chuyển đổi lượng carbon bị lưu trữ trở thành các sản phẩm phục vụ cho các ngành công nghiệp khác.

Theo Gabriel Lopez và các cộng sự, quá trình sử dụng Hydrogen để chuyển hóa lượng carbon bị lưu trữ thành các nguyên liệu cho quá trình sản xuất hóa chất hiện thời đang trong quá trình phát triển, nhiều dự án thử nghiệm đã được thực hiện trên khắp thế giới [31]. Tại Iceland, một nhà máy địa nhiệt tận dụng nguồn CO_2 và tạo ra điện năng, từ đó phục vụ cho quá trình sản xuất Hydrogen, cuối cùng thu được sản phẩm Methanol. Sản phẩm Methanol này được xem là sản phẩm cạnh tranh trực tiếp với nguồn điện đang có giá khoảng 30 EUR/ MWh. Thụy điển cũng mong muốn triển khai một dự án tương tự, với nguồn carbon thu được từ các ngành công nghiệp



luyện gang thép. Khái quát về công nghệ chuyển đổi carbon được mô tả trong hình 2.9 [32].

CHƯƠNG III: XÂY DỰNG NỀN KINH TẾ HYDROGEN HƯỚNG TỚI HẠN CHẾ PHÁT THẢI CARBON TRONG CÔNG NGHIỆP TẠI VIỆT NAM

Như đã trình bày ở các phần trên, nhiệm vụ hạn chế và cắt giảm phát thải carbon trong công nghiệp nói chung cần được thực hiện thông qua bốn nhóm giải pháp chính: thay đổi hình thức vận hành các quy trình sản xuất, áp dụng kỹ thuật thu giữ và lưu trữ carbon, chuyển đổi sang sử dụng năng lượng hydrogen, và giải pháp điện khí hóa trực tiếp kết hợp với mạng lưới điện vi mô. Theo đó, giải pháp chuyển đổi sang sử dụng năng lượng hydrogen được xem là bền vững, có tính xã hội, và có thể tạo ra tác động tích cực lên nhiều mặt của xã hội. Mặc dù vậy, việc chuyển đổi và triển khai sử dụng năng lượng hydrogen cần phải được thực hiện một cách bài bản, có lộ trình và phù hợp với đặc thù từng quốc gia, khu vực dự kiến triển khai.

Trên tinh thần đó, xây dựng nền kinh tế hydrogen là bước đi quan trọng và giữ vai trò chủ đạo trong quá trình hiện thực hóa sự chuyển đổi năng lượng sang sử dụng hydrogen đặc biệt là hydrogen xanh trong các ngành công nghiệp, cũng như mọi khía cạnh khác trong đời sống. Một nền kinh tế hydrogen được xây dựng bài bản và phù hợp với điều kiện cơ sở vật chất, tình trạng cơ sở hạ tầng tại các khu vực dự kiến triển khai chuyển đổi năng lượng hydrogen sẽ là cơ sở vững chắc để thiết lập một xã hội carbon trung tính, hướng tới mục tiêu phát thải ròng bằng không trong tương lai.

Trong nội dung này của nghiên cứu, giải pháp xây dựng nền kinh tế hydrogen hướng tới mục tiêu hạn chế và cắt giảm phát thải carbon trong công nghiệp tại Việt Nam được thảo luận. Hydrogen xanh với vai trò là sản phẩm hydrogen có chất lượng tốt

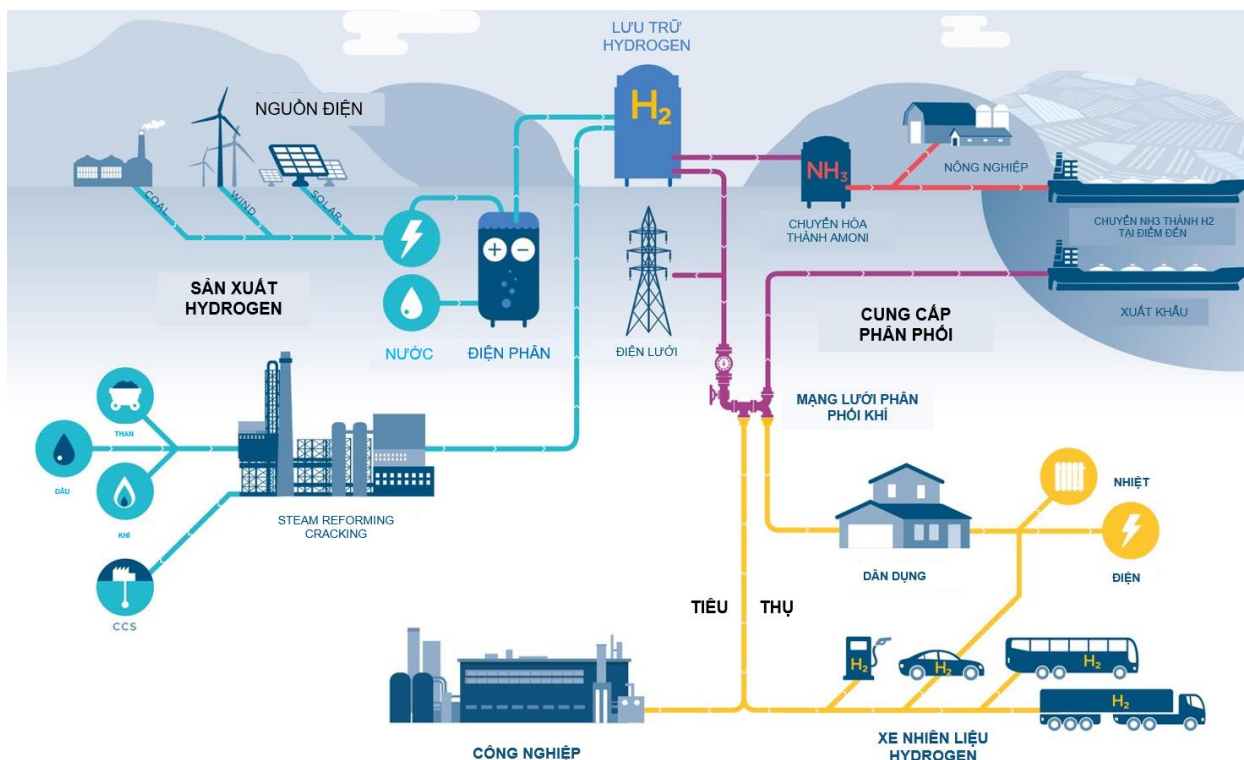


nhất, sạch nhất, và có giá trị cao nhất là đối tượng lý tưởng của quá trình chuyển đổi sử dụng năng lượng mới; Tuy nhiên, những khó khăn về mặt khoa học kỹ thuật, cơ sở hạ tầng và chi phí sản xuất cũng gây ra những cản trở nhất định trong việc phát triển nguồn năng lượng này tại Việt Nam, cũng như nhiều quốc gia khác trên thế giới.

3.1. Giải pháp xây dựng nền kinh tế hydrogen tại Việt Nam

Nền kinh tế hydrogen là thuật ngữ mô tả vai trò của hydrogen trong các hoạt động công nghiệp, sản xuất, và các hoạt động liên quan khác. Nền kinh tế hydrogen được xây dựng trên nền tảng kết hợp sử dụng năng lượng hydrogen cùng các nguồn nguyên liệu tiềm năng khác như là nguồn nguyên liệu chính trong cuộc sống [32]. Nền kinh tế hydrogen được thiết lập nhằm phục vụ cho mục tiêu theo đuổi xã hội carbon trung tính, hướng tới phát thải ròng bằng không nhưng vẫn bảo đảm hiệu suất cho các quá trình lao động, sản xuất, duy trì hoạt động kinh tế hiệu quả [33]. Hình 3.1 mô tả đặc thù của nền kinh tế Hydrogen được xây dựng từ quá trình sản xuất (*Hydrogen production*), thông qua quá trình lưu trữ (*distribution and storage*) và phân phối, và kết thúc ở quá trình tiêu thụ (*end-user*).

Nền kinh tế hydrogen cần được xây dựng cho từng ngành riêng biệt, trước khi hướng tới việc tạo ra một mô hình liên ngành và xây dựng xã hội hydrogen có mức phát thải ròng bằng không. Theo đó, năng lượng hydrogen có thể được sản xuất từ nguồn năng lượng tái tạo (*sinh khối, phân tách nước, sử dụng điện gió, điện mặt trời, ...*), phân phối qua hệ thống đường ống với hiệu suất truyền tải cao và mức độ tổn thất thấp, và tiêu thụ theo hình thức hạn chế phát thải (*ví dụ, xe ô tô dùng công nghệ pin nhiên liệu thải ra hơi nước trong quá trình vận hành*).

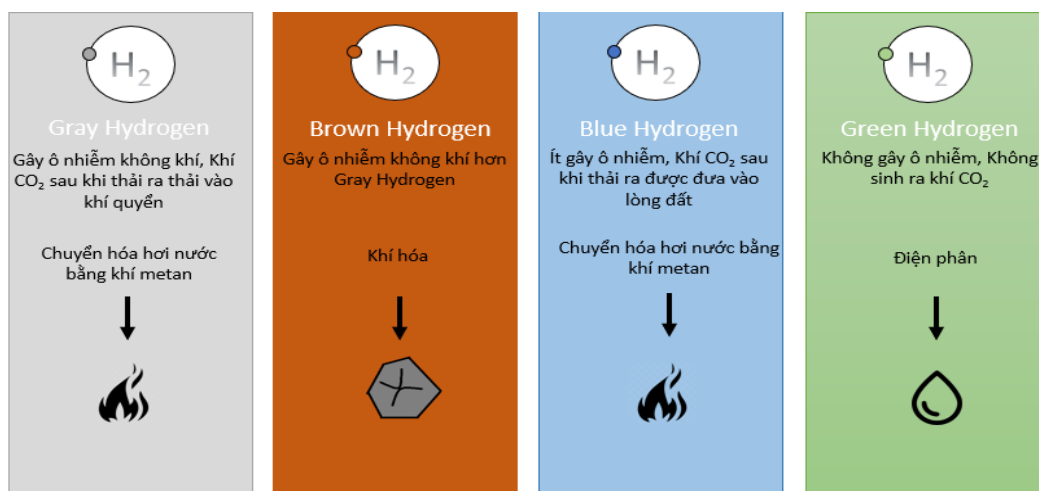


Hình 0.10. Nền kinh tế hydrogen trong các ngành công nghiệp được xác định dựa trên việc sử dụng hydrogen như nguồn nguyên liệu chủ đạo. Hệ sinh thái hydrogen trong nền kinh tế này trải dài từ quá trình sản xuất hydrogen (hydrogen Production), thông qua quá trình lưu trữ và truyền tải (Supply and Distribution), kết thúc ở quá trình tiêu thụ năng lượng (end-user).

