



CUỘC HỌP CHUYÊN TRÁCH CỦA  
NHÓM CÔNG TÁC VỀ GIẢM PHÁT  
THẢI KNK TỪ TÀU BIỂN  
Phiên họp thứ 15  
Chương trình nghị sự mục 2

ISWG-GHG 15/INF.2  
Ngày 15 tháng 5 năm 2023  
CHỈ CÓ TIẾNG ANH  
Phát hành công khai trước phiên họp:

## TIẾP TỤC XEM XÉT VÀ HOÀN THIỆN VIỆC XÂY DỰNG DỰ THẢO CHIẾN LƯỢC SỬA ĐỔI CỦA IMO VỀ GIẢM PHÁT THẢI KNK TỪ TÀU BIỂN

### Tính sẵn sàng thương mại của các công nghệ tuyệt đối không có KNK ZESTA

#### TÓM TẮT

*Tóm tắt:*

Tài liệu này trình bày chi tiết về mức độ sẵn sàng về mặt kỹ thuật và thương mại của các công nghệ tuyệt đối không có KNK đã được xây dựng và xác nhận trong môi trường hoạt động trên biển. Một số nghiên cứu điển hình được cung cấp. Một số công nghệ như vậy đang hoạt động trên cơ sở thương mại, bao gồm cả trên các con tàu tuyệt đối không có KNK. Công nghệ cần thiết cho chuỗi cung ứng hàng hải tuyệt đối không có KNK đang được áp dụng sớm. Việc xác định các tiêu chuẩn đang diễn ra đối với một số công nghệ và công tác đào tạo đoàn thuyền viên đã được thiết lập cho từng mức độ khác nhau. Có thể đạt được các tàu tuyệt đối không có KNK với kích thước và công suất lớn hơn bằng cách kết hợp các công nghệ thương mại hóa khác nhau.

*Định hướng chiến lược, nếu có:*

3

*Kết quả đầu ra:*

3.4

*Hành động cần thực hiện:*

Đoạn 18

*Tài liệu liên quan:*

MEPC 78/7, MEPC 79/INF.21; ISWG-GHG 12/3, ISWG-GHG 13/3/9 và nghị quyết MEPC.304(72)

## Giới thiệu về công nghệ tuyệt đối không có KNK

1 MEPC 72 đã phê duyệt và thông qua *Chiến lược ban đầu của IMO về giảm phát thải KNK từ tàu biển* (nghị quyết MEPC.304(72)), theo đuổi mục tiêu giảm lượng phát thải CO<sub>2</sub> trên mỗi công việc vận chuyển, trung bình trên toàn ngành vận tải biển quốc tế, ít nhất 40% vào năm 2030, theo đuổi các nỗ lực hướng tới 70% vào năm 2050, so với năm 2008.

2 Tài liệu ISWG-GHG 13/3/9 (WSC) đã định nghĩa thuật ngữ "tuyệt đối không có" là nguồn năng lượng "không tạo ra lượng phát thải khí carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) hoặc các loại khí nhà kính (KNK) khác trên tất cả các phạm vi, tức là nơi không có phát thải trực tiếp từ tiêu thụ nhiên liệu hoặc phát thải gián tiếp từ năng lượng mua hoặc bất kỳ lượng phát thải KNK nào từ quá trình sản xuất đến quá trình sử dụng cuối cùng." Như tài liệu MEPC 78/7 và ISWG-GHG 12/3 (WSC) đã thảo luận, năng lượng tái tạo là nguồn sản xuất nhiên liệu hàng hải "tuyệt đối không có" KNK.

3 Tài liệu này trình bày nghiên cứu của ZESTA có tựa đề *Mức độ sẵn sàng về thương mại của các công nghệ tuyệt đối không có KNK*, như được trình bày trong phụ lục.

4 Mô hình MARIN NL cho ESSF SAPS (được trích dẫn trong tài liệu ISWG-GHG 13/3/9) so sánh vô số lượng phát thải KNK WtW của nhiên liệu hàng hải thông thường và tiềm năng trong Tiềm năng Nóng lên Toàn cầu (GWP) trong 100 năm và thấy rằng một con số thực sự tạo ra lượng phát thải KNK WtW 0% trong GWP 100 năm. Những loại nhiên liệu tuyệt đối không có KNK này sẽ được xem xét trong nghiên cứu.

5 Mức độ sẵn sàng về công nghệ (TRL) và Mức độ sẵn sàng về thương mại (CRL) được đề cập đến trong suốt nghiên cứu (**Bảng 1**). Những điều này tuân theo các định nghĩa mở rộng như được trình bày trong ISWG-GHG 14 vào ngày 22 tháng 3 năm 2023 bởi Ban thư ký IMO, DNV và Ricardo plc: *Cập nhật về dự án Công nghệ & Nhiên liệu Tương lai của IMO* (Dự án FFT).

**Bảng 1: Mức độ sẵn sàng về công nghệ (TRL) được mở rộng để phù hợp với mức độ sẵn sàng về thương mại (CRL)<sup>1</sup>**

Mức độ hoàn thiện	Xếp hạng	Mô tả mức độ sẵn sàng
Nghiên cứu cơ bản	TRL1	Các nguyên tắc cơ bản của nghiên cứu khoa học được quan sát và báo cáo
	TRL2	Sáng chế và nghiên cứu ứng dụng thực tế
	TRL3	Bằng chứng về khái niệm với các nghiên cứu phân tích và thử nghiệm để xác nhận các nguyên tắc quan trọng của các yếu tố riêng lẻ của công nghệ

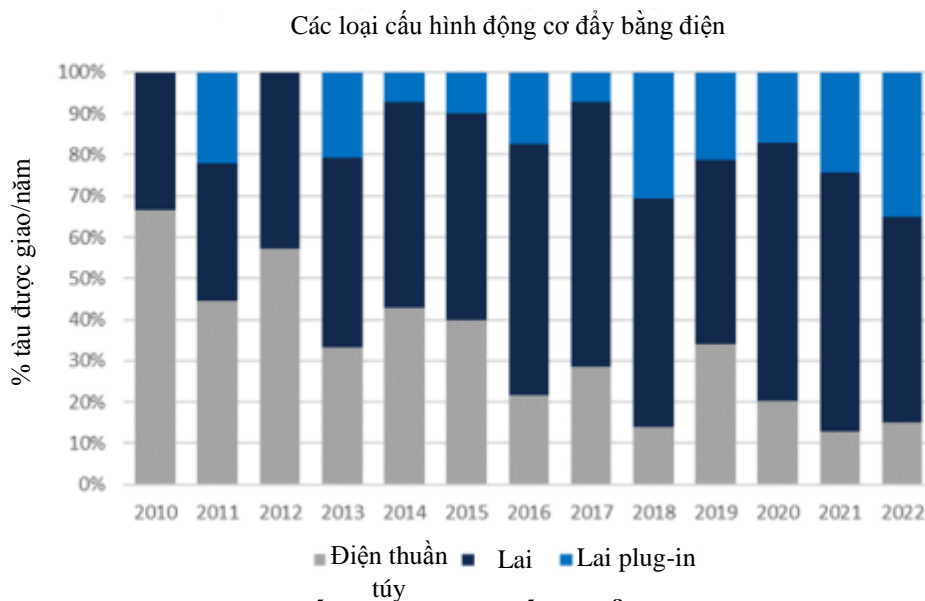
<sup>1</sup> Điều chỉnh từ bản trình bày cho ISWG-GHG 14 vào ngày 22 tháng 3 năm 2023 của Ban thư ký IMO, DNV and Ricardo plc.

<b>Phát triển</b>	TRL4	Phát triển và xác nhận thành phần trong phòng thí nghiệm
	TRL5	Thử nghiệm quy mô thí điểm các thành phần trong môi trường mô phỏng để chứng minh các khía cạnh cụ thể của thiết kế
	TRL6	Hệ thống nguyên mẫu được xây dựng và thử nghiệm trong môi trường mô phỏng
<b>Trình diễn</b>	TRL7	Hệ thống nguyên mẫu được xây dựng và xác nhận trong môi trường hoạt động trên biển
	TRL8	Vận hành tích cực khi hệ thống thực tế được chứng minh là hoạt động ở dạng cuối cùng trong các điều kiện vận hành hàng hải dự kiến
<b>Triển khai: áp dụng sớm</b>	TRL/CRL9	Ứng dụng vận hành của hệ thống trên cơ sở thương mại - sẵn sàng về mặt kỹ thuật nhưng số lượng tàu/cơ sở vật chất tiên tiến nhất còn hạn chế
	CRL10	Tích hợp cần thiết ở quy mô lớn: giải pháp mang tính thương mại nhưng cần nỗ lực tích hợp hơn nữa để đạt được tiềm năng đầy đủ - có thể là 100 hoặc vài 1000 tàu hoặc một số ít cơ sở có quy mô nhỏ, thị phần nhỏ
<b>Hoàn thiện</b>	CRL11	Đã đạt được bằng chứng về sự ổn định, với mức tăng trưởng có thể dự đoán được

6 Chỉ những công nghệ ít nhất đã được trình diễn, tức là được xây dựng và xác nhận trong môi trường hoạt động trên biển (TRL7 trở lên), mới được xem xét.

### Kết quả

7 Hệ thống điện các loại đã sẵn sàng về mặt thương mại. Các hệ thống điện thuần túy tạo ra KNK tuyệt đối bằng 0 và ở mức CRL10 trên một số loại tàu nhất định, đáng chú ý nhất là phà RoPax lên tới khoảng 11.000 GT, nhưng cũng được chứng minh trên tàu kéo lên tới 70 BP, tàu chở dầu nhiên liệu và tàu container 120 TEU. Các tàu lai điện đã chứng kiến sự phổ biến lớn nhất của Hệ thống tích trữ năng lượng pin (ESS) và mức độ sẵn sàng về thương mại cao nhất (CRL11), bao gồm sự kết hợp của cả hệ thống lai LNG hoặc diesel thông thường và hệ thống điện-hydro lai. ESS lai plug-in được thương mại hóa ở mức CRL10, nhưng, giống như tàu điện thuần túy, bị hạn chế bởi cơ sở hạ tầng sạc cố định.



**Hình 1: Các loại cấu hình hệ thống đẩy khác nhau với pin<sup>2</sup>**

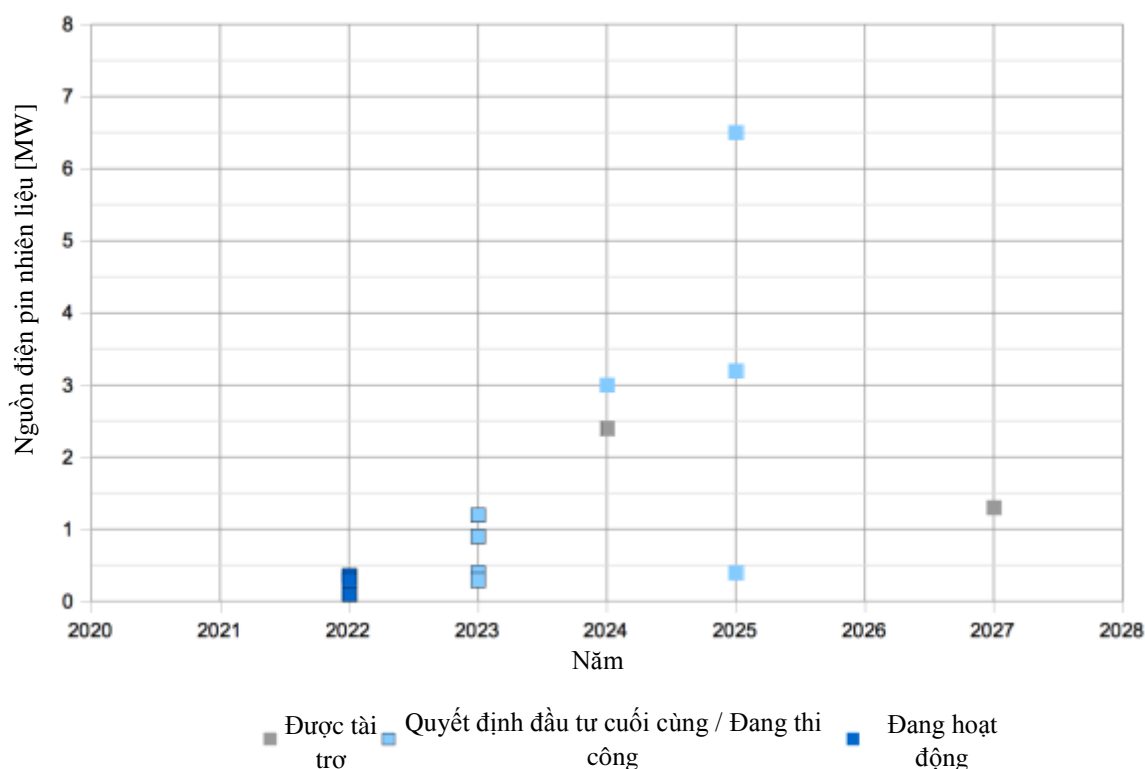
8 Cơ sở hạ tầng sạc cố định đã phát triển lên đến CRL10 để đáp ứng các yêu cầu của tàu điện thuần túy và lai plug-in. Pin có thể thay thế cho phép sạc lại khi các điểm sạc cố định không thể đáp ứng yêu cầu vận hành. Pin có thể thay thế hiện đang ở mức TRL/CRL9 nhưng dự kiến sẽ đạt CRL10 vào cuối năm 2023. Đối với khu vực ngoài khơi, việc sạc tại một trang trại gió ngoài khơi đã được chứng minh (TRL7). Điện tái tạo để sạc đã được đảm bảo trong một số trường hợp bằng cách sử dụng hợp đồng mua bán hoặc bằng cách sử dụng năng lượng tái tạo tại chỗ.



**Hình 2: Kết nối sạc 10.5 MW bên bờ cho phà chở khách Aurora af Helsingborg và Tycho Brahe**

<sup>2</sup> Maritime Battery Forum, Cơ quan Đăng kiểm tàu biển

9 Pin nhiên liệu hydro đã được thương mại hóa (TRL/CRL9). Hiện tại, hệ thống pin nhiên liệu được lắp đặt lớn nhất có công suất 0.4 MW trên phà MF Hydra 2.700 GT RoPax. Thông báo công khai về các hệ thống để đi đến quyết định đầu tư cuối cùng cho thấy, hai hệ thống pin nhiên liệu công suất 6.5 MW dự kiến sẽ được lắp đặt trước tháng 10 năm 2025 để làm động cơ đẩy chính cho các phà RoPax khoảng 5.000 GT mỗi chiếc. Hệ thống pin nhiên liệu cung cấp nguồn điện phụ trợ tồn tại trên những con tàu lớn hơn nhiều. Quá trình phê duyệt đầy thử thách nhưng dự kiến sẽ được tạo điều kiện thuận lợi với kinh nghiệm ngày càng tăng.

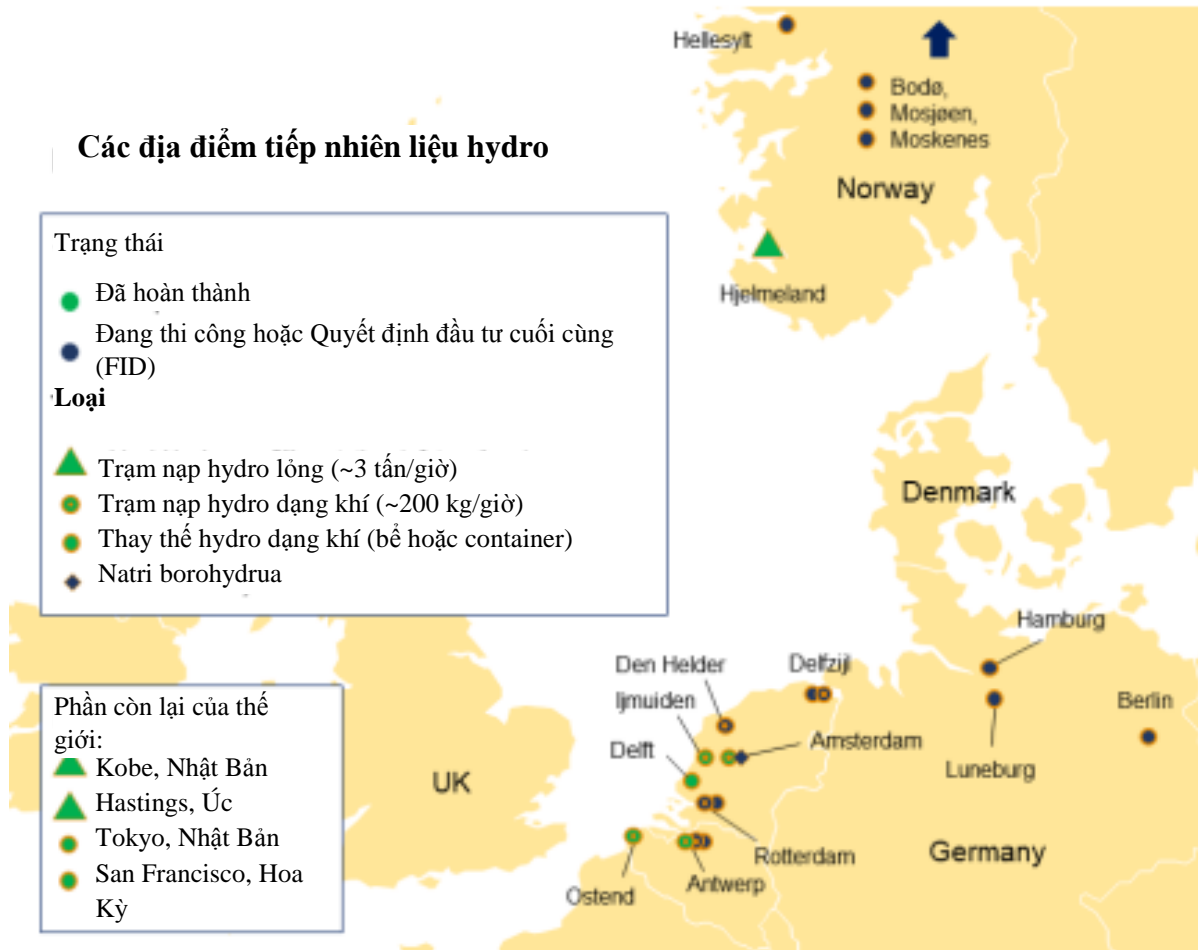


**Hình 3: Đầu ra công suất danh nghĩa của hệ thống pin nhiên liệu được lắp đặt cho các tàu hiện có và dự kiến**

10 Việc lưu trữ hydro trên tàu ở nhiều dạng khác nhau được thương mại hóa: hydro lỏng, hydro dạng khí nén và hydrua kim loại đều là TRL/CRL9. Hydro lỏng được lưu trữ trong các bể đông lạnh cách nhiệt chân không ở  $-253^{\circ}\text{C}$ . Hydro nén được lưu trữ trong các bể hình trụ ở áp suất lên tới 700 bar. Dung lượng lưu trữ trên các tàu hiện có lớn hơn đáng kể đối với hydro lỏng (lên tới 5.700 kg trên MF Hydra) so với hydro nén (lên tới 750 kg ở mức 700 bar trên Elektra).

11 Việc tiếp nhiên liệu hydro ở nhiều dạng khác nhau có sẵn ở một số địa điểm trên khắp thế giới. Việc tiếp nhiên liệu hydro lỏng sử dụng hệ thống di động đã được phát triển để khắc phục tình trạng tắc nghẽn trong việc cung cấp hydro lỏng quy mô lớn và là TRL/CRL9. Các hệ thống cố định là TRL8, đã

chứng minh việc chuyển từ bờ sang tàu tại các bến hydro lỏng ở Nhật Bản và Úc. Việc tiếp nhiên liệu hydro nén được thương mại hóa ở các áp suất khác nhau (TRL/CRL9). Tốc độ truyền nhiên liệu đối với hydro lỏng (lên đến 3.000 kg/giờ) cao hơn so với khí nén (lên đến 220 kg/giờ). Việc hoán đổi bình hydro nén để tiếp nhiên liệu nhanh chóng là ở mức TRL/CRL9.



**Hình 4: Bản đồ các vị trí tiếp nhiên liệu hydro trên toàn cầu tháng 4 năm 2023**



**Hình 5: Tháp tiếp nhiên liệu hydro lỏng di động do Norled thiết kế và sở hữu được gắn vào một xe moóc ống, tiếp nhiên liệu cho phà chở khách Hydra (Nguồn: Norled)**

12 Công nghệ sản xuất nhiên liệu hydro "xanh" (tuyệt đối không có KNK) đang được áp dụng sớm. Máy điện phân là CRL10 với công suất lắp đặt 600 MW trên toàn cầu vào năm 2022, tương ứng với khoảng 90.000 tấn/năm. Thêm 1,6 GW công suất dự kiến sẽ đi vào hoạt động trong năm 2023. Phần lớn công suất lắp đặt được đặt tại Trung Quốc trong khi công suất sản xuất máy điện phân (8 GW/năm vào năm 2022) được đặt tại Châu Âu, Hoa Kỳ, Hàn Quốc và Nhật Bản.

13 Các công nghệ cần thiết cho chuỗi cung ứng nhiên liệu hydro hàng hải được triển khai và áp dụng sớm. Việc lưu trữ hydro trên bờ quy mô lớn ở mức TRL/CRL9, ở dạng lỏng trong bể chứa hoặc nén trong hang muối ngầm. Bể hydro lỏng đang hoạt động lớn nhất có sức chứa 336 tấn trong khi hang muối đang hoạt động lớn nhất có sức chứa lên tới 1,5 triệu tấn (ở 150 bar). Quá trình hóa lỏng hydro ở mức CRL10 với các cơ sở vật chất có thể cung cấp tới 90 tấn/ngày. Một bồn chứa hydro lỏng 178 tấn được lắp đặt cho mục đích vận chuyển từ bờ sang tàu tại một bến cảng nhập khẩu ở Nhật Bản. Vận chuyển hydro nén sử dụng đường ống là một công nghệ đã được thiết lập (CRL11),

trong khi vận chuyển bằng đường biển là TRL/CRL9 (dạng lỏng, lên đến 90 tấn) và bằng đường bộ là CRL10, cho cả dạng lỏng và khí nén.

14 Công nghệ đẩy bằng gió được trình bày chi tiết trong tài liệu MEPC 79/INF.21 (Comoros và cộng sự) và ở TRL/CRL9 đối với cánh buồm rotor, cánh hút, cánh buồm cứng, cánh điều và buồm mềm/lai. Cánh buồm rotor, cánh buồm cứng và cánh điều dự kiến sẽ đạt CRL10 ít nhất vào năm 2025.

15 Sự kết hợp các công nghệ tuyệt đối không có KNK tạo thuận lợi cho các con tàu tuyệt đối không có KNK. Hệ thống điện là nền tảng của những con tàu tuyệt đối không có KNK. Bằng cách tích hợp các hệ thống điện với pin nhiên liệu hydro, động cơ đẩy bằng gió và các công nghệ bổ sung để tăng hiệu quả sử dụng năng lượng hoặc tạo ra năng lượng tái tạo trên tàu, có thể đạt được các tàu tuyệt đối không có KNK có kích thước và công suất lớn hơn bằng cách sử dụng công nghệ đã được chứng minh và thương mại hóa.

16 Các khóa đào tạo thuyền viên cho hệ thống điện đã được thiết lập rõ ràng trong Công ước quốc tế về Tiêu chuẩn về năng lực Đào tạo, Chứng nhận và Trục ca cho thuyền viên (STCW) nhưng một số khía cạnh không được đề cập đầy đủ như quản lý và an toàn của pin năng cao. Đào tạo đoàn thuyền viên về nhiên liệu hydro được kết hợp về mặt kỹ thuật trong cấu trúc đào tạo của Bộ luật IGF nhưng thiếu phạm vi để giải quyết các chi tiết cụ thể của hệ thống hydro. Một khóa đào tạo đoàn thuyền viên về hydro được Quốc gia tàu treo cờ công nhận đã được phát triển ở Vương quốc Anh như một phần tiếp theo của khóa đào tạo LNG/IGF. Động cơ đẩy bằng gió thiếu cơ cấu đào tạo đoàn thuyền viên rõ ràng cho các hoạt động thương mại nhưng các khóa học được cung cấp bởi các trường đại học.

17 Các nghiên cứu điển hình được tham khảo trong suốt nghiên cứu và được tìm thấy trong phần Phụ lục. Chúng cung cấp các chi tiết bổ sung và dữ liệu đặc tả kỹ thuật về các công nghệ và tàu mẫu.

**Bảng 2: Danh sách tất cả các TRL và CRL của các công nghệ được trình bày trong nghiên cứu sau**

Công nghệ	TRL/CRL
<b>Hệ thống điện</b>	
Hệ thống tích trữ năng lượng pin (ESS) trên tàu điện thuần túy	CRL10, lên tới ~11.000 GT
Hệ thống tích trữ năng lượng pin (ESS) trên tàu lai plug-in	CRL10, tất cả các cỡ tàu



<b>Công nghệ</b>	<b>TRL/CRL</b>
Hệ thống tích trữ năng lượng pin (ESS) trên tàu lai điện	CRL11, tất cả các cỡ tàu
Hệ thống sạc cố định trên bờ	CRL10
Hệ thống sạc cố định ngoài khơi	TRL7
Sạc pin có thể thay thế	TRL/CRL9 đến CRL10
Động cơ đẩy điện	CRL11, lên tới 41 MW (lên tới 80 MW trên tàu hải quân)
Bộ đẩy vô điện	CRL11, lên tới 22 MW
Bộ truyền động điện	CRL11, lên tới 30 MW/động cơ hoặc 50 MW/hệ thống
<b>Động cơ đẩy hydro</b>	
Hệ thống pin nhiên liệu PEM nhiệt độ thấp cho nguồn điện của động cơ đẩy chính	TRL/CRL9 trên tàu lên đến 2700 GT
Hệ thống pin nhiên liệu PEM nhiệt độ thấp cho nguồn điện phụ trợ	TRL/CRL9
Lưu trữ hydro lỏng trên tàu	TRL/CRL9, lên đến 5700 kg với BOG bằng 0
Lưu trữ hydro nén trên tàu	TRL/CRL9, tối đa 750 kg, tối đa 700 bar
Lưu trữ hydrua kim loại	TRL/CRL9
Nạp trực tiếp hydro lỏng từ tàu vào bờ (di động)	TRL/CRL9, lên tới 3.000 kg/giờ
Nạp trực tiếp hydro lỏng từ tàu vào bờ (cố định)	TRL8
Nạp trực tiếp hydro nén từ tàu vào bờ (cố định)	TRL/CRL9, lên tới 220 kg/giờ
Thay thế bình/thùng chứa hydro nén	TRL/CRL9
Tiếp nhiên liệu hydrua kim loại	TRL8
<b>Cơ sở hạ tầng và sản xuất hydro xanh</b>	
<i>Sản xuất hydro xanh</i>	
Máy điện phân kiềm (AE)	CRL10
Máy điện phân màng trao đổi proton (PEM) CRL10	CRL10
<i>Lưu trữ quy mô lớn</i>	
Bình hydro lỏng	TRL/CRL9 lên tới 336 tấn, CRL10 với công suất nhỏ hơn

<b>Công nghệ</b>	<b>TRL/CRL</b>
Hóa lỏng	CRL10, tối đa 90 tấn/ngày
Lưu trữ hàng muối khí nén	TRL/CRL9, lên tới 1,5 triệu tấn
<b>Vận chuyển</b>	
Đường ống (hydro nén)	CRL11
<b>Công nghệ</b>	<b>TRL/CRL</b>
Vận chuyển hydro lỏng bằng đường biển	TRL/CRL9, lên tới 90 tấn
Vận chuyển amoniac lỏng bằng đường biển	CRL11
Vận tải đường bộ (hydro lỏng)	CRL10
Vận tải đường bộ (hydro nén)	CRL10
Bến cảng hydro lỏng	TRL/CRL9
<b>Động cơ đẩy bằng gió</b>	
Cánh buồm rotor	TRL/CRL9
Cánh hút	TRL/CRL9
Cánh buồm cứng	TRL/CRL9
Cánh điều	TRL/CRL9
Cánh buồm mềm/lai	TRL/CRL9
<b>Công nghệ tiết kiệm năng lượng</b>	
Bôi trơn không khí	CRL10
Cánh gió thân tàu	TRL/CRL9
<b>Công nghệ phát điện tái tạo trên tàu</b>	
Cánh hướng gió hình cung	TRL/CRL9
Lá hình cung	TRL/CRL9
Tấm năng lượng mặt trời trên tàu	TRL/CRL9

### **Hành động được yêu cầu của Nhóm Công tác**

18 Nhóm được đề nghị lưu ý thông tin có trong tài liệu này và phụ lục của tài liệu.

\*\*\*

PHỤ LỤC

# Mức độ sẵn sàng về thương mại của các công nghệ tuyệt đối không có KNK



Hiệp hội Công nghệ Tàu Không Phát thải

Ngày 12 tháng 5 năm 2023



# Mục lục

Danh mục hình .....	2
Danh mục bảng .....	3
Từ viết tắt và định nghĩa .....	4
1. Hệ thống điện .....	5
1.1 Pin hàng hải .....	5
1.1.1 Các loại hệ thống điện .....	8
1.1.1.1 Điện thuần túy: chỉ dùng pin làm nguồn năng lượng, sử dụng hệ thống sạc....	9
1.1.1.2 Lai điện: pin kết hợp với một nguồn năng lượng khác trên tàu.....	10
1.1.1.3 Lai plug-in: pin có hệ thống sạc chuyên dụng và kết hợp với một nguồn năng lượng tích hợp khác .....	10
1.1.1.4 Danh sách ESS pin đã lắp đặt được chọn .....	11
1.1.2 Cơ sở hạ tầng sạc .....	14
1.1.2.1 Sạc cố định.....	14
1.1.2.2 Sạc lại pin có thể thay thế .....	16
1.1.3 Các loại pin hàng hải .....	17
1.1.3.1 Bộ pin.....	18
1.1.3.2 Hệ thống pin.....	18
1.1.4 Hệ thống quản lý pin .....	19
1.1.5 Sử dụng pin trên toàn thế giới .....	19
1.1.5.1 Kích thước pin ngày càng tăng .....	20
1.1.5.2 Nhà sản xuất pin hàng hải.....	22
1.2 Động cơ điện, Bộ đẩy và Bộ truyền động.....	23
2. Động cơ đẩy hydro .....	24
2.1 Pin nhiên liệu .....	26
2.2 Dự trữ nhiên liệu trên tàu.....	31
2.2.1 Hydro lỏng.....	32
2.2.2 Hydro nén .....	34
2.3 Phê duyệt, An toàn và Phân loại Tàu.....	36
2.4 Tiếp nhiên liệu hydro .....	37
2.4.1 Hydro lỏng.....	38
2.4.2 Hydro nén .....	42
3. Cơ sở hạ tầng & sản xuất hydro xanh.....	44
3.1 Sản xuất.....	44
3.2 Lưu trữ quy mô lớn.....	46

3.3	Vận chuyển .....	48
3.4	Bến cảng hydro lỏng .....	50
4.	Động cơ đẩy bằng gió.....	51
5.	Kết hợp các công nghệ để đạt được mức giảm phát thải sâu và tuyệt đối bằng 0.....	53
6.	Đào tạo đoàn thuyền viên .....	56
6.1	Đào tạo về hệ thống điện .....	56
6.2	Đào tạo hydro.....	57
6.3	Đào tạo về động cơ đẩy bằng gió.....	58
7.	Kết luận .....	58
	Tài liệu tham khảo .....	60
	Phụ lục: Nghiên cứu điển hình .....	65

## Danh mục hình

Hình 1:	Tổng số tàu chạy bằng pin, tháng 3 năm 2023 <sup>2</sup> .....	6
Hình 2:	Số lượng tàu chạy bằng pin trên mỗi loại tàu, tháng 3 năm 2023 <sup>2</sup> .....	6
Hình 3:	Các loại ứng dụng khác nhau cho pin trên tàu .....	7
Hình 4:	Các loại cấu hình hệ thống đẩy khác nhau bằng pin, tháng 9 năm 2023 <sup>2</sup> .....	8
Hình 5:	Kết nối sạc 10,5 MW bên bờ cho phà chở khách Aurora af Helsingborg và Tycho Brahe (hình ảnh: ZESTA).....	15
Hình 6:	ESS có thể thay thế trong container ISO 20 foot đang hoạt động trên tàu nội địa Alphenaar (ảnh: Zero Emission Services). .....	17
Hình 7:	Các loại hóa chất pin được lắp đặt theo số lượng tàu, tháng 9 năm 2022 <sup>2</sup> .....	18
Hình 8:	Các kiểu thiết kế hệ thống pin hàng hải khác nhau .....	19
Hình 9:	Khu vực hoạt động của đội tàu chạy bằng pin, tháng 9/2022 <sup>2</sup> .....	19
Hình 10:	Các tàu chạy bằng pin mới đang hoạt động theo khu vực tính theo tỷ lệ phần trăm trên tổng số mỗi năm, tháng 9 năm 2022 <sup>2</sup> .....	20
Hình 11:	Vị trí của các tàu chạy bằng pin đã đăng ký với IMO, tháng 1 năm 2023 <sup>2</sup> .....	20
Hình 12:	Dung lượng pin lắp đặt trung bình trên mỗi tàu trong một năm lắp đặt <sup>2</sup> .....	21
Hình 13:	Dung lượng lắp đặt trung bình trên mỗi loại tàu, tháng 9 năm 2022 <sup>2</sup> .....	22
Hình 14:	Tăng số lượng nhà cung cấp pin hàng hải trong Sổ đăng ký Tàu MBF, tháng 3 năm 2023 <sup>2</sup> .....	23
Hình 15:	Sơ đồ phản ứng màng trao đổi proton nhiệt độ thấp (LT-PEM). .....	27
Hình 16:	Ví dụ về mô-đun pin nhiên liệu có sẵn trên thị trường (trái: PowerCell Sweden AB; phải: Nedstack). Các mô-đun có thể được nối tiếp cho đầu ra công suất nhiều MW. ....	27
Hình 17:	Đầu ra công suất danh định của hệ thống pin nhiên liệu được lắp đặt cho các tàu hiện có và dự kiến.....	29
Hình 18:	Giá đỡ bình chứa hydro nén được đóng container (Ảnh: Hexagon Composites ASA).Metal Hydrides .....	35
Hình 19:	Bản đồ các vị trí tiếp nhiên liệu hydro trên toàn cầu vào tháng 4 năm 2023 (tác phẩm của chính tác giả). .....	38
Hình 20:	Tháp tiếp nhiên liệu hydro lỏng di động do Norled thiết kế và sở hữu được gắn vào một xe moóc ống, tiếp nhiên liệu cho phà chở khách Hydra. Ảnh: Norled AS. ....	39

Hình 21: Sơ đồ hệ thống tiếp nhiên liệu hydro lỏng điển hình cung cấp trực tiếp đến kho chứa trên tàu, tương tự như hệ thống do Norled AS thiết kế và vận hành cho MF Hydra <sup>47</sup> .....	40
Hình 22: Một hệ thống cần trục bốc hàng cố định từ tàu vào bờ (LAS) được lắp đặt trong bến cảng hydro tại cảng Kobe, Nhật Bản. Nguồn: HySTRA.....	41
Hình 23: Bồn chứa hydro lỏng lớn thứ ba thế giới là một phần của bến cảng nhập khẩu tại Cảng Kobe, Nhật Bản và có thể chứa 178 tấn <sup>68</sup> (ảnh: HyTouch Kobe).....	47
Hình 24: Sà lan hydro lỏng neo đậu tại Trung tâm Vũ trụ Stennis năm 1977. Nguồn: NASA/Stennis. ....	48
Hình 25: Tàu chở hydro lỏng đầu tiên trên thế giới Suiso Frontier cập bến tại một bến cảng hydro ở Cảng Kobe, Nhật Bản. Ảnh: HySTRA. ....	49
Hình 26: Ví dụ về nền móng cánh buồm rotor gấp bao gồm xi lanh hệ thống nghiêng. Ảnh: Dealfeng New Energy Technology Ltd.). ....	51

## Danh mục bảng

Bảng 1: Tóm tắt Mức độ sẵn sàng về Công nghệ (TRL) và Mức độ sẵn sàng về Thương mại (CRL) của các công nghệ cho hệ thống điện.....	5
Bảng 2: Danh sách ESS pin được chọn lắp đặt trên tàu theo loại hệ thống. Tài liệu tham khảo về Nghiên cứu điển hình (CS) trong Phụ lục được đưa ra khi thích hợp .....	12
Bảng 3: Tóm tắt Mức độ sẵn sàng về Công nghệ (TRL) và Mức độ sẵn sàng về thương mại (CRL) của các công nghệ cho hệ thống hydro .....	25
Bảng 4: Thông số kỹ thuật của sản phẩm PEMFC. Phỏng theo Elkafas và cộng sự, 2022 <sup>28</sup> . Tài liệu tham khảo về Nghiên cứu điển hình (CS) trong Phụ lục được đưa ra khi thích hợp. ....	28
Bảng 5: Danh sách lắp đặt hệ thống pin nhiên liệu được công bố công khai có công suất trên 100 kW (0,1 MW). Tài liệu tham khảo cho Nghiên cứu điển hình (CS) được đưa ra khi thích hợp. ....	30
Bảng 6: So sánh các hệ thống tiếp nhiên liệu hydro lỏng.....	40
Bảng 7: Danh sách các tiêu chuẩn liên quan đến hệ thống tiếp nhiên liệu hydro .....	43
Bảng 8: Tóm tắt Mức độ sẵn sàng về Công nghệ (TRL) và Mức độ sẵn sàng về thương mại (CRL) của các công nghệ sản xuất hydro xanh và cơ sở hạ tầng.....	44
Bảng 9: Bồn chứa hydro lỏng lớn nhất trên toàn cầu. Tài liệu tham khảo về Nghiên cứu điển hình (CS) trong Phụ lục được đưa ra khi thích hợp.....	46
Bảng 10: Tóm tắt Mức độ sẵn sàng về Công nghệ (TRL) và Mức độ sẵn sàng về thương mại (CRL) của các công nghệ đẩy bằng gió.....	52
Bảng 11: Tóm tắt các công nghệ bổ sung để tiếp tục giảm nhu cầu năng lượng trên tàu, bao gồm Mức độ sẵn sàng về công nghệ (TRL) và Mức độ sẵn sàng về thương mại (CRL).....	54

## Từ viết tắt và định nghĩa

BMS	Hệ thống quản lý pin
CEN	Ủy ban Tiêu chuẩn hóa Châu Âu
CS	Nghiên cứu điển hình
CTV	Tàu vận chuyển thuyền viên
ESS	Hệ thống tích trữ năng lượng
FC	Pin nhiên liệu
FID	Quyết định đầu tư cuối cùng
GHG	Khí nhà kính
ICE	Động cơ đốt trong
Bộ luật IGF	Bộ luật quốc tế về an toàn cho tàu sử dụng khí hoặc nhiên liệu có điểm chớp cháy thấp khác
ISO	Tổ chức Tiêu chuẩn hoá Quốc tế
LFP	Lithium-Sắt-Phốt phát (pin)
LNG	Khí thiên nhiên lỏng
LTO	Lithium-Titanate-Oxide (pin)
LT-PEM	Màng trao đổi proton nhiệt độ thấp
NaBH <sub>4</sub>	Natri Bohydrua
NaBO <sub>2</sub>	Natri Metaborat
NASA	Cơ quan Hàng không và Vũ trụ Quốc gia
NCA	Lithium Niken-Coban-Nhôm Oxit (pin)
NMC	Niken-Mangan-Coban (pin)
RoPax	Chở khách Roll-on/roll-off
RoRo	Roll-on/roll-off
SOV	Tàu khai thác dịch vụ (ngoài khơi)
TTW	Tank-to-Wake
VLSFO	Dầu nhiên liệu có hàm lượng lưu huỳnh rất thấp
WTT	Well-to-Tank
WTW	Well-to-Wake



## 1. Hệ thống điện

*Bảng 1: Tóm tắt Mức độ sẵn sàng về Công nghệ (TRL) và Mức độ sẵn sàng về Thương mại (CRL) của các công nghệ cho hệ thống điện*

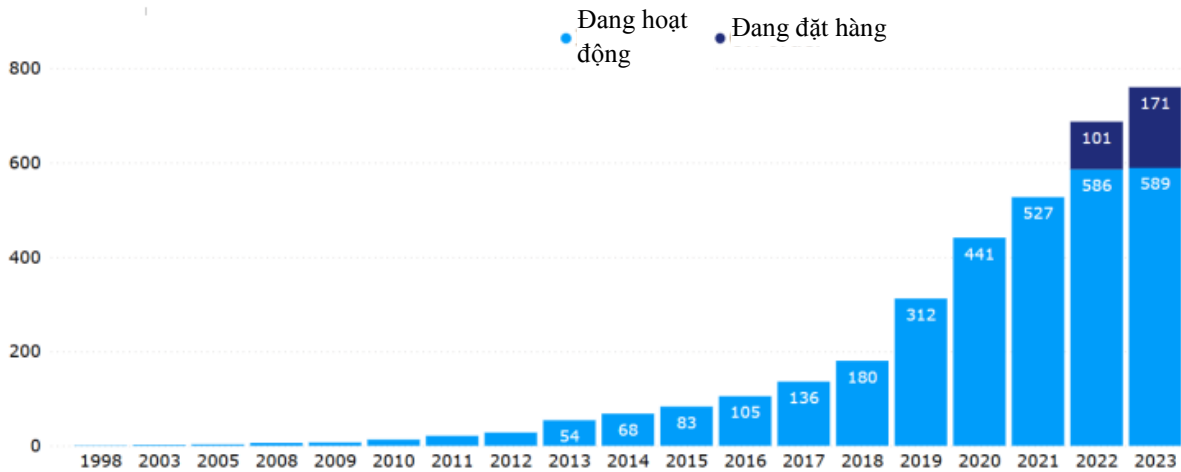
Công nghệ	TRL/CRL
Hệ thống tích trữ năng lượng pin (ESS) trên tàu điện thuần túy	CRL10, lên tới ~11.000 GT
Hệ thống tích trữ năng lượng pin (ESS) trên các tàu lai plug-in	CRL10, tất cả các cỡ tàu
Hệ thống tích trữ năng lượng pin (ESS) trên tàu lai điện	CRL11, tất cả các cỡ tàu
Hệ thống sạc cố định trên bờ	CRL10
Hệ thống sạc cố định ngoài khơi	TRL7
Sạc pin có thể thay thế	TRL/CRL9 đến CRL10
Động cơ đẩy điện	CRL11, lên tới 41 MW (lên tới 80 MW trên tàu hải quân)
Bộ đẩy vỏ điện	CRL11, lên tới 22 MW
Bộ truyền động điện	CRL11, lên tới 30 MW/động cơ hoặc 50 MW/hệ thống

### 1.1 Pin hàng hải

Những chiếc thuyền chạy bằng pin đầu tiên được chế tạo vào thế kỷ 19<sup>1</sup> nhưng phải đến khoảng năm 2000, khả năng động cơ đẩy chạy bằng pin cho tàu mới được quan tâm trở lại, bắt đầu với những chiếc phà du lịch nhỏ, thường chạy bằng pin axit-chì hoặc niken-cadmium<sup>2</sup>. Từ năm 2010, ngành hàng hải bắt đầu mở rộng quy mô và thương mại hóa pin lithium-ion cho động cơ đẩy đến mức vào năm 2023, số lượng tàu chạy bằng pin là hơn 500 chiếc với gần 200 chiếc nữa được đặt hàng (xem Hình 1).

<sup>1</sup> ETHW, ‘Thuyền điện’, Today’s Engineer, 2013 <[https://ethw.org/Electric\\_Boats](https://ethw.org/Electric_Boats)> [truy cập ngày 9 tháng 5 năm 2023].

<sup>2</sup> Marine Battery Forum, ‘Sổ đăng ký Tàu MBF’, 2023 <<https://www.maritimebatteryforum.com/ship-register>> [truy cập ngày 9 tháng 5 năm 2023].

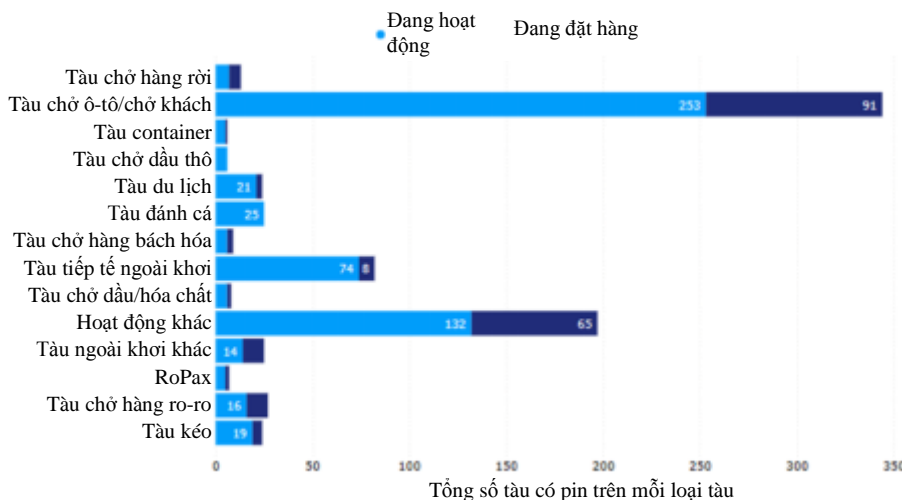


Hình 1: Tổng số tàu chạy bằng pin, tháng 3 năm 2023

Một số xu hướng có thể quan sát được:

- Do các ứng dụng khác nhau của pin trên tàu, số lượng tàu chạy bằng pin đang tăng lên nhanh chóng, trong số tất cả các loại tàu khác nhau;
- Pin là yếu tố hỗ trợ cho các công nghệ không phát thải khác;
- Có sự đa dạng hóa các công nghệ pin được sử dụng trong ngành hàng hải và các thiết kế hệ thống pin đang hoàn thiện;
- Tăng số lượng tàu chạy bằng pin trên phạm vi toàn cầu;
- Tăng dung lượng pin được lắp đặt trên mỗi con tàu;
- Tăng số lượng các nhà sản xuất pin hàng hải;
- Sự quan tâm ngày càng tăng đối với các giải pháp pin đóng trong container.

Trong số các loại tàu đầu tiên có động cơ đẩy chạy bằng pin là phà, du thuyền, tàu nghiên cứu, tàu tiếp tế ngoài khơi và tàu kéo. Hiện tại, hầu hết các loại tàu đều được trang bị pin tích hợp trong hệ thống đẩy<sup>2</sup> (xem Hình 2).



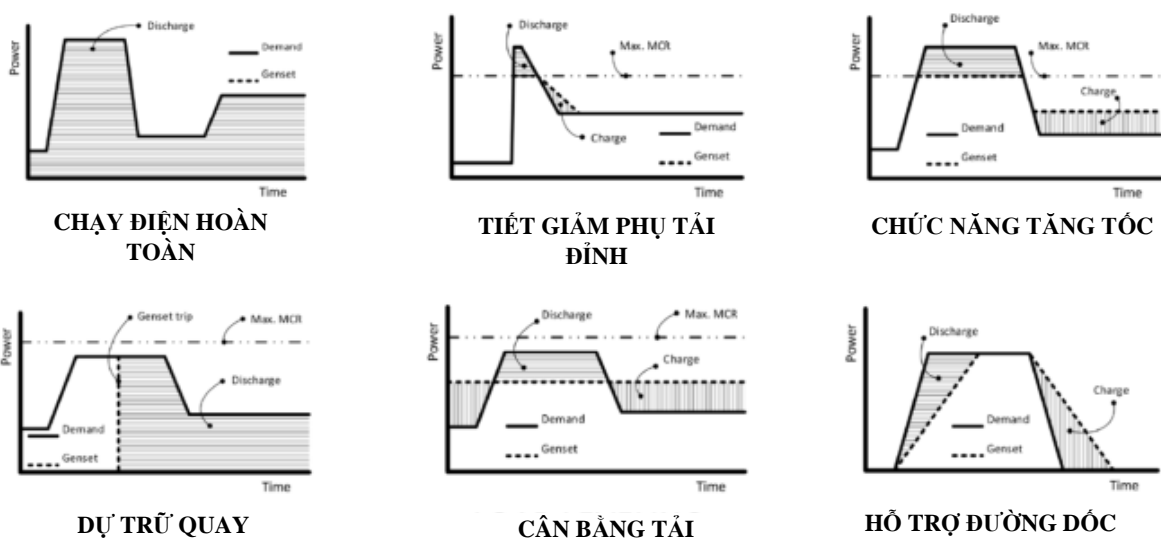
Hình 2: Số lượng tàu chạy bằng pin trên mỗi loại tàu, tháng 3 năm 2023<sup>2</sup>

Mục tiêu chính của việc lắp đặt pin là:

- Giảm tiêu hao nhiên liệu và chi phí
- Bổ sung tính dự phòng và an toàn
- Ra khơi không phát thải
- Tăng cường hiệu quả sử dụng năng lượng
- Giảm bảo trì

Những mục tiêu này có thể đạt được bằng các cách sử dụng pin khác nhau như một phần của hệ thống đẩy (xem Hình 3):

- Ra khơi hoàn toàn bằng điện: chỉ sử dụng pin làm nguồn năng lượng cho động cơ đẩy
- Tiết giảm phụ tải đỉnh: sử dụng pin để giảm phụ tải đỉnh cho máy phát điện
- Cân bằng tải: sử dụng pin để chạy máy phát điện ở chế độ tải không đổi
- Dự trữ quay: sử dụng pin làm nguồn năng lượng dự phòng
- Chức năng tăng tốc: sử dụng pin để tăng khả năng hoạt động của tàu trong thời gian ngắn
- Hỗ trợ đường dốc: sử dụng pin để tăng thời gian đáp ứng của hệ thống đẩy
- Khởi động đen: pin cung cấp nguồn năng lượng "đưa về nhà" giúp tàu không bị dừng hoạt động trong trường hợp hỏng hóc trên tàu
- Điều chỉnh điện áp và tần số: tàu và tất cả các thiết bị phụ trợ trên tàu sẽ hoạt động trong thời gian dài hơn với việc cung cấp đúng điện áp và tần số cụ thể



Hình 3: Các loại ứng dụng khác nhau cho pin trên tàu

Trong mỗi trường hợp, pin tạo thành một phần của Hệ thống tích trữ năng lượng điện (ESS). Hầu như tất cả các tổ chức đăng kiểm đều có các yêu cầu chứng nhận đối với ESS và thông số kỹ thuật để lắp đặt chúng trên tàu. Bộ quy tắc tạm thời đầu tiên từ một tổ chức đăng kiểm đã được phát hành vào năm 2013. Ngoài ra, các tổ chức như IEC đã phát triển các tiêu chuẩn liên quan và đang tiếp tục làm việc để cải thiện chúng.

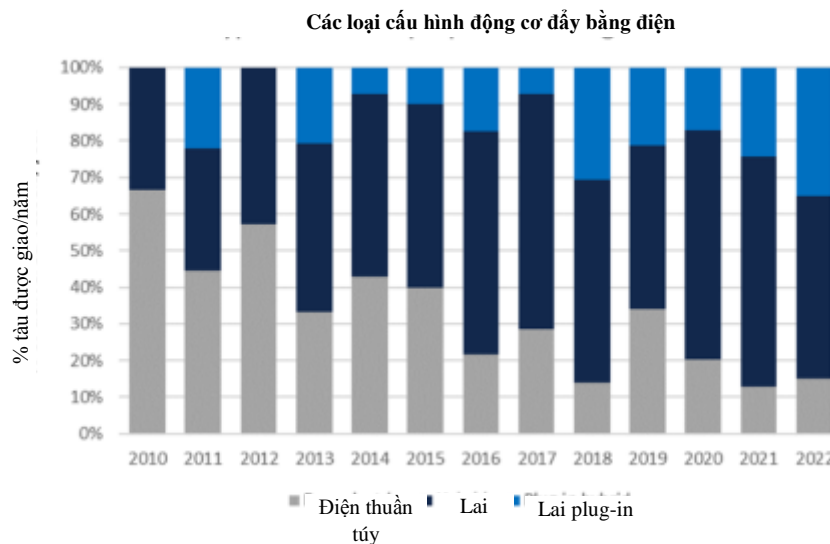
Trên toàn cầu, hơn 80% tàu đóng mới hiện đang được thiết kế với ESS kể từ tháng 11 năm 2022<sup>3</sup>, cho thấy công nghệ này đã đạt đến CRL11. Tuy nhiên, các loại hệ thống điện khác nhau được áp dụng cho các tình huống khác nhau và không phải tất cả đều ở cùng một mức độ thương mại hóa, như được giải thích tiếp theo.

### 1.1.1 Các loại hệ thống điện

Có ba loại cấu hình động cơ đẩy điện chính:

- Điện thuần túy: chỉ dùng pin làm nguồn năng lượng với hệ thống sạc trên bờ
- Lai: pin kết hợp với một nguồn năng lượng tích hợp khác
- Lai plug-in: pin có hệ thống sạc chuyên dụng và kết hợp với một nguồn năng lượng tích hợp khác

Vào năm 2022, một nửa số tàu chạy bằng pin là loại lai điện, tiếp theo là điện plug-in (35%) và điện thuần túy (15%) như trong Hình 4<sup>2</sup>.



Hình 4: Các loại cấu hình hệ thống đẩy khác nhau bằng pin, tháng 9 năm 2023<sup>2</sup>

<sup>3</sup> Clarksons, 'Tăng cường điện khí hóa đội tàu khi công nghệ pin hàng hải trở nên khả thi về mặt thương mại', Clarksons Securities, tháng 11 năm 2022 <<https://www.clarksons.com/home/news-and-insights/2022/fleet-electrification-to-increase-as-marine-battery-technology-become-commercially-viable/>> [truy cập ngày 9 tháng 5 năm 2023].

### **1.1.1.1 Điện thuần túy: chỉ dùng pin làm nguồn năng lượng, sử dụng hệ thống sạc**

Một hệ thống đẩy bằng điện thuần túy có nghĩa là chỉ có thể sử dụng pin làm nguồn năng lượng trên tàu. Các tàu điện thuần túy chỉ có khả năng hoạt động trên các tuyến đường ngắn bị cô lập, theo đó khoảng cách đến căn cứ được xác định bởi khả năng của hệ thống ESS trên tàu, với hệ số an toàn đáng kể. Thông thường, tàu sẽ cần chứng minh khả năng "đưa về nhà" trong trường hợp một phần của hệ thống bị vô hiệu hóa hoặc cần phải tắt, hoặc trong trường hợp hỏa hoạn hoặc các vấn đề khẩn cấp khác có thể xảy ra.

Có một bộ phận trong ngành hàng hải hỗ trợ động cơ đẩy bằng điện thuần túy với nhiều loại pin khác nhau, điển hình là các tàu chở khách nhỏ hoạt động trên các tuyến đường rất ngắn trong tầm nhìn của đất liền và hỗ trợ. Các thị trường này không được kết hợp vào ngành dọc thương mại hàng hải do không thể đáp ứng các tiêu chuẩn Phê duyệt Cờ và Kiểu cho các hoạt động an toàn của tàu biển.

Kể từ khi thương mại hóa ngành công nghiệp pin hàng hải vào năm 2010, việc triển khai các tàu chạy hoàn toàn bằng điện đã trở thành trọng tâm lớn của tất cả các nhà khai thác, cơ quan Phê duyệt Kiểu và chính quyền hàng hải tàu treo cờ, và một số tàu hiện đã được đóng để hoạt động hoàn toàn bằng điện với các tiêu chí nghiêm ngặt để hỗ trợ tất cả các khía cạnh của hoạt động khẩn cấp và an toàn, tất cả thường có nguồn sạc dự phòng trên tàu cho các tình huống khẩn cấp có thể ảnh hưởng đến an toàn. Các quy tắc liên quan đến năng lượng "đưa về nhà" đã cho phép nhiều ứng dụng được xây dựng trong bối cảnh chúng sẽ vận hành hoàn toàn bằng điện, sạc tại bờ và có thể chứng minh lượng phát thải giảm và giảm chi phí bảo trì trong khi vẫn đảm bảo vận hành an toàn và không có rủi ro. Những tàu này ngày nay có xu hướng là phà RoPax, đường thủy nội địa, tàu cảng và tàu hoạt động trong các nền kinh tế vi mô chẳng hạn như các trung tâm đảo mật độ cao.

Vào năm 2023, thị trường này sẽ mở rộng theo cấp số nhân với sự phát triển của các hệ thống năng lượng có thể thay thế cho phép các tàu trở thành 100% không phát thải trong các hoạt động, theo đó ESS trên tàu là nguồn nhiên liệu hiệu quả với cửa sổ hoạt động rất rõ ràng. Khả năng hỗ trợ các ứng dụng trở thành 100% không hoạt động là một trong những cách duy nhất mà ngành hàng hải có thể đáp ứng các mục tiêu của Chiến lược KNK ban đầu của IMO cho năm 2030 và 2050.

Tàu điện thuần túy hiện đang ở mức CRL10 nhưng có mức độ sử dụng thấp nhất trong ba loại hệ thống kể từ năm 2022 (Hình 4) do chúng bị giới hạn ở những thị trường có thông số vận hành nghiêm ngặt, như đã thảo luận ở trên. Theo văn bản, ESS được lắp đặt lớn nhất trên tàu điện thuần túy là 6,7 MWh trên tàu container 3.000 GT, 120 TEU Yara Birkeland (xem Bảng 2 bên dưới và Nghiên cứu điển hình 1).

### **1.1.1.2 Lai điện: pin kết hợp với một nguồn năng lượng khác trên tàu**

Vào năm 2010, ESS lithium đã được đưa vào ngành hàng hải thương mại với công suất lớn và có thể mở rộng, trên các tàu thuộc mọi kích cỡ. Một động lực ban đầu là tối ưu hóa hoạt động của tàu bằng cách đặt các động cơ nguồn điện và máy phát điện ở chế độ "tốc độ không đổi, công suất không đổi", trong đó hệ thống đốt nhiên liệu hiện có nhận thấy sự cải thiện về hiệu quả. Các hệ thống chạy bằng nhiên liệu được vận hành ở tốc độ không đổi với ESS là phản ứng động để đối phó với tải không liên tục cũng như cung cấp chất lượng điện năng ổn định, với khả năng vận hành của tàu ở chế độ lai hoặc điện hoặc chạy bằng nhiên liệu.

Điều này có nghĩa là cải thiện rất đáng kể về hiệu suất, tác động KNK, chi phí bảo trì và tác động tích cực đáng kể đến rủi ro 100% thời gian hoạt động. Hơn nữa, chi phí của nhà khai thác giảm, các mục tiêu theo luật dễ dàng đáp ứng hơn và điều rất quan trọng là các tàu hiện có có thể nhanh chóng được chuyển đổi sang tàu lai điện một cách hiệu quả về chi phí.

Các hệ thống lai điện đã được áp dụng nhiều nhất trong lĩnh vực hàng hải (xem Hình 4) và có thể được coi là đã đạt đến CRL11. Hiện tại, ESS được lắp đặt lớn nhất trên bất kỳ con tàu nào là trên các tàu lai điện, tàu du lịch 126.000 GT AIDAprima và AIDAperla với dung lượng lưu trữ 10 MWh mỗi chiếc<sup>4</sup> (xem Bảng 2 bên dưới).

### **1.1.1.3 Lai plug-in: pin có hệ thống sạc chuyên dụng và kết hợp với một nguồn năng lượng tích hợp khác**

Trong mô hình này, một con tàu lai điện có cơ sở hạ tầng chuyên dụng trên bờ cho phép con tàu ít phụ thuộc vào việc phát điện trên tàu và tận dụng điện lưới và năng lượng tái tạo để sạc pin trên tàu với chi phí giảm đáng kể, đồng thời kéo dài tuổi thọ hoạt động của con tàu về mọi mặt. Cơ sở hạ tầng sạc trên bờ đã trở

---

<sup>4</sup> Hansjorg Kunze, 'AIDAperla sẽ nhận được hệ thống tích trữ pin lớn nhất trong vận chuyển hành khách vào năm 2020', Carnival Corporation & Pic, 2019 < <https://www.carnivalcorporation.com/news-releases/news-release-details/aidaperla-will-receive-largest-battery-storage-system-passenger> > [truy cập ngày 9 tháng 5 năm 2023].

thành một phần của giải pháp, vì các tàu lai plug-in đã chứng minh được lợi ích về chi phí và môi trường đã tạo ra nhu cầu áp dụng mạnh mẽ.

Kể từ năm 2022, các tàu lai plug-in đã chứng kiến mức sử dụng đáng kể, với hệ thống lớn nhất có công suất 5 MWh được lắp đặt trên tàu du lịch Color Hybrid 27.000 GT kể từ năm 2019<sup>5</sup> (xem Bảng 2 bên dưới).

#### **1.1.1.4 Danh sách ESS pin đã lắp đặt được chọn**

Dưới đây là danh sách chưa đầy đủ các ESS pin hiện có được lắp đặt trên tàu, cả chạy hoàn toàn bằng điện và lai điện, được liệt kê theo dung lượng lưu trữ (MWh). Máy phát điện diesel (hoặc máy phát điện) không được bao gồm.

---

<sup>5</sup> Color Line, 'Đội tàu Color Line', 2019 <<https://www.colorline-cargo.com/color-line-fleet>> [truy cập ngày 4 tháng 12 năm 2019].

*Bảng 2: Danh sách ESS pin được chọn lắp đặt trên tàu theo loại hệ thống. Tài liệu tham khảo về Nghiên cứu điển hình (CS) trong Phụ lục được đưa ra khi thích hợp*

ESS pin		Tàu						
Kích cỡ (MWh)	Loại lắp đặt	Tên	Số IMO	Loại	Tổng dung tích (GT)	Hoạt động bằng pin kể từ	Công suất sạc (MW)	Đặc điểm
<b>Điện thuần túy</b>								
6.7	Đóng mới	Yara Birkeland [CS1]	9865049	Container	3.000	2022		Hoàn toàn tự động, 120 TEU, dài 80m
6.345	Trang bị thêm	MF Tycho Brahe <sup>6</sup>	9007116	RoPax (phà)	11.148	2021	10,5	1.250 hành khách, 240 xe, dài 111,2m
4.6	Đóng mới	Wolfe Islander IV [CS2]	9873149	RoPax (phà)	1.754	2021		Cấp đi bằng 1A, 399 hành khách & 80 xe, dài 98,4m
4.3	Đóng mới	Ellen (E-ferry) [CS3]	9805374	RoPax (phà)	996	2019	3,9	198 hành khách, 31 xe con hoặc 5 xe tải HGVS & 8 xe con, dài 59,4m
4.16	Trang bị thêm	M/S Aurora af Helsingborg [CS4]	9007128	RoPax (phà)	10.918	2017	10,5	Dài 111,2m
3.48	Đóng mới	Asahi <sup>7</sup>	9952270	Bunker ship	492	2022	0,348	Công suất 1.280 cbm, dài 62m, tầm hoạt động 100 km
2.983	Đóng mới	Herjolfur IV [CS5]	9865221	RoPax (phà)	3.480	2021		Dài 84m
2.8	Đóng mới	RSD-E-Tug 2513 (Sparky) <sup>8</sup>	9909699	Tug	320	2022	1,4	70 BP, dài 25m, tốc độ 12 hải lý/giờ
1.9	Đóng mới	Amherst II [CS2]	9873137	RoPax (phà)	1.230	2021		Cấp đi bằng 1A, 300 hành khách & 40 xe, dài 71,7m
1.582	Đóng mới	Nesvik [CS6]	9887528	RoPax (phà)	2.840	2020		Dài 82.4 m
1.424	Đóng mới	Gisas Power ZEETUG30 [CS7]	9876529	Tug	104	2019	1	30 BP (80BP đang đóng), dài 18,70m, tốc độ 10 hải lý/giờ
1.017	Đóng mới	Oslofjord I [CS8]	9914448	RoPax (phà)	457	2021		Dài 35m

<sup>6</sup> Corvus Energy, 'MF Tycho Brahe', Dự án, 2023 <<https://corvusenergy.com/projects/tycho-brahe/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>7</sup> Reuters, 'Tàu chở dầu Asahi của Nhật Bản bắt đầu nạp nhiên liệu cho tàu bằng tàu chở dầu chạy điện đầu tiên trên thế giới', Reuters, ngày 14 tháng 4 năm 2022 <<https://www.reuters.com/article/japan-marine-electric-tanker-idUKL3N2WB3NF>> [truy cập ngày 9 tháng 5 năm 2023].

<sup>8</sup> Echandia, 'Pin nào được sử dụng trong Sparky the Tugboat?', Echandia Insights, tháng 10 năm 2022 <<https://echandia.se/insights/article/what-batteries-are-used-in-sparky-the-tugboat/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].



Lai điện								
10	Trang bị thêm	AIDAprima <sup>4</sup>	9636955	Chở khách (du lịch)	125.572	2022	n/a	Dài 300m
10	Trang bị thêm	AIDAPERLA <sup>4</sup>	9636967	Chở khách (du lịch)	125.572	2020	n/a	Dài 300m
6.102	Đóng mới	Havila Castor [CS6]	9865582	Chở khách (du lịch)	15.812	2022	n/a	640 hành khách, có thể ra khơi tới 4 giờ bằng năng lượng pin thuần túy, dài 122,7m,
5.469	Đóng mới	MS Cruise Barcelona [CS6]	9351476	RoPax (du lịch)	54.310	2019	n/a	3660 hành khách, 300 xe, dài 254m
5.1	Đóng mới	Eco Valencia <sup>9</sup>	9859533	Chở hàng RoRo	67.311	2020	n/a	7.800 mét làn đường, dài 238m
2.2	Đóng mới	Aurora Botnia <sup>10</sup>	9878319	RoPax (phà)	24.036	2021	n/a	1.500 mét làn đường, 800 hành khách, tốc độ 20 hải lý/giờ
2.034	Trang bị thêm	North Sea Giant [CS6]	9524073	Tàu đóng ngoài khơi	18.151	2018	n/a	Dài 153,6m
1.356	Đóng mới	MF Hydra [CS9]	9887530	RoPax (phà)	2.699	2023	n/a	299 hành khách, 80 xe, dài 80,2m
Lai plug-in								
5	Đóng mới	Color Hybrid <sup>5</sup>	9824289	Chở khách (du lịch)	27.164	2019	6.5	2.000 khách, 500 xe, dài 160m

### Những điểm chính:

- ESS pin được lắp đặt với công suất lên đến nhiều MWh. Công suất lắp đặt tương tự đối với các tàu điện thuần túy và lai điện.
- Kích thước tàu khác nhau, nhưng hầu hết các tàu điện thuần túy có kích thước từ nhỏ đến trung bình (khoảng 11.000 GT trở xuống) trong khi hệ thống pin trên tàu lai điện là tàu lớn hơn.
- Các loại tàu chạy hoàn toàn bằng điện có xu hướng là tàu chở khách nhưng cũng bao gồm tàu kéo có lực kéo lên đến 70 Bollard Pull [Nghiên cứu điển hình 6], tàu chở dầu nhiên liệu (công suất 1.280 cbm Asahi<sup>7</sup> và tàu container (công suất 120 TEU Yara Birkeland) [Nghiên cứu điển hình 1]).
- Hệ thống lắp đặt là trang bị thêm và đóng mới.

<sup>9</sup> KNUD E. HANSEN, 'Jinling cung cấp tàu Ro-Ro xanh nhất thế giới', Tin tức, 2020 <<https://www.knudehansen.com/news/jinling-delivers-worlds-greenest-ro-ro-ship/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>10</sup> 'Trong ảnh: Hệ thống đẩy Azipod® được lắp đặt trên chiếc phà mới của Wasaline chỉ trong một tuần | ABB' <<https://new.abb.com/news/detail/67578/in-pictures-azipodr-propulsion-install-on-wasalines-new-ferry-in-just-one-week>> [truy cập ngày 10 tháng 5 năm 2023].

## 1.1.2 Cơ sở hạ tầng sạc

Tàu điện thuần túy và điện plug-in cần có phương pháp sạc và nguồn năng lượng sạc. Điện tái tạo đảm bảo tuyệt đối không có KNK. Tàu có thể sạc ở bờ, ngoài khơi hoặc bằng pin có thể thay thế. Mỗi điểm sẽ được thảo luận chi tiết ở đây.

### 1.1.2.1 Sạc cố định

Việc tích hợp các cơ sở sạc cố định mang lại cơ hội duy nhất cho phép sử dụng tối ưu hóa không gian và tài nguyên. Các trạm sạc cố định cần được tích hợp với một trạm biến áp chuyển đổi nguồn AC thành nguồn DC theo yêu cầu của pin. Sự tích hợp khá đơn giản này cũng sẽ đảm bảo rằng pin được sạc nhanh hơn và hiệu quả hơn vì nguồn DC tạo ra ít hoặc không làm giảm hiệu suất.

Các trạm sạc cố định có sẵn trên thị trường với nhiều loại đầu ra công suất. Công suất sạc theo yêu cầu của các tàu điện thuần túy trong Bảng 2 (mục 1.1.1.4) nằm trong khoảng từ 1 MW đối với các tàu nhỏ hơn đến 10,5 MW đối với phà MV Tycho Brahe và M/S Aurora af Helsingborg. Các tàu đề cập sau được sạc bằng kết nối tự động ở mỗi đầu của tuyến đường Helsingborg-Helsingor<sup>11</sup>. Mất từ 5 đến 9 phút để sạc 1,2 MWh năng lượng cần thiết cho một lần vượt biển dài 4 km. Các hệ thống sạc khác có sẵn trên thị trường lên đến 23 MW [Nghiên cứu điển hình 10].



<sup>11</sup> ABB, 'Phà điện không phát thải lớn nhất cho ForSea', ABB Marine & Ports - Marine References, ngày 14 tháng 11 năm 2018 <<https://new.abb.com/marine/marine-references/forsea>> [truy cập ngày 4 tháng 12 năm 2019].

*Hình 5: Kết nối sạc 10,5 MW bên bờ cho phà chở khách Aurora of Helsingborg và Tycho Brahe (hình ảnh: ZESTA).*

Tuy nhiên, hệ thống sạc bị hạn chế bởi sự phát triển cơ sở hạ tầng. Cơ sở hạ tầng là một rào cản đáng kể, vì có thể tốn một khoản tiền đáng kể để mang điện đến một địa điểm không cần đến và/hoặc trên một khoảng cách xa, với thời gian hoàn vốn rất dài và không có khả năng hữu hình thực sự để mở rộng mạng lưới đủ để nâng cao hiệu quả.

Nếu thế hệ hiện có tồn tại tại điểm sử dụng tàu, vấn đề này có thể được khắc phục bằng cách xây dựng ESS pin cố định trên đất liền, có thể liên tục hấp thụ điện tích từ các nguồn năng lượng hiện có và nhanh chóng truyền năng lượng cho tàu khi chúng cập cảng. Điều này khắc phục được chi phí cao trong việc xây dựng cơ sở hạ tầng lâu dài và cho phép nhà khai thác lựa chọn dựa vào nguồn điện hiện có hoặc xây dựng các nguồn năng lượng tái tạo tại địa phương để sạc ESS trên đất liền nhằm chuẩn bị cho các tàu địa phương đến và quay vòng nhanh. Trong mô hình này, chi phí có thể giảm và thực hiện hoàn vốn ngắn hạn.

Năng lượng sạc tái tạo được yêu cầu về mặt pháp lý trong một số trường hợp bởi nhà khai thác tàu. Điều này đã dẫn đến việc triển khai năng lượng tái tạo và lưới điện siêu nhỏ tại địa phương, cũng như đàm phán với các bên cơ sở hạ tầng hiện có để mua năng lượng tái tạo bằng chênh lệch giá.

Quá trình sạc ngoài khơi đang được phát triển, một nguyên mẫu đã trải qua thử nghiệm thành công ở bến cảng (TRL7) và dự kiến sẽ sớm được đưa vào vận hành tích cực tại một trang trại gió ngoài khơi<sup>12</sup>. Phương pháp này cho phép mở rộng phạm vi hoạt động và cung cấp năng lượng dự phòng cho các tàu xa bờ được điện khí hóa như Tàu vận chuyển thuyền viên (CTV) và Tàu khai thác dịch vụ (SOV). Bằng cách sạc trực tiếp tại một tuabin gió ngoài khơi, điện tái tạo sẽ được đảm bảo.