3.1.1. Công nghệ sản xuất hydrogen

Hydrogen được phân loại thành nhiều loại sản phẩm khác nhau, và được đặt tên theo màu sắc đặc trưng, ví dụ: xanh, lam, xám... Sự phân loại theo màu sắc sản phẩm hydrogen cũng liên quan trực tiếp đến các quá trình sản xuất những sản phẩm này. Kỹ thuật sản xuất Hydrogen phát triển rất nhanh theo thời gian, ban đầu từ 3 nhóm hydrogen chính bao gồm: hydrogen xanh (green hydrogen), hydrogen lam (blue hydrogen), và hydrogen xám (grey hydrogen); những khái niệm này mau chóng được tăng lên đáng kể trong khoảng thời gian ngắn. Hình 3.2 dưới đây phân loại các sản phẩm Hydrogen theo màu sắc, đặc thù quá trình sản xuất, và nguồn nguyên liệu đầu vào. Sự phân loại này cũng không có sự đồng nhất trên phương diện khoa học

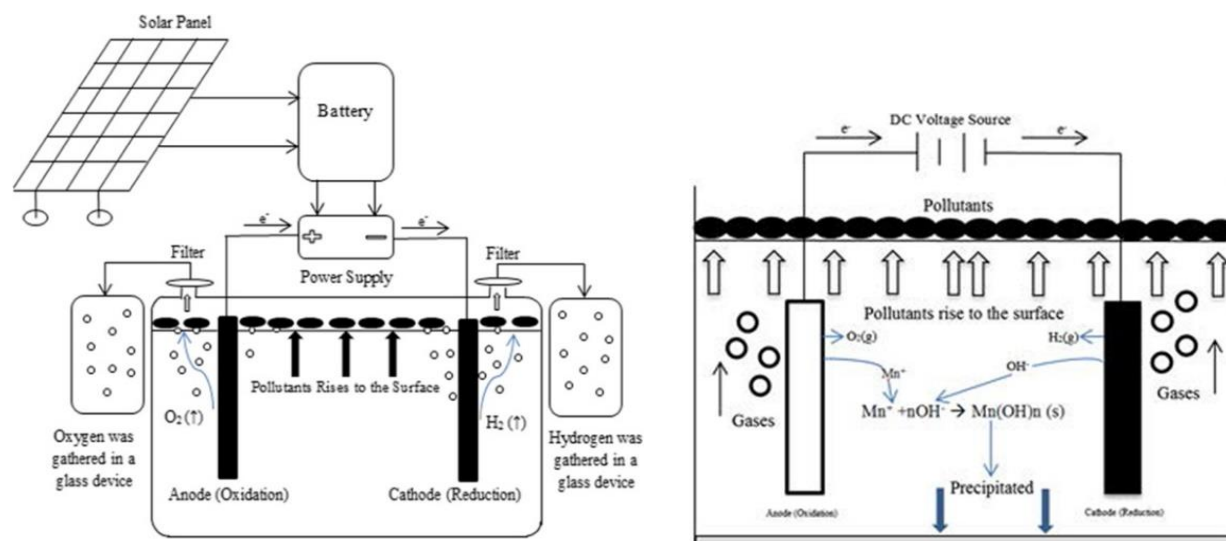
công nghệ, hoặc các cơ quan đứng ra làm công tác phân loại mà chủ yếu nó được triển khai phân loại dựa trên đặc thù quy trình sản xuất.



Hình 0.11. Phân loại các sản phẩm Hydrogen theo màu sắc và đặc thù quá trình sản xuất [34].

Công nghệ sản xuất hydrogen xanh (green hydrogen): hydrogen xanh được xem là sản phẩm hydrogen cao cấp và tinh khiết nhất, sản phẩm này cũng góp phần tích cực nhất vào các quá trình vận chuyển và tiêu thụ nhờ vào đặc tính mật độ năng lượng cao và tính ứng dụng đa dạng. Điện phân tách nước (*Electrolysis*) được xem là công nghệ duy nhất có thể sản xuất ra hydrogen từ việc phân tách các nguồn chất lỏng (*nước sông hồ, nước mưa, nước biển, và cả nước thải công nghiệp...*). Công nghệ điện hóa phân tách nước này tận dụng điện năng được cung cấp từ nguồn năng lượng tái tạo (*điện gió, điện mặt trời...*) để phát động quá trình oxy hóa-khử trong lòng (*nước và các tạp chất khác*) chất lỏng tiếp xúc với các điện cực và từ đó phân tách nước để sinh ra hydrogen tại khu vực xung quanh và trên điện cực âm (*Cathode*). Trong khi đó, oxygen được sinh ra tại khu vực xung quanh điện cực dương (*Anode*). Hình 3.3 mô tả cơ chế quá trình điện hóa và tạo ra sản phẩm hydrogen tinh khiết từ nguồn nước thải công nghiệp nhiễm ion kim loại, sử dụng năng lượng tái tạo, và thu được hydrogen cùng với lượng nước đã được xử lý đạt thể tích bằng 60% tổng lượng

nước đầu vào để vận hành quy trình. Nghiên cứu này của tác giả Thien Khanh Tran đã chỉ ra phạm vi ứng dụng và hiệu quả quy trình điện hóa phân tách nước tuyệt vời.



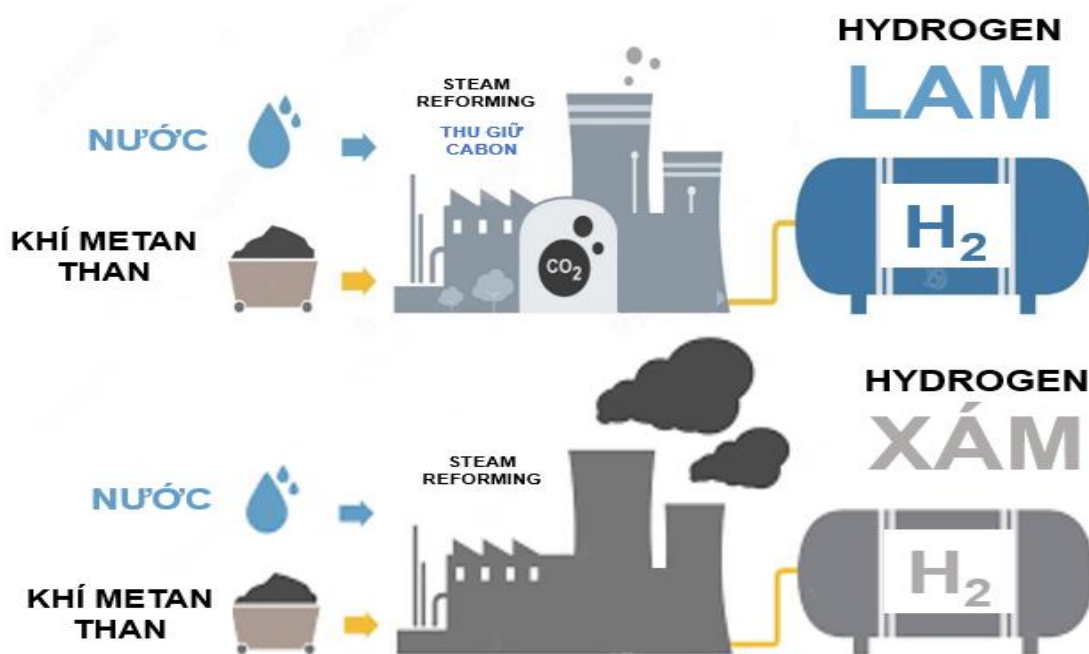
Hình 0.12. Cơ chế quá trình điện phân tách nước (Electrolysis) trong nghiên cứu của tác giả Thien Khanh Tran trên tạp chí International Journal of Hydrogen Energy năm 2017 [35,36]

Công nghệ sản xuất hydrogen lam (blue hydrogen): hydrogen lam được xem là một sản phẩm phù hợp với nhu cầu sản xuất hydrogen quy mô lớn và vẫn mang những đặc điểm ưu việt như độ tinh khiết cao, hạn chế phát thải trong quá trình sản xuất, và ít gây ra tác động tiêu cực lên môi trường. Sản phẩm hydrogen lam cũng mang tính kết nối giữa các phương pháp sản xuất hydrogen truyền thống từ nhiên liệu hóa thạch với các phương pháp sản xuất hiện đại nhờ vào việc kết hợp với những quy trình thu giữ và lưu trữ carbon (CCS/CCUS).

Công nghệ sản xuất hydrogen xám/nâu (grey hydrogen/brown hydrogen): Nguồn hydrogen được sản xuất từ các quy trình truyền thống như reforming, hay các quy trình nhiệt phân, khí hóa đều sẽ phát thải carbon trong quá trình sản xuất; Tuy nhiên,

sự kết hợp với các quy trình CCS hoặc CCUS sẽ góp phần tạo ra sản phẩm hydrogen lam thay vì hydrogen xám.

Hình 3.4 mô tả khái quát về quá trình sản xuất hydrogen lam và hydrogen xám, có thể nhìn thấy được mấu chốt của quy trình sản xuất này liên quan đến việc ứng dụng kỹ thuật CCS/CCUS.



Hình 0.13. Sơ lược về quy trình sản xuất hydrogen lam và hydrogen xám

Trong nhóm những công nghệ sản xuất hydrogen lam, nhóm kỹ thuật tác động nhiệt (*thermoconversion processes*) bao gồm 2 kỹ thuật quan trọng: nhiệt phân (*pyrolysis*) và khí hóa (*gasification*) được sử dụng rất phổ biến để sản xuất hydrogen lam. Những kỹ thuật nhiệt này được áp dụng linh hoạt với nhiều nguồn nguyên liệu đầu vào khác nhau như: sinh khối, phế phẩm nông nghiệp, rác thải các ngành công nghiệp đặc thù... để tạo ra sản phẩm. Nhóm công nghệ tác động nhiệt này cũng có thể được kết hợp với các công nghệ sản xuất hydrogen bằng các kỹ thuật sinh học như: quá trình lên men (*fermentation*) và tận dụng các tác nhân vi sinh vật (*microorganism*) để thu

được sản phẩm hydrogen từ nguồn thải của công nghiệp chế biến thực phẩm. Sản xuất hydrogen từ nguồn biomass thật sự là một công nghệ đầy hứa hẹn đối với những quốc gia có ngành nông nghiệp phát triển, phong phú, và có tính truyền thống như Việt Nam. Tại Việt Nam, công nghiệp sản xuất hydrogen đang trong giai đoạn bước đầu tìm hiểu và đặt nền móng. Lượng hydrogen được sản xuất chủ yếu phục vụ cho các quá trình diễn ra trong nhà máy lọc dầu, hoặc các nhà máy sản xuất phân đạm, phân bón. Bảng 1 tổng hợp nhu cầu sử dụng hydrogen trong quá trình sản xuất của các nhà máy hóa dầu tại Việt Nam [37].

Bảng 1. Tổng hợp nhu cầu sử dụng Hydrogen trong quá trình sản xuất tại các nhà máy lọc hóa dầu tại Việt Nam.