Việc triển khai các tàu điện thuần túy và điện plug-in đã dẫn đến việc thương mại hóa cơ sở hạ tầng sạc công suất cao có thể cung cấp khả năng sạc rất nhanh (chỉ trong 5 phút) và có tính đến các yêu cầu về an toàn và vận hành cũng như sự phức tạp của ngành hàng hải.

Thị trường pin cố định được hỗ trợ phần lớn bởi cơ sở hạ tầng cố định như kết nối sạc do cần trực vận hành hoặc kết nối sạc cuộn dây cáp, tập trung vào các kết nối tự trị để cải thiện độ an toàn và độ tin cậy. Nhược điểm của phương pháp

<sup>12</sup> WorkBoat 365, 'MJR Power and Automation - Hệ thống sạc cho tàu xa bờ "trên không" đầu tiên trên thế giới hoàn thành các thử nghiệm thành công tại bến cảng', WorkBoat 365, tháng 3 năm 2023 <<https://workboat365.com/power-propulsion-news/mjr-power-and-automation-worlds-first-in-air-offshore-vessel-charging-system-Completes-successful-harbour-trials/>> [truy cập ngày 10 tháng 5 năm 2023].

này là nhu cầu sạc nhanh sẽ làm giảm tuổi thọ của pin và do đó làm tăng chi phí/kWh, nhưng nó đáp ứng được nhu cầu vận hành theo một lịch trình cụ thể của một con tàu, điều này rất quan trọng để quản lý nghĩa vụ và đáp ứng nhu cầu doanh thu.

### 1.1.2.2 Sạc lại pin có thể thay thế

Các hệ thống pin có thể thay thế đơn giản hóa các yêu cầu về cơ sở hạ tầng vì pin được sạc cách xa tàu, với khả năng tháo và thay thế vật lý ESS trên tàu. Điều này cho phép tàu tự chuyển đổi nhanh chóng, giảm thời gian cần thiết để cung cấp cho tàu pin được sạc đầy. Hơn nữa, việc sạc có thể được tối ưu hóa để giảm chi phí/kWh. Pin có thể thay thế cũng tạo ra một trường hợp kinh doanh cho năng lượng như một dịch vụ, chuyển chi phí cho chủ tàu từ CAPEX sang OPEX. Ví dụ về một hệ thống như vậy được đưa ra trong Nghiên cứu điển hình 11.

Một số nhà sản xuất cung cấp thương mại các loại pin có thể thay thế, bao gồm EST-Floatch, Fleetzero, Furukawa & Eco Marine Power, SEAM, Shift Clean Energy, Wartsila và Zero Emission Services. Nhiều nhà cung cấp cung cấp năng lượng như một dịch vụ, đã thiết lập các hợp đồng trả tiền cho mỗi lần sử dụng cho các chủ tàu bao gồm bảo trì, loại bỏ CAPEX và giảm OPEX tới 77%<sup>13</sup>. Một số nhà cung cấp đã tích hợp ESS có thể thay thế với công suất lên tới 2,1 MWh vào các container ISO tiêu chuẩn, tạo điều kiện thuận lợi cho việc tích hợp trang bị thêm và xử lý tại bến cảng<sup>14</sup>.

Công nghệ pin có thể thay thế cho đến nay vẫn được sử dụng hạn chế và hiện ở mức CRL9. Có bằng chứng cho thấy nó sẽ đạt CRL10 vào năm 2023: một nhà cung cấp báo cáo rằng ít nhất 120 tàu đã đăng ký quan tâm đến dịch vụ pin có thể thay thế tại 12 địa điểm dự kiến mở vào giữa năm 2023<sup>15</sup>.

---

<sup>13</sup> Yulu PR, 'Công nghệ PwrSwap của Shift Clean Energy sẽ được sử dụng trong tàu chạy hoàn toàn bằng điện đầu tiên tại một trong những cảng bận rộn nhất thế giới', Shift Clean Energy, ngày 28 tháng 9 năm 2022 <<https://shift-cleanenergy.com/2022/09/28/shift-clean-energys-pwrswap-technology-to-be-use-in-first-all-electric-vessel-in-one-the-worlds-busiest-ports/>> [truy cập ngày 10 tháng 5 năm 2023].

<sup>14</sup> Zero Emission Services, 'Cơ sở hạ tầng sạc', 2023 <<https://zeroemissionservices.nl/en/chargeing-infrastructure/>> [truy cập ngày 10 tháng 5 năm 2023].

<sup>15</sup> Thông tin do Shift Clean Energy cung cấp.



Hình 6: ESS có thể thay thế trong container ISO 20 foot đang hoạt động trên tàu nội địa Alphenaar (ảnh: Zero Emission Services).

### 1.1.3 Các loại pin hàng hải

Giá hệ thống cho pin hàng hải so với hệ thống pin sử dụng trong ngành công nghiệp ô tô thì cao hơn, ở mức giá từ 400 €/kWh (436 USD/kWh) đến 1000 €/kWh (1090 USD/kWh)<sup>16</sup>. Những lý do chính cho điều này là:

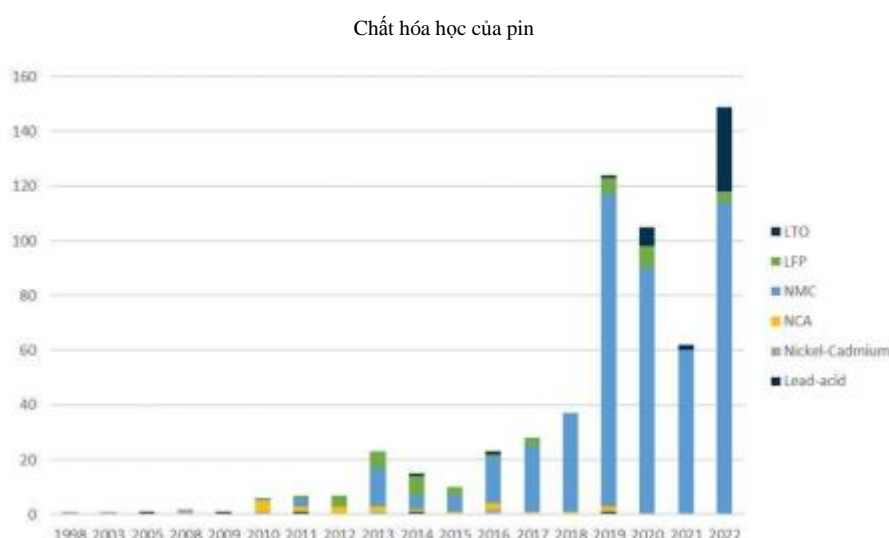
- Khối lượng sản xuất hệ thống pin hàng hải thấp hơn
- Yêu cầu tính linh hoạt cao hơn trong thiết kế hệ thống, tăng độ phức tạp cho tiêu chuẩn hóa và sản xuất quy mô lớn
- Yêu cầu an toàn cao hơn đối với hệ thống pin hàng hải

Các yêu cầu an toàn cao hơn đối với các hệ thống pin hàng hải chủ yếu liên quan đến nguy cơ lan truyền thoát nhiệt (pin tự bốc cháy). Tàu có các yêu cầu riêng về hiệu suất và an toàn cần được quản lý trong thiết kế vật lý của pin và phần mềm quản lý pin. Để quản lý rủi ro này, các yêu cầu thiết kế, sản xuất và dịch vụ của các hệ thống hàng hải có tiêu chuẩn thực hiện cao hơn. Không thể chấp nhận bất kỳ sự lan truyền pin nào trong hệ thống ESS Lithium. Tất cả các Cơ quan Phê duyệt Kiểu đều đang cải thiện không chỉ các tiêu chí thiết kế mà còn cả kiến thức ngành về cách kết hợp ESS một cách an toàn vào tàu và hướng dẫn các cải tiến mà ngành yêu cầu để giảm rủi ro hỏng hóc.

<sup>16</sup> Syb ten Cate Hoedemaker, Giải pháp Pin lớn cho Vận tải Đường thủy, 2021.

### 1.1.3.1 Bộ pin

Khối xây dựng cơ bản của một hệ thống pin là bộ pin. Hiện tại, chỉ có các bộ pin lithium-ion đang được sử dụng trong ngành hàng hải, nhưng có rất nhiều loại bộ pin lithium-ion. Lúc đầu, pin lithium-ion của hợp chất hóa học lithium-niken-coban-nhôm (NCA) và lithium-iron-phosphat (LFP) đã được sử dụng nhưng bắt đầu từ năm 2013, loại pin lithium-ion chủ yếu là niken-mangan-coban (NMC). Trong những năm gần đây, xu hướng sử dụng pin lithium-ion loại LFP và lithium-titanate-oxide (LTO) ngày càng tăng trên phần lớn NMC (xem Hình 7). Điều này phần nào là kết quả của sự hiểu biết ngày càng tăng về các đặc điểm khác nhau của các chất hóa học pin lithium-ion khác nhau và lý do tại sao một số chất lại tốt hơn cho các ứng dụng cụ thể so với những chất khác.

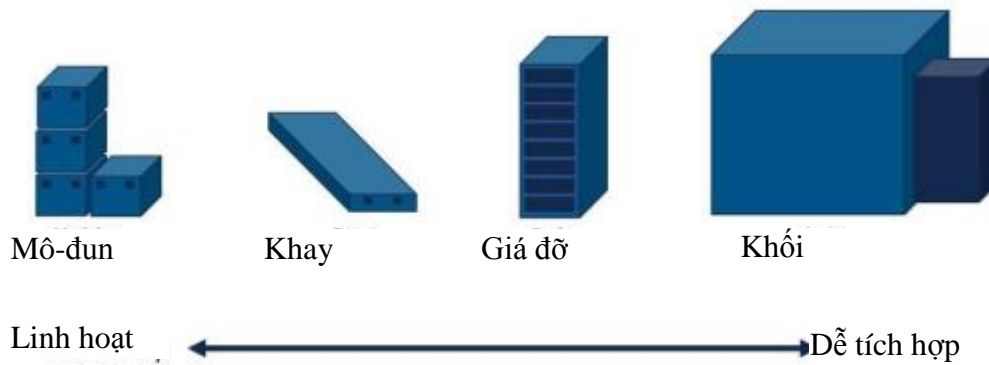


Hình 7: Các loại hóa chất pin được lắp đặt theo số lượng tàu, tháng 9 năm 2022<sup>2</sup>

Sự đa dạng hóa các loại pin sẽ tiếp tục phát triển khi pin trở nên chuyên biệt hơn cho các ứng dụng đòi hỏi mật độ năng lượng rất cao, các ứng dụng nặng, độ an toàn cao hơn hoặc pin có chi phí cực thấp. Điều này sẽ xảy ra với các loại pin lithium-ion mới, cũng như các công nghệ pin khác hiện đang được phát triển.

### 1.1.3.2 Hệ thống pin

Có nhiều loại thiết kế hệ thống pin hàng hải khác nhau. Các hệ thống dạng mô-đun và dựa trên khay được thiết kế để lắp đặt linh hoạt trên tàu. Các hệ thống dựa trên giá đỡ và khối được thiết kế để tích hợp dễ dàng. Thông tin chi tiết và dữ liệu đặc tả kỹ thuật cho việc lựa chọn các hệ thống pin hàng hải được đưa ra trong Nghiên cứu điển hình từ 12 đến 14.



Hình 8: Các kiểu thiết kế hệ thống pin hàng hải khác nhau

#### 1.1.4 Hệ thống quản lý pin

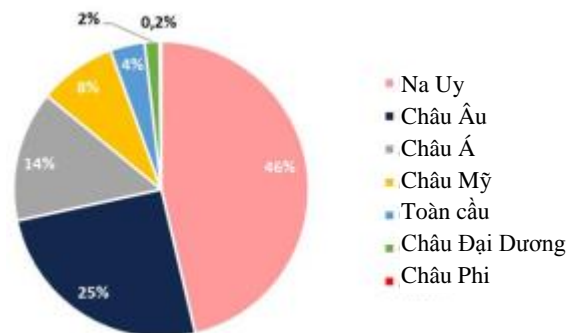
Hệ thống quản lý pin (BMS) rất quan trọng đối với hệ thống pin chất lượng cao. BMS đảm nhận 6 chức năng chính:

- Sự quản lý
- Giảm thiểu rủi ro
- Giám sát
- Tính toán
- Giao tiếp
- Bảo vệ

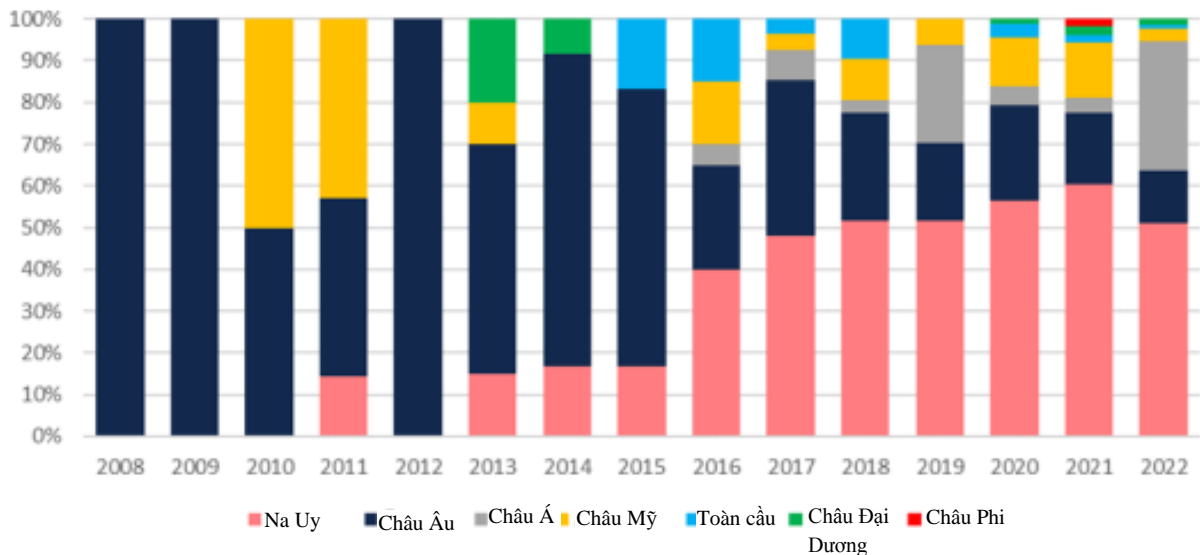
BMS đang được triển khai nhanh chóng và ngày càng phức tạp. Bên cạnh việc cung cấp sự an toàn, các chức năng mới được phát triển cho BMS đang tăng tuổi thọ của pin và giám sát hiệu quả hoạt động của tàu.

#### 1.1.5 Sử dụng pin trên toàn thế giới

Vào năm 2022, khoảng một nửa số tàu chạy bằng pin hoạt động ở Na Uy, phần còn lại của Châu Âu chiếm 1/4 và Châu Á 14%<sup>2</sup> (xem Hình 9). Na Uy và Châu Á (đặc biệt là Trung Quốc) là những khu vực phát triển nhanh nhất về việc sử dụng tàu chạy bằng pin trong giai đoạn 2021-22<sup>2</sup> (xem Hình 10).



Hình 9: Khu vực hoạt động của đội tàu chạy bằng pin, tháng 9/2022<sup>2</sup>



Hình 10: Các tàu chạy bằng pin mới đang hoạt động theo khu vực tính theo tỷ lệ phần trăm trên tổng số mỗi năm, tháng 9 năm 2022<sup>2</sup>



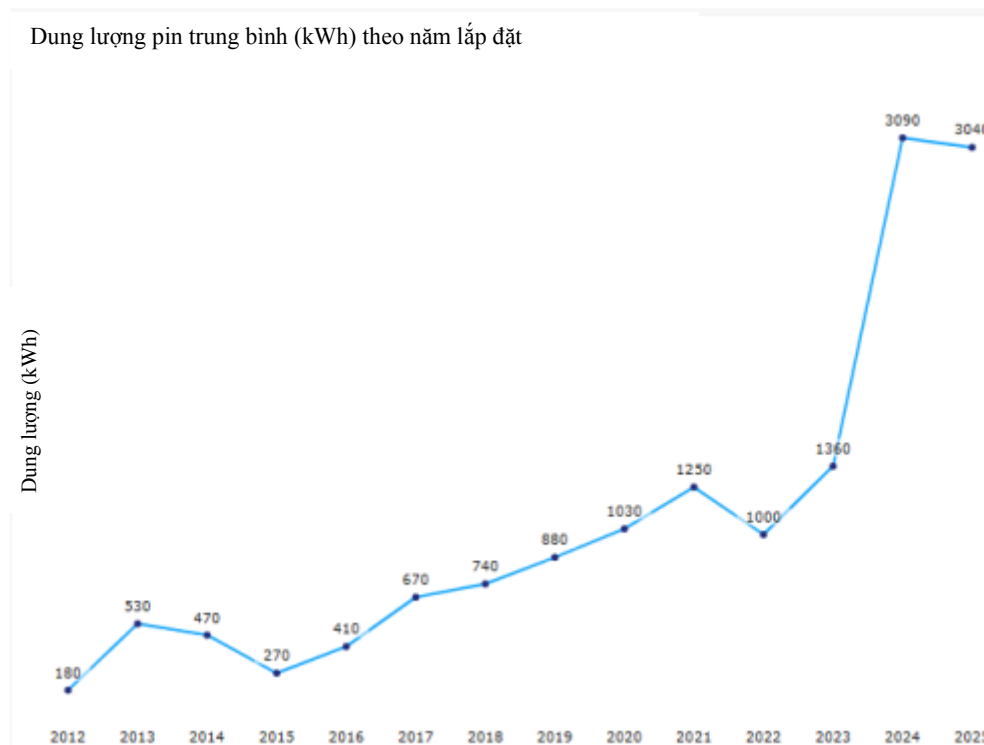
Hình 11: Vị trí của các tàu chạy bằng pin đã đăng ký với IMO, tháng 1 năm 2023<sup>2</sup>

### 1.1.5.1 Kích thước pin ngày càng tăng

Công suất trung bình của các hệ thống pin được lắp đặt trên tàu cho thấy xu hướng ngày càng tăng (xem Hình 12)<sup>2</sup>. Từ năm 2010 đến 2016, nó thay đổi từ công suất lắp đặt trung bình trên mỗi tàu trong khoảng từ 200 kWh đến 500 kWh. Vào năm 2022, con số này đã tăng lên 1.200 kWh (1,2 MWh) công suất pin lắp đặt trung bình trên mỗi tàu. Hệ thống pin lớn nhất được lắp đặt trên tàu vào năm 2022 là khoảng 10 MWh, AIDAperla và AIDAprima<sup>4</sup>. Dự kiến sẽ có



các tàu có dung lượng pin lớn hơn, chẳng hạn như hai phà RoRo cho Stena hiện đang được đóng với công suất 11,2 MWh mỗi chiếc<sup>17</sup>.

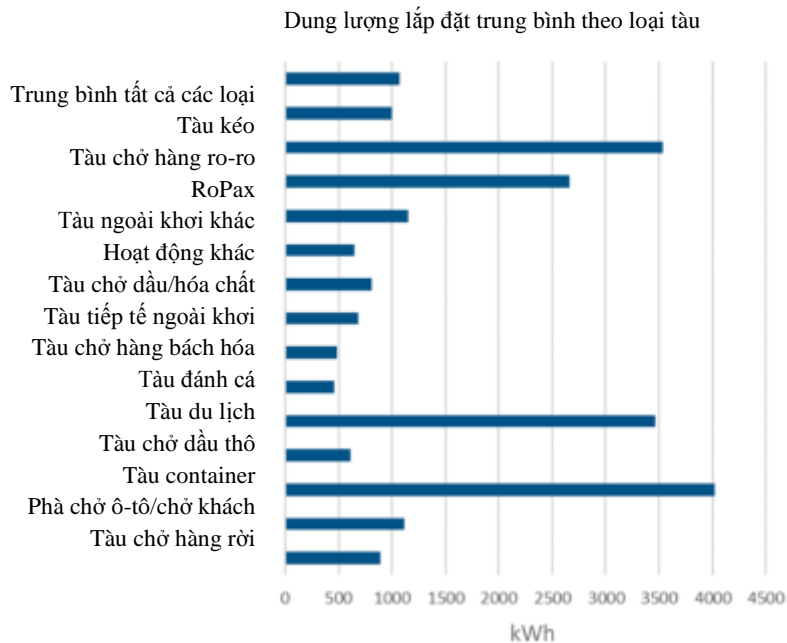


Hình 12: Dung lượng pin lắp đặt trung bình trên mỗi tàu trong một năm lắp đặt<sup>2,18</sup>

<sup>17</sup> Shippax, 'Leclanché nhận đơn đặt hàng Hệ thống pin 22,6 MWh với RoRo Stena cho hai E-Flexers', Shippax, tháng 1 năm 2023 <<https://www.shippax.com/en/news/leclanche-receives-orders-for-226-mwh-of-battery-systems-with-stena-line-and-brittany-ferries-for-two-eflexers.aspx>> [truy cập ngày 10 tháng 5 năm 2023].

<sup>18</sup> Kết quả trong hình trên cho năm 2024 và 2025 bị sai lệch vì các tàu lớn hơn được công bố ở giai đoạn sớm hơn, do đó, các tàu trong Sổ đăng ký tàu MBF được lên kế hoạch cho năm 2024 và 2025 không thể hiện mức trung bình chính xác cho những năm này. Tuy nhiên, xu hướng tăng kích thước pin được lắp đặt trên tàu dự kiến sẽ tăng theo thời gian.

Các hệ thống pin lớn nhất hiện có thể được tìm thấy trên các tàu container, tàu chở hàng Ro-Ro, tàu du lịch và tàu RoPax.



Hình 13: Dung lượng lắp đặt trung bình trên mỗi loại tàu, tháng 9 năm 2022<sup>2</sup>

### 1.1.5.2 Nhà sản xuất pin hàng hải

Số lượng các nhà sản xuất hệ thống pin hàng hải đang tăng lên theo dữ liệu từ Sổ đăng ký Tàu MBF. Có nhiều loại nhà sản xuất khác nhau sản xuất hệ thống pin hàng hải.

- Các nhà sản xuất pin cũng tích hợp pin của họ vào hệ thống hàng hải
- Các nhà sản xuất cung cấp nguồn pin để tích hợp chúng vào hệ thống pin cho nhiều ngành công nghiệp
- Các nhà sản xuất cung cấp nguồn pin để tích hợp chúng vào hệ thống pin dành riêng cho ngành hàng hải
- Các nhà tích hợp điện trong ngành hàng hải với hệ thống pin hàng hải do chính họ phát triển



Hình 14: Tăng số lượng nhà cung cấp pin hàng hải trong Sổ đăng ký Tàu MBF, tháng 3 năm 2023<sup>2</sup>

## 1.2 Động cơ điện, Bộ đẩy và Bộ truyền động

Động cơ điện cung cấp năng lượng quay cần thiết cho chân vịt để đẩy. Động cơ là công nghệ đã được thiết lập trong lĩnh vực hàng hải, có sẵn trên thị trường với công suất lên tới 40 MW<sup>19</sup> và có thể được lắp nối tiếp để có tổng công suất đẩy lớn hơn. Đầu ra công suất động cơ lớn nhất được lắp đặt trên tàu thương mại cho đến nay là 41 MW trên tàu du lịch Quantum of the Seas<sup>20</sup> và công suất lắp đặt lớn nhất được cung cấp trên bất kỳ tàu nào cho đến nay là 80 MW trên tàu sân bay Queen Elizabeth Class<sup>21</sup>. Động cơ điện ở mức CRL11, được thương mại hóa trên hàng nghìn tàu và sẵn có.

Chân vịt bầu xoay là động cơ truyền động điện trong vỏ chìm bên ngoài vỏ tàu có thể xoay 360 độ. Mỗi bộ đẩy này có công suất đẩy lên tới 22 MW<sup>22</sup>. Chúng giúp tăng khả năng cơ động, hiệu quả cao hơn và tăng thời gian vận hành so với các thiết kế động cơ cố định tiêu chuẩn và có thể được lắp đặt dưới dạng các bộ phận có thể thu vào. Chúng có thể được lắp đặt cả trên tàu chạy hoàn toàn bằng điện và trên tàu lai dưới dạng động cơ đẩy phụ. Ví dụ, phà RoPax lai điện

<sup>19</sup> General Electric, 'Chuyển đổi năng lượng GE - Động cơ cảm ứng tiên tiến (AIM)', GE Power Conversion, 2023 <<https://www.gepowerconversion.com/product-solutions/induction-motors/Advanced-Induction-Motor-AIM>> [truy cập ngày 10 tháng 5 năm 2023].

<sup>20</sup> ABB, 'Quantum of the Seas', ABB Marine & Ports - Marine References, 2023 <<https://new.abb.com/marine/marine-references/quantum-of-the-seas>> [truy cập ngày 10 tháng 5 năm 2023].

<sup>21</sup> ABB, 'Quantum of the Seas'.

<sup>22</sup> ABB, 'Động cơ đẩy điện Azipod', ABB Marine & Ports, 2023 <<https://new.abb.com/marine/systems-and-solutions/azipod#highice>> [truy cập ngày 10 tháng 5 năm 2023].

Aurora Botnia được trang bị bộ đẩy vô điện 2 x 5,8 MW<sup>10</sup>. Giống như động cơ điện cố định, bộ đẩy là công nghệ đã được thương mại hóa và thiết lập (CRL11).

Bộ truyền động là phần cứng điện tử cung cấp tần số (Hz) và số vòng quay trên phút (RPM) cho động cơ điện hoặc bộ đẩy. Chúng cũng tạo thành một phần của hệ thống điện quản lý các hệ thống quản lý năng lượng trên tàu. Các bộ truyền động có sẵn với công suất lên tới 30 MW trên mỗi động cơ hoặc 50 MW trên mỗi hệ thống<sup>23</sup>. Bộ truyền động được sử dụng trong các tàu lai điện và chạy hoàn toàn bằng điện để chuyển đổi năng lượng, điều khiển động cơ và tích hợp các nguồn năng lượng như pin hoặc pin nhiên liệu. Chúng là một trong những công nghệ hỗ trợ mà các nhà tích hợp hệ thống kết hợp để chế tạo các tàu không phát thải. Bộ truyền động là công nghệ hoàn thiện có sẵn trong lĩnh vực hàng hải (CRL11).

## 2. Động cơ đẩy hydro

Động cơ đẩy hydro hàng hải lần đầu tiên được trình diễn vào những năm 2000 với các tàu chở khách ra khơi ở Hamburg (FCS Alsterwasser) và Amsterdam (NemoH2), cả hai đều được trang bị công nghệ Pin nhiên liệu màng trao đổi proton nhiệt độ thấp (LT-PEMFC)<sup>24</sup>. Kể từ đó, công nghệ đã phát triển thể hiện ứng dụng nhiều MW trong các tàu nhỏ cố định và khác nhau với pin nhiên liệu hydro.

Mãi cho đến Hiệp định Paris năm 2016, hydro mới được công nhận là chìa khóa cho quá trình chuyển đổi năng lượng. Khi được sử dụng trong pin nhiên liệu, hydro không phát thải Khí Nhà kính (KNK) trực tiếp từ tank-to-wake (TTW). Khi được sản xuất bằng cách sử dụng điện từ các nguồn tái tạo, hydro là nguồn năng lượng không phát thải KNK trực tiếp trong toàn bộ vòng đời well-to-wake (WTW), theo Mô hình MARIN NL cho ESSF SAPS<sup>25</sup>. Các khoản đầu tư vào hydro đã tăng lên kể từ đó, kể cả trong ứng dụng hàng hải với nguồn tài trợ đáng kể cho phát triển, trình diễn và triển khai công nghệ. Thông tin về phát triển động cơ đẩy hydro là không đầy đủ vì nhiều dự án là bí mật.

---

<sup>23</sup> Stadt AS, 'Lean Drive', Stadt AS, 2023 <<https://www.stadt.no/lean-drive>> [truy cập ngày 10 tháng 5 năm 2023].

<sup>24</sup> Hiệp hội Năng lượng Quốc tế, IEA Hydrogen TCP Nhiệm vụ 39: Hydro trong Hàng hải (Chương 6: Đánh giá về Tàu chạy bằng Hydro: IEA, 2021).

<sup>25</sup> European Sustainable Shipping Forum, 'Sustainable Power @ MARIN', Ủy ban châu Âu, 2023 <<https://sustainablepower.application.marin.nl/well-to-wake>> [truy cập ngày 10 tháng 5 năm 2023].

Thiết bị cho động cơ đẩy hydro, cũng như để lưu trữ trên tàu và tiếp nhiên liệu cả hydro ở dạng khí và lỏng, đều có sẵn trên thị trường và được phê duyệt theo hạng<sup>26</sup>. Tất cả các hệ thống liên quan được giải thích chi tiết trong phần này.

*Bảng 3: Tóm tắt Mức độ sẵn sàng về Công nghệ (TRL) và Mức độ sẵn sàng về thương mại (CRL) của các công nghệ cho hệ thống hydro*

Công nghệ	TRL/CRL
Hệ thống pin nhiên liệu PEM nhiệt độ thấp cho nguồn điện của động cơ đẩy chính	TRL/CRL9 trên tàu lên đến 2700 GT
Hệ thống pin nhiên liệu PEM nhiệt độ thấp cho nguồn điện phụ trợ	TRL/CRL9
Lưu trữ hydro lỏng trên tàu	TRL/CRL9, lên đến 5.700 kg với BOG bằng 0
Lưu trữ hydro nén trên tàu	TRL/CRL9, tối đa 750 kg, tối đa 700 bar
Lưu trữ hydrua kim loại	TRL/CRL9
Nạp trực tiếp hydro lỏng từ tàu vào bờ (di động)	TRL/CRL9, lên tới 3.000 kg/giờ
Nạp trực tiếp hydro lỏng từ tàu vào bờ (cố định)	TRL8
Nạp trực tiếp hydro nén từ tàu vào bờ (cố định)	TRL/CRL9, lên tới 220 kg/giờ
Thay thế container/bồn chứa hydro nén	TRL/CRL9
Tiếp nhiên liệu hydrua kim loại	TRL8

Nhiên liệu hydro có thể được sử dụng trong các động cơ đốt trong (ICE) để tạo lực đẩy thông qua bộ truyền động trực tiếp, nhưng đây là công nghệ có lượng phát thải KNK 'gần bằng 0', dựa trên định nghĩa được nêu trong ISWG-GHG 13/3/9. Cơ sở hạ tầng lưu trữ, tiếp nhiên liệu và hydro trên đất liền giống hệt nhau đối với các tàu chạy bằng ICE và PEMFC. Một CTV và hai chiếc phà chạy bằng ICE nhiên liệu kép hóa thạch hydro đã được CMB.Tech triển khai với tỷ lệ hydro lên tới 90% (hoặc lượng phát thải KNK 'gần bằng 0') ở mức tải nhẹ hơn. Thêm 5 CTV và một tàu kéo cọc 65 tấn đang được đóng. Một ICE đánh lửa bằng tia lửa hydro đơn nhiên liệu 100% trên đất liền cũng đã được phát triển với đầu ra công suất định mức từ 1 đến 2,6 MW nhưng vẫn chưa được trình diễn trên tàu<sup>27</sup>.

<sup>26</sup> Havard Stave, 'Hệ thống hydro trên tàu', trong ShipZERO26 (Glasgow: ZESTAs, 2021) <[https://vimeo.com/668135738?embedded=true&source=vimeo\\_logo&owner=158416371](https://vimeo.com/668135738?embedded=true&source=vimeo_logo&owner=158416371)> [truy cập ngày 10 tháng 5 năm 2023].

<sup>27</sup> CMB.Tech, 'BEH2YDRO ra mắt động cơ 100% hydro cho các ứng dụng hạng nặng tại Hội nghị thượng đỉnh hydro thế giới ở Rotterdam', CMB.Tech News, 2023 <<https://cmb.tech/news/beh2ydro-launches-100-hydrogen-engines-for-heavy-duty-applications-at-world-hydrogen-summit-in-rotterdam>> [truy cập ngày 10 tháng 5 năm 2023].

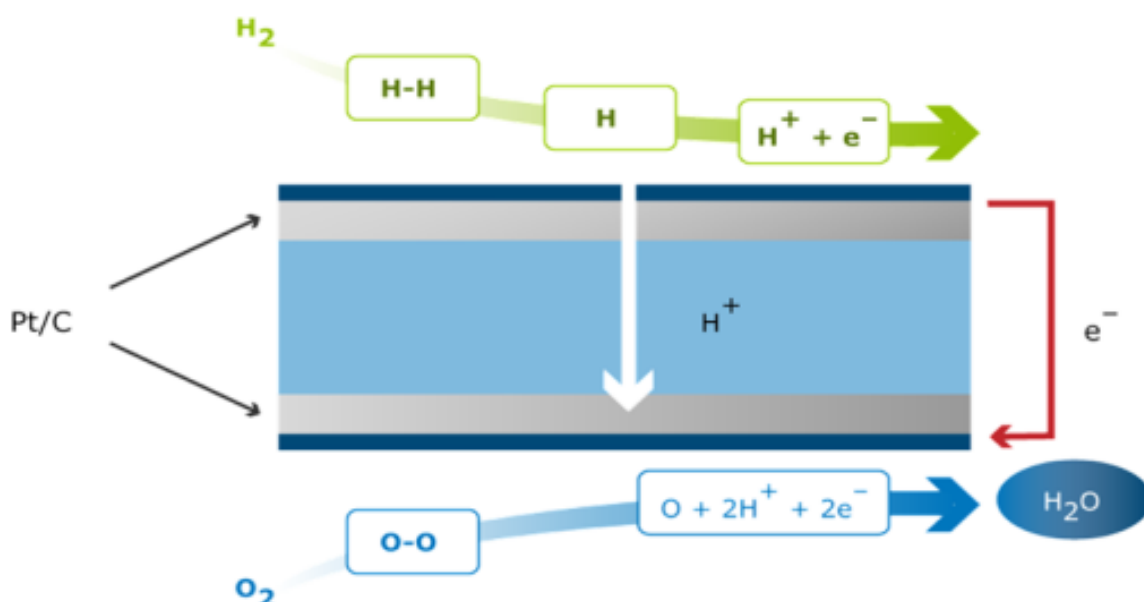
## 2.1 Pin nhiên liệu

Pin nhiên liệu hydro cho ứng dụng hàng hải có sẵn trên thị trường và nhìn chung dựa trên công nghệ LT-PEM<sup>28</sup>. LT-PEM đã phát triển trong các ứng dụng ô tô, di động hạng nặng và cố định công nghiệp. Những người đi đầu vào đầu thập kỷ này đã chứng minh khả năng sử dụng hiệu quả của pin nhiên liệu trong các ứng dụng hàng hải.

Các ngăn xếp pin nhiên liệu hydro là các mô-đun có thể mở rộng ở trạng thái rắn, khi được thêm vào nối tiếp và/hoặc song song sẽ tạo ra một hệ thống pin nhiên liệu hydro. Hệ thống bao gồm tất cả các thiết bị cần thiết để vận hành an toàn và đáng tin cậy bao gồm thông gió, làm mát, hệ thống an toàn, hệ thống điều khiển, bộ truyền động chuyển đổi năng lượng và hệ thống phân phối nhiên liệu. Hệ thống pin nhiên liệu hydro được kết hợp với ESS pin để tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng và có thể được coi là “hệ thống điện-hydro lai”.

Năng lực sản xuất pin nhiên liệu toàn cầu là 11 gigawatt (GW) trong tất cả các ngành công nghiệp, hơn một nửa trong số đó nằm ở Hàn Quốc và Nhật Bản. Đối với hàng hải, phần lớn các nhà sản xuất pin nhiên liệu với các sản phẩm thương mại sẵn có được đặt tại Mỹ và EU<sup>29</sup>.

Trong pin nhiên liệu LT-PEM, hydro phản ứng với oxy ở nhiệt độ thấp, loại bỏ bất kỳ phản ứng nào khác của không khí và do đó không phát thải KNK, vật chất dạng hạt (PM) hoặc nitơ oxit có hại trực tiếp.



<sup>28</sup> Ahmed G. Elkafas và những người khác, 'Hệ thống pin nhiên liệu cho Hàng hải: Đánh giá về Phát triển Nghiên cứu, Sản phẩm Thương mại, Ứng dụng và Quan điểm', Quy trình 2023, Tập. 11, Trang 97, 11.1 (2022), 97 <<https://doi.org/10.3390/PR11010097>>.

<sup>29</sup> McKinsey & Company, Thông tin chi tiết về Hydro 2022, 2022 <<https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2022/09/Hydrogen-Insights-2022-2.pdf>>.

*Hình 15: Sơ đồ phản ứng màng trao đổi proton nhiệt độ thấp (LT-PEM).*

Kết quả của phản ứng này là tạo ra điện, nhiệt và nước tinh khiết. Điện do pin nhiên liệu tạo ra là dòng điện một chiều có thể thay đổi được chuyển đổi bằng thiết bị chuyển đổi năng lượng có sẵn để phù hợp với lưới điện của tàu.

Hiệu suất điện của các mô-đun pin nhiên liệu LT-PEM nhìn chung thay đổi trong khoảng 50-60%, trong đó tải một phần dẫn đến hiệu suất cao hơn. Điều này trái ngược với hiệu suất của ICE chạy bằng hydro trong đó hiệu suất cực đại thấp hơn 50% và khi tải một phần thậm chí còn thấp hơn<sup>28</sup>. Do đó, với một lượng hydro được lưu trữ cố định, động cơ đẩy hydro bằng pin nhiên liệu LT-PEM sẽ có phạm vi hoạt động lớn hơn đáng kể so với các tàu chạy bằng ICE nguồn điện hydro. Hiệu suất của các hệ thống pin nhiên liệu LT-PEM có thể được tối ưu hóa hơn nữa bằng cách sử dụng các sản phẩm phụ nhiệt và nước.



*Hình 16: Ví dụ về mô-đun pin nhiên liệu có sẵn trên thị trường (trái: PowerCell Sweden AB; phải: Nedstack). Các mô-đun có thể được nối tiếp cho đầu ra công suất nhiều MW.*

Các mô-đun pin nhiên liệu hàng hải có sẵn trên thị trường với công suất danh nghĩa lên tới 500 kW<sup>28</sup>. Ít nhất 13 nhà sản xuất sản xuất các mô-đun pin nhiên liệu LT-PEM hàng hải. Bảng 4 cho thấy các nhà cung cấp LT-PEM hàng hải hiện tại và các sản phẩm của họ. Thông số kỹ thuật chi tiết cho việc lựa chọn hệ thống pin nhiên liệu hàng hải được đưa ra trong Nghiên cứu điển hình từ 15 đến 17.

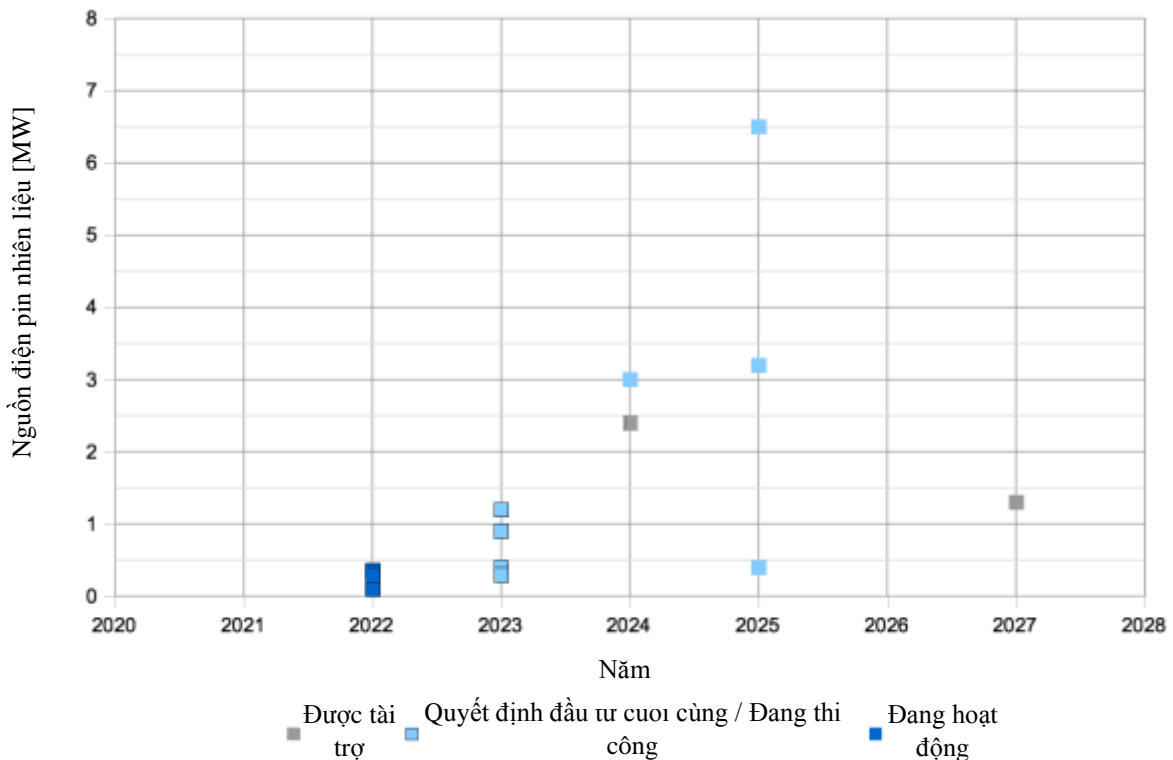
*Bảng 4: Thông số kỹ thuật của sản phẩm PEMFC. Phỏng theo Elkafas và cộng sự, 2022<sup>28</sup>. Tài liệu tham khảo về Nghiên cứu điển hình (CS) trong Phụ lục được đưa ra khi thích hợp.*

Nhà cung cấp FC	Mô-đun	Công suất (kW)	Hiệu suất (%)	Mật độ công suất (kW/tấn)/ (kW/m <sup>3</sup> )	Phạm vi điện áp/Phạm vi dòng điện	Tuổi thọ (giờ)
Nedstack [CS15]	MT-FTCI-100	100	55	50/27,1	300-600/0-200	24.000-30.000
	MT-FTCI-500	500	55	41,7/14,6	500-1000/0-1200	24.000-30.000
PowerCell	PS Marine 200	200	54	286/138	500-1000/60-450	>30.000
Ballard [CS16]	Fcmove-HD	70	57	280/150	250-500/20-240	-
	Fcmove-HD+	100	57	385/142	280-560/20-360	>20.000
	Fcwave	200	56	229/101	350-720/0-600	>20.000
Genevos	HPM-15	13.5	52	135/54	48	>20.000
	HPM-40	40	54	214/77	230-800	>20.000
	HPM-80	80	55	242/96	400-800	>20.000
Proton Motor	HyStack 200	35.5	47-67	555/380	71-137/0-500	-
	HyStack 400	71	47-67	651/473	142-275/0-500	-
Toyota EODev	REXH2	60	30	150/60	600	13.000
Hydrogenics /Cummins Inc. [CS17]	HyPM-HD 30	33	55	541/500	60-120/0-500	>10.000
	HyPM-HD 90	99	55	302,8/197,2	180-360/0-500	>10.000
	HyPM-HD 180	198	55	302,8/197,2	360-720/0-500	>10.000
Loop Energy	S300-S	28	56	102,2/56,3	370-450/0-300	-
	T505-S	48	55	126,3/64,3	370-450/0-300	-
	T600-S	59	66	151,3/82,6	370-450/0-300	-
Horizon	VL II-M60	60	48	368,1/234,4	250-700/400-550	-
	VLII-M100	100	48	420,2/113,3	250-700/400-550	-
Nuvera	E-45-HD	45	50	240,6/150	290/312,5	-
	E-60-HD	60	50	315,8/200	180/375	-
Troowin Power	TWZFCSZ-60	60	50	177,5/36,7		-
	TWZFCSZ-80	80	50	228/49		-
Corvus Toyota	Gói Pin Nhiên liệu	320		128/46,5		30.000
Helion	FC-RACK 160	160	57	119,4/47,2	352-672/470	-
	FC-RACK 180	180	57	131,4/53,1	396-756/470	-
	FC-RACK 200	200	57	142,9/59	440-840/470	-

Để cung cấp giải pháp tiết kiệm chi phí hơn, các mô-đun có thể dễ dàng được kết nối song song với lưới điện DC hoặc AC để cung cấp nguồn điện nhiều MW với mức độ dự phòng cao. ZESTA đã thu thập dữ liệu về các hệ thống pin nhiên liệu để thể hiện việc triển khai và sử dụng.

Hình 17 thể hiện các hệ thống pin nhiên liệu có công suất từ 0,1 MW (100 kW) trở lên đã được lắp đặt trên các tàu đang hoạt động, được ký Quyết định đầu tư cuối cùng (FID) hoặc được tài trợ bằng các khoản tài trợ công đáng kể (hơn 2,5 triệu EUR mỗi tàu). Số lượng lắp đặt dự kiến trong những năm tới lớn hơn số lượng được trình bày bên dưới vì nhiều dự án được bảo mật.





Hình 17: Đầu ra công suất danh định của hệ thống pin nhiên liệu được lắp đặt cho các tàu hiện có và dự kiến.

Bảng 5 mô tả chi tiết hơn dữ liệu cho các hệ thống pin nhiên liệu được trình bày trong Hình 17. Hiện tại, bốn nhà cung cấp khác nhau đã lắp đặt các mô-đun pin nhiên liệu của họ trên các tàu hiện có, dự kiến sẽ có thêm hai mô-đun khác vào năm 2024. Điều này bao gồm dự án HyEkoTank để trang bị thêm cho một tàu chở sản phẩm để vận chuyển hydro nén, đã nhận được 5 triệu EUR từ Horizon Europe<sup>30</sup>, cũng như dự án RH2IWER để trang bị thêm cho 6 tàu nội địa các loại đã nhận được 15 triệu EUR tài trợ của EU<sup>31</sup>. Các dự án lắp đặt còn lại đang ở giai đoạn FID hoặc sau đó dựa trên các khoản đầu tư tư nhân. Đơn đặt hàng lớn nhất cho đến nay là dành cho hai hệ thống pin nhiên liệu 6,5 MW cho hai phà Torghatten Nord<sup>32</sup>, nhưng về lý thuyết thì có thể có những hệ thống lớn hơn.

<sup>30</sup> Teco 2030, 'TECO 2030 với Consortium hoàn tất thỏa thuận trị giá 5 triệu EUR trong Dự án HyEkoTank', Teco 2030 News, tháng 12 năm 2022 <<https://teco2030.no/news/teco-2030-with-consortium-finalizes-agreement-for-eur-5-million-in-hyekotank-project-17951173/>> [truy cập ngày 10 tháng 5 năm 2023].

<sup>31</sup> Clean Hydrogen Partnership, 'Hydro tái tạo để giảm phát thải đường thủy nội địa (RH2IWER)', Cam kết chung về Hydrogen sạch, 2023 <[https://www.clean-hydrogen.europa.eu/projects-repository/rh2iwer\\_en](https://www.clean-hydrogen.europa.eu/projects-repository/rh2iwer_en)> [truy cập ngày 10 tháng 5 năm 2023].

<sup>32</sup> PowerCell Group, 'Các hệ thống pin nhiên liệu hàng hải lớn nhất thế giới', 2023 <<https://powercellgroup.com/worlds-largest-marine-fuel-cell-systems/>> [truy cập ngày 10 tháng 5 năm 2023].

*Bảng 5: Danh sách lắp đặt hệ thống pin nhiên liệu được công bố công khai có công suất trên 100 kW (0,1 MW). Tài liệu tham khảo cho Nghiên cứu điển hình (CS) được đưa ra khi thích hợp.*

Hệ thống FC nghiên cứu điển hình	Giai đoạn	Số lượng tàu	Nhà cung cấp FC	Công suất hệ thống FC (MW)	Loại tàu	Tổng dung tích	Hoạt động	Chức năng
Phà Torghatten Nord <sup>32</sup>	Đang thi công	2	PowerCell Sweden	6,5	Phà RoPax	< 5000*	2025, tháng 10	Động cơ đẩy chính
Dự án siêu du thuyền Feadship 821 <sup>33</sup>	Đang thi công	1	PowerCell Sweden	3	Du thuyền sang trọng	> 7000*	2024	Nguồn điện phụ trợ
SeaShuttle <sup>34</sup>	Quyết định đầu tư cuối cùng	2		3,2	Hàng container	~5000*	2025	Động cơ đẩy chính
Dự án HyEkoTank <sup>30</sup>	Được tài trợ	1	Teco 2030	2,4	Tàu chở sản phẩm	~13500*	2024	Nguồn điện phụ trợ
RH2IWER <sup>31</sup>	Được tài trợ	6	Ballard, Nedstack	0,6-2	Container nội địa, tàu chở hàng rời và tàu chở dầu		2027	Động cơ đẩy chính
FPS Waal [CS9]	Đang thi công	1	Ballard	1,2	Container nội địa	-	2023	Động cơ đẩy chính
FPS Maas [CS9]	Đang thi công	1	Nedstack	0,9	Container nội địa	-	2023, tháng 6	Động cơ đẩy chính
With Orca <sup>35</sup>	Đang thi công	1		0,4	Tàu chở hàng rời	5500	2024	Nguồn điện phụ trợ
Zulu 06 [CS9]	Đang thi công	1	Ballard Power	0,4	Container nội địa	-	2023	Động cơ đẩy chính
MF Hydra [CS9]	Đang hoạt động	1	Ballard Power	0,4	Phà RoPax	2699	2023, tháng 3	Động cơ đẩy chính
Sea Change <sup>36</sup>	Đang hoạt động	1	Cummins	0,36	Phà chở khách	~20*	2022	Động cơ đẩy chính
Antonie <sup>37</sup>	Đang thi công	1	Nedstack	0,3	Hàng khô nội địa	-	2023, tháng 6	Động cơ đẩy chính
Elektra <sup>38</sup>	Đang hoạt động	1	Ballard	0,3	Tàu đẩy	-	2022	Nguồn

<sup>33</sup> Thông tin từ PowerCell Sweden AB

<sup>34</sup> Samskip, 'Samskip ra mắt các tàu container đường biển ngắn không phát thải thế hệ tiếp theo', News, 2023 <<https://www.samskip.com/news/samskip-launch-its-next-generation-zero-emission-short-sea-container-vessels/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>35</sup> Thông tin từ nhà cung cấp

<sup>36</sup> Switch Maritime, 'SW/TCH Maritime', Dự án, 2023 <<https://www.switchmaritime.com/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>37</sup> NPRC, 'Bộ trưởng Harbers ủng hộ việc đóng mới tàu nội địa chạy bằng hydro xanh', 2023 <<https://nprc.eu/minister-harbers-gives-go-ahead-for-new-build-of-inland-vessel-proped-by-green-hydro/?lang=en>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

	động		Power		nội địa			điện phụ trợ
ZEUS <sup>39</sup>	Đang hoạt động	1	Proton Motor	0,14	Nghiên cứu	170	2023	Nguồn điện phụ trợ
Viking Neptune <sup>40</sup>	Đang hoạt động	1	Nedstack	0,1	Du thuyền	47800	2022	Nguồn điện phụ trợ

\* Tổng dung tích được nội suy từ các tàu có dung tích tương tự.

Những điểm chính:

- Các mô-đun pin nhiên liệu hydro có khả năng mở rộng trong các hệ thống nhiều MW. Các mô-đun trình diễn đang hoạt động với công suất thấp hơn đã mở đường cho các hệ thống trên các tàu thương mại lớn hơn.
- Hai hệ thống pin nhiên liệu 6,5 MW đã được đặt hàng cho hai phà chở khách Torghatten Nord, hệ thống lớn nhất từ trước đến nay, với FID được ký kết vào năm 2023 và dự kiến hoạt động vào năm 2025<sup>32</sup>.
- Tàu sử dụng pin nhiên liệu hydro cho động cơ đẩy chính có kích thước từ nhỏ đến trung bình khoảng 5.000 GT trở xuống. Các hệ thống nhằm cung cấp nguồn điện phụ trợ được lắp đặt trên các tàu có kích cỡ bất kỳ.
- Các loại tàu và môi trường hoạt động rất đa dạng, bao gồm trình diễn pin nhiên liệu hydro (sử dụng kho chứa chất lỏng) trên phà Hydra RoPax với sức chứa 80 ô tô và tàu du lịch Viking Neptune với 930 hành khách<sup>40</sup>.
- Việc lắp đặt cả trong tàu trang bị thêm và tàu đóng mới đã được trình diễn.

Tóm lại, các mô-đun pin nhiên liệu hàng hải được thương mại hóa và đã được chứng minh trên các hệ thống pin nhiên liệu được lắp đặt có công suất danh nghĩa lên tới 0,4 MW, cả ở tàu đóng mới và trang bị thêm, với các hệ thống lắp đặt ít nhất 6,5 MW đang được thi công. Tuy nhiên, việc phát triển chỉ giới hạn ở một số loại tàu đầu tiên (TRL/CRL9).

## 2.2 Dự trữ nhiên liệu trên tàu

Hai phương án lưu trữ nhiên liệu hydro thông thường là hydro hóa lỏng trong các bể chứa ở nhiệt độ đông lạnh và hydro dạng khí nén trong các bể điều áp<sup>41</sup>.

<sup>38</sup> Argo-Anleg GmbH, 'Dự án ngọn hải đăng: Tàu đẩy kênh ELEKTRA', Dự án, 2023 <<https://www.argo-anleg.de/en/project/kanalschubboot-elektra/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>39</sup> Fincantieri SI, 'ZEUS (TÀU TUYỆT ĐỐI KHÔNG PHÁT THẢI)', Innovation, 2023 <<https://www.fincantieri.it/innovation>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>40</sup> Fincantieri S.p.A., 'Viking Neptune', 2023 <<https://www.fincantieri.com/en/products-and-services/cruise-ships/viking-neptune/>> [truy cập ngày 10 tháng 5 năm 2023].

<sup>41</sup> ZEM Tech, Nghiên cứu về Tàu Hy-Ships trên Biển Bắc Giai đoạn 1 (Aberdeen, 2021).

Gần đây, việc lưu trữ hydrua kim loại cũng đã được chứng minh trên các tàu thương mại.

Các yếu tố quan trọng quyết định việc lưu trữ hydro nén hay hóa lỏng trên tàu là phù hợp nhất<sup>41</sup>:

- Lượng hydro được lưu trữ, chủ yếu là chức năng của công suất lắp đặt (động cơ đẩy và/hoặc phụ trợ), cấu hình tải trọng, quãng đường di chuyển và dự trữ vận hành/an toàn;
- Thể tích hoặc diện tích boong sẵn có để lắp đặt bể chứa;
- Khoảng thời gian tiếp nhiên liệu, cơ sở hạ tầng và thời gian sẵn có cho các hoạt động tiếp nhiên liệu;
- Các cân nhắc về kinh tế liên quan đến chi phí của hydro dạng khí hoặc lỏng cũng như chi phí cơ sở hạ tầng và bảo trì liên quan.

Lượng nhiên liệu cần thiết trên tàu nhìn chung là yếu tố quan trọng nhất và được quyết định bởi khoảng cách hoạt động và công suất dự kiến. Các tàu có khoảng cách hoạt động lớn hơn sẽ phù hợp hơn với hydro lỏng, trong khi những tàu có thời gian hoạt động từ điểm tới điểm ngắn hoặc quay lại cơ sở thường xuyên sẽ phù hợp hơn với hydro nén, bất kể kích thước<sup>41</sup>.

Hydro được tạo ra để sử dụng làm nhiên liệu bằng cách nén hoặc hóa lỏng. Ví dụ, quá trình nén tới 700 bar sẽ đạt được mật độ năng lượng thể tích khoảng 1300 kWh/m<sup>3</sup>. Hydro được lưu trữ ở nhiều áp suất khác nhau tùy thuộc vào yêu cầu của khách hàng. Việc hóa lỏng hydro làm tăng mật độ năng lượng thể tích lên 2360 kWh/m<sup>3</sup> nhưng yêu cầu phải làm mát đến -253°C. Để so sánh, mật độ năng lượng thể tích của VLSFO là 10013 kWh/m<sup>3</sup><sup>41</sup>.

Quá trình lưu trữ hydro để phân phối đến pin nhiên liệu tuân theo các tiêu chuẩn ISO 14687:2019 hoặc SAE J2719 về độ tinh khiết của nguồn cung cấp hydro<sup>42</sup>.

### 2.2.1 Hydro lỏng

Quá trình dự trữ hydro lỏng trên tàu để cung cấp năng lượng cho pin nhiên liệu trên tàu đã được chứng minh vào tháng 10 năm 2022<sup>43</sup> và phà chở khách MF Hydra đã vận hành thương mại bằng hydro lỏng kể từ tháng 3 năm 2023 và như vậy là ở mức TRL/CRL9.

---

<sup>42</sup> Friedrich Bernd và những người khác, 'Gói Điện Hàng hải MAN LH2', Giải pháp năng lượng MAN, 2022 <<https://www.man-es.com/campaigns/download-Q2-2023/Download/man-lh-sub-2-sub-marine-power-pack/5123cf76-6869-4326-aa69-0bb2ba15a6e2/MAN-LH2-Power-Pack>>.

<sup>43</sup> Zohaib Ali, 'Dự án tàu LH2 thử nghiệm pin nhiên liệu hàng hải chạy bằng hydro lỏng', H2 Bulletin, tháng 10 năm 2022 <<https://www.h2bulletin.com/lh2-vessel-project-tests-marine-fuel-cells-powered-by-liquid-hydro/>>.

Hydro lỏng phải được bảo quản ở  $-253^{\circ}\text{C}$ . Kiến thức nâng cao về xử lý hydro lỏng để sử dụng làm nhiên liệu tên lửa đã phát triển trên toàn thế giới từ những năm 1950 trong lĩnh vực hàng không vũ trụ. Ví dụ, NASA và Lực lượng Không quân Hoa Kỳ xử lý hàng triệu tấn hydro lỏng mỗi năm<sup>44</sup>. Hydro lỏng cũng được sử dụng trong các lĩnh vực công nghiệp khác, chẳng hạn như sản xuất chất bán dẫn. Trong lĩnh vực hàng hải, kiến thức và chuyên môn đáng kể về nhiên liệu LNG (phải được bảo quản ở  $-160^{\circ}\text{C}$ ) đã được chuyển sang hydro lỏng, cả hai đều là nhiên liệu có điểm chớp cháy thấp cần hệ thống đông lạnh để lưu trữ.

Các đường ống trên tàu để vận chuyển hydro lỏng có thành kép và được cách nhiệt chân không để chống lại ứng suất đáng kể do giãn nở nhiệt và co rút trong quá trình vận chuyển nhiên liệu và do biến dạng thân tàu<sup>45</sup>.

Bồn chứa hydro hóa lỏng tương tự như bồn chứa LNG, điểm khác biệt chính là nhiệt độ lưu trữ thấp hơn và khả năng tương thích vật liệu đối với hydro. Thép không gỉ Austenitic phù hợp với nhiệt độ hàng hóa cực thấp và ngăn ngừa rò rỉ hydro<sup>46</sup>.

Bồn chứa hydro lỏng hấp thụ nhiệt từ môi trường của nó một cách chậm chạp mặc dù được cách nhiệt cẩn thận và một phần chất lỏng bên trong sẽ bay hơi, được gọi là khí sôi (BOG). Để giảm thiểu hiện tượng sôi, bồn chứa được thiết kế để chịu được áp suất 5-10 bar. Để chứa và tái sử dụng khí sôi trên phà chở khách RoPax MF Hydra do Norled AS vận hành, một lượng nhiệt nhỏ rò rỉ vào kho chứa hydro lỏng sẽ loại bỏ áp suất quá mức từ pha khí của bể và đưa nó vào máy hóa hơi tạo ra khí cho các pin nhiên liệu. Do đó, MF Hydra đạt được mức thất thoát hydro bằng 0 trong quá trình vận hành. Nhìn chung, tuổi thọ của hydro lỏng trong bể chứa là khoảng 2-3 tuần, sau đó nhiên liệu sẽ được phân loại là nóng và khó tiếp nhiên liệu. Tại thời điểm này hydro sẽ thoát ra.

Nhiên liệu lỏng được đun sôi thành dạng khí để sử dụng trong pin nhiên liệu. Điều này được thực hiện bằng cách sử dụng máy hóa hơi, tương tự như nhiên liệu LNG. Để cung cấp hydro ở áp suất phù hợp, áp suất có thể được kiểm soát bên trong bể hoặc sử dụng máy bơm.

Một số nhà sản xuất có các bồn hydro lỏng bán sẵn trên thị trường. Linde đã lắp đặt bồn hoạt động duy nhất trên tàu có thể tích 80 m<sup>3</sup>, chở khoảng 5,7 tấn trên

<sup>44</sup> Thomas Flynn, Kỹ thuật đông lạnh, Sửa đổi và mở rộng, tái bản lần 2 (Boca Raton: CRC Press, 2004) <<https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9780203026991>>.

<sup>45</sup> Kawasaki Heavy Industries Ltd., 'Số đặc biệt về chuỗi cung ứng hydro', Kawasaki Technical Review, 182 (2021) <[https://www.kawasaki-gasturbine.de/files/KAWASAKI\\_TECHNICAL\\_REVIEW\\_No\\_182.pdf](https://www.kawasaki-gasturbine.de/files/KAWASAKI_TECHNICAL_REVIEW_No_182.pdf)>.

<sup>46</sup> Lloyd's Register Group Services Limited., 'Đầu tiên trên thế giới về vận chuyển hydro lỏng.', Thông tin chi tiết, tháng 10 năm 2020 <<https://www.lr.org/en/insights/articles/world-first-for-liquid-hydrogen-transportation/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

tàu MF Hydra [Nghiên cứu điển hình 9]. MAN Energy Solutions cung cấp các bồn chứa hydro lỏng hàng hải có bán trên thị trường với dung tích 50-300 m<sup>3</sup> hoặc khoảng 2-15 tấn kể từ năm 2021<sup>47</sup>.

### 2.2.2 Hydro nén

Hydro nén thường được lưu trữ trên tàu ở 350 bar hoặc 700 bar. Quá trình nén tới 350 bar yêu cầu sử dụng 6% hàm lượng năng lượng của hydro, trong khi 700 bar yêu cầu 11%. Các thiết bị và quy trình là TRL/CRL9.

Các thể hệ bồn chứa sử dụng cho hydro nén được chia thành các loại sau. Loại càng tiên tiến, thì bồn chứa càng nhẹ so với lượng khí hydro mà chúng có thể chứa:

- Loại I: Xi lanh khí bằng thép/nhôm tương tự như xi lanh khí kỹ thuật, áp suất bảo quản 250-300 bar;
- Loại II: Xi lanh nhôm có dây tóc làm cốt thép quấn quanh. Các sợi có thể được làm bằng thủy tinh, carbon hoặc aramid. Áp suất lưu trữ 250-300 bar;
- Loại III: Bồn composite làm bằng polyme gia cố bằng sợi với lớp lót kim loại bên trong. Áp suất lưu trữ lên đến 700 bar;
- Loại IV: Bồn composite làm bằng polyme gia cố bằng sợi với lớp lót polyme bên trong (HDPE hoặc tương tự). Áp suất lưu trữ lên đến 700 bar.

Chi tiết ví dụ và dữ liệu đặc tả kỹ thuật cho bồn hydro nén hàng hải Loại IV được đưa ra trong Nghiên cứu điển hình 18.

Việc lưu trữ hydro nén để sử dụng trong hàng hải thường dựa trên các ứng dụng di động hydro trên đất liền, nơi hydro được lưu trữ trong phương tiện ở áp suất 700 bar đối với ô tô và 350 bar đối với xe buýt, xe lửa và các phương tiện lớn khác. Hiện tại, không có áp suất lưu trữ hydro tiêu chuẩn cho các ứng dụng hàng hải. Quá trình lưu trữ trên tàu thường ở áp suất trung bình 350 bar hoặc áp suất cao 700 bar. Đây là hai áp suất lưu trữ chính nhưng áp suất thấp hơn như 200 bar có chi phí nén thấp hơn. Nhược điểm là rủi ro áp suất cao và mật độ lưu trữ ở mức 350 bar (23,7 kg/m<sup>3</sup>) và 700 bar (38,7 kg/m<sup>3</sup>).

Tại EU, dự án RH2INE<sup>48</sup> và RH2IWER<sup>31</sup> nhằm mục đích tiêu chuẩn hóa quá trình tiếp nhiên liệu hydro nén cho các tàu nội địa trong 2-3 năm tới. Cùng với DNV, RH2INE đã thực hiện phân tích lỗ hổng của các tiêu chuẩn và hướng dẫn

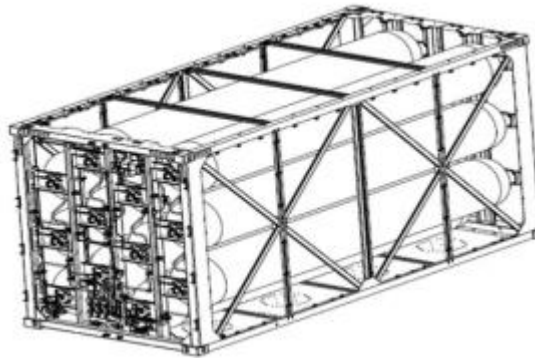
---

<sup>47</sup> Kristoffer Lorentsson, 'Công nghệ của hệ thống cung cấp khí nhiên liệu hydro lỏng', trong ShipZERO (Glasgow: ZESTAs, 2021) <<https://zestas.org/shipzero-media-gallery/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>48</sup> Rhine Hydrogen Integration Network of Excellence (RH2INE), 'Hướng tới Hành lang Giao thông Không Phát thải', 2023 <<https://www.rh2ine.eu/>>.

để xác định lỗ hổng pháp lý và hài hòa hóa (nguồn), ví dụ: việc sử dụng pin nhiên liệu không được IMO quy định và thiếu các điều khoản kỹ thuật cho pin nhiên liệu trong Bộ luật IGF.

Việc xếp hydro nén vào các giá đỡ trong các container tiêu chuẩn (xem Hình 18) tạo điều kiện thuận lợi cho việc thay thế như một phương pháp tiếp nhiên liệu, như được giải thích thêm trong mục 2.4.2.



Hình 18: Giá đỡ bình chứa hydro nén được đóng container (Ảnh: Hexagon Composites ASA).Metal Hydrides

Hydrua kim loại đã được chứng minh là cung cấp pin nhiên liệu cho tàu ngầm Kiểu 212a từ những năm 1990 và gần đây là Kiểu 214<sup>49</sup>. Năm 2023, tàu nghiên cứu ZEUS đã đi vào hoạt động bằng cách sử dụng bồn chứa hydride kim loại để cung cấp năng lượng cho pin nhiên liệu 140 kW để cung cấp nguồn điện phụ trợ. Tàu thương mại Neo Orbis, do Cảng Amsterdam ủy quyền, đang được đóng và sẽ bắt đầu hoạt động trên kho chứa nhiên liệu hydrua kim loại (natri borohydride) vào năm 2024<sup>50</sup>. Những tàu thương mại đầu tiên này mang công nghệ đến TRL/CRL9.

Một loại hydrua kim loại là natri borohydride (NaBH<sub>4</sub>), chất mang hydro rắn dạng hạt sẽ được chứng minh trên tàu Neo Orbis. Cũng có nhiều loại khác tồn tại<sup>51</sup>. NaBH<sub>4</sub> giải phóng khí hydro khi trộn với nước và chất xúc tác, cũng như nhiệt và sản phẩm phụ của phản ứng, natri metaborat (NaBO<sub>2</sub>). Về mặt lý thuyết, sản phẩm phụ của phản ứng đã qua sử dụng có thể được chuyển đổi trở lại thành hydrua kim loại để tái sử dụng làm nhiên liệu. Loại lưu trữ rắn này cần

<sup>49</sup> Ibrahim Sunnetci, 'Tàu ngầm Kiểu 214TN REIS Class TCG PiRi REiS', Defence Turkey, tháng 1 năm 2020 <<https://www.defenceturkey.com/vi/content/type-214tn-reis-class-tcg-piri-reis-submarine-3827>>.

<sup>50</sup> The Maritime Executive, 'Cảng Amsterdam đặt sống tàu cho con tàu chạy bằng nhiên liệu "hydro rắn" đầu tiên', The Maritime Executive, ngày 23 tháng 1 năm 2023 <<https://maritime-executive.com/article/port-of-amsterdam-lays-keel-cho-tàu-chạy-bằng-nhiên-liệu-hydro-rắn-đầu-tiên>>.

<sup>51</sup> Pragma Industries, 'Dự trữ hydro', 2023 <[https://www.pragma-industries.com/hydrogen-storage/#:~:text=Metal hydride tank is a,on AB5 metal hydride alloys.>](https://www.pragma-industries.com/hydrogen-storage/#:~:text=Metal%20hydride%20tank%20is%20a,on%20AB5%20metal%20hydride%20alloys.>)>.

ít thể tích hơn so với lưu trữ hydro ở dạng khí nén<sup>52</sup>. Hoạt động tiếp nhiên liệu và xử lý cũng được đơn giản hóa đáng kể nhưng vẫn chưa được chứng minh trên các tàu thương mại (TRL8).

## 2.3 Phê duyệt, An toàn và Phân loại Tàu

Các tính chất của khí hydro rất khác so với các loại nhiên liệu hàng hải hiện có, bao gồm cả LNG. So với khí tự nhiên, hydro có phạm vi bắt cháy rộng hơn, khả năng phản ứng cao hơn và năng lượng bắt lửa thấp hơn, điều này có thể dẫn đến nguy cơ cháy nổ cao hơn nếu các khía cạnh an toàn được quản lý giống như đối với LNG.

Các tàu chạy bằng nhiên liệu thông thường được đóng theo các quy tắc quy định. Khi các quy tắc này được tuân thủ, tàu có thể được phân loại và được chính quyền hàng hải quốc gia phê duyệt. Tuy nhiên, đối với các loại nhiên liệu mới có điểm chớp cháy thấp như hydro, tàu phải được đóng theo một số quy tắc chức năng dựa trên mục tiêu của IGF Phần A theo quy trình thiết kế thay thế như được mô tả trong MSC.1/Circ. 1455. Ngoài ra, MSC.1/Circ.1647 cung cấp các hướng dẫn tạm thời về an toàn của tàu sử dụng hệ thống nguồn điện của pin nhiên liệu.

Ví dụ về các quy tắc chức năng quan trọng bao gồm IGF 3.2.1 với yêu cầu về độ an toàn tương đương so với các tàu thông thường hiện đại và IGF 3.2.18 quy định rằng không một lỗi đơn lẻ nào trong hệ thống kỹ thuật sẽ dẫn đến tình trạng không an toàn hoặc không đáng tin cậy. IGF 4.3.1-8 cũng bao gồm các yêu cầu để đảm bảo rằng nếu một vụ nổ vẫn xảy ra, hậu quả sẽ được giữ trong cục bộ và không dẫn đến leo thang hoặc làm suy yếu các chức năng an toàn của tàu. Do đó, khung pháp lý này cung cấp cơ sở vững chắc cho việc triển khai hiện tại các hệ thống đẩy hydro mới, trong khi các quy tắc quy định tiếp theo được phát triển để tăng tốc áp dụng.

Để phê duyệt một tàu chạy bằng nhiên liệu hydro, nhóm thiết kế phải tối ưu hóa tàu không chỉ để hoàn thành chức năng theo kế hoạch theo cách tốt nhất có thể mà còn đáp ứng các tiêu chí rủi ro định lượng cũng như tuân thủ các quy tắc chức năng của IGF phần A để đáp ứng yêu cầu của Tổ chức đăng kiểm và Chính quyền hàng hải.

Thông thường, trong quá trình phát triển các tàu chạy bằng hydro, quy trình phê duyệt cấp hạng được chia thành hai giai đoạn. Giai đoạn một của quy trình thiết kế liên quan chặt chẽ đến Tổ chức đăng kiểm và Chính quyền hàng hải, dẫn đến

---

<sup>52</sup> Hans te Siepe, 'Hydro trong muối là năng lượng có thể tái sử dụng, lưu trữ khối lượng lớn an toàn và tái chế hiệu quả cao', trong ShipZERO26 (Glasgow: ZESTAs, 2021) <<https://zestas.org/shipzero-26-5/loa/#hans>>.



sự chấp thuận sơ bộ từ cả hai. Trong giai đoạn hai, một quy trình đóng tàu thông thường sẽ diễn ra sau đó, qua đó con tàu được đóng theo các điều kiện nêu trong phê duyệt sơ bộ.