Nhà máy	Quá trình công nghệ	Sản lượng H ₂ (tấn/giờ)
Nhà máy Lọc dầu Dung Quất (hiện tại)	CCR (quá trình xúc tác liên tục)	2,07
Nhà máy Lọc dầu Dung Quất (Nâng cấp mở rộng)	CCR (quá trình xúc tác liên tục)	2,64
	H ₂ bổ sung	0,47
Liên hợp Lọc hóa dầu Nghi Sơn	CCR (quá trình xúc tác liên tục)	5,89
	H ₂ bổ sung từ LPG	17,43
Nhà máy Đạm phú Mỹ	Reforming	12,31
	H ₂ bổ sung khi sử dụng nguyên liệu khí thiên nhiên chứa 30% CO ₂	2,05 ^(a)
	Thay thế hoàn toàn nguyên liệu khí thiên nhiên	12,31
Nhà máy Đạm Cà Mau	Reforming	11,33
	H ₂ bổ sung khi sử dụng nguyên liệu khí thiên nhiên chứa 30% CO ₂	1,89 ^(a)
	Thay thế hoàn toàn nguyên liệu khí thiên nhiên	11,33

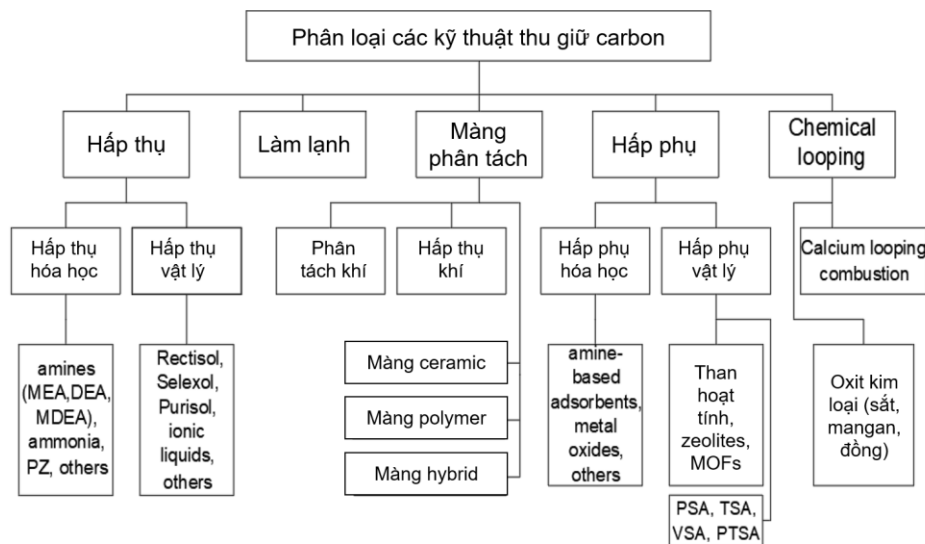
Tổng sản lượng H ₂ tối đa	tấn/năm	396.554^(b)
	EJ/năm	0,06^(b)
(a) Ước tính trên cơ sở sản lượng H ₂ giảm trong syngas khi nguyên liệu chứa 30% CO ₂ do sự xảy ra đồng thời của phản ứng dry reforming và steam reforming.		
(b) Ước tính trên cơ sở nhà máy hoạt động 330 ngày/năm.		

3.1.2 Tổng quan về kỹ thuật thu giữ và lưu trữ carbon phát thải (CCS/CCUS)

Như đã trình bày ở phần trên, các kỹ thuật thu giữ và lưu trữ carbon (CCS/CCUS) được xem là giải pháp trực tiếp trong việc cắt giảm phát thải carbon đối với các quá trình sản xuất công nghiệp. Lượng carbon thu hồi sẽ được vận chuyển đến nơi lưu trữ lâu dài với mục đích cô lập chúng khỏi hệ sinh thái. Lượng carbon cũng có thể được tận dụng làm nguyên liệu cho các hoạt động sản xuất khác (CCU), giúp tạo ra giá trị tăng thêm bên cạnh việc hạn chế phát thải carbon, bảo vệ môi trường [38].

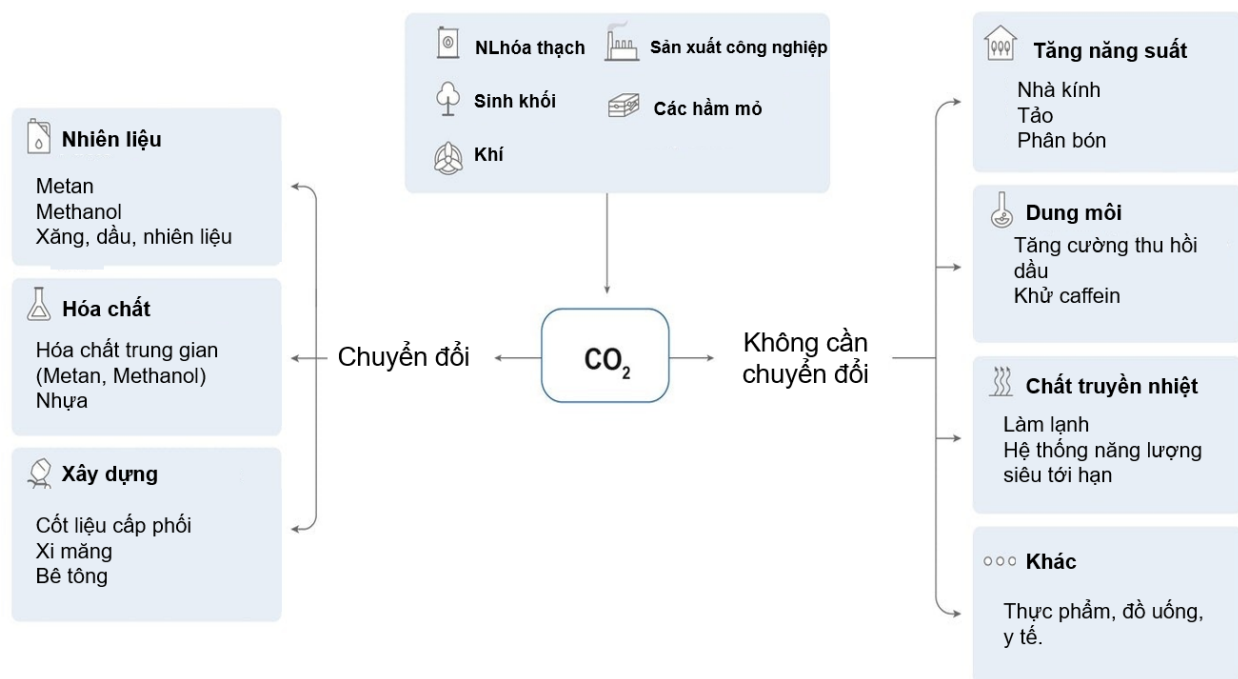
Công nghệ CCS/CCUS có thể được triển khai thành nhiều giai đoạn khác nhau:

Giai đoạn 1 – thu giữ carbon (Carbon Capture): hiện nay những kỹ thuật lưu trữ carbon được công nghiệp hóa với nhiều hình thức và quy trình khác nhau; Có thể kể đến như: hấp thụ hóa học, hấp phụ vào vật liệu rắn, sử dụng màng phân tách carbon...Nhóm công nghệ này được phát triển dựa trên đặc thù các quá trình sản xuất có quá trình phát thải khác nhau: công nghiệp sản xuất hóa chất, các quy trình sản xuất dầu mỏ, sản xuất xi măng, hoặc các nhà máy nhiệt điện sử dụng nhiên liệu hóa thạch [38]. Hình 3.5 mô tả những kỹ thuật thu giữ carbon phổ biến đã được phát triển và ứng dụng ngày nay.



Hình 0.14. Các kỹ thuật thu giữ carbon đang được ứng dụng trong công nghiệp trên thế giới.

Giai đoạn 2 – giai đoạn tận dụng nguồn carbon (Carbon Utilization): Như mô tả trong hình 3.6, lượng carbon phát thải sau khi được thu giữ thành công có thể được chuyển đổi thành các sản phẩm hữu ích và được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như: làm nguồn nhiên liệu, phục vụ cho công nghiệp hóa chất, phục vụ cho ngành xây dựng, làm nguồn nguyên liệu để sản xuất phân bón, sản xuất dung môi, ứng dụng cho các quá trình sản xuất thực phẩm, y tế,.. Việc tận dụng nguồn carbon này đóng vai trò quan trọng trong việc giảm bớt tiêu thụ tài nguyên tự nhiên, tạo ra những sản phẩm mới và phát triển công nghiệp một cách bền vững [39].



Hình 0.15. Giải pháp tận dụng nguồn carbon lưu trữ và quy trình biến đổi chúng trở thành nguồn nhiên liệu hữu ích cho những ngành công nghiệp khác.

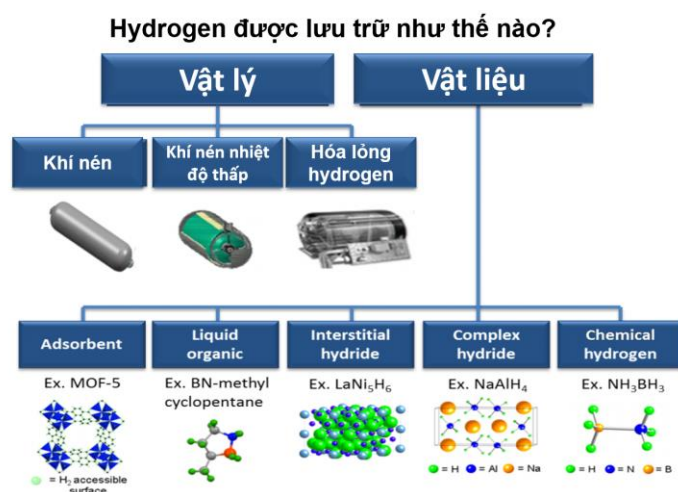
Giai đoạn 3 – giai đoạn lưu trữ carbon (Carbon Storage): giai đoạn lưu trữ carbon này được triển khai nhằm mục đích lưu trữ lượng carbon thu được từ giai đoạn 1, và còn lại sau các quá trình tận dụng trong giai đoạn 2. Lượng carbon này được lưu trữ trong các hang động ngầm, hoặc dùng vào các quá trình sản xuất bê tông (bê tông đóng vai trò như một đơn vị lưu trữ carbon) [40].

3.1.3. Giải pháp lưu trữ và phân phối hydrogen

Lưu trữ và phân phối hydrogen là một chuyên ngành riêng biệt và quan trọng trong nhóm các ngành công nghiệp hydrogen hiện nay. Vấn đề lưu trữ và phân phối Hydrogen góp phần rất lớn vào quá trình định hình nền kinh tế hydrogen và tạo ra một hệ sinh thái hydrogen linh hoạt. Có những nhóm kỹ thuật lưu trữ và phân phối hydrogen đặc thù đang được triển khai và có kế hoạch liên tục nâng cấp, điển hình

có thể kể đến như: kỹ thuật lưu trữ dưới dạng khí, lỏng, và khí nén nhiệt độ thấp (*cryo-gaseous hydrogen*), hoặc chuyển đổi thành ammonia (NH_3).

Phương thức lưu trữ hydrogen trực tiếp dạng khí, lỏng, và khí nén nhiệt độ thấp: các phương thức nén và lưu trữ hydrogen được xem là lựa chọn quen thuộc trong ngành sản xuất khí công nghiệp, tuy nhiên, do đặc thù mật độ năng lượng cao của hydrogen nên việc sử dụng các kỹ thuật truyền thống để lưu trữ sản phẩm này sẽ dẫn đến hai vấn đề chủ đạo: hao tổn năng lượng trong quá trình nén khí và cần một vật chứa/bình chứa có diện tích lớn để lưu trữ được thể tích hydrogen sản xuất theo quy mô công nghiệp và không ngừng gia tăng trong tương lai gần.



Hình 0.16. Các phương thức lưu trữ trực tiếp hydrogen và hình ảnh thực tế bồn chứa hydrogen công nghiệp tại trạm không gian Kennedy, Florida, Mỹ.

Trên tinh thần đó, đã có rất nhiều các nghiên cứu tập trung vào việc tạo ra các bình chứa hydrogen sử dụng các vật liệu khác nhau; Có thể kể đến như: vật liệu sợi thủy tinh, vật liệu composite với gia cố kim loại, vật liệu kim loại... Những vật liệu này có khả năng chống chịu áp suất, từ 50 MPa đối với vật liệu kim loại đến 100 MPa đối với vật liệu composite có gia cố kim loại; trọng lượng của những bình chứa cũng được nghiên cứu và đạt được mục tiêu giảm tới 50% khối lượng. Tuy nhiên chi phí



đối đầu tư dành cho các loại bình chứa bằng các vật liệu kể trên gia tăng, và trở thành cản trở trong đầu tư quy mô lớn [41]. Hình 3.4 giới thiệu tổng quan về các phương pháp lưu trữ hydrogen một cách trực tiếp.

Phương thức lưu trữ hydrogen gián tiếp – chuyển hóa thành ammonia (NH_3): ammonia là một chất mang năng lượng quan trọng và phổ biến, với những tính chất hóa học phù hợp, nó cho phép khả năng lưu trữ dễ dàng hơn so với lưu trữ trực tiếp hydrogen. Cụ thể, để lưu trữ an toàn tại nhiệt độ bình thường (300 độ K), áp suất hơi của ammonia cần phải đạt giá trị khoảng 9 bar, trong khi đó hydrogen cần phải được lưu trữ ở cùng áp suất đó tại nhiệt độ khoảng 31 độ K. Do đó, việc lưu trữ năng lượng theo phương thức gián tiếp đạt được những lợi ích về kinh tế nhất định, 182 ngày lưu trữ ammonia tiêu tốn khoảng 0.54 USD/kg, trong khi chi phí này sẽ là 14.95 USD/kg cho việc lưu trữ hydrogen tinh khiết [42].

Giải pháp phân phối hydrogen: phương thức phân phối hydrogen chịu ảnh hưởng trực tiếp từ hai quá trình: sản xuất hydrogen và tiêu thụ hydrogen. Đối với những quy mô sản xuất vừa và nhỏ, đối tượng sử dụng trực tiếp và không yêu cầu lưu trữ, hydrogen có thể được phân phối vào hệ thống mạng lưới khí đốt hoặc hệ thống lưu trữ khí tự nhiên (*với thể tích phối trộn rơi vào khoảng 10% hydrogen*). Tuy nhiên, phương thức này không phù hợp với đặc thù quá trình phân phối sản phẩm khí nhiên liệu tại Việt Nam ở thời điểm hiện tại, phương thức lưu trữ kể trên chỉ có thể được áp dụng tại các nhà máy sản xuất các sản phẩm đặc thù có sử dụng hydrogen như là nhiên liệu hoặc nguyên liệu sản xuất. Một giải pháp khác có thể phù hợp hơn với những quốc gia như Việt Nam trong việc phân phối hydrogen là lưu trữ sản phẩm này vào các bình chứa/vật chứa và vận chuyển thông qua mạng lưới giao thông vận tải; Tuy nhiên, phương thức này lại gặp khó khăn về chi phí đầu tư đối với các bình chứa (*vấn đề chi phí sản xuất, và chi phí vận chuyển do diện tích bình chứa lớn*).

Đánh giá vấn đề về chi phí xây dựng đường ống vận chuyển hydrogen tại những quốc gia khác, nhóm tác giả thu được kết quả như sau: giả sử rằng hydrogen đang được sử dụng rộng rãi, hệ thống đường ống hydrogen được lắp đặt quy mô lớn với tổng diện tích rơi vào khoảng 4500 km, đường kính ống dẫn 25-30 cm, và hoạt động dưới áp suất từ 10-20 bar, và tiêu tốn chi phí khoảng 900 USD cho mỗi km đường ống (*đường kính 30 cm*) [43, 44]. Chi phí kể trên là cao hơn đến 10-20% so với việc lắp đặt đường ống dẫn khí đốt thông thường, các hao phí này được cho là rơi vào các công đoạn như: thiết kế đường ống lớn hơn, kiểm tra rò rỉ, chi phí nén khí... [45].

Như vậy, có thể thấy rằng việc đưa việc phân phối hydrogen vào chung với mạng lưới khí đốt thông thường đang nhận được rất nhiều sự quan tâm. Giải pháp này không những cho phép việc giảm bớt phát thải khí nhà kính (*đặc biệt đối với trường hợp sử dụng hydrogen xanh*), và tiết kiệm chi phí đầu tư hạ tầng. Cộng Hòa Liên Bang Đức là quốc gia tiên phong trong việc triển khai giải pháp phân phối kể trên với những dự án có công suất lên đến 6 MW điện năng tương đương và đã bắt đầu từ năm 2015 (đang có kế hoạch tiếp tục nhân rộng) [46].

3.1.4. Giải pháp tiêu thụ hydrogen hiệu quả

Công đoạn cuối cùng trong bức tranh kinh tế hydrogen chính là đề xuất những giải pháp tiêu thụ hợp lý. Như đã trình bày ở những phần trên, nhu cầu sử dụng hydrogen tại Việt Nam đang ở giai đoạn tìm hiểu và hoạch định chính sách, chuẩn bị bước vào quá trình sử dụng rộng rãi trong kỷ nguyên năng lượng mới. Việc tiêu thụ hydrogen tại Việt Nam cũng tuân theo xu hướng trên thế giới, và được tóm tắt trong bảng 2.

Bảng 2. Những hoạt động tiêu thụ hydrogen chủ đạo

Hoạt động	Nhóm ngành	Mức phát thải (%)
Lọc dầu	Công Nghiệp	2

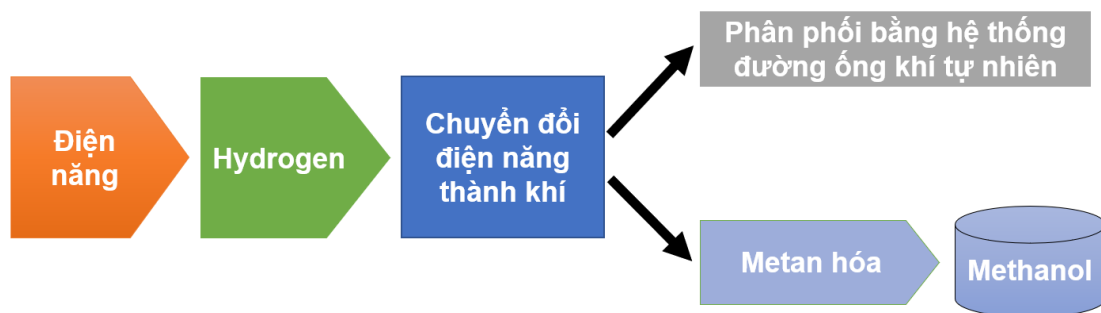


Sản xuất kim loại		4
Sản xuất hóa chất		14
Nhu cầu sử dụng thường nhật	Dân Dụng	12
Phương tiện cá nhân	Giao Thông Vận Tải	2
Hàng không		4
Tàu biển		7
Xe khách		12
Xe vận tải chuyên dụng		5

Những thông tin trong bảng 2 được tổng hợp từ các báo cáo của EIA [44], và được đồng tính toán dựa trên mức độ phát thải của từng nhóm đối tượng trên tổng lượng phát thải, từ đó chỉ ra nhu cầu sử dụng hydrogen thực tế. Như vậy, để quá trình tiêu thụ hydrogen được diễn ra một cách có hiệu quả đặc biệt là trong công nghiệp, những kịch bản tiêu thụ hydrogen cần được đề xuất hợp lý.

Những kịch bản tiêu thụ hydrogen này được xây dựng trên tiêu chí chuyển đổi năng lượng (thông thường là điện năng) thành các hình thái khác nhau, phù hợp với nhu cầu tiêu thụ.

Kịch bản tiêu thụ hydrogen dạng khí (Power to gas): việc đưa hydrogen vào sử dụng trong quá trình sản xuất công nghiệp sẽ tạo ra những giá trị tích cực trong việc cắt giảm phát thải carbon, duy trì hiệu quả sản xuất, và tạo ra một kế hoạch tiêu thụ năng lượng đa dạng, giảm bớt sự phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch truyền thống [45]. Với lượng hydrogen được phân phối bằng hệ thống đường ống (*cùng với các đường ống gas*), sự thay đổi về cơ sở vật chất trong công nghiệp sẽ không vấp phải những yêu cầu thay đổi, nâng cấp với chi phí quá lớn. Hình 3.5 mô tả sơ lược về giải pháp chuyển đổi điện năng thành khí. Bên cạnh đó, quá trình này cũng sinh ra methane khi hydro hóa CO₂ nhằm tách carbon ra khỏi không khí và sản xuất xăng methane.

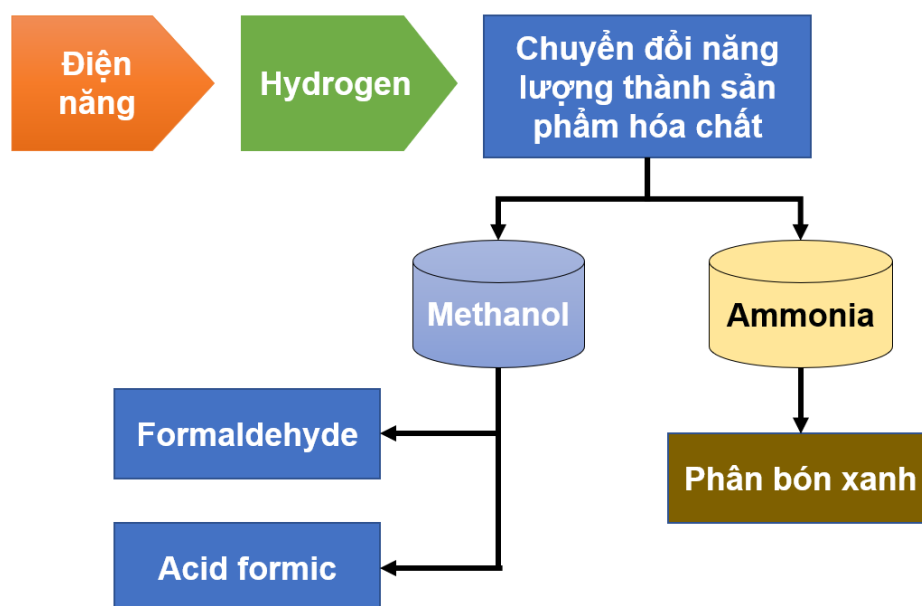


Hình 0.17. Giải pháp chuyển đổi điện năng thành khí (Power to gas)

Kịch bản chuyển đổi điện năng thành khí có thể được ứng dụng mạnh mẽ trong nhóm ngành công nghiệp nặng có nhu cầu sử dụng hydrogen cao như công nghiệp sản xuất sắt thép, cement... Kịch bản này chuyển hóa năng lượng trở thành một hình thức năng lượng khác dưới dạng khí, cho phép khả năng lưu trữ năng lượng linh động, đặc biệt phù hợp với các khu công nghiệp có vị trí gần với nơi sản xuất hydrogen. Kịch bản này đã và đang được sử dụng tại nhiều quốc gia có ngành công nghiệp năng lượng phát triển trên thế giới [16, 49].

Kịch bản chuyển đổi hydrogen thành sản phẩm hóa học (Power to chemicals): trong kịch bản chuyển đổi và tiêu thụ năng lượng này, methanol và ammonia đóng vai trò trung tâm và là tác nhân vừa giữ vai trò lưu trữ năng lượng, vừa có thể được sử dụng trực tiếp.

Theo đó, hydrogen được tạo ra từ quy trình điện phân tách nước và được dùng cho quá trình chuyển hóa tạo ra methanol hoặc ammonia xanh. Hình 3.6 mô tả kịch bản chuyển đổi điện năng thành sản phẩm hóa học [50].

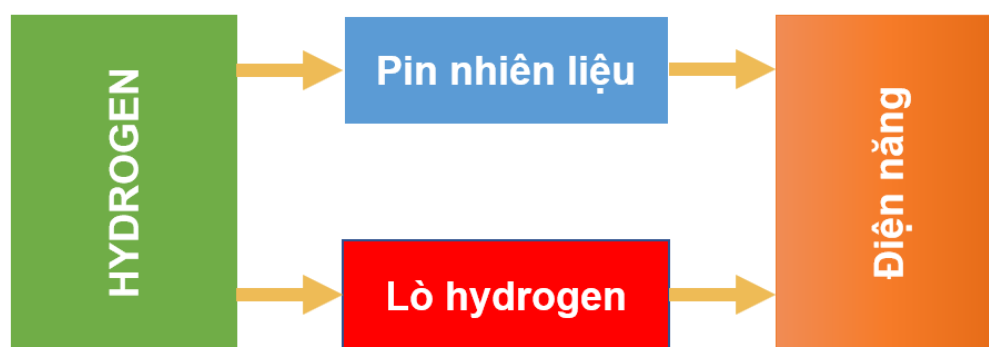


Hình 0.18. Giải pháp chuyển đổi năng lượng thành sản phẩm hóa học.