Đối với các dự án tàu hydro, quá trình thiết kế thay thế có thể là thách thức so với thiết kế truyền thống theo các quy tắc quy định. Tuy nhiên, chuyên môn về an toàn hydro có sẵn trong và ngoài lĩnh vực hàng hải. Các tổ chức đăng kiểm tàu cũng đang tích lũy kinh nghiệm và chuyên môn. Do đó, các thiết kế tàu không chỉ được tối ưu hóa về chức năng và hiệu suất nhiên liệu mà còn đảm bảo an toàn. Các lựa chọn thiết kế được chứng minh bằng các đánh giá rủi ro và thường là các cân nhắc "thấp nhất có thể thực hiện được một cách hợp lý" (ALARP). Đối với nhiều dự án, chi phí vận hành tối thiểu và khả năng tiết kiệm nhiên liệu tốt nhất có thể là rất quan trọng để hiện thực hóa. Lợi ích của sự tự do do thiết kế thay thế mang lại để tối ưu hóa tàu có thể cao hơn những bất lợi có thể xảy ra liên quan đến quy trình phê duyệt khó khăn hơn.

Ngày nay, tất cả các tổ chức đăng kiểm tàu lớn đều tham gia vào các dự án tàu hydro và đang phát triển các quy tắc phân loại, với tham vọng phát triển các tàu hydro an toàn.

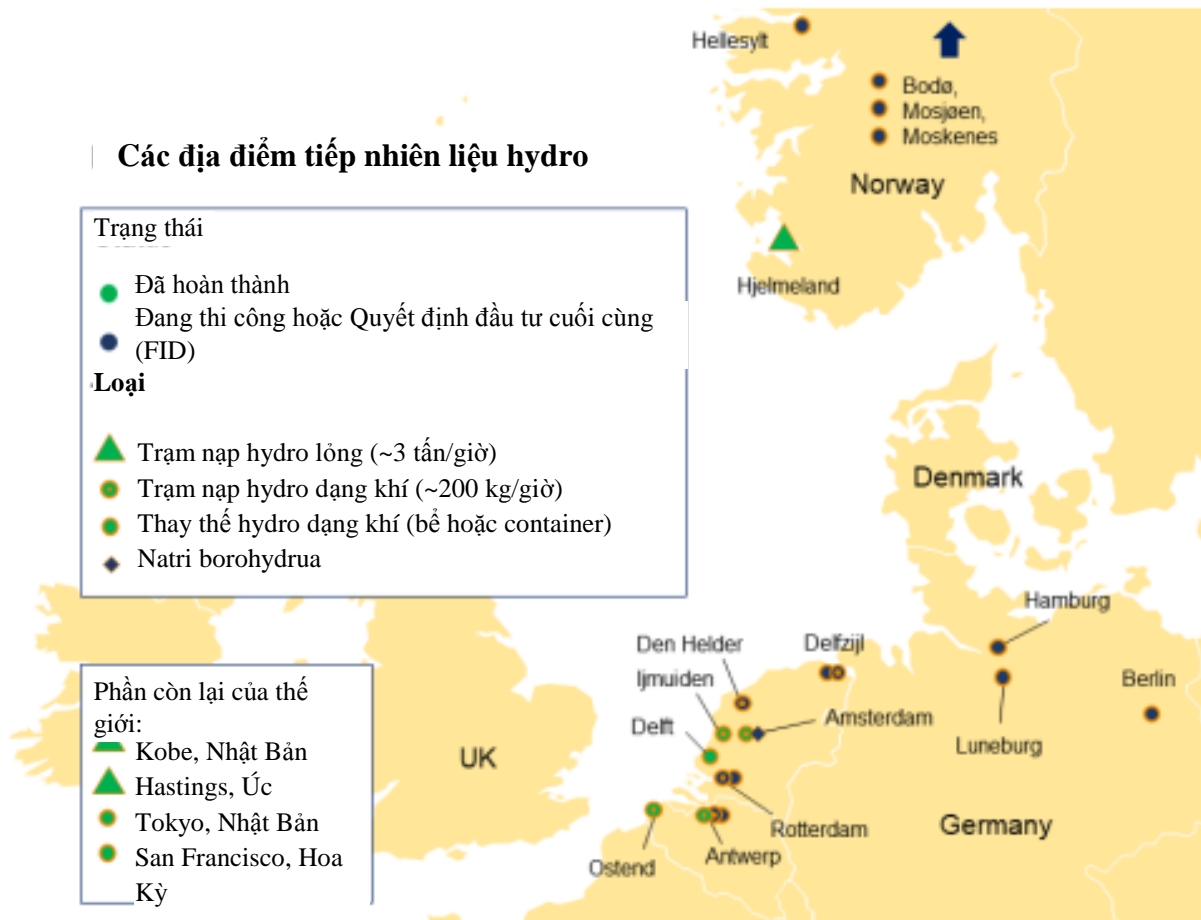
Tóm lại, các tàu chạy bằng pin nhiên liệu LTPEM có sẵn trên thị trường hiện đang hoạt động bằng cách sử dụng một loạt các phương án lưu trữ hydro. Nhiều tàu khác sẽ sớm bắt đầu hoạt động và những tàu khác đã nhận được phê duyệt sơ bộ và đang được đóng. Các quy trình phê duyệt đã là một thách thức đối với những người đi trước nhưng dự kiến sẽ được tạo điều kiện thuận lợi với kinh nghiệm ngày càng tăng.

## 2.4 Tiếp nhiên liệu hydro

Việc chuyển hydro từ tàu vào bờ có thể được thực hiện bằng cách sử dụng ống/vòi cho hydro lỏng hoặc nén. Hydro lỏng có tốc độ truyền được chứng minh là nhanh hơn nhiều (khoảng 3.000 kg/giờ) so với hydro nén (220 kg/giờ). Vì lý do này, việc tiếp nhiên liệu hydro nén đôi khi được sử dụng bằng cách hoán đổi các bồn hoặc container riêng lẻ có chứa nhiều bồn.

Các địa điểm tiếp nhiên liệu hydro bị hạn chế và chủ yếu ở Bắc Âu (xem Hình 19). Hầu hết bao gồm các trạm nạp hydro nén có áp suất khác nhau, thường là 300 hoặc 700 bar. Việc chuyển hydro lỏng sang tàu hiện có sẵn ở ba địa điểm. Các cơ sở ở Kobe, Nhật Bản và Hastings, Úc là cơ sở hạ tầng cố định bao gồm bể chứa trong khi hệ thống tiếp nhiên liệu được sử dụng cho MF Hydra ở Hjelmenland, Na Uy là một hệ thống di động được thiết kế để sử dụng trên bất kỳ bến cảng nào và sử dụng hydro lỏng được vận chuyển bằng xe tải. Một máy tiếp

nhiên liệu hydro lỏng di động khác được lên kế hoạch cho Aberdeen như một phần của dự án HI-FIVED<sup>53</sup>. Chi tiết về các hệ thống tiếp nhiên liệu hydro khác nhau được đưa ra trong Nghiên cứu điển hình 19.



Hình 19: Bản đồ các vị trí tiếp nhiên liệu hydro trên toàn cầu vào tháng 4 năm 2023 (tác phẩm của chính tác giả).

### 2.4.1 Hydro lỏng

Quá trình tiếp nhiên liệu hydro lỏng là TRL/CRL9, đang được vận hành thương mại để tiếp nhiên liệu cho phà chở khách Hydra ở Hjelmeland, Na Uy. Các hệ thống cố định là TRL8, đã được chứng minh chuyển từ bờ sang tàu ở Kobe, Nhật Bản<sup>54</sup> và Hastings, Úc<sup>55</sup>.

Các hệ thống di động đã được triển khai để khắc phục tình trạng tắc nghẽn trong cơ sở hạ tầng và nguồn cung hydro lỏng quy mô lớn bằng các hệ thống độc lập trọng lượng nhẹ sử dụng hydro được vận chuyển bằng xe tải. Điều này đảm bảo

<sup>53</sup> Thông tin từ Unitrove.

<sup>54</sup> HyStra, 'Cần trục bốc hàng trên biển đầu tiên trên thế giới có khớp xoay để vận chuyển hydro hóa lỏng thành công từ tàu sang bờ', News Archives, 2023 <<https://www.hystra.or.jp/en/gallery/article.html>> [ truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>55</sup> HESC, 'Cảng Hastings', Chuỗi cung ứng, 2023 <<https://www.hydrogenenergysupplychain.com/supply-chain/port-of-hastings/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

rằng việc tiếp nhiên liệu có thể được thực hiện mà không cần cơ sở hạ tầng bên cảng cố định hoặc nguồn cung cấp nhiên liệu gần đó. Các nhà cung cấp các hệ thống như vậy bao gồm Norled AS và Unitrove.

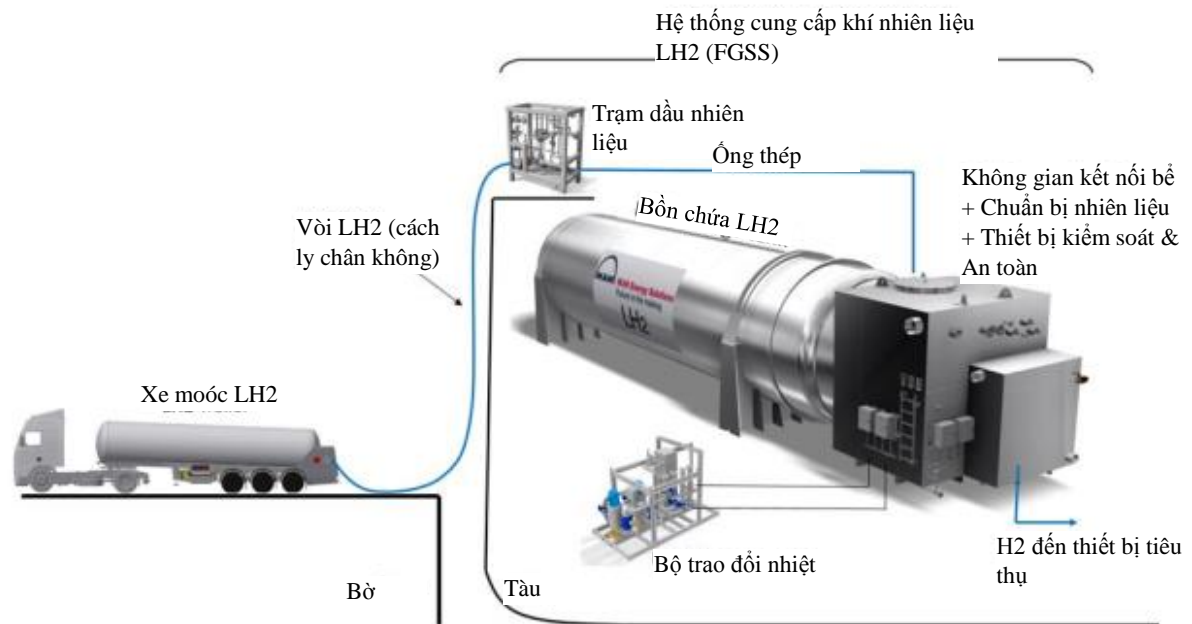
Hệ thống tiếp nhiên liệu hydro lỏng do Norled AS thiết kế và vận hành cho phà chở khách MF Hydra cung cấp hydro lỏng trực tiếp cho tàu. Mặc dù "tháp tiếp nhiên liệu" có thể di động, nhưng nó cũng có thể là một cấu trúc cảng cố định nếu có sẵn không gian trên bến cảng. Tổng thất khi sôi đã được giảm thiểu để giải phóng áp suất từ tháp tiếp nhiên liệu và xe tải, khoảng 10-15 kg trong số lượng hydro lỏng 3,2-3,5 tấn mỗi xe tải. Đối với các lần lặp lại tiếp theo của hệ thống, Norled đặt mục tiêu thu gom khí và sử dụng tại địa phương, giống như trường hợp trên tàu. Với tốc độ chất hàng 3 tấn/giờ, phải mất khoảng 1-1,5 giờ để tiếp nhiên liệu cho sức chứa 5,7 tấn của MF Hydra.



Hình 20: Tháp tiếp nhiên liệu hydro lỏng di động do Norled thiết kế và sở hữu được gắn vào một xe moóc ống, tiếp nhiên liệu cho phà chở khách Hydra. Ảnh: Norled AS.

Quá trình tiếp nhiên liệu hydro lỏng có thể được thực hiện bằng cách sử dụng chênh lệch áp suất hoặc máy bơm. Các hệ thống sử dụng chênh lệch áp suất (chẳng hạn như hệ thống của Norled) được thiết kế để cung cấp nhiên liệu khí cho thiết bị tiêu thụ bằng cách sử dụng lực nén được tạo ra bởi sự chênh lệch nhiệt độ giữa hydro lỏng và hydro nén. Khi hydro nóng lên, nó bay hơi để tạo ra

áp suất được sử dụng để tạo ra áp suất lý tưởng cho thiết bị tiêu thụ. Bất kỳ áp suất dư thừa nào sẽ được đưa trở lại để tiếp tục cung cấp cho thiết bị tiêu thụ.



Hình 21: Sơ đồ hệ thống tiếp nhiên liệu hydro lỏng điển hình cung cấp trực tiếp đến kho chứa trên tàu, tương tự như hệ thống do Norled AS thiết kế và vận hành cho MF Hydra<sup>47</sup>.

Các hệ thống sử dụng máy bơm (chẳng hạn như hệ thống của Unitrove) đã được xác minh trong nhiều thập kỷ. Máy bơm hydro có sẵn trên thị trường và theo hướng dẫn của nhà sản xuất, chẳng hạn như Linde, Air Products và Air Liquide.

Bảng 6: So sánh các hệ thống tiếp nhiên liệu hydro lỏng.

So sánh các hệ thống tiếp nhiên liệu hydro lỏng		
Nhà cung cấp	Norled AS	Unitrove Innovation
TRL/CRL	TRL/CRL9	TRL5
Tốc độ chất hàng	3 tấn/giờ	Tối thiểu 2,1 tấn/giờ hoặc 15.000 L/giờ
Kích thước (rộng*dài*cao)	5 * 4 * 12 m	1 * 1,8 * 2,5 m
Trọng lượng	15 tấn	1 – 1,5 tấn
Chi tiết	Không sử dụng máy bơm hoặc điện. Áp suất quá cao trong xe moóc đường bộ được sử dụng để đẩy hydro lỏng lên tàu.	Máy bơm 4 cấp được điều khiển bởi động cơ 6,5 kW.

Hệ thống tiếp nhiên liệu cố định là những cấu trúc lâu dài hơn với các bồn chứa liên quan, chẳng hạn như bến cảng hydro lỏng tại Cảng Kobe, Nhật Bản<sup>54</sup>. Điều này bao gồm Hệ thống Cần trục Bốc hàng Loại Cố định (LAS) để chuyển từ tàu vào bờ (và ngược lại). Thử nghiệm xếp dỡ hàng hóa bằng hydro hóa lỏng thành

công đã được tiến hành vào tháng 3 năm 2023 và do đó, công nghệ này hiện ở mức TRL8.



*Hình 22: Một hệ thống cần trục bốc hàng cố định từ tàu vào bờ (LAS) được lắp đặt trong bến cảng hydro tại cảng Kobe, Nhật Bản. Nguồn: HySTRA.*

Đối với hydro lỏng, hiện tại không có tiêu chuẩn nào áp dụng cho việc tiếp nhiên liệu trên biển. Có đề xuất rằng việc tiếp nhiên liệu hydro lỏng, ở một mức độ nhất định, sẽ được hướng dẫn bởi việc tiếp nhiên liệu LNG vì điều này đã có từ lâu. ISO TC197 chịu trách nhiệm thực hiện các tiêu chuẩn cho dịch vụ hydro.

Hiện tại, tất cả các hoạt động tiếp nhiên liệu đông lạnh đều dựa trên các hoạt động tiếp nhiên liệu LNG cho đến khi các tiêu chuẩn ISO hoặc CEN được áp dụng. ISO và CEN đang nghiên cứu các tiêu chuẩn hydro lỏng, các tiêu chuẩn này sẽ dựa trên các thông lệ tiếp nhiên liệu LNG được chấp nhận. Ví dụ: cơ sở tiếp nhiên liệu hydro lỏng của Unitrove Innovation dựa trên các bộ luật được công nhận như NFPA2, BGCA, EIGA và các tiêu chuẩn khác như BS EN 10079 cho môi trường dễ cháy nổ, đáp ứng COMAH, DSEAR, v.v. và đảm bảo tuân thủ các yêu cầu HSE. Tất cả các thiết bị như bơm cao áp, cảm biến, đồng hồ đo đều tuân thủ như trên.

ISO và CEN đã sử dụng LNG làm cơ sở để tạo điều kiện thuận lợi cho các tiêu chuẩn cho việc tiếp nhiên liệu hydro lỏng trên biển. NFPA2 "Công nghệ hydro" đã sử dụng các bộ luật NFPA khác như NFPA 52 "Bộ luật hệ thống nhiên liệu khí tự nhiên cho xe cộ" và NFPA 55 "Bộ luật khí nén và chất lỏng đông lạnh". Thật không may, mang tính chất tổng quát và không dành riêng cho hàng hải.

## 2.4.2 Hydro nén

Các trạm nạp hydro nén cho tàu lần đầu tiên được trình diễn vào năm 2008<sup>56</sup> và đang hoạt động ở một số địa điểm, như thể hiện trong Hình 19. Các trạm nạp này thực chất giống với các trạm nạp dành cho vận tải đường bộ, phổ biến trên toàn cầu. Ví dụ: ở Antwerp, Bỉ, một trạm tiếp nhiên liệu hydro nén đa phương thức do CMB.Tech vận hành cung cấp hai áp suất tiếp nhiên liệu hydro cho tàu ở 200 và 350 bar và một trạm nạp xe moóc ống ở 500 bar. Hai xe moóc tiếp nhiên liệu hydro cũng được triển khai, mỗi xe có khả năng tiếp nhiên liệu tới 200 và 350 bar từ 950 kg hydro ở mức 500 bar.

Công nghệ đã được chuyển giao từ lĩnh vực vận tải đường bộ và tuân theo các tiêu chuẩn dựa trên đất liền. Các trạm tiếp nhiên liệu hydro nén hiện tại có tốc độ dòng chảy tương đối thấp (220 kg/giờ) so với tiếp nhiên liệu hydro lỏng và tuân theo tiêu chuẩn SAE J2601\_202005 về tiếp nhiên liệu cho phương tiện giao thông trên đất liền.

Một nhược điểm kỹ thuật đáng kể của hydro nén được nạp trực tiếp là tốc độ dòng chảy tối đa được chứng minh là khoảng 220 kg/giờ. Công việc đang được tiến hành để tăng tốc độ này nhưng tốc độ lên tới 1.000 kg/giờ hoặc hơn đang được phát triển, ở mức TRL5-6.

Việc thay thế hydro nén được nạp sẵn trong container (thường là trong khung ISO 20' hoặc 40', còn được gọi là container khí đa nguyên tố, hoặc MEGC) bằng container rỗng giúp giảm thời gian tiếp nhiên liệu<sup>41</sup> cũng như mang lại tính linh hoạt cao hơn và đơn giản hóa cơ sở hạ tầng vì kho lưu trữ liên quan và vị trí nạp container có thể được đặt cách xa vị trí tiếp nhiên liệu, ví dụ như tại trạm tiếp nhiên liệu vận tải đường bộ hoặc trực tiếp tại nơi sản xuất<sup>41</sup>. Phương pháp này đã được Argo-Anleg GmbH chứng minh cho tàu đẩy nội địa Elektra<sup>38</sup>. Thông tin chi tiết và dữ liệu đặc tả kỹ thuật được cung cấp trong Nghiên cứu điển hình 20. Các hệ thống tương tự được mong đợi trên các tàu nội địa FPS Maas [Nghiên cứu điển hình 9], Antonie<sup>37</sup> và dự án RH2IWER (6 tàu nội địa)<sup>31</sup>. Đối với tàu Elektra, các hệ thống container được thay thế bằng cần cẩu trên tàu. Hiện tại, tiêu chuẩn cho các container bốc dỡ hàng là ISO 10855<sup>41</sup>.

Ở Na Uy, có những khoản đầu tư vào hydro đóng trong container được sản xuất hàng loạt để tiếp nhiên liệu cho tàu và thương mại. Sự chấp thuận quy hoạch đã được trao cho một địa điểm ở Mosjøen với sản lượng 18.250 tấn/năm với máy điện phân 100 MW và "nạp, lưu trữ và xử lý một số lượng lớn container hydro cũng như một cầu cảng để vận chuyển container bằng đường biển đến các thị

<sup>56</sup> ZemShips, 'Sự phát triển mới: Trạm tiếp nhiên liệu hydro', Technology, 2008 <<https://web.archive.org/web/20081011063719/http://www.zemships.eu/en/technology/hydrogen-fuelling-station/index.php>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

trường ở Na Uy Và Châu Âu"<sup>57</sup>. Trong Bod0, có FID cho dầu nhiên liệu 5 tấn/ngày và công suất hàng năm là 1.875 tấn hydro.

Không có tiêu chuẩn cho việc tiếp nhiên liệu hydro nén để sử dụng trong hàng hải, mặc dù có rất nhiều cơ sở. Ở quy mô nhỏ, quá trình tiếp nhiên liệu hydro nén hiện tại, chẳng hạn như cơ sở tiếp nhiên liệu hydro nén CMB.Tech ở Antwerp, dựa trên tiêu chuẩn trạm tiếp nhiên liệu trên đất liền, tức là ISO 19880-1 Trạm tiếp nhiên liệu hydro dạng khí. Tiêu chuẩn này bao gồm thiết kế, lắp đặt, chạy thử, vận hành, kiểm tra và bảo trì. Các tiêu chuẩn liên quan khác được liệt kê trong Bảng 7.

*Bảng 7: Danh sách các tiêu chuẩn liên quan đến hệ thống tiếp nhiên liệu hydro*

Mã tiêu chuẩn	Mô tả
ISO TS 16901:2022	Hướng dẫn thực hiện đánh giá rủi ro và an toàn trong thiết kế lắp đặt LNG trên bờ bao gồm giao diện tàu/bờ. Đây là tiêu chuẩn có nhiều khả năng nhất sẽ được xây dựng cuối cùng cho hydro nén và hydro lỏng.
NFPA 2	Bộ luật Công nghệ Hydro, dựa trên các bộ luật NFPA khác cho LNG/CNG.
ISO TS 18683	Hướng dẫn đánh giá rủi ro và an toàn của hoạt động tiếp nhiên liệu LNG
ISO BS EN 20519	Công nghệ tàu biển và hàng hải - Đặc tả kỹ thuật cho việc tiếp nhiên liệu cho tàu chạy bằng nhiên liệu khí thiên nhiên hóa lỏng. Đặt ra các yêu cầu đối với các hệ thống vận chuyển tiếp nhiên liệu LNG và thiết bị được sử dụng để tiếp nhiên liệu cho các tàu chạy bằng nhiên liệu LNG.
ISO 13984	Hydro lỏng- Tiếp nhiên liệu cho phương tiện giao thông đường bộ. Điều này thuộc TC197 WG 35 bao gồm đầu nối tiếp nhiên liệu hydro lỏng cho phương tiện được định mức 400 kg/giờ ở 1,6MPa (16 bar). Theo cuộc họp của ủy ban, đầu nối tiếp nhiên liệu “có thể” được áp dụng cho các ứng dụng hàng hải. Quá trình xây dựng tiêu chuẩn như vậy đang diễn ra. Thách thức chính là yêu cầu về “rò rỉ nhiệt” vào đầu nối, mặc dù một số OEM như Rego, WEH, MannTek, đang đảm nhận thiết kế đầy đủ.
ISO TR 15916	Bao gồm những cân nhắc cơ bản về sự an toàn của hệ thống hydro.
ISO TR 17177	Cung cấp hướng dẫn cho việc lắp đặt, thiết bị và vận hành tại giao diện giữa tàu với bến cảng và giữa tàu với tàu đối với các cảng LNG lai nổi và cố định. Cần tuân thủ các thông lệ IGF của IMO. Do nhiệt độ rất thấp của hydro lỏng ở 20°K (-253°C), tất cả các đường ống và ống mềm đều được cách nhiệt chân không. Đường ống làm bằng thép không gỉ austenit và ống mềm là ống mềm phức hợp hoặc ống composite.

<sup>57</sup> Aida Cucuk, 'Kế hoạch phân vùng cho Cơ sở hydro của Gen2 Energy ở Mosjøen được phê duyệt', Offshore Energy, ngày 30 tháng 3 năm 2023 <<https://www.offshore-energy.biz/zoning-plan-for-gen2-energy-hydrogen-facility-in-mosjoen-gets-approved/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

### 3. Cơ sở hạ tầng & sản xuất hydro xanh

Bảng 8: Tóm tắt Mức độ sẵn sàng về Công nghệ (TRL) và Mức độ sẵn sàng về thương mại (CRL) của các công nghệ sản xuất hydro xanh và cơ sở hạ tầng

Công nghệ	TRL/CRL
<b>Sản xuất hydro xanh</b>	
Máy điện phân kiềm (AE)	CRL10
Máy điện phân màng trao đổi proton (PEM)	CRL10
<b>Lưu trữ quy mô lớn</b>	
Bình hydro lỏng	TRL/CRL9 lên tới 336 tấn, CRL10 với công suất nhỏ hơn
Hóa lỏng	CRL10, lên tới 90 tấn/ngày
Lưu trữ hàng muối khí nén	TRL/CRL9, lên tới 1,5 triệu tấn
<b>Vận chuyển</b>	
Đường ống (hydro nén)	CRL11
Vận chuyển hydro lỏng bằng đường biển	TRL/CRL9, lên tới 90 tấn
Vận tải đường bộ (hydro lỏng)	CRL10
Vận tải đường bộ (hydro nén)	CRL10
bến cảng hydro lỏng	TRL/CRL9

#### 3.1 Sản xuất

Hydrogen hiện đang được sản xuất, vận chuyển và sử dụng với số lượng lớn trên toàn thế giới. Nhu cầu hydro toàn cầu là 94 triệu tấn/năm vào năm 2021, hầu hết tất cả đều được sử dụng trong công nghiệp<sup>58</sup>. Tuy nhiên, ngành công nghiệp hydro hiện tại cực kỳ gây ô nhiễm, với 95% hydro được sản xuất bằng cách sử dụng quá trình tái tạo metan bằng hơi nước sử dụng nhiều carbon (SMR) từ khí tự nhiên, được gọi là 'hydro xám', dẫn đến lượng phát thải CO<sub>2</sub> từ 70 đến 100 triệu tấn hàng năm theo Ủy ban Châu Âu. Các cảng (cả ven biển và nội địa) hiện là những địa điểm phổ biến nhất để sản xuất hydro<sup>41</sup>.

May mắn thay, có các phương pháp carbon thấp để sản xuất hydro. Hydro xanh (hoặc e-hydro) được tạo ra bằng cách điện phân nước sử dụng điện từ các nguồn tái tạo. Kết quả là một loại nhiên liệu tuyệt đối không có KNK trên cơ sở vòng đời từ well-to-tank (WTT), với lượng phát thải KNK bằng 0 từ well-to-wake (WTW) nếu pin nhiên liệu LT-PEM được sử dụng trên tàu<sup>25</sup>. Hai loại máy điện phân chiếm ưu thế nhất: máy điện phân kiềm và máy điện phân màng trao đổi proton (PEM). Cả hai đều ở mức CRL10.

<sup>58</sup> IEA, Hydro (Paris, 2022) <<https://www.iea.org/reports/hydrogen>>.



Vào năm 2021, có khoảng 600 MW công suất<sup>59</sup> máy điện phân hoạt động hoặc khoảng 90.000 tấn hydro xanh mỗi năm, trong đó 200 MW được đặt ở Trung Quốc và 170 MW ở Châu Âu<sup>29</sup>. Thêm 1,6 GW công suất máy điện phân trên toàn cầu (khoảng 230.000 tấn/năm) đang ở giai đoạn FID hoặc đang được thi công và dự kiến sẽ đi vào hoạt động trong năm 2023<sup>59</sup>.

Công suất sản xuất máy điện phân là 8 GW/năm vào năm 2022<sup>60</sup>. Quá trình sản xuất chủ yếu ở châu Âu và phần còn lại ở Hoa Kỳ, Trung Quốc, Nhật Bản và Hàn Quốc<sup>29</sup>. Các loại máy điện phân được lắp đặt phổ biến nhất vào năm 2021 là máy điện phân kiềm (70%), tiếp theo là máy điện phân PEM (25%)<sup>60</sup>.

Hydro xanh là cần thiết để loại bỏ phát thải KNK từ nhiều ngành công nghiệp nặng, vì vậy sự cạnh tranh đối với nguồn tài nguyên này có thể trở nên khốc liệt trong thập kỷ tới. Hydro xanh là cơ sở của bất kỳ loại 'nhiên liệu điện tử' nào (chẳng hạn như e-amoniac và e-methanol), do đó sẽ phải được mở rộng quy mô nếu bất kỳ loại nhiên liệu nào trong số này được đưa vào sử dụng rộng rãi. Sản lượng dự kiến sẽ tăng lên, ít nhất là ở EU, kể từ khi thông báo của FuelEU Maritime yêu cầu 2% nhiên liệu hàng hải của EU phải được cung cấp từ hydro xanh hoặc nhiên liệu điện tử có nguồn gốc từ hydro xanh ít nhất vào năm 2034<sup>61</sup>. Dự kiến sẽ nhập khẩu hydro từ các khu vực có nguồn tài nguyên tái tạo cao đến các trung tâm có nhu cầu<sup>62</sup>.

Ở Na Uy, các công ty vận tải biển đang ký thỏa thuận ý định với các nhà sản xuất hydro xanh để đảm bảo nguồn cung cho các đội tàu không phát thải trong tương lai<sup>63</sup>. Các nhà sản xuất khác đang cố gắng giải quyết vấn đề tiến thoái lưỡng nan bằng cách cung cấp cơ sở hạ tầng hydro sẵn sàng cho tàu cũng như

<sup>59</sup> Adrian Odenweller và những người khác, 'Không gian khả thi theo xác suất của việc mở rộng quy mô cung cấp hydro xanh', *Nature Energy*, 7.9 (2022), 854-65 <<https://doi.org/10.1038/s41560-022-01097-4>>.

<sup>60</sup> IEA, *Đánh giá Hydro Toàn cầu 2022* (Paris, 2022) <<https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022>>.

<sup>61</sup> Liên đoàn Châu Âu về Giao thông vận tải và Môi trường AISBL, 'EU đồng ý với yêu cầu về nhiên liệu hàng hải xanh đầu tiên trên thế giới', *Giao thông vận tải & Môi trường* (Brussels, ngày 23 tháng 3 năm 2023) <<https://www.transportenvironment.org/discover/eu-confirms-the-worlds-first-green-shipping-fuel-requirement/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>62</sup> McKinsey & Company, *Global Hydrogen Flows, 2022* <[www.hydrogencouncil.com](http://www.hydrogencouncil.com)> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>63</sup> Aida Cucuk, 'Everfuel và Greenstat Ký kết Hợp đồng thuê với Elkem cho Trung tâm Hydro Agder', *Offshore Energy*, ngày 3 tháng 3 năm 2023 <<https://www.offshoreenergy.biz/everfuel-and-greenstat-enter-lease-agreement-with-elkem-for-hydrogen-hub-agder/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

bản thân nhiên liệu, ví dụ bằng cách cung cấp hydro nén bên bên cảng trong các container tiêu chuẩn ISO<sup>57,64</sup>.

### 3.2 Lưu trữ quy mô lớn

Hydro thường được lưu trữ ở quy mô lớn trong các bồn chứa hydro lỏng đông lạnh cách nhiệt ở -253°C và áp suất 5 bar (TRL/CRL9) hoặc trong các hang muối ngầm được nén ở áp suất 150 đến 200 bar (TRL/CRL9).

Bồn chứa hydro lỏng lớn nhất thế giới gần đây đã được xây dựng cho NASA và có thể lưu trữ 4.732 mét khối hay 336 tấn hydro lỏng, đủ để nạp cho phà Hydra 33 lần hoặc tàu sân bay Suiso Frontier gần bốn lần. Những tiến bộ trong công nghệ đã làm giảm đáng kể hiện tượng sôi từ các bồn chứa hydro lỏng. Bồn chứa 336 tấn của NASA có tỷ lệ sôi là 0,03% mỗi ngày<sup>65</sup>.

*Bảng 9: Bồn chứa hydro lỏng lớn nhất trên toàn cầu. Tài liệu tham khảo về Nghiên cứu điển hình (CS) trong Phụ lục được đưa ra khi thích hợp.*

Vị trí bồn chứa	Nhà sản xuất	Thể tích (m <sup>3</sup> )	Dung tích (tấn)	Mục đích
Kennedy Space Centre, Hoa Kỳ	CB&I	4.732 <sup>66</sup>	336	Nhiên liệu tên lửa
Kennedy Space Centre, Hoa Kỳ	CB&I	3.800 <sup>67</sup>	270	Nhiên liệu tên lửa
Cảng Kobe, Nhật Bản	Kawasaki Heavy Industries	2.500 <sup>68</sup>	178	Bến cảng nhập khẩu
Tanegashima Space Center, Nhật Bản	Kawasaki Heavy Industries	540 [CS21]	38	Nhiên liệu tên lửa

<sup>64</sup> Innovation Norway, 'Ngành hàng hải trên bờ vực chuyển đổi hydro', Business Norway, 2023 <<https://businessnorway.com/articles/maritime-sector-on-the-verge-of-hydrogen-transformation>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>65</sup> A. M. Swanger, 'Kết quả thử nghiệm cuối cùng đối với Đơn vị trình diễn hoạt động trên mặt đất đối với hydro lỏng', Cryogenics Society of America, Inc., ngày 6 tháng 5 năm 2023 <<https://doi.org/10.1016/J.CRYOGENICS.2017.10.008>>.

<sup>66</sup> James E Fesmire và Adam Swanger, 'Tổng quan về Quả cầu LH 2 mới tại Trung tâm Vũ trụ Kennedy của NASA', trong Hội thảo của DOE/NASA về Những tiến bộ trong Lưu trữ Hydrogen lỏng (Trung tâm Vũ trụ NASA Kennedy, FL: Bộ Năng lượng Hoa Kỳ, 2021).

<sup>67</sup> NCE Maritime CleanTech, Chuỗi giá trị tương lai của Na Uy đối với hydro lỏng, 2016 <<https://maritimecleantech.no/wp-content/uploads/2016/11/Report-liquid-hydrogen.pdf>>.

<sup>68</sup> Kawasaki Heavy Industries Ltd., Phát triển Bến cảng Hydro Hóa lỏng, 2021 <<https://global.kawasaki.com/en/corp/rd/magazine/182/pdf/n182en06.pdf>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].



Hình 23: Bồn chứa hydro lỏng lớn thứ ba thế giới là một phần của bến cảng nhập khẩu tại Cảng Kobe, Nhật Bản và có thể chứa 178 tấn<sup>68</sup> (ảnh: HyTouch Kobe).

Đương nhiên, việc lưu trữ hydro lỏng đòi hỏi phải hóa lỏng. Các nhà máy hóa lỏng đang hoạt động thương mại trên khắp thế giới, chủ yếu để cung cấp tên lửa vũ trụ và các phương tiện di chuyển hạng nặng. Ví dụ, Air Liquide vận hành một nhà máy 90 tấn/ngày ở Hàn Quốc<sup>69</sup> và một nhà máy 30 tấn/ngày<sup>70</sup>, mỗi nhà máy dành cho lĩnh vực phương tiện di chuyển. Linde Kryotechnik đã triển khai các máy hóa lỏng công suất lên tới 34 tấn/ngày<sup>71</sup>, Plug Power lên tới 30 tấn/ngày<sup>72</sup> và Kawasaki Heavy Industries lên tới 25 tấn/ngày với hoạt động liên tục trong 3.000 giờ đã được chứng minh<sup>45</sup>. Ngoài ra, các nhà cung cấp như Hylium, GenH2 và Linde cung cấp dịch vụ hóa lỏng với công suất nhỏ hơn nhiều (100 kg/ngày) để sử dụng ở quy mô thấp. Do đó, quá trình hóa lỏng ở mức CRL10 ở cả quy mô nhỏ và quy mô lớn hơn.

Hydro nén có thể được lưu trữ với số lượng lớn bằng cách sử dụng các hang muối ngầm. Chúng được tạo ra một cách nhân tạo bằng cách bơm nước vào các mỏ muối địa chất và loại bỏ hỗn hợp nước muối hòa tan. Kết quả là tạo ra một hốc lớn và kín trong đá, nơi có thể lưu trữ hydro được điều áp, thường ở áp suất

<sup>69</sup> Air Liquide, 'Các hoạt động hydro hóa lỏng trong không khí đang tăng tốc ở Hàn Quốc khi nhu cầu đang tăng nhanh', Thông cáo báo chí (Paris, tháng 7 năm 2021) <<https://www.airliquide.com/group/press-releases-news/2021-07-27/air-liquide-hydrogen-activities-are-accelerating-south-korea-demand-growing-fast>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>70</sup> Oriane Farges, 'Công nghệ hóa lỏng hydro tiên tiến nhất', trong Hội thảo DOE (Houston, TX: Bộ Năng lượng Hoa Kỳ, 2022 <[https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-03/Liquid\\_H2\\_Workshop-Air\\_Liquide.pdf](https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-03/Liquid_H2_Workshop-Air_Liquide.pdf)> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>71</sup> Linde Engineering, 'Máy hóa lỏng hydro', Cryogenic Plants, 2023 <[https://www.linde-engineering.com/en/process-plants/cryogenic\\_plants/hydrogen\\_liquefiers/index.html](https://www.linde-engineering.com/en/process-plants/cryogenic_plants/hydrogen_liquefiers/index.html)> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>72</sup> Plug Power, 'Máy hóa lỏng hydro', Hydrogen, 2023 <<https://www.plugpower.com/hydrogen/hydro-liquefier/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

150 đến 200 bar<sup>73</sup>. Bốn hang chứa hydro dưới lòng đất đang hoạt động thương mại trên toàn cầu, đáng chú ý nhất là ở Bờ Vịnh Hoa Kỳ, nơi một hang chứa có sức chứa lên tới 130 triệu m<sup>3</sup>, hay 1,5 triệu tấn ở áp suất 150 bar, được Air Liquide<sup>74</sup> khai thác. Do đó, công nghệ này ở mức TRL/CRL9.

### 3.3 Vận chuyển

Đường ống vận chuyển hydro khí nén là công nghệ thông thường được sử dụng trên đất liền cho các ngành công nghiệp nặng. Khoảng 4.500 km đường ống hydro hiện đang được vận hành trên khắp thế giới<sup>29</sup>. Đường ống cho phép vận chuyển hydro tinh khiết trên một khoảng cách dài bằng cách sử dụng cơ sở hạ tầng tương tự như đường ống dẫn khí đốt tự nhiên.

Phương pháp vận chuyển hydro lỏng bằng đường thủy đã được sử dụng ít nhất từ năm 1977 tại Trung tâm Vũ trụ Stennis của NASA ở Mississippi (xem Hình 24). Trong ít nhất một lần, một sà lan hydro lỏng của NASA chở đầy đã được kéo qua Biển Caribê từ Vịnh Hoa Kỳ đến cơ sở phóng tên lửa của Châu Âu ở Guyana thuộc Pháp<sup>46</sup>.



Hình 24: Sà lan hydro lỏng neo đậu tại Trung tâm Vũ trụ Stennis năm 1977. Nguồn: NASA/Stennis.

<sup>73</sup> NEUMAN & ESSER GROUP, 'Dự trữ hydro trong các hang muối', 2023 <<https://www.neuman-esser.de/en/company/media/blog/hydrogen-storage-in-salt-caverns/>> [đã truy cập 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>74</sup> Air Liquide USA, 'H2 Storage & Power | Air Liquide USA', 2023 <<https://usa.airliquide.com/sustainability/hydrogen/h2-storage-power#9896>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

Kể từ năm 2021, việc vận chuyển hydro lỏng dạng rời bằng đường biển đã được chứng minh trên tàu sân bay Suiso Frontier, có sức chứa 90 tấn hydro lỏng trong bể đông lạnh 1.250 m<sup>3</sup> có lớp bảo vệ kép và cách nhiệt kép<sup>45</sup>.

Chuyến đi Nhật Bản-Úc đầu tiên của Suiso Frontier (Hình 25) dẫn đến lượng khí sôi bằng 0 do kiểm soát hiện tượng sôi trên diện rộng. Hiện tượng sôi được kiểm soát bằng một bể chứa tích lũy áp suất hình trụ cho phép áp suất bên trong tăng lên trong khi lưu trữ khí sôi bên trong, giống như một tàu chở LNG<sup>45</sup>. Khí sôi hydro có thể được sử dụng làm nhiên liệu máy chính, như với các tàu chở LNG nhưng không được sử dụng trên Suiso Frontier. Việc tận dụng hiện tượng sôi để đẩy tàu đã được chứng minh trên phà chở khách MF Hydra (xem mục 2.2.1) nhưng vẫn chưa được chứng minh trên tàu chở hàng.

Việc vận chuyển hydro nén ở dạng rời dự kiến sẽ được trình diễn vào năm 2024 như một phần của dự án HyEkoTanker sẽ trang bị thêm cho một tàu chở sản phẩm 18.600 dwt với 4.000 kg kho chứa hydro nén<sup>30</sup>. Tàu cũng sẽ được trang bị hệ thống pin nhiên liệu 2,4 MW cho nguồn điện phụ trợ (xem Bảng 4).

Phương pháp vận chuyển hydro lỏng bằng đường bộ đã hoạt động từ những năm 1950 và hiện ở mức CRL10<sup>75</sup>. Một số công ty bao gồm Linde Gas, Kawasaki Heavy Industries [Nghiên cứu điển hình 21] và Hylium cung cấp dịch vụ vận chuyển hydro lỏng bằng xe tải chở từ 2,5 đến 3,5 tấn trong các xe moóc ống cỡ container ISO 40 foot có cán màng chân không và cách nhiệt.



Hình 25: Tàu chở hydro lỏng đầu tiên trên thế giới Suiso Frontier cập bến tại một bến cảng hydro ở Cảng Kobe, Nhật Bản. Ảnh: HySTRA.

<sup>75</sup> John Sloop, 'HYDRO LỎNG LÀM NHIÊN LIỆU ĐỘNG CƠ ĐẦY, 1945-1959' (NASA SP-4404, 1978) <<https://history.nasa.gov/SP-4404/ch8-11.htm>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

Một chuỗi cung ứng hydro lỏng đường dài đã được thiết lập để tiếp nhiên liệu cho phà chở khách Hydra ở Hjelmeland, Na Uy [Nghiên cứu điển hình 19]. Hydro xanh được vận chuyển hơn 1.000 km từ máy điện phân 24 MW ở Leuna, Đức bằng xe tải.

Quá trình vận chuyển hydro nén bằng đường bộ cũng ở mức CRL10 và được một số công ty bao gồm NPROXX, Air Liquide, BayoTech và Linde Gas cung cấp ở độ tinh khiết cao và ở nhiều áp suất khác nhau.

Các nhà cung cấp cung cấp các bồn chứa hydro nén trong các container tiêu chuẩn ISO 20 hoặc 40 feet lên đến 1.100 kg mỗi xe moóc<sup>76</sup>.

### 3.4 Bến cảng hydro lỏng

Bến cảng hydro hóa lỏng tại Cảng Kobe, Nhật Bản, bao gồm một bồn chứa hydro lỏng, hệ thống cần trục bốc hàng để nạp/dỡ hydro hóa lỏng giữa tàu chở hàng và bờ biển, và các phương tiện xử lý khí sôi, bao gồm một máy nén khí hydro bay hơi từ bồn chứa và ngăn chứa khí sôi và ngăn xếp thông hơi để giải phóng khí hydro được tạo ra trong khi hydro hóa lỏng đang được nạp hoặc dỡ<sup>68</sup>.

Bến cảng tương ứng tại Cảng Hastings, Úc bao gồm một hệ thống vận chuyển cố định từ tàu vào bờ tương tự, một nhà máy hóa lỏng công suất 0,25 tấn/ngày và một container chứa hydro lỏng 41 m<sup>3</sup>.

Các tiêu chuẩn quốc tế cho bến cảng hydro hóa lỏng vẫn chưa được xác định. Hiện tại, các tiêu chuẩn quốc tế duy nhất cho việc vận chuyển từ tàu vào bờ ở nhiệt độ thấp là những tiêu chuẩn do Tổ chức Tiêu chuẩn hóa Quốc tế (ISO) đặt ra cho LNG, nhưng chúng vẫn chưa được thiết lập cho hydro lỏng<sup>68</sup>. Kawasaki Heavy Industries đã thành lập một ủy ban ISO để tiêu chuẩn hóa thiết bị hydro hóa lỏng.

Suiso Frontier hiện đang thể hiện chuỗi cung ứng xuyên đại dương bằng cách vận chuyển hàng hóa giữa Nhật Bản và Úc. Đây là một cột mốc quan trọng vì thương mại có cơ hội giảm 25%<sup>62</sup> giá hydro bằng cách kết nối các nguồn tái tạo lớn với các trung tâm có nhu cầu.

---

<sup>76</sup> Thomas Zorn, Innovation & Experience. Cơ sở hạ tầng và Công nghệ Hydro, 2013 <<https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/18546/aga-linde-h2-dec.pdf>>.

## 4. Động cơ đẩy bằng gió

Các công nghệ đẩy bằng gió đã được mô tả chi tiết trong một số tài liệu đệ trình lên IMO, gần đây nhất là MEPC 79/INF.21. Những công nghệ như vậy tuyệt đối không có KNK vì chúng chỉ khai thác gió tái tạo miễn phí và trực tiếp, cho phép giảm tiêu thụ nhiên liệu và do đó giảm lượng phát thải KNK tổng thể trên tàu. Mức giảm phát thải KNK đã được xác minh là 5-20% khi lắp đặt trang bị thêm, tùy thuộc vào tuyến đường và tàu. Dự kiến sẽ có mức giảm lớn hơn với các tàu đóng mới và các biện pháp bổ sung như tối ưu hóa hành trình và định tuyến theo thời tiết.



Hình 26: Ví dụ về nền móng cánh buồm rotor gấp bao gồm xi lanh hệ thống nghiêng. Ảnh: Dealfeng New Energy Technology Ltd.).

Theo International Windship Association (IWSA), tính đến tháng 12 năm 2022, đã có 22 tàu lớn được lắp đặt công nghệ đẩy bằng gió, ngoài ra còn có nhiều tàu chở hàng bằng buồm và tàu chạy bằng buồm truyền thống ở các nước đang phát triển. Số lượng lắp đặt trên các tàu lớn dự kiến sẽ tăng hơn gấp đôi lên ít nhất 50 vào cuối năm 2023, dựa trên các dự án lắp đặt đang tiến hành.

Động cơ đẩy bằng gió đã được lắp đặt trên nhiều loại tàu khác nhau: tàu chở hàng rời, tàu chở dầu, RoRo, phà, tàu chở hàng bách hóa và tàu đánh cá, theo MEPC 79/INF.21. Các loại công nghệ đẩy bằng gió đã được lắp đặt kể từ quý 4 năm 2022 là cánh buồm rotor, cánh hút, cánh buồm cứng, cánh điều và cánh buồm mềm/lai. Mỗi loại có thể được coi là TRL/CRL9.

*Bảng 10: Tóm tắt Mức độ sẵn sàng về Công nghệ (TRL) và Mức độ sẵn sàng về thương mại (CRL) của các công nghệ đẩy bằng gió*

<b>Loại công nghệ đẩy bằng gió</b>	<b>TRL/CRL 2023</b>	<b>Triển vọng TRL/CRL 2024-25</b>
Cánh buồm rotor	TRL/CRL9	CRL10
Cánh hút	TRL/CRL9	CRL9
Cánh buồm cứng	TRL/CRL9	CRL10
Cánh điều	TRL/CRL9	CRL10
Cánh buồm mềm/lai	TRL/CRL9	CRL9

Hàng trăm bộ đẩy bằng gió mỗi năm sẽ có sẵn vào năm 2024-2025 theo dự báo thị trường được trình bày trong MEPC 79/INF.21. Việc mở rộng quy mô sản xuất được chứng minh bằng một số thông báo:

- Dealfeng đặt mục tiêu sản xuất 20 bộ cánh buồm rotor vào tháng 12 năm 2023 [Nghiên cứu điển hình 22]
- AirSeas lên kế hoạch xây dựng nhà máy sản xuất 50 bộ cánh điều SeaWing vào năm 2024
- Anemoi Marine đặt mục tiêu lắp đặt 50 cánh buồm rotor mỗi năm vào năm 2025<sup>77</sup>
- Norsepower Oy Ltd đã ký hợp đồng cho vay với Ngân hàng Nefco để đẩy nhanh quá trình sản xuất cánh buồm rotor tại Trung Quốc<sup>78</sup>
- Chantiers d'Atlantique đang lên kế hoạch xây dựng một nhà máy ở Pháp để sản xuất cánh buồm cứng<sup>79</sup>

Các thông báo của công ty cho thấy cánh buồm rotor, cánh điều và cánh buồm cứng sẽ đạt mức CRL10 trong 1-2 năm tới.

<sup>77</sup> Daniel Logan, 'Sail-Maker Anemoi nhắm tới 50 lượt lắp đặt mỗi năm vào năm 2025', ShippingWatch, tháng 7 năm 2021 <<https://shippingwatch.com/suppliers/article13111892.ece>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>78</sup> Norsepower Oy, 'Norsepower Nhận Tài trợ từ Nefco để Mở rộng Sản xuất Cánh buồm Rotor ở Trung Quốc', Press Release, 2022 <<https://www.norsepower.com/post/norsepower-receives-financing-from-nefco-to-expand-rotor-sail-production-in/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>79</sup> Hélène Musca, 'Solid Sail: Vers Une Nouvelle Usine à Lanester Pour Construire Les Mâts Du Futur - Lorient -', Le Télégramme (Lorient, ngày 9 tháng 12 năm 2022) <<https://www.letelegramme.fr/morbihan/lorient/solid-sail-vers-une-nouvelle-usine-a-lanester-pour-construire-les-mats-du-futur-09-12-2022-13238380.php>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].



## 5. Kết hợp các công nghệ để đạt được mức giảm phát thải sâu và tuyệt đối bằng 0

Các công nghệ được trình bày cho đến nay đều là những công nghệ tuyệt đối không phát thải KNK tại điểm sử dụng. Khi được sử dụng kết hợp, các công nghệ này có thể đạt được mức tuyệt đối bằng 0 ở cấp độ toàn tàu. Tuy nhiên, những công nghệ này cũng có thể giảm lượng phát thải bằng cách sử dụng chúng kết hợp với các công nghệ thông thường, ví dụ bằng cách bổ sung động cơ đẩy nhờ sức gió, ESS pin, hydro xanh làm nhiên liệu thả vào trong ICE và pin nhiên liệu hydro làm bộ nguồn điện phụ trợ hoặc một phần của hệ thống đẩy lại.

Ngày nay, một số loại tàu trong các cấu hình vận hành nhất định đã đạt được mức tuyệt đối bằng 0 khi sử dụng hệ thống điện hoặc điện-hydro như được trình bày trong mục 1.0 và 2.0. Mặc dù vẫn còn một số rào cản liên quan đến chi phí và nguồn cung nhiên liệu không phát thải, nhưng những rào cản này có thể được giảm bớt trên các tàu đóng mới bằng cách kết hợp các công nghệ tiết kiệm năng lượng, làm cho các tàu tuyệt đối không phát thải trở nên khả thi hơn về mặt kỹ thuật và kinh tế ngày nay.

Năm 2019, Hội thảo Kỹ thuật của ICCT về Công nghệ tàu không phát thải đã phát hiện ra rằng “một số phân khúc có thể phù hợp hơn với năng lượng pin, pin nhiên liệu, năng lượng gió, năng lượng mặt trời, v.v. hoặc các kết hợp khác nhau của các giải pháp này.” và cần phải “xác định các phân khúc của ngành vận tải biển quốc tế có thể được kết hợp với một hoặc nhiều giải pháp công nghệ cụ thể” (trang 11)<sup>80</sup>. Kể từ năm 2019, công nghệ, cơ sở hạ tầng nhiên liệu và mức độ sẵn có đã tiến bộ đáng kể. Ngày nay, các thiết kế tàu chở hàng thương mại kết hợp công nghệ không phát thải để đạt được mức phát thải KNK gần bằng 0 (Egil Ulvan Rederi AS, With Orca<sup>81</sup>) và tuyệt đối bằng 0 (Veer Corp.<sup>82</sup>) đã nhận được sự chấp thuận về nguyên tắc từ các tổ chức đăng kiểm tàu.

<sup>80</sup> The International Council on Clean Transportation (ICCT), 'Tóm tắt hội thảo', trong Hội thảo kỹ thuật của ICCT về công nghệ tàu không phát thải (San Francisco, CA: ICCT, 2019) <<https://theicct.org/events/zero-emission-vessel-workshop-SF-2019>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>81</sup> Egil Ulvan Rederi AS, 'Dự án mới của Egil Ulvan Rederi “Với Orca”, một dự án tàu chở hàng rời chạy bằng nhiên liệu hydro đã được LR phê duyệt về nguyên tắc.', Press Release, năm 2023 <<https://ulvan-rederi.no/egil-ulvan-rederi-new-project-with-orca-a-hydrogen-fueled-bulk-carrier-project-awarded-lr-approval-in-principle/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>82</sup> Hydrogen Central, 'Veer nhận được hỗ trợ cho thiết kế tàu chạy bằng pin nhiên liệu hydro nhờ sức gió - Hydrogen Central', Hydrogen Central, tháng 10 năm 2022 <<https://hydrogen-central.com/veer-receives-support-wind-assisted-hydrogen-fuel-cell-vessel-design/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

Các công nghệ bổ sung tồn tại để tiếp tục giảm nhu cầu năng lượng trên tàu. Bảng 11 trình bày các công nghệ được lắp đặt thương mại góp phần đáng kể (ít nhất 5% trên tàu dưới hoặc bằng 5.000 GT và ít nhất 2% trên tàu trên 5.000 GT) để giảm tổng nhu cầu năng lượng và lượng phát thải KNK. Các công nghệ được liệt kê theo số lượng tàu có lắp đặt.

Các công nghệ khai thác trực tiếp năng lượng tái tạo trên tàu cũng góp phần giảm nhu cầu điện năng và do đó giảm phát thải, ví dụ, 134 kWp tấm pin mặt trời được lắp đặt trên tàu nội địa dài 135m có thể tiết kiệm 12% nhiên liệu tương ứng với 33.000 L/năm và 107 tấn CO<sub>2</sub>/năm tránh được [Nghiên cứu điển hình 25].

*Bảng 11: Tóm tắt các công nghệ bổ sung để tiếp tục giảm nhu cầu năng lượng trên tàu, bao gồm Mức độ sẵn sàng về công nghệ (TRL) và Mức độ sẵn sàng về thương mại (CRL)*

Công nghệ	Nhà cung cấp	Mô tả	TRL/CRL	Hệ thống lắp đặt trên tàu	Giảm phát thải KNK
<b>Công nghệ tiết kiệm năng lượng</b>					
Bôi trơn không khí	Silverstream [CS23], Mitsubishi Heavy Industries, TMC, Marine Performance Industries	Tiết kiệm nhu cầu năng lượng bằng cách giảm lực cản trên thân tàu bằng bọt khí. Có thể trang bị thêm.	CRL 10	Ít nhất 37 tàu lớn <sup>83,84</sup>	5,1% được đo trên tàu chở hàng Ro-Ro 67.300 GT
Cánh gió thân tàu	Hull Vane [CS24]	Phụ kiện thủy động lực học hình cánh giúp triệt tiêu sóng đuôi tàu và giảm độ nghiêng khi chạy, do đó là lực cản. Có thể trang bị thêm.	TRL/CRL 9	6 du thuyền, 3 tàu thương mại, 3 tàu hải quân	10-20%
Cánh hướng gió hình cung	MOL, ONE, CMA CGM	Giảm sức cản của gió cho tàu container. Có thể trang bị thêm.	TRL/CRL 9	7 tàu container lên tới ~21.700 TEU	2% <sup>85</sup>

<sup>83</sup> MPS, 'Hệ thống lắp đặt đã hoàn tất', Press Release, năm 2023 <<https://www.marineperformancesystems.com/news/successful-commissioning-of-berge-toubkal>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>84</sup> TMC Compressors, 'Máy nén dẫn đầu thị trường', Press Release, năm 2023 <<https://www.tmc.com/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>85</sup> Ship Nerd, 'Bow Windshield, Tính năng tàu container mới nổi', Ship Nerd, tháng 2 năm 2023 <<https://www.shipnerdnews.com/bow-windshield-new-containership-feature/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<b>Công nghệ phát điện tái tạo trên tàu</b>					
Tấm năng lượng mặt trời trên tàu	Wattlab [CS25], Solbian	Các tấm năng lượng mặt trời trên tàu tạo ra điện tái tạo	TRL/CRL 9	Ít nhất 8 tàu nội địa	12%
Lá hình cung	Wavefoil	Chuyển đổi năng lượng sóng thành lực đẩy bằng cách tạo ra lực nâng lớn hơn lực cản khi tàu nghiêng. Có thể trang bị thêm.	TRL/CRL 9	4 tàu lên tới 1.260 GT	5-15% <sup>86</sup>

Thiết kế tàu là một yếu tố quan trọng trong hiệu suất. Ví dụ, một số công ty đã có thể thiết kế các tàu nhỏ không phát thải với nhu cầu năng lượng rất thấp bằng cách sử dụng các thiết kế thân tàu cánh thủy lực cải tiến<sup>87,88</sup>.

Việc kết hợp nhiều công nghệ để đạt được mức phát thải tuyệt đối bằng 0 đòi hỏi phải điện khí hóa để quản lý hiệu quả các nguồn năng lượng đầu vào và đầu ra khác nhau. Như đã đề cập trong mục 1.0, pin và các thành phần khác như BMS và bộ truyền động điện là rất quan trọng. Các nhà tích hợp hệ thống kết hợp chúng với các công nghệ khác để chế tạo các tàu không phát thải. ESS pin đặc biệt có thể cho phép tích hợp các nhiên liệu thay thế như hydro trong các hệ thống lai vì một số lý do:

- Chi phí nhiên liệu thay thế cao hơn làm tăng nhu cầu về tính hiệu quả. Pin là một phương pháp đã được chứng minh để tăng hiệu quả cho hầu hết các loại tàu.
- Mật độ năng lượng của nhiên liệu thay thế thấp hơn so với dầu diesel sẽ đòi hỏi những cách sáng tạo để giảm sử dụng nhiên liệu. Bên cạnh việc sử dụng pin để tăng hiệu quả của tàu, pin cũng có thể được sạc tại cảng khi có nguồn điện trên bờ. Năng lượng này có thể được sử dụng để loại bỏ việc sử dụng máy phát điện khi ở cảng, hoặc thậm chí sử dụng nhiên liệu cho một phần hoạt động (tại cảng).
- Một số công nghệ, chẳng hạn như pin nhiên liệu, dựa vào việc sử dụng pin để xử lý nhu cầu năng lượng cao nhất. Pin là một công nghệ tuyệt vời và đã được chứng minh để xử lý các mức đỉnh này trong cấu hình kết hợp.

<sup>86</sup> Wavefoil, 'Wavefoil - Lá hình cung có thể thu vào', 2022 <<https://wavefoil.com/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>87</sup> Artemis Technologies, 'Artemis EFOILER® - Vận tải biển tốc độ cao không phát thải', 2023 <<https://www.artemistechnologists.co.uk/efoiler/#efoiler>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>88</sup> Boundary Layer Technologies, 'Giới thiệu Valo: Hyperfoil đầu tiên trên thế giới', 2023 <<https://www.boundarylayer.tech/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

ICE có thể được hưởng lợi từ khả năng tiết giảm phụ tải đỉnh của hệ thống pin.

Trong những năm gần đây, nghiên cứu của ICCT đã chứng minh cả tiềm năng của pin nhiên liệu hydro lỏng để thay thế nhiên liệu hóa thạch cho các tàu container trên hành lang xuyên Thái Bình Dương và tiềm năng tiết kiệm năng lượng và giảm phát thải của cánh buồm rotor. Nghiên cứu này đưa ra một ví dụ về ba tàu chở hàng rời được trang bị thêm cánh buồm rotor và hydro lỏng để đạt được mức phát thải KNK tuyệt đối bằng 0 trên tàu<sup>89</sup>. Khi động cơ đẩy bằng gió và điện với hydro lỏng làm nhiên liệu được kết hợp ở giai đoạn thiết kế, các công nghệ hiệu quả và hình thức thân tàu đổi mới có thể được đưa vào để giảm đáng kể nhu cầu nhiên liệu, ví dụ như thiết kế của Veer Corp. cho tàu chạy bằng hydro nhờ sức gió<sup>82</sup>.

## 6. Đào tạo đoàn thuyền viên

Phần này mô tả việc cung cấp hoặc phát triển đào tạo hiện tại, được liên kết với các yêu cầu nếu chúng tồn tại, trong ba lĩnh vực chính của vận tải biển thương mại không phát thải, đó là hệ thống điện, động cơ đẩy hydro và động cơ đẩy bằng gió.

### 6.1 Đào tạo về hệ thống điện

Như được thiết lập trong phần 1.1.1, hệ thống động cơ đẩy điện có thể là hệ thống không phát thải bằng điện thuần túy hoặc một phần của hệ thống lai điện dẫn động bằng nhiên liệu. Có nhiều chương trình đào tạo trước đó bao gồm các kỹ năng cần thiết trong lĩnh vực này có thể tìm thấy trong Công ước quốc tế chính thống về Tiêu chuẩn năng lực đào tạo, chứng nhận và trực ca cho thuyền viên (STCW), ví dụ: đào tạo kỹ thuật điện, các khía cạnh điện của Chứng chỉ Năng lực Kỹ thuật (CoC) và đào tạo về điện áp cao nếu có.

Tuy nhiên, có những khía cạnh bổ sung không được đề cập đầy đủ, ví dụ như quản lý và an toàn pin năng cao, một số hệ thống quản lý/kiểm soát năng lượng, bộ ly hợp từ tính và các thiết bị truyền động cụ thể khác để đưa ra một số ví dụ.

Trường Cao đẳng South Essex, London, Vương quốc Anh đã phát triển một khóa đào tạo toàn diện về tàu điện, cả boong và kỹ thuật<sup>90</sup>. Điều này bao gồm bảo dưỡng và, do tính chất của thiết bị, có thể "thực hành" hơn so với các hệ

---

<sup>89</sup> Bryan Comer và những người khác, Khử carbon cho tàu chở hàng rời bằng pin nhiên liệu hydro và động cơ đẩy nhờ sức gió: Phân tích nghiên cứu điển hình được mô hình hóa, 2022 <<https://theicct.org/publication/hydrogen-and-propulsion-ships-jan22/>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>90</sup> Liên hệ khóa học: [simon.lofting@southessex.ac.uk](mailto:simon.lofting@southessex.ac.uk)

thông hydro. Khóa học này chưa có bất kỳ chứng nhận nào của quốc gia tàu treo cờ nhưng chúng tương ứng với các tổ chức đăng kiểm.

## 6.2 Đào tạo hydro

Nhiên liệu hydro hiện được phân loại cùng với các loại nhiên liệu dễ bay hơi khác như LNG và metanol, trong bộ luật IGF. Điều này đã có cấu trúc đào tạo, tuy nhiên, khóa đào tạo "IGF" thường dựa trên LNG và thiếu phạm vi để giải quyết các chi tiết cụ thể của hệ thống hydro. Đoàn thuyền viên của các tàu chạy bằng nhiên liệu hydro tham gia khóa đào tạo IGF dựa trên LNG về mặt kỹ thuật sẽ đáp ứng yêu cầu của luật nhưng sẽ thiếu năng lực và sự quen thuộc với tàu.

Chương trình đào tạo đoàn thuyền viên về hydro được công nhận bởi quốc gia tàu treo cờ đầu tiên trên thế giới (MCA của Vương quốc Anh) do Đại học Orkney ở Scotland, Vương quốc Anh phát triển và được cung cấp sau khi các đoàn thuyền viên đã tham gia khóa đào tạo định kỳ về Nhiên liệu Khí tự nhiên lỏng/Khí & Nhiên liệu có điểm chớp cháy thấp (LNG/IGF)<sup>91</sup>.

Trong bốn ngày, khóa học bao gồm nhận thức về an toàn hydro, hành vi của khí, quy trình an toàn, hệ thống hỗ trợ quyết định bằng SMS, vận hành tàu, diễn tập tiếp nhiên liệu và chữa cháy mô phỏng. Khóa học bao gồm các yêu cầu hiện tại đối với bộ phận boong và kỹ thuật ở cấp độ cơ bản và nâng cao. Tại thời điểm viết bài này, hệ thống lắp đặt động cơ đẩy hydro được các nhà sản xuất bảo dưỡng và sửa chữa, loại bỏ nhiều đầu vào kỹ thuật từ các đoàn thuyền viên ngoài việc thử nghiệm và bảo trì chung.

Dưới đây là bản tóm tắt tổng quát về khóa học tàu Orkney Hydrogen, được giảng dạy trong 4 ngày, sau khi đoàn thuyền viên tham dự Khóa đào tạo LNG IGF của STCW. Giáo trình đầy đủ sẽ được cung cấp theo yêu cầu:

- Ngày 1. Nhận thức chung về an toàn hydro, hành vi của khí, Công ước MARPOL, Sơ cứu, Tổng quan về lắp đặt, biện pháp phòng ngừa và văn hóa an toàn, các mối nguy hiểm, PPE, cân nhắc về lưu trữ, phụ kiện, rò rỉ và thông gió.
- Ngày 2. Các biện pháp an toàn và sức khỏe, ATEX [Bầu khí quyển dễ nổ] - biện pháp phòng ngừa chung và cụ thể, Tiếp nhiên liệu - nguyên tắc, sắp xếp và quy trình, văn hóa bảo trì, làm trợ, van cách ly, nguyên tắc kiểm tra, lý thuyết chữa cháy.
- Ngày 3. Ngày hội thảo với đoàn thuyền viên và nhân viên kỹ thuật bao gồm SMS, quy trình vận hành, thiết kế hệ thống, hỗ trợ quyết định, chi

<sup>91</sup> Liên hệ khóa học: [mark.shiner@uhi.ac.uk](mailto:mark.shiner@uhi.ac.uk)

tiết kỹ thuật, đánh giá rủi ro, kiểm tra, thử chức năng, mã lỗi và kích bản, v.v.

- Ngày 4. Đào tạo tiếp nhiên liệu bao gồm 2 trong số 3 lần tiếp nhiên liệu lặp lại bắt buộc. Diễn tập chữa cháy và đánh giá sự hiểu biết.

### 6.3 Đào tạo về động cơ đẩy bằng gió

Động cơ đẩy bằng gió thiếu một cấu trúc đào tạo rõ ràng cho các hoạt động thương mại. Những tàu như vậy được xử lý theo từng trường hợp cụ thể ở cấp quốc gia tàu treo cờ và được phân loại dựa trên trọng tải, với bộ phận cánh buồm được coi là động cơ đẩy thứ cấp. Trong quá trình phát triển các tàu chạy bằng năng lượng gió mới, các tổ chức đăng kiểm tàu thích coi thiết bị đẩy bằng buồm là phụ trợ. Một số nhà khai thác đã bày tỏ mong muốn được thấy một loại tàu mới "Tàu chở hàng bằng buồm" (SCV).

Mặc dù việc chỉ huy thuyền buồm lớn truyền thống phù hợp nhất với mô hình đào tạo học nghề, nhưng các hệ thống hiện đại như cánh buồm rotor, cánh hút, điều, cánh buồm cứng và cánh buồm mềm sẽ yêu cầu khoảng thời gian đào tạo gần hơn với các tàu chạy bằng động cơ hiện đại để có thể cạnh tranh.

Enkhuizer Zeevaartshool ở Hà Lan đang bắt đầu giải quyết vấn đề này bằng một chủ đề khóa học ngắn hạn nhưng các tác giả không biết về một khóa học thương mại chính thức hiện có<sup>92</sup>. Trường Đại học Applied University of Emden-Leer ở Đức cung cấp các khóa đào tạo toàn diện về mô phỏng xử lý tàu và CFD, tập trung vào các hệ thống lai gió, ví dụ như cánh buồm rotor hoặc cánh điều<sup>93</sup>.

## 7. Kết luận

Ngày nay, các công nghệ tuyệt đối không có KNK đã có sẵn trên thị trường và được lắp đặt trên ngày càng nhiều tàu thuyền. Bài viết này trình bày đầy đủ các công nghệ tuyệt đối không có KNK cung cấp động cơ đẩy chính hoặc nguồn điện phụ trợ trên tàu, cũng như cơ sở hạ tầng trên bờ nếu có liên quan.

Các hệ thống điện thuận túy phổ biến ở một số loại tàu nhất định trong khi các tàu lai điện đã có từ lâu. Động cơ đẩy hydro-điện sử dụng pin nhiên liệu đã sẵn sàng về mặt thương mại ở quy mô nhiều MW.

Cơ sở hạ tầng liên quan để sạc hoặc tiếp nhiên liệu cho các công nghệ tuyệt đối không có KNK không cũng đã sẵn sàng về mặt thương mại. Khi việc sạc hoặc

---

<sup>92</sup> Enkhuizer Zeevaartschool, 'Động cơ đẩy tàu có sự hỗ trợ của gió', 2023 <<https://www.ezs.nl/wind-assisted-ship-propulsion.html>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

<sup>93</sup> Hochschule Emden/Leer, 'Phòng thí nghiệm', 2023 <<https://www.hs-emden-leer.de/en/current-students/faculties/maritime-sciences/research-laboratories-projects/laboratories>> [truy cập ngày 12 tháng 5 năm 2023].

tiếp nhiên liệu cố định không khả thi do hạn chế vận hành, có thể triển khai pin hoặc bình nhiên liệu có thể thay thế. Trong trường hợp nhiên liệu hydro, công nghệ cần thiết cho chuỗi cung ứng có lượng phát thải KNK tuyệt đối bằng 0 đang được áp dụng sớm, bao gồm sản xuất, lưu trữ và vận chuyển.

Sự kết hợp của các công nghệ tuyệt đối không có KNK tạo điều kiện thuận lợi cho các tàu tuyệt đối không có KNK. Hệ thống điện là nền tảng của các tàu tuyệt đối không có KNK và đã sẵn sàng về mặt thương mại. Bằng cách tích hợp các hệ thống lai điện với pin nhiên liệu hydro, động cơ đẩy bằng gió và các công nghệ bổ sung để tăng hiệu quả sử dụng năng lượng hoặc tạo ra năng lượng tái tạo trên tàu, có thể đạt được các tàu tuyệt đối không có KNK có kích thước và công suất lớn hơn bằng cách sử dụng công nghệ đã được chứng minh và thương mại hóa.