Methanol có nhu cầu và phạm vi sử dụng rộng rãi trong công nghiệp sản xuất hóa chất (được dùng trong sản xuất acid formic và formaldehyde). Trong khi đó, ammonia là nguồn nguyên liệu chính trong sản xuất phân đạm xanh và đồng thời cũng là một nguồn năng lượng sạch rất được quan tâm. Những yếu tố kể trên đưa giải pháp chuyển đổi này thành ứng viên sáng giá cho các ngành công nghiệp sản xuất hóa chất vốn có nhu cầu tiêu thụ hydrogen cao (55% nhu cầu cho sản xuất ammonia, 10% nhu cầu sản xuất methanol).

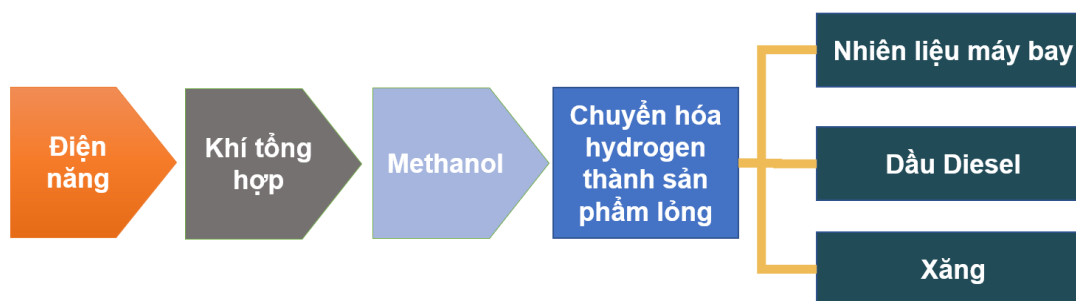
Kịch bản sử dụng hydrogen trực tiếp (Hydrogen to power): hydrogen nói chung và hydrogen xanh nói riêng hoàn toàn có thể được sử dụng trực tiếp để tạo ra năng lượng (điện năng hoặc nhiệt năng). Hydrogen được sử dụng kèm với công nghệ pin nhiên liệu fuel cell và sản sinh ra nguồn điện sạch không phát thải carbon, hình thức tiêu thụ hydrogen này được ứng dụng mạnh mẽ trong công nghiệp sản xuất ô tô, phục vụ hữu hiệu cho quá trình cắt giảm phát thải ngành giao thông vận tải.

Bên cạnh đó, đối với những ngành công nghiệp có quy trình sản xuất diễn ra ở nhiệt độ cao như ngành sản xuất sắt thép, việc sử dụng hydrogen để sinh ra nhiệt lượng góp phần duy trì hiệu quả sản xuất, và thúc đẩy quá trình cắt giảm phát thải carbon trong ngành này một cách mạnh mẽ [51, 52]. Hình 3.7 mô tả kịch bản sử dụng hydrogen trực tiếp để sản xuất điện năng hoặc nhiệt năng.



Hình 0.19. Giải pháp sử dụng hydrogen trực tiếp

Kịch bản chuyển đổi năng lượng thành dạng lỏng (Power to liquid): methanol cũng là thành phần quan trọng để sản xuất các sản phẩm trong ngành xăng dầu (*olefins, dimethyl ether, xăng gasoline, xăng máy bay, xăng diesel....*)



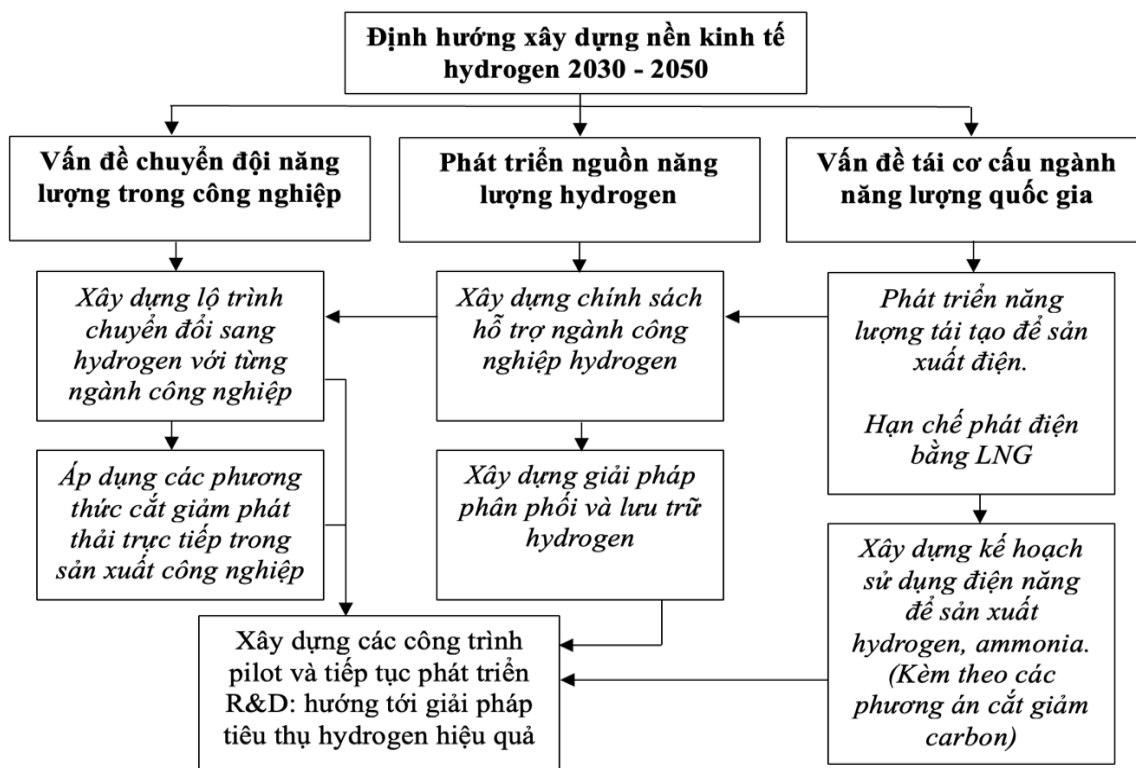
Hình 0.20. Giải pháp chuyển hóa hydrogen thành sản phẩm lỏng



Theo đó, việc chuyển đổi hydrogen thành methanol được xem là một quá trình lưu trữ linh hoạt, phù hợp với nhu cầu ứng dụng trong nhóm ngành công nghiệp lọc hóa dầu. Hình 3.8 mô tả giải pháp tiêu thụ hydrogen dưới dạng đã được chuyển hóa thành sản phẩm lỏng.

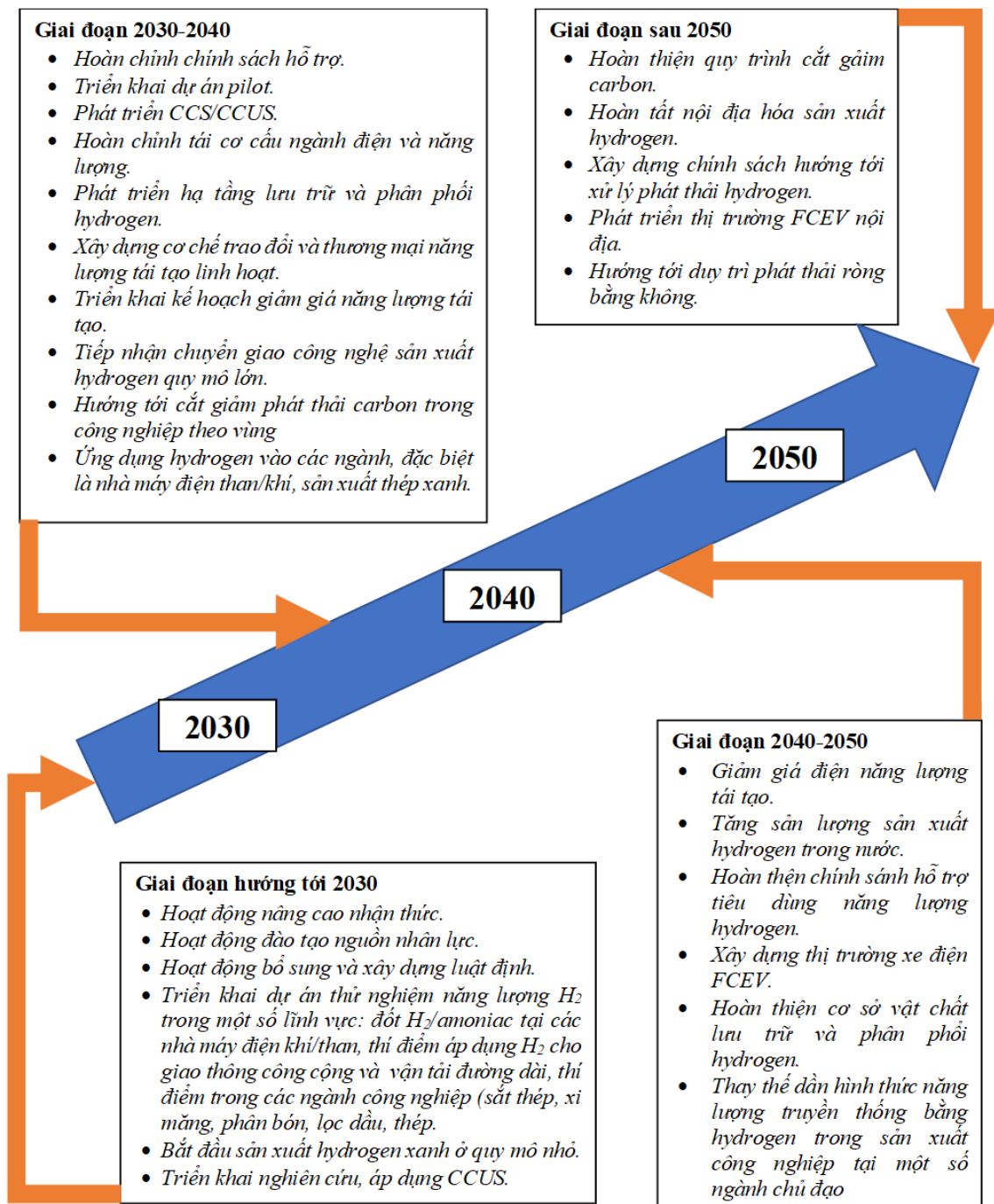
3.2. Gợi ý phát triển ngành công nghiệp hydrogen tại Việt Nam

Ngành công nghiệp hydrogen non trẻ nhưng nhiều hứa hẹn tại Việt Nam đã nhận được nhiều sự quan tâm và được nhắc đến rất nhiều trong những văn bản gần đây từ các cấp Nhà Nước, cho đến các cấp cơ quan tư nhân, cũng như các phương tiện thông tin đại chúng. Theo toàn văn quy hoạch điện VIII vừa được công bố gần đây, việc chuẩn bị cơ sở vật chất, hạ tầng, đào tạo nguồn nhân lực cho việc tiếp nhận công nghệ sử dụng năng lượng mới như hydrogen, ammonia đã được nhắc tới [53]. Hình 3.9 đề xuất những định hướng chủ đạo trong phát triển công nghiệp hydrogen tại Việt Nam. Theo đó, quá trình phát triển công nghiệp hydrogen thực chất tại Việt Nam có thể rơi vào giai đoạn 2030-2050, trong khi giai đoạn từ nay đến 2030 chịu trách nhiệm nâng cao nhận thức của các nhóm đối tượng sản xuất, điều phối, và tiêu thụ hydrogen. Sản xuất điện và sản xuất năng lượng hydrogen được xác định có vai trò khẳng định và hỗ trợ lẫn nhau.