## Tài liệu tham khảo

- ABB, 'Azipod Electric Propulsion', ABB Marine & Ports, 2023 <<https://new.abb.com/marine/systems-and-solutions/azipod#highice>> [accessed 10 May 2023]
- , 'Largest Emission-Free Electric Ferries for ForSea', ABB Marine & Ports - Marine References, 14 November 2018 <<https://new.abb.com/marine/marine-references/forsea>> [accessed 4 December 2019]
- , 'Quantum of the Seas', ABB Marine & Ports - Marine References, 2023 <<https://new.abb.com/marine/marine-references/quantum-of-the-seas>> [accessed 10 May 2023]
- Air Liquide, 'Air Liquide Hydrogen Activities Are Accelerating in South Korea as Demand Is Growing Fast', Press Releases (Paris, July 2021) <<https://www.airliquide.com/group/press-releases-news/2021-07-27/air-liquide-hydrogen-activities-are-accelerating-south-korea-demand-growing-fast>> [accessed 12 May 2023]
- Air Liquide USA, 'H2 Storage & Power | Air Liquide USA', 2023 <<https://usa.airliquide.com/sustainability/hydrogen/h2-storage-power#9896>> [accessed 12 May 2023]
- Ali, Zohaib, 'LH2 Vessel Project Tests Marine Fuel Cells Powered by Liquid Hydrogen', H2 Bulletin, October 2022 <<https://www.h2bulletin.com/lh2-vessel-project-tests-marine-fuel-cells-powered-by-liquid-hydrogen/>>
- Argo-Anleg GmbH, 'Lighthouse Project: Canal Push Boat ELEKTRA', Projects, 2023 <<https://www.argo-anleg.de/en/project/kanalschubboot-elektra/>> [accessed 12 May 2023]
- Artemis Technologies, 'Artemis EFOILER® - Zero-Emission High-Speed Maritime Transport', 2023 <<https://www.artemistechnologies.co.uk/efoiler/#efoiler>> [accessed 12 May 2023]
- Bernd, Friedrich, Estermann Lukas, Sokrates Tolgos, Andrew McCarthy, and Stepan Makarov, 'MAN LH2 Marine Power Pack', MAN Energy Solutions, 2022 <<https://www.man-es.com/campaigns/download-Q2-2023/Download/man-lh-sub-2-sub-marine-power-pack/5123cf76-6869-4326-aa69-0bb2ba15a6e2/MAN-LH2-Power-Pack>>
- Boundary Layer Technologies, 'Introducing Valo: The World's First Hyperfoil', 2023 <<https://www.boundarylayer.tech/>> [accessed 12 May 2023] ten Cate Hoedemaker, Syb, Solutions for Large Batteries for Waterborne Transport, 2021
- Clarksons, 'Fleet Electrification to Increase as Marine Battery Technology Becomes Commercially Viable', Clarksons Securities, November 2022 <<https://www.clarksons.com/home/news-and-insights/2022/fleet-electrification-to-increase-as-marine-battery-technology-becomes-commercially-viable/>> [accessed 9 May 2023]
- Clean Hydrogen Partnership, 'Renewable Hydrogen for Inland Waterway Emission Reduction (RH2IWER)', Clean Hydrogen Joint Undertaking, 2023 <[https://www.clean-hydrogen.europa.eu/projects-repository/rh2iwer\\_en](https://www.clean-hydrogen.europa.eu/projects-repository/rh2iwer_en)> [accessed 10 May 2023]
- CMB.Tech, 'BEH2YDRO Launches 100% Hydrogen Engines for Heavy-Duty Applications at World Hydrogen Summit in Rotterdam', CMB.Tech News, 2023 <<https://cmb.tech/news/beh2ydro-launches-100-hydrogen-engines-for-heavy-duty-applications-at-world-hydrogen-summit-in-rotterdam>> [accessed 10 May 2023]
- Color Line, 'Color Line Fleet', 2019 <<https://www.colorline-cargo.com/color-line-fleet>> [accessed 4 December 2019]
- Comer, Bryan, Elise Georgeff, Doug Stolz, Xiaoli Mao, and Liudmila Osipova, Decarbonizing Bulk Carriers with Hydrogen Fuel Cells and Wind-Assisted Propulsion: A Modeled Case Study Analysis, 2022 <<https://theicct.org/publication/hydrogen-and-propulsion-ships-jan22/>> [accessed 12 May 2023]
- Corvus Energy, 'MF Tycho Brahe', Projects, 2023 <<https://corvusenergy.com/projects/tycho-brahe/>> [accessed 12 May 2023]



- Cucuk, Aida, 'Everfuel and Greenstat Enter Lease Agreement with Elkem for Hydrogen Hub Agder', Offshore Energy, 3 March 2023 <<https://www.offshore-energy.biz/everfuel-and-greenstat-enter-lease-agreement-with-elkem-for-hydrogen-hub-agder/>> [accessed 12 May 2023], 'Zoning Plan for Gen2 Energy's Hydrogen Facility in Mosjoen Gets Approved', Offshore Energy, 30 March 2023 <<https://www.offshore-energy.biz/zoning-plan-for-gen2-energys-hydrogen-facility-in-mosjoen-gets-approved/>> [accessed 12 May 2023]
- Echandia, 'What Batteries Are Used in Sparky the Tugboat?', Echandia Insights, October 2022 <<https://echandia.se/insights/article/what-batteries-are-used-in-sparky-the-tugboat/>> [accessed 12 May 2023]
- Egil Ulvan Rederi AS, 'Egil Ulvan Rederi New Project "With Orca" a Hydrogen Fuelled Bulk Carrier Project Awarded LR Approval in Principle.', Press Release, 2023 <<https://ulvan-rederi.no/egil-ulvan-rederi-new-project-with-orca-a-hydrogen-fuelled-bulk-carrier-project-awarded-lr-approval-in-principle/>> [accessed 12 May 2023]
- Elkafas, Ahmed G., Massimo Rivarolo, Eleonora Gadducci, Loredana Magistri, and Aristide F. Massardo, 'Fuel Cell Systems for Maritime: A Review of Research Development, Commercial Products, Applications, and Perspectives', Processes 2023, Vol. 11, Page 97, 11.1 (2022), 97 <<https://doi.org/10.3390/PR11010097>>
- Enkhuizen Zeevaartschool, 'Wind Assisted Ship Propulsion', 2023 <<https://www.ezs.nl/wind-assisted-ship-propulsion.html>> [accessed 12 May 2023]
- ETHW, 'Electric Boats', Today's Engineer, 2013 <[https://ethw.org/Electric\\_Boats](https://ethw.org/Electric_Boats)> [accessed 9 May 2023]
- European Federation for Transport and Environment AISBL, 'EU Agrees to the World's First Green Shipping Fuel Requirement', Transport & Environment (Brussels, 23 March 2023) <<https://www.transportenvironment.org/discover/eu-confirms-the-worlds-first-green-shipping-fuel-requirement/>> [accessed 12 May 2023]
- European Sustainable Shipping Forum, 'Sustainable Power @ MARIN', European Commission, 2023 <<https://sustainablepower.application.marin.nl/well-to-wake>> [accessed 10 May 2023]
- Farges, Oriane, 'State-of-the-Art of Hydrogen Liquefaction', in DOE Workshop (Houston, TX: US Department of Energy, 2022) <[https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-03/Liquid\\_H2\\_Workshop-Air\\_Liquide.pdf](https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-03/Liquid_H2_Workshop-Air_Liquide.pdf)> [accessed 12 May 2023]
- Fesmire, James E, and Adam Swanger, 'Overview of the New LH 2 Sphere at NASA Kennedy Space Center', in DOE/NASA Advances in Liquid Hydrogen Storage Workshop (NASA Kennedy Space Center, FL: US Department of Energy, 2021)
- Fincantieri S.p.A., 'Viking Neptune', 2023 <<https://www.fincantieri.com/en/products-and-services/cruise-ships/viking-neptune/>> [accessed 10 May 2023]
- Fincantieri SI, 'ZEUS (ZERO EMISSION ULTIMATE SHIP)', Innovation, 2023 <<https://www.fincantierisi.it/innovation>> [accessed 12 May 2023]
- Flynn, Thomas, Cryogenic Engineering, Revised and Expanded, 2nd edn (Boca Raton: CRC Press, 2004) <<https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9780203026991>>
- General Electric, 'GE Power Conversion - Advanced Induction Motor (AIM)', GE Power Conversion, 2023 <<https://www.gepowerconversion.com/product-solutions/induction-motors/Advanced-Induction-Motor-AIM>> [accessed 10 May 2023]
- HESC, 'Port of Hastings', Supply Chain, 2023 <<https://www.hydrogenenergysupplychain.com/supply-chain/port-of-hastings/>> [accessed 12 May 2023]
- Hochschule Emden/Leer, 'Laboratories', 2023 <<https://www.hs-emden-leer.de/en/current-students/faculties/maritime-sciences/research-laboratories-projects/laboratories>> [accessed 12 May 2023]

Hydrogen Central, 'Veer Receives Support for Wind-Assisted Hydrogen Fuel Cell Vessel Design - Hydrogen Central', Hydrogen Central, October 2022 <<https://hydrogen-central.com/veer-receives-support-wind-assisted-hydrogen-fuel-cell-vessel-design/>> [accessed 12 May 2023]

HyStra, 'World's First Marine Loading Arm with Swivel Joints for Liquefied Hydrogen Successfully Demonstrated Ship-to-Shore Transfer', News Archives, 2023 <<https://www.hystra.or.jp/en/gallery/article.html>> [accessed 12 May 2023]

IEA, Global Hydrogen Review 2022 (Paris, 2022) <<https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022>>, Hydrogen (Paris, 2022) <<https://www.iea.org/reports/hydrogen>>

'In Pictures: Azipod® Propulsion Installed on Wasaline's New Ferry in Just One Week | ABB' <<https://new.abb.com/news/detail/67578/in-pictures-azipodr-propulsion-installed-on-wasalines-new-ferry-in-just-one-week>> [accessed 10 May 2023]

Innovation Norway, 'Maritime Sector on the Verge of Hydrogen Transformation', Business Norway, 2023 <<https://businessnorway.com/articles/maritime-sector-on-the-verge-of-hydrogen-transformation>> [accessed 12 May 2023] International Energy Association, IEA Hydrogen TCP Task 39: Hydrogen in the Maritime (Chapter 6: Review of Hydrogen Propelled Vessels: IEA, 2021)

Kawasaki Heavy Industries Ltd., Development of Liquefied Hydrogen Terminal, 2021 <<https://global.kawasaki.com/en/corp/rd/magazine/182/pdf/n182en06.pdf>> [accessed 12 May 2023], 'Special Issue on Hydrogen Supply Chain', Kawasaki Technical Review, 182 (2021) <[https://www.kawasaki-gasturbine.de/files/KAWASAKI\\_TECHNICAL\\_REVIEW\\_No\\_182.pdf](https://www.kawasaki-gasturbine.de/files/KAWASAKI_TECHNICAL_REVIEW_No_182.pdf)>

KNUD E. HANSEN, 'Jinling Delivers World's Greenest Ro-Ro Ship', News, 2020 <<https://www.knudehansen.com/news/jinling-delivers-worlds-greenest-ro-ro-ship/>> [accessed 12 May 2023]

Kunze, Hansjorg, 'AIDAprera Will Receive the Largest Battery Storage System in Passenger Shipping in 2020', Carnival Corporation & Plc, 2019 <<https://www.carnivalcorporation.com/news-releases/news-release-details/aidaperla-will-receive-largest-battery-storage-system-passenger>> [accessed 9 May 2023]

Linde Engineering, 'Hydrogen Liquefiers', Cryogenic Plants, 2023 <[https://www.linde-engineering.com/en/process-plants/cryogenic\\_plants/hydrogen\\_liquefiers/index.html](https://www.linde-engineering.com/en/process-plants/cryogenic_plants/hydrogen_liquefiers/index.html)> [accessed 12 May 2023]

Lloyd's Register Group Services Limited., 'World First for Liquid Hydrogen Transportation.', Insights, October 2020 <<https://www.lr.org/en/insights/articles/world-first-for-liquid-hydrogen-transportation/>> [accessed 12 May 2023]

Logan, Daniel, 'Sail-Maker Anemoi Aims for 50 Installations per Year in 2025', ShippingWatch, July 2021 <<https://shippingwatch.com/suppliers/article13111892.ece>> [accessed 12 May 2023]

Lorentsson, Kristoffer, 'Technology of a Liquid Hydrogen Fuelgas Supply System', in ShipZERO (Glasgow: ZESTAs, 2021) <<https://zestas.org/shipzero-media-gallery/>> [accessed 12 May 2023]

Marine Battery Forum, 'MBF Ship Register', 2023 <<https://www.marinebatteryforum.com/ship-register>> [accessed 9 May 2023] McKinsey & Company, Global Hydrogen Flows, 2022 <[www.hydrogencouncil.com](http://www.hydrogencouncil.com)> [accessed 12 May 2023], Hydrogen Insights 2022, 2022 <<https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2022/09/Hydrogen-Insights-2022-2.pdf>>

MPS, 'Installation Completed', Press Release, 2023 <<https://www.marineperformancesystems.com/news/successful-commissioning-of-berge-toubkal>> [accessed 12 May 2023]

Musca, Helene, 'Solid Sail: Vers Une Nouvelle Usine a Lanester Pour Construire Les Mats Du Futur - Lorient -', Le Telegramme (Lorient, 9 December 2022) <<https://www.letelegramme.fr/morbihan/lorient/solid-sail-vers-une-nouvelle-usine-a-lanester-pour-construire-les-mats-du-futur-09-12-2022-13238380.php>> [accessed 12 May 2023]

- NCE Maritime CleanTech, Norwegian Future Value Chains for Liquid Hydrogen, 2016 <<https://maritimecleantech.no/wp-content/uploads/2016/11/Report-liquid-hydrogen.pdf>>
- NEUMAN & ESSER GROUP, 'Hydrogen Storage in Salt Caverns', 2023 <<https://www.neuman-esser.de/en/company/media/blog/hydrogen-storage-in-salt-caverns/>> [accessed 12 May 2023]
- Norsepower Oy, 'Norsepower Receives Financing from Nefco to Expand Rotor Sail Production in China', Press Release, 2022 <<https://www.norsepower.com/post/norsepower-receives-financing-from-nefco-to-expand-rotor-sail-production-in/>> [accessed 12 May 2023]
- NPRC, 'Minister Harbers Gives Go-Ahead for New Construction of Inland Vessel Propelled by Green Hydrogen', 2023 <<https://nprc.eu/minister-harbers-gives-go-ahead-for-new-construction-of-inland-vessel-propelled-by-green-hydrogen/?lang=en>> [accessed 12 May 2023]
- Odenweller, Adrian, Falko Ueckerdt, Gregory F. Nemet, Miha Jensterle, and Gunnar Luderer, 'Probabilistic Feasibility Space of Scaling up Green Hydrogen Supply', Nature Energy, 7.9 (2022), 854-65 <<https://doi.org/10.1038/s41560-022-01097-4>>
- Plug Power, 'Hydrogen Liquefiers', Hydrogen, 2023 <<https://www.plugpower.com/hydrogen/hydrogen-liquefier/>> [accessed 12 May 2023]
- PowerCell Group, 'World's Largest Marine Fuel Cell Systems', 2023 <<https://powercellgroup.com/worlds-largest-marine-fuel-cell-systems/>> [accessed 10 May 2023]
- Pragma Industries, 'Hydrogen Storage', 2023 <[https://www.pragma-industries.com/hydrogen-storage/#:~:text=Metal hydride tank is a,on AB5 metal hydride alloys.](https://www.pragma-industries.com/hydrogen-storage/#:~:text=Metal%20hydride%20tank%20is%20a,on%20AB5%20metal%20hydride%20alloys.)>
- Reuters, 'Japan's Asahi Tanker to Start Ship Fuelling with World's First Electric Tanker', Reuters, 14 April 2022 <<https://www.reuters.com/article/japan-marine-electric-tanker-idUKL3N2WB3NF>> [accessed 9 May 2023]
- Rhine Hydrogen Integration Network of Excellence (RH2INE), 'Towards Zero Emission Transport Corridors', 2023 <<https://www.rh2ine.eu/>>
- Samskip, 'Samskip Launches Its Next- Generation Zero-Emission Short Sea Container Vessels', News, 2023 <<https://www.samskip.com/news/samskip-launches-its-next-generation-zero-emission-short-sea-container-vessels/>> [accessed 12 May 2023]
- Ship Nerd, 'Bow Windshield, New Rising Containership Feature', Ship Nerd, February 2023 <<https://www.shipnerdnews.com/bow-windshield-new-containership-feature/>> [accessed 12 May 2023]
- Shippax, 'Leclanché Receives Orders for 22.6 MWh of Battery Systems with Stena RoRo for Two E-Flexers', Shippax, January 2023 <<https://www.shippax.com/en/news/Leclanché-receives-orders-for-226-mwh-of-battery-systems-with-stena-line-and-brittany-ferries-for-two-e-flexers.aspx>> [accessed 10 May 2023]
- Siepe, Hans te, 'Hydrogen in Salt as Reusable Energy, Safe Mass Storage and High Efficiency Recycling', in ShipZERO26 (Glasgow: ZESTAs, 2021) <<https://zestas.org/shipzero-26-5/speakers/#hans>>
- Sloop, John, 'LIQUID HYDROGEN AS A PROPULSION FUEL, 1945-1959' (NASA SP-4404, 1978) <<https://history.nasa.gov/SP-4404/ch8-11.htm>> [accessed 12 May 2023]
- Stadt AS, 'Lean Drive', Stadt AS, 2023 <<https://www.stadt.no/lean-drive>> [accessed 10 May 2023]
- Stave, Havard, 'Onboard Hydrogen Systems', in ShipZERO26 (Glasgow: ZESTAs, 2021) <[https://vimeo.com/668135738?embedded=true&source=vimeo\\_logo&owner=158416371](https://vimeo.com/668135738?embedded=true&source=vimeo_logo&owner=158416371)> [accessed 10 May 2023]
- Sunnetci, Ibrahim, 'Type 214TN REIS Class TCG PiRi REiS Submarine', Defence Turkey, January 2020 <<https://www.defenceturkey.com/en/content/type-214tn-reis-class-tcg-piri-reis-submarine-3827>>

- Swanger, A. M., 'Final Test Results for the Ground Operations Demonstration Unit for Liquid Hydrogen', Cryogenics Society of America, Inc., 6 May 2023 <<https://doi.org/10.1016AJ.CRYOGENICS.2017.10.008>>
- Switch Maritime, 'SW/TCH Maritime', Projects, 2023 <<https://www.switchmaritime.com/>> [accessed 12 May 2023]
- Teco 2030, 'TECO 2030 with Consortium Finalizes Agreement for EUR 5 Million in HyEkoTank Project', Teco 2030 News, December 2022 <<https://teco2030.no/news/teco-2030-with-consortium-finalizes-agreement-for-eur-5-million-in-hyekotank-project-17951173/>> [accessed 10 May 2023]
- The International Council on Clean Transportation (ICCT), 'Workshop Summary', in ICCT Technical Workshop on Zero Emission Vessel Technology (San Francisco, CA: ICCT, 2019) <<https://theicct.org/events/zero-emission-vessel-workshop-SF-2019.>> [accessed 12 May 2023]
- The Maritime Executive, 'Port of Amsterdam Lays Keel for First "Solid Hydrogen" Fueled Vessel', The Maritime Executive, 23 January 2023 <<https://maritime-executive.com/article/port-of-amsterdam-lays-keel-for-first-solid-hydrogen-fueled-vessel>>
- TMC Compressors, 'Market Leading Compressors', Press Release, 2023 <<https://www.tmc.com/>> [accessed 12 May 2023]
- Wavefoil, 'Wavefoil - Retractable Bow Foils', 2022 <<https://wavefoil.com/>> [accessed 12 May 2023]
- WorkBoat 365, 'MJR Power and Automation - Worlds First "In Air" Offshore Vessel Charging System Completes Successful Harbour Trials', WorkBoat 365, March 2023 <<https://workboat365.com/power-propulsion-news/mjr-power-and-automation-worlds-first-in-air-offshore-vessel-charging-system-completes-successful-harbour-trials/>> [accessed 10 May 2023]
- Yulu PR, 'Shift Clean Energy's PwrSwap Technology to Be Used in First All-Electric Vessel in One of the World's Busiest Ports', Shift Clean Energy, 28 September 2022 <<https://shift-cleanenergy.com/2022/09/28/shift-clean-energys-pwrswap-technology-to-be-used-in-first-all-electric-vessel-in-one-of-the-worlds-busiest-ports/>> [accessed 10 May 2023]
- ZEM Tech, North Sea Hy-Ships Study Phase 1 (Aberdeen, 2021)
- ZemShips, 'A New Development: The Hydrogen Fuelling Station', Technology, 2008 <<https://web.archive.org/web/20081011063719/http://www.zemships.eu/en/technology/hydrogen-fuelling-station/index.php>> [accessed 12 May 2023]
- Zero Emission Services, 'Charging Infrastructure', 2023 <<https://zeroemissionservices.nl/en/charging-infrastructure/>> [accessed 10 May 2023]
- Zorn, Thomas, Innovation & Experience. Hydrogen Technology and Infrastructure, 2013 <<https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/18546/aga-linde-h2-dec.pdf>>

**Phụ lục: Nghiên cứu điển hình**

Vui lòng tìm các nghiên cứu điển hình 1-25 trong các trang sau.



GIẢI PHÁP HÀNG HẢI ĐIỆN TỬ

# Tàu Trung Chuyển Container Tự Hành

YARA Birkeland



Cung cấp năng lượng cho tàu container tự hành và chạy hoàn toàn bằng điện đầu tiên trên thế giới với Hệ thống pin hàng hải Leclanché 6,7MWh









Ví dụ về một trong các Hệ thống giá đỡ hàng hải (MRS) được trang bị trên Yara Birkeland



Vỏ IP65 với mô-đun pin và tấm làm mát tích hợp

## Công nghệ

Với hơn 200 bằng sáng chế về sản xuất và công nghệ bộ pin lithium-ion (Li-ion), pin Leclanché mang lại sự an toàn, tuổi thọ và vòng đời vượt trội. Các hệ thống và bộ pin của Leclanché được sản xuất tại các cơ sở tự động ở Đức và Thụy Sĩ và tuân thủ các tiêu chuẩn cao nhất về môi trường.

Hệ thống giá đỡ hàng hải (MRS) do Leclanché cung cấp cho Yara Birkeland là một hệ thống pin Li-ion dạng mô-đun và có thể mở rộng cho các ứng dụng hàng hải. Hệ thống này sử dụng các pin Li-ion G/NMC năng lượng cao với các tính năng độc đáo, bao gồm thiết kế màng mỏng hai pin và bộ tách gồm, để đảm bảo hiệu suất tối ưu.

Các pin được lắp vào các mô-đun mạnh mẽ được đóng gói trong các vỏ bọc được xếp hạng IP65 được thiết kế cho môi trường hàng hải khắc nghiệt. Các vỏ bọc được lắp ráp vào MRS với hệ thống quản lý pin được thiết kế chuyên dụng trong nhà.

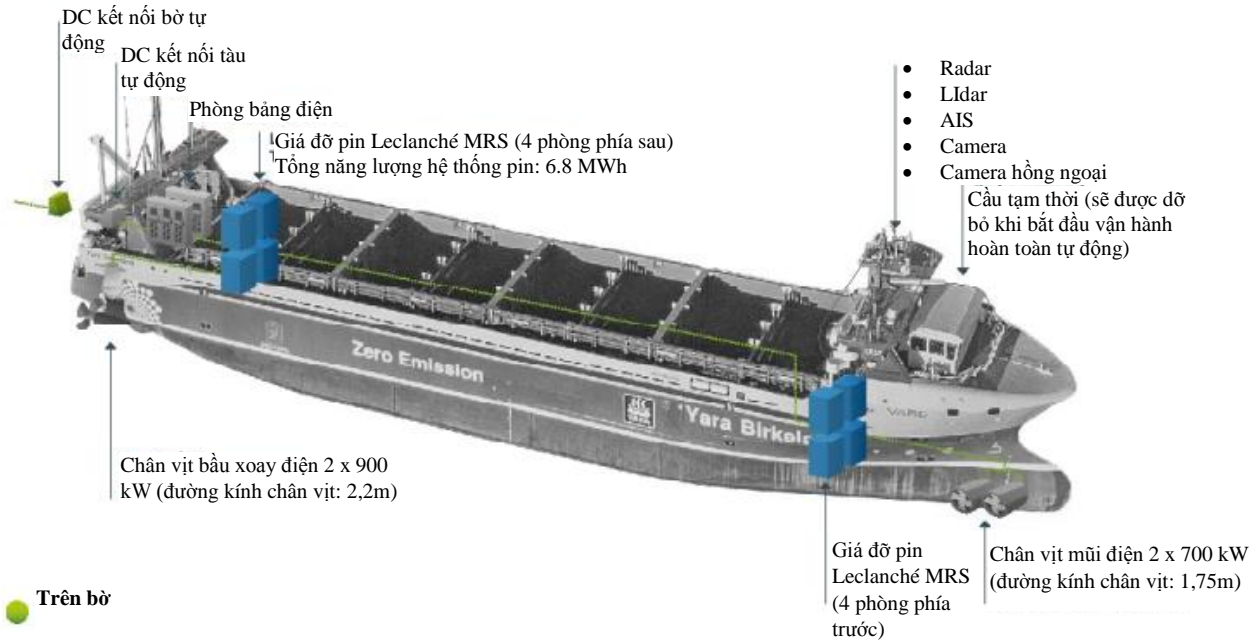
## An toàn là ưu tiên hàng đầu

Leclanché MRS được phát triển cùng với DNV-GL và được chứng nhận bởi tất cả các cơ quan chứng nhận lớn khác (RINA, Bureau Veritas và Lloyd's Register).

- MRS có hệ thống chữa cháy chủ động được chứng nhận đầy đủ
- Các biện pháp an toàn nhiều lớp ở cấp độ pin, mô-đun và hệ thống, đã được thử nghiệm và chứng nhận chống lạm dụng cơ học, nhiệt và điện.
- Hệ thống chữa cháy MRS của chúng tôi cung cấp khả năng bảo vệ chống lại tất cả các mối nguy hiểm bên ngoài không lường trước được (điện, cơ và nhiệt).
- Hệ thống chữa cháy tự động sử dụng các cảm biến kích hoạt nhiệt và khói/khí độc lập để ngăn báo động sai và cải thiện khả năng phản ứng
- Hệ thống pin dự phòng, với bốn buồng pin riêng biệt: nếu một hoặc nhiều chuỗi bị hết pin hoặc ngừng hoạt động, tàu có thể tiếp tục hoạt động.

Thông tin chi tiết về tàu	Yara Birkeland
Loại tàu	Tàu trung chuyển container cửa hầm mở
Hệ thống pin	MRS (55Ah G/NMC)
Năng lượng pin (MWh)	6,7
Kích thước (L x W, m)	80 x 15
Sức chứa hàng hóa	120 TEU
Ngày hoạt động	2021
Lượng phát thải CO <sub>2</sub> trong quá trình vận hành	0

## Sơ đồ tàu



### Trên bờ



"Chúng tôi rất tự hào khi có thể đóng góp vào sự thành công của dự án độc đáo này bằng công nghệ và kinh nghiệm của chúng tôi trong lĩnh vực hàng hải điện tử. Với hệ thống pin dành cho Yara Birkeland, chúng tôi một lần nữa tạo ra một bước tiến quan trọng hướng tới giảm phát thải nhiều hơn và trung lập với khí hậu trong lĩnh vực vận tải biển".

**Anil Srivastava**

Giám đốc điều hành (CEO) của Leclanché

### Giấy chứng nhận

Hệ thống giá đỡ hàng hải Leclanché được chứng nhận lần đầu tiên vào năm 2017 bởi DNV và là hệ thống pin hàng hải đầu tiên đạt được sự chấp thuận này. Kể từ đó, hệ thống đã nhận được nhiều phê duyệt hạng bổ sung từ các cơ quan chứng nhận lớn.



### Hình ảnh con tàu do Knut Brevik Andersen cung cấp

Leclanché E-Mobility SA  
(Trụ sở)  
Avenue des Decouvertes 14 C  
1400 Yverdon-les-Bains  
Thụy Sĩ

Leclanché GmbH  
Industriestrasse 1  
77731 Willstatt  
Đức

Leclanché  
North America, Inc.  
2685 Enterprise Dr  
Anderson, IN 46013  
Hoa Kỳ

Leclanché  
Norway  
Karenslyst alle 53  
0279 Oslo  
Na Uy

[www.leclanche.com](http://www.leclanche.com)

[info@leclanche.com](mailto:info@leclanche.com)



GIẢI PHÁP  
CỐ ĐỊNH



DI ĐỘNG  
ĐIỆN TỬ



HỆ THỐNG PIN  
CHUYÊN DỤNG

GIẢI PHÁP HÀNG HẢI ĐIỆN TỬ & CỐ  
ĐỊNH

# Phà không phát thải và hệ thống tích trữ năng lượng pin trên bờ

Amherst Islander II & Wolfe Islander IV



Hệ thống tích trữ năng lượng kết hợp trên tàu và trên bờ cho chiếc phà chở khách và ô tô mới đóng chạy bằng điện đầu tiên ở Bắc Mỹ.



## Thách thức



Điện khí hóa giao thông vận tải đang mở rộng với tốc độ nhanh chóng và bao gồm cả lĩnh vực hàng hải, nơi ngày càng có nhiều quốc gia yêu cầu điện khí hóa phà. Phà chạy hoàn toàn bằng điện giúp giảm lượng phát thải - và tiếng ồn (đặc biệt quan trọng trong bến cảng) - cũng như chi phí vận hành. Phà chở khách, di chuyển quãng đường tương đối ngắn, là phương tiện lý tưởng để vận hành hoàn toàn bằng điện.

Để đáp ứng lịch trình di chuyển chặt chẽ, phà chỉ cập bến trong một thời gian giới hạn. Đối với phà điện, điều này có nghĩa là chúng yêu cầu sạc điện năng cao, tuy nhiên, lưới điện ở các cộng đồng bến cảng thường hạn chế và không thể đáp ứng được tải trọng cao cần thiết để sạc cho tàu. Đây là tình hình tại bến cảng Millhaven và Stella, cả hai đều trên Hồ Ontario, Canada.

## Giải pháp



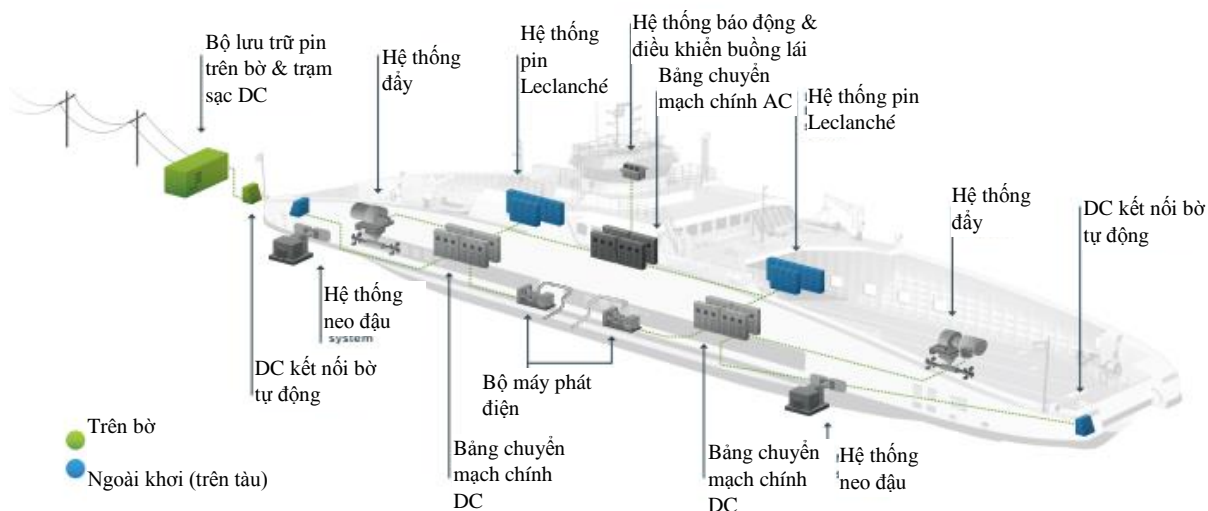
Giải pháp là sự phát triển của một giải pháp tích trữ năng lượng kết hợp trên tàu và trên bờ đầu tiên thuộc loại này cho phép các tàu lai và chạy hoàn toàn bằng điện có thể sạc lại nhanh chóng khi quay trở lại cảng.

### Tàu

Amherst Islander II & Wolfe Islander IV sẽ là phà chở khách/ô tô đầu tiên được đóng mới ở Bắc Mỹ với khả năng vận hành hoàn toàn bằng điện. Động cơ đẩy chính được cung cấp bởi một dãy hệ thống pin hàng hải Leclanché, với công suất năng lượng 1,9 MWh (Amherst Islander II) và 4,6 MWh (Wolfe Islander IV). Amherst Islander II sẽ di chuyển êm ái và không phát thải với tốc độ 9 hải lý/giờ và Wolfe Islander IV với tốc độ 11 hải lý/giờ, phù hợp với động cơ đẩy thông thường.

## Thông tin chi tiết về tàu

	<b>Amherst Islander II</b>	<b>Wolfe Islander IV</b>
Loại tàu	Damen 6819 E3 -	Damen 9819 E3
Hệ thống pin	Leclanché MRS9 (55Ah)	Leclanché MRS9 (60Ah)
Năng lượng pin (kWh)	1.900	4.600
Kích thước (Dài x Rộng, m)	71,7 x 20,2	98,4 x 20,2
Sức chứa hành khách/ô tô	300 / 40	399 / 80
Ngày hoạt động	2021	2021
Mức tiết kiệm CO2 mỗi năm (ước tính so với loại tàu trước đó)	7.000 tấn	



### Amherst Island Route

Năng lượng BESS (kWh)

Nguồn DC liên tục khi xả pin (kW)

Nguồn AC liên tục khi xả pin (kW)

Hệ thống chuyển đổi nguồn điện (DC/AC) giữa lưới điện và pin (kVA)

Hệ thống chuyển đổi (DC/DC) giữa pin và phà (kW)

Điện áp lưới (V)

### Wolfe Island Route

Năng lượng BESS (kWh)

Nguồn DC liên tục khi xả pin (kW)

Nguồn AC liên tục khi xả pin (kW)

Hệ thống chuyển đổi nguồn điện (DC/AC) giữa lưới điện và pin (kVA)

Hệ thống chuyển đổi (DC/DC) giữa pin và phà (kW)

Điện áp lưới (V)

### Millhaven

5.900

4.800

1.400

1.500

3.600

600

### Kingston

5.900

4.800

1.400

1.500

3.600

600

### Stella

4.400

4.800

800

1.000

3.600

600

### Marysville

4.400

4.800

800

1.000

3.600

600

Giấy chứng nhận

**Hệ thống giá đỡ hàng hải Leclanché** được chứng nhận lần đầu tiên vào năm 2017 bởi DNV và là hệ thống pin hàng hải đầu tiên đạt được sự chấp thuận này. Kể từ đó, hệ thống đã nhận được nhiều phê duyệt hạng bổ sung từ các cơ quan chứng nhận lớn.



Ảnh bìa cho thấy Phà đường bộ DAMEN 9819 E3 «Wolfe Islander IV»

[www.leclanche.com](http://www.leclanche.com)

[info@leclanche.com](mailto:info@leclanche.com)



GIẢI PHÁP  
CỐ ĐỊNH



DI ĐỘNG  
ĐIỆN TỬ



HỆ THỐNG PIN  
CHUYÊN DỤNG

CHÚNG TÔI ĐANG TẠO ĐIỀU  
KIẾN CHO QUÁ TRÌNH CHUYỂN  
ĐỔI NĂNG LƯỢNG



# Phà điện (E-ferry)

Phà chạy hoàn toàn bằng điện  
lớn nhất\* thế giới



Phục vụ khách hàng thương mại và công nghiệp, tiện ích và vận tải với hệ thống lưu trữ pin chất lượng cao từ năm 1909.

Phà điện là phà chạy hoàn toàn bằng điện, không phát thải lớn nhất thế giới\* và là kết quả của một dự án do EU tài trợ.

Ngày hoạt động : **2019**

Hệ thống pin : **4,3 MWh, G-NMC**

Công suất sạc: **3,9 MW DC**

Công suất đẩy : **1,5 MW (2 x 750 kW)**

Kích thước : **59,4m (dài), 13,4m (rộng)**

Sức chứa: **31 xe con hoặc 5 xe tải**

**HGV & 8 xe con**

Quốc gia hoạt động : **Đan Mạch**

Tuổi thọ pin: **10 năm**

Tốc độ tối đa: **15,5 hải lý/giờ**

Động cơ đẩy: **Động cơ điện làm mát bằng chất lỏng**

(Công nghệ nam châm vĩnh cửu có hỗ trợ từ trở đồng bộ)

Trọng lượng tàu không: **650 tấn**

Hành khách: **198**

\* Tại thời điểm đóng tàu

## Công nghệ

## Một phần của sáng kiến EU Horizon 2020

Hệ thống tích trữ năng lượng **Leclanché** đã được chọn để cung cấp năng lượng cho phà điện lớn nhất thế giới, E-ferry. Với công suất 4,3MWh, E-ferry đặt ra một tiêu chuẩn mới trong các ứng dụng động cơ đẩy hàng hải. E-ferry sẽ hoạt động giữa các đảo Aero & Als ở miền nam Đan Mạch.