Hình 0.21. Những định hướng quan trọng trong việc phát triển công nghiệp hydrogen tại Việt Nam trong giai đoạn 2030-2050, tầm nhìn tiến tới xây dựng thành công nền kinh tế hydrogen.

Như vậy, lộ trình phát triển năng lượng hydrogen tại Việt Nam theo định hướng hạn chế phát thải carbon trong sản xuất công nghiệp nói riêng và hướng tới cắt giảm phát thải carbon nói chung được nhìn nhận xung quanh ba nhiệm vụ chính được bao gồm: xây dựng chính sách hỗ trợ, đề ra các đạo luật quy định việc chuyển đổi năng lượng, hướng tới phát triển R&D liên quan, tạo điều kiện quốc hữu hóa công nghệ.



Hình 0.22. Đề xuất lộ trình xây dựng nền kinh tế hydrogen trong giai đoạn 2030-2050.

Mục tiêu cuối cùng của lộ trình kể trên là sự tiệm cận với xã hội carbon trung tính trong giai đoạn 2030-2045 và hướng tới phát thải ròng bằng không trong giai đoạn từ 2050 trở đi. Hình 3.13 đề xuất lộ trình xây dựng nền kinh tế hydrogen hướng tới mục tiêu hạn chế phát thải carbon hiệu quả, bảo vệ môi trường, xây dựng xã hội trung tính. Đối chiếu với những lộ trình xây dựng nền kinh tế hydrogen tại một số quốc gia tiên phong như Alberta, Canada [54], Úc [55], New Zealand [56], Lithuania [57]; có thể thấy lộ trình xây dựng nền kinh tế hydrogen của Việt Nam có chênh lệch về thời gian triển khai trung bình khoảng 5 năm. Những quốc gia kể trên đã thiết lập lộ trình xây dựng nền kinh tế hydrogen với những đặc điểm mà Việt Nam cũng hoàn toàn có thể tiếp thu và học hỏi như: tận dụng những lợi thế nhất định về đặc thù địa lý, định hướng sử dụng nguồn sinh khối, nằm trong khu vực có các quốc gia chú trọng phát triển năng lượng hydrogen, và đặc biệt Việt Nam còn là đối tượng có thể nhận được nhiều đầu tư mang tính chiến lược trong câu chuyện phát triển ngành công nghiệp và nền kinh tế hydrogen [58, 59].

Trên thực tế, những kế hoạch hành động tại Việt Nam cũng đã phần nào được xây dựng theo một lộ trình tương tự - với những nhiệm vụ chi tiết hơn. Cụ thể, trong giai đoạn từ nay đến 2030 Việt Nam đã có những kế hoạch cho việc xây dựng các dự án thử nghiệm với quy mô nhỏ (dự kiến đạt 100-500 ngàn tấn hydrogen mỗi năm). Việc triển khai thí điểm sản xuất hydrogen được đề xuất cho các ngành công nghiệp như sản xuất sắt thép, xi măng, lọc dầu... Bên cạnh đó, việc đầu tư nghiêm túc cho những công nghệ CCS/CCUS cũng được xem là một phần không thể thiếu trong công cuộc xây dựng nền công nghiệp hydrogen tại Việt Nam.

Trên tinh thần tiếp thu và triển khai những chính sách liên quan đến phát triển ngành công nghiệp hydrogen đã được nhắc tới từ trước trong nghị quyết 55, quy hoạch điện VIII,..., cùng với đó là sự đối chiếu với những lộ trình phát triển công nghiệp



hydrogen tại nhiều nơi trên thế giới [60, 61, 62], những chính sách phù hợp với quá trình xây dựng nền kinh tế hydrogen tại Việt Nam có thể được triển khai theo phương hướng như sau:

- *Xây dựng lộ trình phát triển lâu dài và bền vững*: đặt trọng tâm vào quá trình hạn chế phát thải carbon trong toàn bộ các ngành công nghiệp, các nhóm nghề, các hoạt động sản xuất liên quan đến bốn nội dung chủ đạo: sản xuất công nghiệp, giao thông vận tải, sản xuất năng lượng, và tiêu thụ dân dụng.
- *Xây dựng và nâng cao nhận thức đối với hình thức năng lượng mới*: như hydrogen được xác định là giữ vai trò quan trọng và cần nhận được nhiều sự quan tâm trong giai đoạn thiết lập nền móng cho ngành công nghiệp này. Việc xây dựng nguồn nhân lực và nâng cao nhận thức cần được triển khai song song và bắt đầu từ cấp độ giáo dục tiểu học, cho đến những hội thảo chuyên sâu, những hoạt động trao đổi kinh nghiệm học thuật, thực tiễn, và cuối cùng là các quá trình đối thoại với các quốc gia khác thông qua các diễn đàn hydrogen có uy tín.
- *Đề ra những chính sách hỗ trợ phối hợp liên ngành và có tính khích lệ trong việc chuyển đổi năng lượng an toàn*: những chính sách này tạo điều kiện cho việc đầu tư sớm và đầu tư có hiệu quả trong việc thiết lập nền kinh tế hydrogen tại Việt Nam. Phối hợp liên ngành phải là chủ trương hàng đầu trong nhiệm vụ giảm phát thải carbon trong các ngành công nghiệp và tạo ra những nền tảng quan trọng trong việc triển khai năng lượng hydrogen.
- *Tạo điều kiện thuận lợi cho việc sử dụng công nghệ thu giữ và lưu trữ carbon CCS/CCUS*: công nghệ CCS/CCUS là một phần không thể thiếu của ngành công nghiệp hydrogen và là tác nhân quan trọng giữ vai trò chủ chốt trong việc hiện thực hóa nền kinh tế hydrogen. Việc ứng dụng kỹ thuật hiện đại và đổi mới công nghệ trong sản xuất công nghiệp cũng đóng vai trò chủ đạo trong



việc giảm dần sự phụ thuộc vào nguồn nhiên liệu cũ và chuyển đổi sang sử dụng hydrogen một cách hiệu quả.

- *Đối với nhóm ngành sản xuất và thị trường năng lượng:* tạo điều kiện thuận lợi cho thị trường năng lượng, hỗ trợ giảm giá điện năng lượng tái tạo, và khuyến khích chuyển đổi năng lượng an toàn với hydrogen đóng vai trò trung tâm. Bên cạnh đó, việc tạo ra những chính sách hỗ trợ về tài chính đối với những nhóm đầu tư vừa và nhỏ nhằm khuyến khích những đơn vị, tổ chức có định hướng chuyển đổi năng lượng sớm.

CHƯƠNG IV: KẾT LUẬN

Trong bối cảnh cả thế giới chuyển mình hướng tới mục tiêu xây dựng xã hội trung hòa carbon và đạt được phát thải ròng bằng không, Việt Nam cũng có những bước chuẩn bị và định hướng nhằm theo kịp xu thế này. Theo đó, nhiệm vụ hạn chế phát thải carbon, đặc biệt là trong hoạt động công nghiệp giữ vai trò tối quan trọng trong lộ trình hướng tới mục tiêu xây dựng Việt Nam giàu mạnh, định hướng phát triển bền vững, và là quốc gia tiên phong trong khu vực về lĩnh vực năng lượng sạch và năng lượng tái tạo. Trên tinh thần đó, việc chuyển đổi năng lượng sang sử dụng hydrogen được xem là một trong những giải pháp trọng tâm của quá trình cắt giảm phát thải carbon trong công nghiệp. Để quá trình chuyển đổi năng lượng diễn ra một cách an toàn và đạt được hiệu quả cao thì nền kinh tế hydrogen cần được hình thành và đóng vai trò nền tảng cho toàn bộ quá trình này. Năng lượng hydrogen và các sản phẩm của nó đã trở thành một chủ đề nhận được nhiều sự quan tâm ngày nay nhờ vào sự đa dạng, linh hoạt, và tiềm năng mạnh mẽ trong việc triển khai ở quy mô lớn – hình thành xã hội hydrogen. Lộ trình xây dựng xã hội hydrogen cũng đồng thời đưa quốc gia đến gần với mô hình xã hội trung tính carbon, phát thải ròng bằng không, nền kinh tế được định hướng theo hướng tuần hoàn, và duy trì những mảng xanh cần thiết.

Đề thích ứng với xu thế chuyển dịch năng lượng đã và đang diễn ra trên thế giới, nhiệm vụ định hướng và đưa ra những gợi ý giải pháp khả thi trong việc sử dụng năng lượng hydrogen cần được triển khai trên quy mô công nghiệp, và bắt đầu đối với từng ngành công nghiệp cụ thể với những lộ trình rõ ràng. Nghiên cứu này chỉ ra những giải pháp và lộ trình khả thi cho việc ứng dụng năng lượng hydrogen trong hoạt động công nghiệp và thông qua đó hướng tới hiệu quả giảm thiểu phát thải carbon một cách hiệu quả:

- *Ứng dụng năng lượng hydrogen trong sản xuất là một giải pháp cắt giảm phát thải carbon trong công nghiệp hiệu quả:* những hoạch định và tính toán trong hài hòa nhu cầu sử dụng năng lượng đang được triển khai cần được rà soát và bổ sung với những nội dung mới, từ đó tạo ra tiền đề cho quá trình tiếp nhận sự chuyển dịch năng lượng. Giải pháp chuyển đổi sang sử dụng hydrogen trong quá trình sản xuất công nghiệp có tính bền vững, có khả năng tác động trên phạm vi xã hội, hình thành nền kinh tế hydrogen đặc trưng, và là một giải pháp có thể được sử dụng trong thời gian dài.
- *Quá trình ứng dụng công nghệ thu giữ và lưu trữ carbon (CCS/CCUS) là một yếu tố không thể thiếu:* nhiệm vụ giảm dần sự phụ thuộc vào nhiên liệu truyền thống, nhiên liệu hóa thạch được đặt làm trọng tâm. Trên tinh thần đó, việc áp dụng những công nghệ CCS/CCUS được xem là giải pháp trực tiếp trong việc hạn chế phát thải carbon trong quá trình sản xuất. Các quá trình CCS/CCUS không những có thể tham gia đắc lực vào nhiệm vụ sản xuất hydrogen, mà có thể được ứng dụng rộng rãi cho toàn bộ các hoạt động công nghiệp.
- *Quá trình chuyển đổi năng lượng an toàn:* dựa trên nền tảng của những hoạch định liên quan tới hài hòa nhu cầu sử dụng năng lượng, hạn chế dần các hoạt động sản xuất sử dụng tần suất năng lượng cao và liên tục, cùng với sự ứng dụng những công nghệ thu giữ và lưu trữ carbon, quá trình chuyển dịch năng lượng được xác định sẽ diễn ra trên nền tảng sử dụng năng lượng sạch, năng lượng tái tạo, hạn chế dần và giảm sự phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch. Trọng tâm của việc cung cấp và sản xuất năng lượng sẽ chuyển dịch từ nhiên liệu hóa thạch sang năng lượng tái tạo. Cho đến năm 2050, thế giới đặt mục tiêu tăng từ 3 đến 5 lần đối với sự tiêu thụ năng lượng tái tạo (hiện nay chiếm khoảng 14%) và năng lượng nguyên tử (6%).

- *Quá trình ứng dụng hydrogen trong sản xuất công nghiệp có thể được triển khai hiệu quả cho những nhóm ngành ưu tiên:* những ngành công nghiệp như sản xuất xi măng, lọc dầu, sản xuất sắt thép, sản xuất và chế biến thực phẩm, năng lượng... được xem là những nhóm ngành ưu tiên và phù hợp với nhu cầu chuyển đổi sang sử dụng hydrogen trong quá trình sản xuất. Việc xây dựng mô hình kinh tế hydrogen đối với từng ngành công nghiệp nhất định sẽ tạo ra một nền kinh tế hydrogen toàn diện đối với toàn bộ nền công nghiệp, và qua đó hình thành xã hội hydrogen. Thông qua xã hội hydrogen, một xã hội có phát thải ròng bằng không có thể đạt được.

Hydrogen đặc biệt là hydrogen xanh và hydrogen lam sẽ được trao cơ hội trở thành trọng tâm của công nghệ năng lượng trong kỷ nguyên mới, quá trình phát triển ngành công nghiệp hydrogen và xây dựng nền kinh tế hydrogen được xác định dựa trên những yếu tố quan trọng sau:

- *Phương pháp sản xuất hydrogen sạch (zero-emission hydrogen):* có thể thực hiện thông qua ba phương pháp: đầu tiên, phương pháp tổng hợp truyền thống (*Steam methane reforming SMR*) sử dụng methane có nguồn gốc sinh học, kết hợp với các kỹ thuật thu giữ và lưu trữ carbon CCS/CCUS phù hợp và thu được sản phẩm hydrogen lam (*blue hydrogen*). Tiếp theo đó, khí hóa các vật liệu sinh khối (*Biomass gasification/thermoconversion*) (có kết hợp với kỹ thuật CCS/CCUS) được xem là phương pháp thứ hai để tạo ra sản phẩm hydrogen lam (*blue hydrogen*). Cuối cùng là phương pháp điện hóa tách nước (*Electrolysis*) sử dụng nguồn cấp điện đầu vào từ năng lượng tái tạo và thu được sản phẩm hydrogen xanh (*green hydrogen*).
- *Sản phẩm hydrogen có thể được lưu trữ và phân phối bằng nhiều cách khác nhau:* có thể được lưu trữ tại chỗ phục vụ cho sản xuất, sử dụng đường ống để phân phối, và lưu trữ bằng các bình chứa sử dụng vật liệu mới. Việc chuyển



đổi hydrogen thành ammonia nhằm lưu trữ thuận tiện hơn cũng là một giải pháp đáng quan tâm. Ngoài ra, việc chuyển đổi hydrogen thành ammonia cũng tạo ra những lợi thế nhất định trong việc sử dụng loại ammonia sạch (green ammonia) để phục vụ cho những ngành công nghiệp nhất định như đã được mô tả ở những phần trên.

- *Sản phẩm hydrogen tùy theo phân loại có thể được sử dụng theo nhiều cách, và sử dụng một cách an toàn:* bên cạnh đặc thù có thể sử dụng trực tiếp hoặc gián tiếp, việc được sử dụng như là một nguồn nhiên liệu chủ đạo cho các hệ thống pin nhiên liệu fuel-cell cũng mở ra một tương lai rất hứa hẹn cho ngành công nghiệp hydrogen. Nhu cầu sử dụng fuel-cell đã tăng 30% trong giai đoạn từ 2020-2021, đạt tới gần 80000 hệ thống trên khắp thế giới, với trữ lượng điện tạo ra hơn 350 MW, trong khi chi phí giá thành đã giảm hơn 50% trong vòng 10 năm, tính từ 2013. Việc tiêu thụ hydrogen có thể được triển khai an toàn tuân theo những hướng dẫn tương tự như với các loại khí đốt, khí tự nhiên khác.

Để đạt được mục tiêu phát triển các ngành công nghiệp theo định hướng bền vững và hướng đến xã hội phát thải ròng bằng không. Nhu cầu chuyển đổi cơ cấu năng lượng hydrogen trong các nhóm ngành công nghiệp ngày càng được quan tâm đặc biệt là đối với các ngành công nghiệp nặng hay các ngành công nghiệp đặc thù có lượng phát thải carbon lớn. Nghiên cứu đề xuất một số giải pháp, lộ trình sử dụng hydrogen đối với các ngành công nghiệp cụ thể.

- *Ngành công nghiệp thép và sản xuất xi măng:* Việc sử dụng hydrogen như một nguồn năng lượng thay thế cho các dạng nhiên liệu hóa thạch như than hoặc khí tự nhiên trong quá trình cấp nhiệt có thể giảm thiểu lượng phát thải carbon và các chất gây ô nhiễm khác.

- 
- *Ngành công nghiệp hóa chất:* Hydrogen có thể được sử dụng làm nguyên liệu hoặc chất tạo điều kiện trong quá trình sản xuất hóa chất và tận dụng nguồn carbon thu được từ công nghệ CCUS để tham gia vào quy trình sản xuất giúp giảm thiểu phát thải và các chất ô nhiễm.
 - *Ngành giao thông vận tải:* Chuyển đổi cơ cấu sử dụng năng lượng có thể là một bước ngoặt lớn và phát triển cơ sở hạ tầng cho pin nhiên liệu là một thách thức cần vượt qua. Để có thể sử dụng hydrogen làm nhiên liệu cho các phương tiện giao thông, đường bộ, đường sắt, hàng hải và hàng không.
 - *Ngành năng lượng:* Sử dụng hydrogen xanh để tạo ra điện thông qua hệ thống pin nhiên liệu (fuel cells). Điện từ hydrogen có thể cung cấp nguồn năng lượng sạch cho các hệ thống điện lưới và ngành công nghiệp. Bên cạnh đó có thể dùng hydrogen để lưu trữ năng lượng và nguồn điện linh hoạt, thay vì sử dụng các dạng nhiên liệu hóa thạch để tạo ra năng lượng.
 - *Sản xuất hydrogen và CCUS:* Cần tiến hành sản xuất thí điểm các nhà máy sản xuất hydrogen xanh ở quy mô nhỏ. Bên cạnh đó triển khai nghiên cứu và đưa vào sử dụng các công nghệ CCUS ở các nhà máy lọc dầu, phân bón, nhà máy hóa chất để có thể tận dụng nguồn phát thải carbon từ quy trình sản xuất thành tài nguyên giá trị.

Như vậy, nghiên cứu này đã định hình được mối quan hệ khăng khít của nhiệm vụ hạn chế phát thải carbon trong sản xuất công nghiệp với quá trình chuyển dịch năng lượng an toàn mà việc sử dụng hydrogen giữ vai trò trọng tâm. Với những quyết tâm trong việc theo đuổi mục tiêu đạt được phát thải ròng bằng không trong giai đoạn 2050, Việt Nam đã có những bước đầu chuẩn bị và hoạch định kế hoạch tương lai cho ngành công nghiệp hydrogen thông qua quy hoạch điện VIII và các nghiên cứu, hướng dẫn được thực hiện bởi các đơn vị tư vấn có uy tín, và các chuyên gia có chuyên môn, trách nhiệm liên quan trong ngành công nghiệp này; Tuy nhiên, những chính sách, kế hoạch hành động, và dự án liên quan đến phát triển công nghiệp hydrogen tại Việt Nam vẫn còn rất hạn chế và chưa theo kịp tiến độ phát triển của



nhóm ngành này. Trên tinh thần đó, việc chuyển đổi năng lượng an toàn và đạt được hiệu quả trong việc cắt giảm phát thải carbon tại Việt Nam là hoàn toàn khả thi, dù rằng quy trình này còn mới mẻ, và cũng sẽ gặp phải nhiều thử thách trong khi triển khai.

Tài liệu tham khảo

- [1] Piao, S., Liu, Q., Chen, A., Janssens, I. A., Fu, Y., Dai, J., ... & Zhu, X. (2019). Plant phenology and global climate change: Current progresses and challenges. *Global change biology*, 25(6), 1922-1940.
<https://doi.org/10.1111/gcb.14619>.
- [2] Bayer, A.D., et al., Historical and future quantification of terrestrial carbon sequestration from a Greenhouse-Gas-Value perspective. *Global Environmental Change*, 2015. 32: pp. 153-164.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.03.004>.
- [3] Global Carbon Budget (2022), Annual total production-based emissions of carbon dioxide (CO₂), variable time-span 1750-2021, 04/2023.
<https://globalcarbonbudget.org/>
- [4] Mandová, H., et al., The challenge of reaching zero emissions in heavy industry. 2020, Tech. rep., International Energy 470 Agency (IEA).
<https://www.iea.org/articles/the-challenge-of-reaching-zero-emissions-in-heavy-industry>.
- [5] Climate change, World Health Organization.
<https://www.who.int/health-topics/climate-change>.
- [6] Exposure & health impacts of air pollution, World Health Organization.
<https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/exposure-air-pollution>.
- [7] [Infographics] Những sự thật kinh hoàng về biến đổi khí hậu (20/12/2021), TTXVN/Vietnam Plus.
<https://www.vietnamplus.vn/infographics-nhung-su-that-kinh-hoang-ve-bien-doi-khi-hau/762032.vnp>
- [8] Giải pháp dung hòa mục tiêu tăng trưởng và thích ứng biến đổi khí hậu (18/07/2022), Thời báo tài chính Việt Nam.
<https://thoibaotaichinhvietnam.vn/giai-phap-dung-hoa-muc-tieu-tang-truong-va-thich-ung-bien-doi-khi-hau-109034-109034.html>



[9] 4 solutions to help reduce carbon emissions from industrial clusters (04/03/2021), World Economic Forum.

<https://www.weforum.org/agenda/2021/03/reduce-emissions-industrial-clusters>.

[10] Industrial clusters are critical to getting to net zero. Here's why (29/10/2022), World Economic Forum.

<https://www.weforum.org/agenda/2020/10/industrial-clusters-can-be-a-key-lever-for-decarbonization-heres-why>.

[11] Electrification is key to an energy transition in transport, Agora Verkehrswende.

<https://www.agora-verkehrswende.de/en/12-insights/electrification-is-key-to-an-energy-transition-in-transport>.

[12] Annual CCUS 2022, Prospero Events Group.

<https://www.prosperoevents.com/event/2nd-annual-ccus-2022/#1640015683006-db9fb984-96ab>.

[13] Sören Amelang, German hydrogen strategy aims for global leadership in energy transition (10/06/2020), Clean Energy Wire.

<https://www.cleanenergywire.org/news/german-hydrogen-strategy-aims-global-leadership-energy-transition>.

[14] Yue, M., Lambert, H., Pahon, E., Roche, R., Jemei, S., & Hissel, D. (2021). Hydrogen energy systems: A critical review of technologies, applications, trends and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 146, 111180.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111180>.

[15] Qazi, U. Y. (2022). Future of hydrogen as an alternative fuel for next-generation industrial applications; challenges and expected opportunities. Energies, 15(13), 4741.

<https://doi.org/10.3390/en15134741>.

- 
- [16] Capurso, T., Stefanizzi, M., Torresi, M., & Camporeale, S. M. (2022). Perspective of the role of hydrogen in the 21st century energy transition. *Energy Conversion and Management*, 251, 114898.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114898>.
- [17] How Hydrogen Empowers the Energy Transition (15/01/2017), Hydrogen Council.
<https://hydrogencouncil.com/en/study-how-hydrogen-empowers>.
- [18] Japan faces obstacles in the push for renewable energy 03/2014, Nikkei Asia.
<https://asia.nikkei.com/Economy/Japan-faces-obstacles-in-push-for-renewable-energy>.
- [19] Aiming to Become Japan's Main Energy Source: Renewable Energy, Focus NEDO.
<https://www.nedo.go.jp/content/100942859.pdf>.
- [20] Yvaine Ye, Solar energy could turn the Belt and Road Initiative green (12/07/2019), Harvard John A. Paulson School Of Engineering And Applied Sciences.
<https://seas.harvard.edu/news/2019/07/solar-energy-could-turn-belt-and-road-initiative-green>.
- [21] Topolski, K., Reznicek, E. P., Erdener, B. C., San Marchi, C. W., Ronevich, J. A., Fring, L., ... & Chung, M. (2022). Hydrogen blending into natural gas pipeline infrastructure: a review of the State of technology.
<https://doi.org/10.2172/1893355>.
- [22] The power to change: solar and wind cost reduction potential to 2025 (06/2016), International Renewable Energy Agency
https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Power_to_Change_2016.pdf.
- [23] van Renssen, S. (2020). The hydrogen solution: *Nature Climate Change*, 10(9), 799-801.
<https://www.nature.com/articles/s41558-020-0891-0>.



[24] Sutherland, B. R. (2020). Sustainably heating heavy industry. *Joule*, 4(1), 14-16.

[https://www.cell.com/joule/pdf/S2542-4351\(19\)30635-X.pdf](https://www.cell.com/joule/pdf/S2542-4351(19)30635-X.pdf).

[25] Chí Hiếu, Nỗi lo thừa... điện (8/02/2021), Nhà xuất bản Báo Thanh Niên.

<https://thanhnien.vn/noi-lo-thua-dien-1851031859>.

[26] McKinsey & Company: A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis, 2012.

https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/htac_02_2011_hayter.pdf.

[27] IEA Energy Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells, 2015.

<https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-hydrogen-and-fuel-cells>.

[28] Sander-Green, L. (2020). Do we really need coal to make steel: Wildsight.

<https://wildsight.ca/2020/06/01/dowe-really-need-steelmaking-coal>.

[29] EIA. (2013). Hydrocracking is an important source of diesel and jet fuel.

<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php>.

[30] Ammonia production, Proton Ventures.

<https://protonventures.com/what-we-do/ammonia-production>.

[31] Lopez, G., Keiner, D., Fasihi, M., Koiranen, T., & Breyer, C. (2023). From fossil to green chemicals: sustainable pathways and new carbon feedstocks for the global chemical industry. *Energy & Environmental Science*.

<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/ee/d3ee00478c>.

[32] World's largest CO₂ to methanol plant starts production (26/10/2022), Carbon recycling international.

<https://www.carbonrecycling.is/news-media/worlds-largest-co2-to-methanol-plant-starts-production>.

[32] Ngành hydrogen - động lực tăng trưởng của nền kinh tế mới (01/09/2023), báo Đại biểu Nhân dân.



<https://daibieunhandan.vn/kinh-te-xa-hoi/nganh-hydrogen---dong-luc-tang-truong-cua-nen-kinh-te-moi-i341730/>

[33] Hydrogen responding to a dynamic environment, Herbert Smith Freehills.

<https://www.herbertsmithfreehills.com/latest-thinking/hydrogen>.

[34] John Kilner, Hydrogen production methods and its colors (17/05/2022), CIC Energigune.

<https://cicenergigune.com/en/blog/hydrogen-production-methods-colours>.

[35] Tran T.K, Tam N. M, Anh T. P, Quyet V, Leu H. J, Rudolf K. Hydrogen production from the tannery wastewater treatment by using agriculture supports membrane/adsorbents electrochemical system, International Journal of Hydrogen Energy, 45 (6), pp 3699-3711, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.05.040>.

[36] Tran T. K, Namkeun K, Cuong Q. L, Ngan K. V. T, Tam M. N, Leu H. J. Electrochemical preparation and characterization of polyaniline enhanced electrodes: an application for the removal of cadmium metals in industrial wastewater, Materials Chemistry, and Physics, 261, pp 1242211, 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.124221>.

[37] Luong, N. H., Giang, N. T. C., & Thuan, H. M. (2020). Sản xuất hydro từ các nguồn tái tạo và sử dụng trong các nhà máy chế biến dầu khí tại Việt Nam. Petrovietnam Journal, 11, 37-55.

<https://khcncongthuong.vn/tin-tuc/t8474/san-xuat-hydro-tu-cac-nguon-tai-cao-va-su-dung-trong-cac-nha-may-che-bien-dau-khi-tai-viet-nam.html>.

[38] Tapia, J. F. D., Lee, J. Y., Ooi, R. E., Foo, D. C., & Tan, R. R. (2018). A review of optimization and decision-making models for the planning of CO₂ capture, utilization, and storage (CCUS) systems. Sustainable Production and Consumption, 13, 1-15.

<https://doi.org/10.1016/j.spc.2017.10.001>



[39] IEA (2021), About CCUS, IEA, Paris.

<https://www.iea.org/reports/about-ccus>

[40] Michael Mann, Carbon Capture and Sequestration, METEO 469: From Meteorology to Mitigation: Understanding Global Warming, College of Earth and Mineral Sciences, The Pennsylvania State University.

<https://doi.org/10.47800/PVJ.2020.11-04>.

[41] Moradi, R., & Groth, K. M. (2019). Hydrogen storage and delivery: Review of the state of the art technologies and risk and reliability analysis. International Journal of Hydrogen Energy, 44(23), 12254-12269.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.041>.

[42] Douglas R MacFarlane et al., (2020). A Roadmap to the Ammonia Economy. Joule, 4 (6): 1186-1205.

<https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.04.004>.

[43] Gupta, R., Basile, A., & Veziroglu, T. N. (Eds.). (2016). Introduction to hydrogen transportation. In: Compendium of hydrogen energy: Hydrogen storage, distribution and infrastructure. Elsevier; 2016. p. 283–99.

<https://shop.elsevier.com/books/compendium-of-hydrogen-energy/gupta/978-1-78242-362-1>.

[44] Edwards, R. L., Font-Palma, C., & Howe, J. (2021). The status of hydrogen technologies in the UK: A multi-disciplinary review. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 43, 100901.

<https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100901>.

[45] Dodds, P. E., Staffell, I., Hawkes, A. D., Li, F., Grünewald, P., McDowall, W., & Ekins, P. (2015). Hydrogen and fuel cell technologies for heating: A review. International journal of hydrogen energy, 40(5), 2065-2083.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.11.059>.

[46] IEA - International Energy Agency, Hydrogen.

<https://www.iea.org/reports/hydrogen>.





[47] McWilliams B, Zachmann G. Navigating through hydrogen. Policy Contribution 2021.

<https://www.bruegel.org/policy-brief/navigating-through-hydrogen>.

[48] Kovač, A., Paranos, M., & Marciuš, D. (2021). Hydrogen in energy transition: A review. International Journal of Hydrogen Energy, 46(16), 10016-10035.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.256>.

[49] Stefanizzi Michele, et al. Recent Combustion Strategies in Gas Turbines for Propulsion and Power Generation toward a Zero-Emissions Future: Fuels, Burners, and Combustion Techniques. Energies 2021;14(20):6694.

<https://doi.org/10.3390/en14206694>.

[50] Airbus reveals new zero-emission concept aircraft (21/09/2020), AIRBUS.

<https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2020-09-airbus-reveals-new-zero-emission-concept-aircraft>.

[51] Blank, T., & Molloy, P. (2020). Hydrogen's decarbonization impact for industry: Near-term challenges and long-term potential. Rocky Mountain Institute.

[52] Sander-Green, L. (2020). Do we really need coal to make steel? Wildsight.

<https://wildsight.ca/2020/06/01/dowe-really-need-steelmaking-coal>.

[53] Đóng góp do quốc gia tự quyết định (NDC) - Cập nhật năm 2022 (30/03/2023), Cục Biến đổi khí hậu - Bộ Tài nguyên và Môi trường.

[http://www.dcc.gov.vn/kien-thuc/1127/Dong-gop-do-quoc-gia-tu-quyet-dinh-\(NDC\)---Cap-nhat-nam-2022.html](http://www.dcc.gov.vn/kien-thuc/1127/Dong-gop-do-quoc-gia-tu-quyet-dinh-(NDC)---Cap-nhat-nam-2022.html).

[54] Alberta hydrogen roadmap (11/2021), Alberta government

<https://www.alberta.ca/hydrogen-roadmap>.

[55] National Hydrogen Roadmap: An economically sustainable hydrogen industry in Australia (09/2023), CSIRO, Australia's National Science agency.

<https://www.csiro.au/en/work-with-us/services/consultancy-strategic-advice-services/csiro-futures/energy-and-resources/national-hydrogen-roadmap>.

[56] New Zealand's hydrogen roadmap (08/2023), Ministry of Business, Innovation & Employment, New Zealand Government.



<https://www.mbie.govt.nz/building-and-energy/energy-and-natural-resources/energy-strategies-for-new-zealand/hydrogen-in-new-zealand/roadmap-for-hydrogen-in-new-zealand>.

[57] Lithuanian hydrogen sector development roadmap and the action plan for its implementation (08/2023), OECD STIP compass
<https://stip.oecd.org/stip/interactive-dashboards/policy-initiatives/2023%2Fdata%2FpolicyInitiatives%2F99997109>.

[58] Hydrogen roadmap (05/2023), International Energy Agency (IEA)
<https://www.iea.org/policies/14596-hydrogen-roadmap>.

[59] Mneimneh, F., Ghazzawi, H., Abu Hejjeh, M., Manganelli, M., & Ramakrishna, S. (2023). Roadmap to achieving sustainable development via green hydrogen. *Energies*, 16(3), 1368.
<https://doi.org/10.3390/en16031368>.

[60] Enabling Measures Roadmap for Green Hydrogen (01/2022), World Economic Forum, IRENA.
https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Collaborative-Frameworks/IRENA_Enabling_Measures_Roadmap_for_Green_H2_Jan22.pdf.

[61] Road Map to a US Hydrogen Economy: New Report Offers Road Map to US Hydrogen Energy Leadership (01/2021), Fuel Cell & Hydrogen Energy Association.
<https://www.fchea.org/us-hydrogen-study>.

[62] Hydrogen Industry Development Workforce Roadmap 2022-2032, Queensland Government
<https://www.qld.gov.au/about/newsroom/hydrogen-industry-development-workforce-roadmap-2022-2032>.

Thông tin xuất bản

CÔNG TY CỔ PHẦN SÁNG TẠO XANH VIỆT NAM (GREEN IN)
Nhà C1X3, Tổ 12, Phường Cầu Diễn, Quận Nam Từ Liêm, Hà Nội

Điện thoại: 0979 786 242

Website: greeninvietnam.org

Fanpage/Youtube: GREEN IN Vietnam

Email: admin@greeninvietnam.org.vn

Tác giả

TS. Trần Thiện Khánh - ĐH Công nghệ Đồng Nai

Góp ý chuyên môn

1. Tiến sỹ Nguyễn Hữu Lương, Viện Dầu Khí Việt Nam (VPI)
2. Tiến sỹ Lê Quang Dũng, Công ty TNHH LAC European

Thiết kế trang bìa

Đinh Trần Hương Nguyên

Địa điểm và thời gian xuất bản

Hà Nội, Việt Nam

Bản quyền tài liệu thuộc về Công ty Cổ phần Sáng tạo Xanh Việt Nam (GREEN IN)

Số ĐKXB: 2118-2024/CXBIPH/5-86/DT ngày 19/06/2024

Quyết định xuất bản của NXB Dân Trí số: 1752/QĐXB-NXBĐT ngày 19/06/2024

Mã số ISBN: 978-604-40-3734-9