Việc thay thế một chiếc phà chạy bằng dầu diesel giúp tiết kiệm lượng phát thải hàng năm là:

- 2000 tấn CO<sub>2</sub>
- 42 tấn NO<sub>x</sub>
- 2,5 tấn hạt
- 1,4 tấn SO<sub>2</sub>.

Hệ thống pin do Leclanché cung cấp sử dụng các pin G-NMC lithium-ion năng lượng cao với các tính năng an toàn độc đáo bao gồm thiết kế màng mỏng hai pin và bộ tách gồm để đảm bảo hiệu suất không phải trả giá bằng sự an toàn. Leclanché phát triển và sản xuất các pin của riêng mình bằng cả hai công nghệ than chì/NMC (Lithium Nickel Mangan Cobalt oxide) và LTO (Lithium Titanate Oxide).

Hệ thống truyền động và pin dự phòng song song giúp E-ferry cực kỳ an toàn và đáng tin cậy.

E-ferry đã được thiết kế với hệ thống truyền động và pin tích hợp độc đáo mang lại hiệu quả vận hành vô song.

Với hơn 100 bằng sáng chế về công nghệ sản xuất và công nghệ bộ pin lithium-ion, pin Leclanché mang đến sự an toàn, tuổi thọ và vòng đời vượt trội. Hệ thống pin Leclanché được sản xuất tại Đức và Thụy Sĩ, tuân thủ các tiêu chuẩn cao nhất về môi trường.

E-ferry là một phần của dự án Natura của Đan Mạch nhằm cung cấp phương tiện giao thông xanh cho cư dân địa phương. Dự án này đã nhận được tài trợ từ Chương trình Đổi mới và Nghiên cứu Horizon 2020 của Liên minh Châu Âu dưới khoản tài trợ #636027.



### Leclanché SA

(Trụ sở)

Avenue des Sports 42

CH - 1400 Yverdon-les-Bains

Thụy Sĩ

### Leclanché GmbH

Industriestrasse 1

D- 77731 Willstatt

Đức

### Leclanché

North America, Inc.

1920 Purdue Pkwy

Suite 100

Anderson, IN 46016, Hoa Kỳ

[www.leclanche.com](http://www.leclanche.com)

[info@leclanche.com](mailto:info@leclanche.com)



GIẢI PHÁP  
CỔ ĐỊNH



DI ĐỘNG  
ĐIỆN TỬ



HỆ THỐNG PIN  
CHUYÊN DỤNG

CHÚNG TÔI ĐANG TẠO ĐIỀU  
KIẾN CHO QUÁ TRÌNH  
CHUYÊN ĐỔI NĂNG LƯỢNG





Khách hàng  
ForSea  
Ngày Dự án  
Hoàn thành năm 2017  
Thông tin Dự án  
Danh mục: Phà  
Hệ thống: 4160 kWh  
Quốc gia: Thụy Điển



## CASE STUDY

### PHÀ ĐIỆN FORSEA

Chạy Điện Hoàn toàn. 8.414 Tấn.

Aurora là một chiếc phà chở khách chạy hoàn toàn bằng điện. Aurora dài 111 m và nặng 8.414 tấn. Phà hoạt động trên tuyến phà dài 4 km giữa Helsingborg (Thụy Điển) và Helsingor (Đan Mạch). Con tàu khổng lồ chở 7,4 triệu hành khách và 1,9 triệu phương tiện mỗi năm.

Hệ thống này bao gồm 640 cục pin 6,6 kWh được lắp đặt trên mỗi phà trong các container. Cấp chạy từ các container đến các điểm kết nối ở mỗi đầu của con tàu.

Sạc pin: Tất cả các quy trình trước khi cập cảng đều dựa trên quá trình quét laser 3D và giao tiếp không dây giữa tàu và bờ. Trong 400 mm cuối cùng khi phà tiếp cận, robot sẽ tiếp cận và kéo cáp bờ ra khỏi tàu. Cuộn cáp sẽ nhả cáp và robot sẽ di chuyển các đầu nối đến các đầu nối tương ứng bên dưới robot. Sau khi kết nối được thực hiện, robot sẽ di chuyển trở lại vị trí ban đầu và các cửa cuộn sẽ đóng lại. Robot sẽ cư trú bên trong tòa nhà của chính nó khi không sử dụng.

## KHÔNG PHÁT THẢI



Các phà ForSea đã chọn sạc pin bằng “điện xanh”, từ các nguồn nhiên liệu phi hóa thạch như năng lượng gió, nước và mặt trời. Điều này có nghĩa là không có phát thải từ tàu chạy bằng pin.



Hệ thống này bao gồm 640 cục pin 6,6 kWh được lắp đặt trên mỗi phà trong các container. Cáp chạy từ các container đến các điểm kết nối ở mỗi đầu của con tàu.



Shift

Trụ sở R&D và Phát triển Sản phẩm

1200 W 73rd Ave Suite 606, Vancouver, Canada

ĐT +1 (778) 819-1898

[info@shift-cleanenergy.com](mailto:info@shift-cleanenergy.com)

[www.shift-cleanenergy.com](http://www.shift-cleanenergy.com)

HQ Europe

Shift Clean Energy ApS

Lautrupsgade 7, 3. tv.

2100 København Ø

[denmark@shift-cleanenergy.com](mailto:denmark@shift-cleanenergy.com)



NGÀY 7 THÁNG 3 NĂM 2023

**ABB Marine & Ports**

Tàu điện

Jorulf Nergard – Phó Chủ tịch Phát triển thị trường

© Bản quyền ABB. Đã đăng ký Bản quyền.ID tài liệu: Phiên bản:

**ABB**

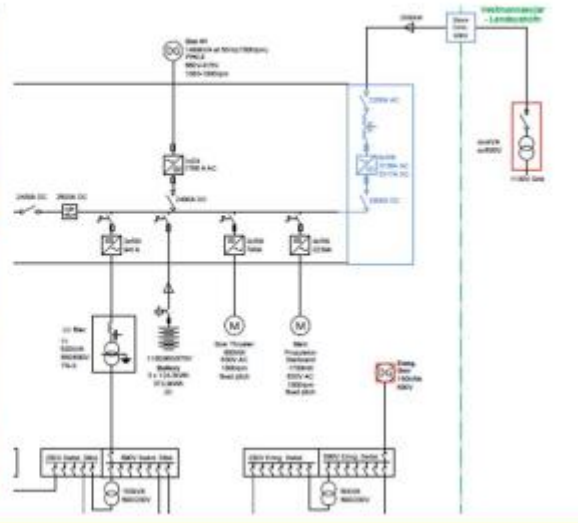
## Giải pháp của ABB

### Phà

Ví dụ: Heilhorn(2021)- Herjolfur(2019)



Ví dụ về hệ thống



Phà, có pin và H2 FC

- Giải pháp lai dựa trên lưới điện DC trên tàu với pin lớn cỡ 1500-4000kWh
- Ví dụ: DnV +1A1, CAR FERRY B, E0, R3(nor) và IS, Pin (An toàn)
- Tự động sạc với công suất cao 2,5MW từ Stemmann.
- Sẽ yêu cầu tính năng tự động cập bến
- Lực đẩy; 2x800-2000kW
- TRL cấp 9



## Dự án tham khảo của ABB

Dự án trình diễn và thí điểm công nghệ pin nhiên liệu hydro

Dự án pin nhiên liệu hàng hải của Hydrogenics (2017)

Một container thí điểm 100 kW cho Tuần duyên Hoa Kỳ



Dự án trình diễn công nghệ pin nhiên liệu (2017)

Lắp đặt pin nhiên liệu 100 kW cho Royal Caribbean Cruise Lines



Tàu nghiên cứu Bắc Cực MARANDA (EU H2020)

Nguyên mẫu của hệ thống pin nhiên liệu 165 kW trên tàu nghiên cứu Aranda



Tàu sông FLAGSHIPS (EU H2020)

Lắp đặt pin nhiên liệu 400 kW trên tàu cho Compagnie Fluviale de Transport (CFT)





Việc sử dụng Hệ thống tích trữ năng lượng (ESS) trong thập kỷ qua đã phát triển thành một công nghệ có từ lâu để giảm lượng phát thải từ vận tải biển. Corvus Energy đã cung cấp hệ thống cho hơn 650 tàu và ghi lại hơn 5.000.000 giờ hoạt động. Các tàu nhỏ hơn có thể sạc thường xuyên, có thể chạy hoàn toàn bằng điện trong khi các tàu lớn hơn có thể kết hợp chạy bằng pin. Pin cũng là một phần quan trọng của công nghệ nhiên liệu trong tương lai như pin nhiên liệu.

Việc sử dụng hệ thống pin cho các tàu lớn mang lại một số lợi ích, bao gồm:

- !! Tiết kiệm nhiên liệu: ESS có thể giúp giảm mức tiêu thụ nhiên liệu của các tàu lớn bằng cách cung cấp một nguồn năng lượng thay thế cho động cơ đẩy và các hệ thống trên tàu.
- !! Tiết kiệm chi phí: Điều này có thể giúp tiết kiệm chi phí đáng kể theo thời gian, đặc biệt khi chi phí nhiên liệu tiếp tục tăng cũng như chi phí phát thải CO<sub>2</sub> trong tương lai. Chi phí bảo trì cũng thường giảm nhất khi động cơ chạy ở mức tải tối ưu hơn, bên cạnh số giờ chạy thấp hơn
- !! Giảm phát thải: ESS cho phép vận hành không phát thải và có thể giúp giảm mức tiêu thụ nhiên liệu theo nhiều cách khác nhau để giảm tác động môi trường của các tàu lớn.
- !! Cải thiện hiệu quả: ESS có thể cung cấp nguồn năng lượng bổ sung cho các tàu lớn, cho phép chúng hoạt động hiệu quả hơn và linh hoạt hơn.
- !! Tăng cường an toàn: ESScan cung cấp năng lượng dự phòng cho các hệ thống thiết yếu như điều hướng và liên lạc, cải thiện an toàn và giảm nguy cơ tai nạn trong trường hợp mất điện.

Kinh nghiệm từ các tàu đang khai thác



Nesvik  
Phà chở ô-tô

Havila  
Castor  
Tàu du lịch  
cỡ nhỏ/vừa

Cisas Power  
Tàu kéo

Libas  
Tàu đánh cá  
bằng lưới  
kéo & lưới  
rà

MS Cruise  
Barcelona  
RO-PAX

North Sea  
Giant  
OCV

Chạy điện  
hoàn toàn,  
1582 kWh

Lai, 6102  
kWh

Chạy điện  
hoàn toàn,  
1424 kWh

Lai, 508  
kWh

Lai, 5469  
kWh

Lai, 2034  
kWh

Lượng giảm  
phát thải

3857 tấn

7500 tấn

213 tấn

534 tấn

2670 tấn

5500 tấn

CO2 ước  
tính hàng  
năm

Tiềm năng giảm điện hình cho loại tàu	15-20%	10-30+%				
	Lên đến	Lên đến				
	100% cho	100% cho				
	Từ 20% lên đến 100%	một số hành trình	Lên đến 100%	10-30+%	một số tuyến đường	15-20%

### Triển vọng

Khi các giải pháp Hệ thống tích trữ năng lượng (ESS) liên tục được phát triển hơn nữa, mật độ năng lượng ngày càng tăng, giúp nhiều phân khúc hơn, bao gồm các tàu lớn hơn, có thể vận hành hoàn toàn bằng điện và không phát thải. Ngoài ra, các giải pháp ESS sẽ đóng một vai trò quan trọng trong việc hỗ trợ các giải pháp và nhiên liệu không phát thải khác, chẳng hạn như pin nhiên liệu và sử dụng hydro hoặc amoniac làm nhiên liệu.

Corvus Energy đã sử dụng công nghệ pin nhiên liệu hydro đã được chứng minh từ Toyota và đang phát triển pin nhiên liệu hàng hải vốn dĩ an toàn về khí cho các tàu sẽ được hạ thủy vào tháng 6 năm 2023. Về nguyên tắc, hệ thống pin này đã được DNV chấp thuận là vốn dĩ an toàn về khí (như được mô tả trong bộ luật IGF) và dự kiến sẽ được Phê duyệt Kiểu là vốn dĩ an toàn về khí vào cuối năm 2023. Việc lắp đặt thí điểm được lên kế hoạch trên một con tàu trong năm 2023.

Gói pin nhiên liệu, dữ liệu kỹ thuật

- Đầu ra Công suất 1 gói; 320 kW
- 1400 x 2050 x 2400 mm (RộngxSâuxCao)
- 2500kg.

- Phê duyệt kiểu **Vốn dĩ an toàn về khí**
- Đối tác công nghệ của TOYOTA với hơn 26 000 chiếc được sản xuất

Khoảng thời gian đại tu dịch vụ chính:  
30.000 giờ

Ứng dụng:

- Đóng mới, dưới boong tàu
- Trang bị thêm (giải pháp container hóa)



Container



Khoang máy an toàn về khí



Quy tắc và mức độ sẵn sàng về công nghệ



Hầu như tất cả các tổ chức đăng kiểm đều có các yêu cầu chứng nhận đối với Hệ thống tích trữ năng lượng (ESS) và các thông số kỹ thuật để lắp đặt chúng trên tàu. Bộ quy tắc tạm thời đầu tiên từ một tổ chức đăng kiểm đã được phát hành vào năm 2013. Ngoài ra, các tổ chức như IEC đã phát triển các tiêu chuẩn liên quan và đang tiếp tục làm việc để cải thiện chúng.

Công nghệ ESS của Corvus Energy được quản lý bởi hầu hết các Tổ chức được công nhận (RO), đã được lắp đặt trên hơn 650 tàu và có sẵn các chứng chỉ phê duyệt kiểu. Do đó, Mức độ sẵn sàng về công nghệ (TRL) của công nghệ này được đặt ở mức 9.





Tàu kéo điện không phát thải

NV712- GISAŞ POWER (ZEETUG30)

## BÁO CÁO TÌNH HÌNH HOẠT ĐỘNG

Tàu kéo cảng chạy hoàn toàn bằng điện, không phát thải dầu tiên trên thế giới GISAŞ POWER đã hoàn thành 580 ngày hoạt động.

Báo cáo này chỉ ra những số liệu quan trọng trong giai đoạn này giúp giải thích hiệu quả tổng thể của dự án



## THÔNG TIN CƠ BẢN

Ngày đặt sống tàu: 10 tháng 1 năm 2018

Ngày giao tàu (hoạt động): 27 tháng 3 năm 2020

Ngày kiểm tra hàng năm hạng nhất: 03 tháng 3 năm 2021

Tổng thời gian hoạt động: 583 ngày

Tổng số ngày hoạt động thực tế: 552 ngày

Tổng số hoạt động (chuyến đi xa ngắn ngày): 1532

Tổng thời gian chạy động cơ: 1930 giờ

Tổng thời gian nghỉ (để bảo dưỡng và/hoặc sửa chữa): 74,5 giờ

Tổng mức sạc: 380.000 kWh



## SỐ LIỆU VỀ HIỆU QUẢ

<b>Số ngày hoạt động / Tổng số ngày dương lịch</b>	: 95 %
<b>Số hoạt động hàng ngày trung bình (chuyến đi xa ngắn ngày)</b>	: 2,8 mỗi ngày
<b>Giờ không làm việc / Giờ làm việc</b>	: 3,8 %
<b>Số lượng dừng</b>	: 18 (tổng cộng 74,5 giờ)
<b>Thời gian ngừng để kiểm tra hàng năm</b>	: 1 giờ
<b>Công việc yêu cầu để kiểm tra hàng năm</b>	: Không có
<b>Tình trạng của pin Li-Io</b>	: 99,5%
<b>Tỷ lệ xả trung bình</b>	: 1,55
<b>Tỷ lệ sạc trung bình</b>	: 0,65
<b>Tổng mức tiết kiệm OPEX nhiên liệu (năng lượng) (MDO so với Điện)</b>	: 50,27%
<b>Tổng mức bảo dưỡng &amp; sửa chữa OPEX</b>	: 21% phiên bản MDO
<b>Mức tiết kiệm (MDO so với Điện)</b>	(khoảng 1 đến 5)
<b>CO<sub>2</sub> tiết kiệm được (MDO so với Điện)</b>	
Tổng cộng	: 317,7 tấn
Mỗi năm	: 210,1 tấn
<b>NOX tiết kiệm được (MDO so với Electric)</b>	
Tổng cộng	: 0,83 tấn
Mỗi năm	: 0,55 tấn





## Tàu Oslofjord I-V

### Tour du lịch đảo không phát thải

SEAM cung cấp e-SEAMatic® BLUE với hệ thống pin cho các tàu I-V của Oslofjord – năm tàu chở khách 35m với tổng sức chứa 350 hành khách.

Các tàu này đã được Xưởng đóng tàu Sefine giao cho Boreal Asset AS vào tháng 12 năm 2021 dưới dạng phà chở khách đóng mới, **tổng cộng có năm tàu hoạt động giữa các đảo trong Oslofjord.**

Các tàu sẽ hoạt động hoàn toàn bằng điện với nguồn điện từ bộ pin. Tất cả các phương tiện giao thông công cộng trong khu vực Oslo đều đặt mục tiêu không phát thải vào năm 2028, các tàu của Oslofjord đã hoàn thành mục tiêu này vào năm 2022.

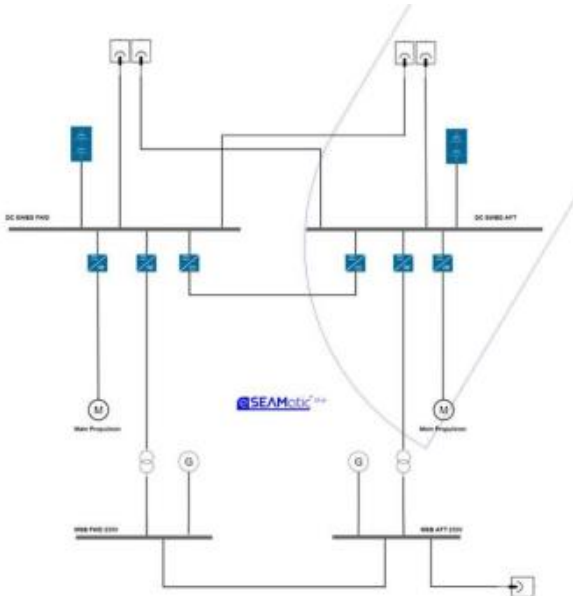
Sản phẩm của SEAM bao gồm khái niệm sê-ri e-SEAMatic® BLUE tinh vi của chúng tôi, bao gồm bộ chuyển đổi năng lượng e-SEA® Drive, pin, máy biến áp, hệ thống tự động hóa tích hợp và bảng điều khiển chính trên tàu. Tàu được điều khiển bởi một bộ pin ở mức 1017kWh. Các tàu của Oslofjorden sẽ được sạc bằng e-SEA® Pantograph, có thể được nhìn thấy dưới dạng phần cuối của đuôi cá voi tại Aker Brygge, Oslo.



### Dữ liệu chính

Tên tàu:	Oslofjord I-V
Loại tàu:	Tàu Ro-Ro/Chở khách
Chủ sở hữu:	Boreal Asset AS, Na Uy
Xưởng đóng:	Xưởng đóng tàu Sefine, Thổ Nhĩ Kỳ
Năm giao tàu:	2022

SEAM:	<b>e-SEAMatic® BLUE (Tàu chạy điện hoàn toàn)</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- e-SEAMatic® IAS &amp; EPMS</li> <li>- Bộ truyền động e-SEA®</li> <li>- Hệ thống Pin</li> <li>- Bảng chuyển mạch e-SEA®</li> <li>- Máy biến áp</li> <li>- Trạm sạc trên bờ e-SEAMatic®</li> <li>- Máy vẽ truyền e-SEA®</li> </ul>
Lợi ích chính:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Giảm tiếng ồn và độ rung.</li> <li>- Giảm phát thải CC2- và NOx</li> <li>- Dự phòng lớn hơn</li> <li>- Chi phí bảo trì thấp hơn</li> <li>- Cải thiện hiệu suất năng động</li> <li>- Hiệu quả cao</li> <li>- Trọng lượng thấp</li> <li>- Khối lượng nhỏ</li> </ul>









MF Hydra

Phà Hydra RoPax dài 82,4m đã được Norled vận hành thương mại từ tháng 3 năm 2023, chở 300 hành khách và 80 ô tô. Phà có tầm hoạt động 1000 nm trên một kết đầy 80m<sup>3</sup> ở tốc độ tuyến đường (10 hải lý/giờ). Tàu có sự chấp thuận của quốc gia tàu treo cờ và tổ chức đăng kiểm bằng cách sử dụng quy trình thiết kế thay thế của IMO để chứng minh LH2 là nhiên liệu hàng hải. Tàu có pin nhiên liệu 2 x 200 kW FCwave® của Ballard Power Systems và máy phát điện 2 x 440 kW cung cấp năng lượng cho hai bộ đẩy Schottel.

Nhu cầu hàng hải đối với hydro lỏng dự kiến sẽ tăng nhanh khi công nghệ được quốc gia tàu treo cờ và DNV phê duyệt.

Mức TRL là 9.

Đối với Hydra, Norled đặt mục tiêu phát thải độ sôi gần bằng 0 trong quá trình vận hành. Thực tế vật lý là có một lượng nhiệt rò rỉ nhỏ đến kho chứa LH2 được phục vụ trong thiết kế trong đó áp suất quá mức được loại bỏ khỏi pha khí của bể chứa và dẫn đến máy hóa hơi tạo ra khí cho pin nhiên liệu. Bằng cách này, không có tổn thất trong quá trình hoạt động.

FPS Waal

Tàu Flagships thứ hai, FPS Waal, được sở hữu và vận hành bởi Future Proof Shipping có trụ sở tại Hà Lan. Giống như Zulu 06, FPS Waal cũng sẽ được lắp đặt pin nhiên liệu Ballard FCwaveTM trong năm nay. Tổng cộng sáu mô-đun sẽ được lắp đặt, mang lại cho tàu được trang bị thêm tổng công suất pin nhiên liệu là 1,2 MW.

Tàu chở hàng container nội địa dài 109,8 mét sẽ hoạt động trên tuyến giữa Rotterdam (NL) và Duisburg (DE) trên sông Rhine.

Thỏa thuận này sẽ chứng kiến FPS Waal 109,8 x 11,40 x 3,53 m nhận được sáu mô-đun FCwaveTM. Nhờ đó, tàu sẽ có công suất pin nhiên liệu là 1,2 MW. Là mô-đun pin nhiên liệu được phê duyệt kiểu DNV đầu tiên trên thế giới cho các ứng dụng hàng hải, FCwaveTM sử dụng công nghệ đã được chứng minh từ nền tảng mô-đun hạng nặng của Ballard để mang lại hiệu suất đáng tin cậy, mật độ năng lượng cao và tính kinh tế thuận lợi.

Sau khi trang bị thêm, tổng công suất lắp đặt sẽ vào khoảng 1200 kW và tàu sẽ có sức chở hàng 200 TEU.

FPS Maas

FPS Maas sẽ hoàn thành trang bị thêm và vận hành thương mại vào đầu tháng 6 năm 2023.

Phương pháp tiếp nhiên liệu là hydro nén trong các bộ lưu trữ 40 foot được chở trên boong tàu FPS Maas. Nhà cung cấp container H2, dịch vụ logistics container H2 và hydro xanh được chứng nhận là Air Liquide cho FPS Maas. Đối với các tàu sắp tới khác, chúng tôi vẫn đang đánh giá một số nhà cung cấp container H2 và hydro xanh được chứng nhận.

Zulu 06

Ballard Power Systems Europe đã được cấp Chứng nhận đánh giá thiết kế từ tổ chức đăng kiểm Bureau Veritas cho hai mô-đun pin nhiên liệu FCwaveTM 200kW sẽ được lắp đặt trên tàu dự án Flagships Zulu 06.

Zulu 06 sẽ khai thác một tuyến đường trên sông Seine giữa Gennevilliers - Bonneuil Sur Marne ở Paris, Pháp. Compagnie Fluvial de Transport sẽ khai thác con tàu cho chủ tàu Sogestran.



## FerryCHARGER

Các giải pháp đáng tin cậy để cung cấp điện cho giao lộ của bạn



### Thời gian sạc ngắn nhất cho đội tàu bền vững - Giải pháp thích ứng với tàu và đất liền

Dành cho mọi tàu cần hoạt động với độ tin cậy 100%, sạc nhanh, khi không gian trên tàu và đất liền bị hạn chế.

**Khi thời gian kết nối là quan trọng** bất kể dòng thủy triều và thời tiết, các giải pháp Wabtec với công nghệ Stemmann-Technik là câu trả lời. Chúng tôi dẫn đầu thị trường về các ứng dụng sạc, nhà sản xuất có kinh nghiệm cung cấp tính năng sạc năng lượng cao đáng tin cậy.



Thời gian sạc ngắn  
Với công suất lên đến  
23MW



Kết nối và sạc nhanh hoàn toàn  
tự động  
Kết nối thậm chí dưới 10 giây



Tự động bù chuyển động  
Sạc an toàn trong dòng  
thủy triều



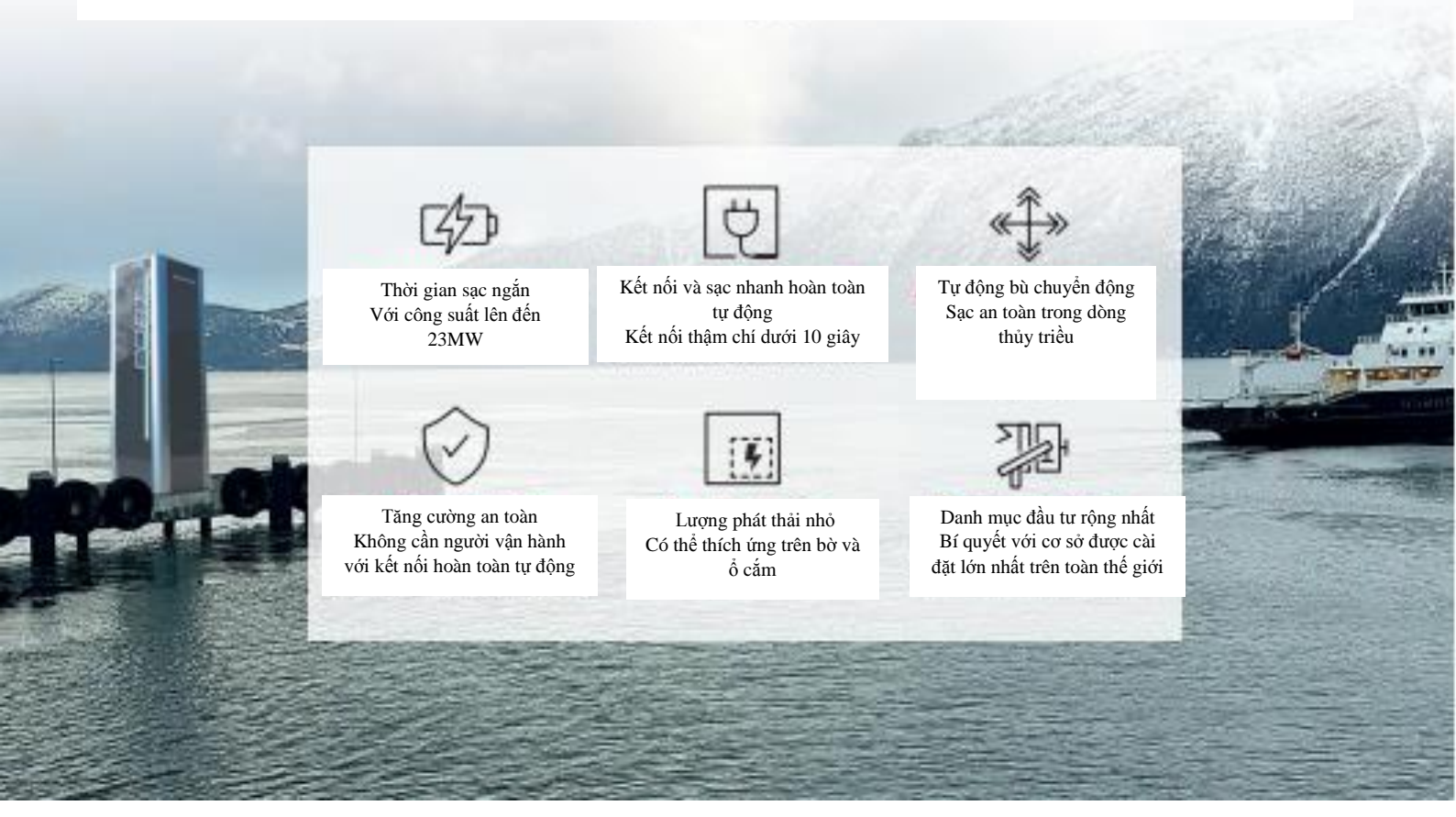
Tăng cường an toàn  
Không cần người vận hành  
với kết nối hoàn toàn tự động



Lượng phát thải nhỏ  
Có thể thích ứng trên bờ và  
ô cắm



Danh mục đầu tư rộng nhất  
Bí quyết với cơ sở được cài  
đặt lớn nhất trên toàn thế giới







- Trải nghiệm lớn nhất và các thiết bị được lắp đặt
- Chuyên môn trong việc hỗ trợ lựa chọn giải pháp phù hợp nhất với hình dạng bến cảng và tàu
- Giải pháp điện áp cao độc đáo
- Thích ứng cho nhu cầu cụ thể của từng quốc gia

Chu kỳ hoạt động lên tới 100%*	Kiểu PANTO phía trên/bên	Kiểu TOWER	Kiểu BOW
Điện áp định mức	Lên đến 1000 V AC và 1500 V DC	Lên đến 1000 V DC và AC Lên đến 15 kV AC	Lên đến 1000 V AC và DC đến 15 kV AC
Dòng điện danh định	Lên đến 1500 A	Lên đến 3kA ở mức 1kV Lên đến 900A ở mức 15kV	Lên đến 5kA DC và 3kA AC ở mức 1kV. Lên đến 600A ở mức 15 kV
Công suất tối đa	2,5 MW ở mức 1kV AC (3ph) 2,2 MW ở mức 1,5kV DC	5MW ở mức 1kV; 23MW ở mức 15kV	5 MW ở mức 1kV 15 MW ở mức 15kV
Thời gian kết nối	<10 giây	<10 giây	<15 giây
Khu đất thiết lập	Panto từ phía trên/bên, ống lồng từ phía bên	Cần trục trong tháp	Cần trục bên cạnh cầu nâng
Tàu thiết lập	Thanh tiếp xúc trên mái / phía bên	Ổ cắm (hộc cắm) kín	Ổ cắm (hộc cắm) kín
Kết nối	Tự động hóa, bến tại vị trí cụ thể	Tự động hóa, phát hiện ổ cắm, chỉ phía bên	Tự động hóa, phát hiện ổ cắm, phía trước/sau
Độ bù dọc (thủy triều)	1 200mm / hoặc Chiều dài thanh tiếp xúc tại Tàu	5 000 mm	8 500 mm
Độ bù bên nằm ngang	± 310mm / hoặc chiều rộng của chổi than tại Panto	± 300 mm	±1 500 mm phụ thuộc vào cấu hình
Độ bù kinh độ ngang	± 280mm / 1 450 mm	1 600 mm	±1 500 mm phụ thuộc vào cấu hình
Lợi ích chính	Đơn giản, hiệu quả cho khoảng cách ngắn, kích thước nhỏ gọn.	Thời gian sạc ngắn. Tùy chọn điện áp cao. Dung sai neo đậu tốt	Lượng phát thải nhỏ trên cầu nâng, kích thước nhỏ gọn, độ bù chuyển động lớn nhất

\*Chu kỳ hoạt động 100% theo DNVGL-RU-SHIP-Pt4Ch8Se2



STEMMANN-TECHNIK GmbH - một công ty của Wabtec  
Niedersachsenstr. 2 • 48465 Schüttorf • Đức  
Liên hệ với chúng tôi: [www.stemmann.com](http://www.stemmann.com)

Theo dõi chúng tôi





TECHNOLOGY

**PwrSwäp**

**Dịch vụ đầu tiên thuộc loại này - Dịch vụ thanh toán khi sử dụng.**

Cung cấp năng lượng tái tạo sạch và đáng tin cậy không có rủi ro. Các rào cản tích trữ năng lượng điển hình về chi phí, kích thước, trọng lượng và thời gian sạc đều được giảm đáng kể.

Chúng tôi tập hợp các công nghệ đã được chứng minh và cung cấp thứ mà không ai khác có được: một hệ sinh thái năng lượng sạch gồm các loại pin có thể thay thế để cung cấp năng lượng vào bất cứ lúc nào và ở đâu mà khách hàng cần. Cách tiếp cận tích hợp này có thể cung cấp điện cho các cảng, bến cảng, đường thủy nội địa, đội tàu, khu công nghiệp và thậm chí toàn bộ cộng đồng bị cô lập.

**Shift trang trải chi phí có nghĩa là khách hàng không phải đầu tư vào chi phí vốn ban đầu đắt đỏ**



Nghiên cứu điển hình 11

**PwrSwäp**





## THÔNG SỐ KỸ THUẬT của PWRSwap



**PwrSwap cung cấp các hộp pin ePod đã sạc đầy được kết nối thông qua các trung tâm quản lý và dịch vụ dựa trên đám mây.**

Thật đơn giản: sử dụng năng lượng từ ePod để cung cấp năng lượng cho tàu hoặc thiết bị của bạn, sau đó đổi chúng lấy những cái mới đã được sạc đầy. ESS được định cỡ cho mỗi chuyến đi, không phải cho tuổi thọ của tàu.

Khách hàng tiết kiệm tiền ngay từ ngày đầu tiên, đồng thời đáp ứng các mục tiêu hành động về khí hậu thông qua điện khí hóa.

Công suất tích trữ năng lượng	50kWh	70kWh	140kWh	210kWh	280kWh
Chiều cao tổng thể	1850mm	2150mm	2150mm	2150mm	2150mm
Chiều rộng tổng thể	770mm	770mm	770mm	1150mm	1500mm
Độ sâu tổng thể	720mm	720mm	1250mm	1250mm	1250mm
Trọng lượng	700kg	850kg	1700kg	2550kg	3550kg
Bộ cục nâng	Dọc	Dọc hoặc Ngang	Dọc hoặc Ngang	Dọc	Dọc
Số lượng BBU	6 (100V)	8 (100V)	8 (200V)	12 (200V)	16 (200V)
Điện áp hệ thống tối đa	600VDC	800VDC			
Điện áp hệ thống tối thiểu	465VDC	620VDC			
Loại pin lithium	NMC				
Tiêu chuẩn sản xuất	Khoang máy A60				
Xếp hạng IP	IP67				
Xếp hạng tác động	3G				
Làm mát bằng chất lỏng	Có				
Phần mềm OnWatch	Có				
Chống cháy	Có				
Phát hiện cháy tích hợp	Có				
Quản lý cháy tích hợp	Có				
Giao diện	Kết nối tự động với nguồn điện, làm mát, thông gió, thông tin liên lạc				
Giám sát từ xa có Theo dõi GPS	Có				
Cảm biến sốc và nhiệt độ	Có				
Xếp hạng cháy bên ngoài	Tối thiểu 1000°C@60 phút				



Shift

Trụ sở R&D và Phát triển Sản phẩm

1200 W 73rd Ave Suite 606, Vancouver, Canada

ĐT +1 (778) 819-1898

[info@shift-cleanenergy.com](mailto:info@shift-cleanenergy.com)

[www.shift-cleanenergy.com](http://www.shift-cleanenergy.com)

HQ Europe

Shift Clean Energy ApS

Lautrupsgade 7, 3. tv.

2100 København Ø

[denmark@shift-cleanenergy.com](mailto:denmark@shift-cleanenergy.com)

**GIẢI PHÁP HÀNG HẢI ĐIỆN TỬ**  
**Navius**  
**MRS-3**  
**Hệ thống pin hàng hải**



Hệ thống pin lithium-ion hiệu suất cao do Châu Âu sản xuất dành cho các ứng dụng hàng hải.



**MRS-3™**



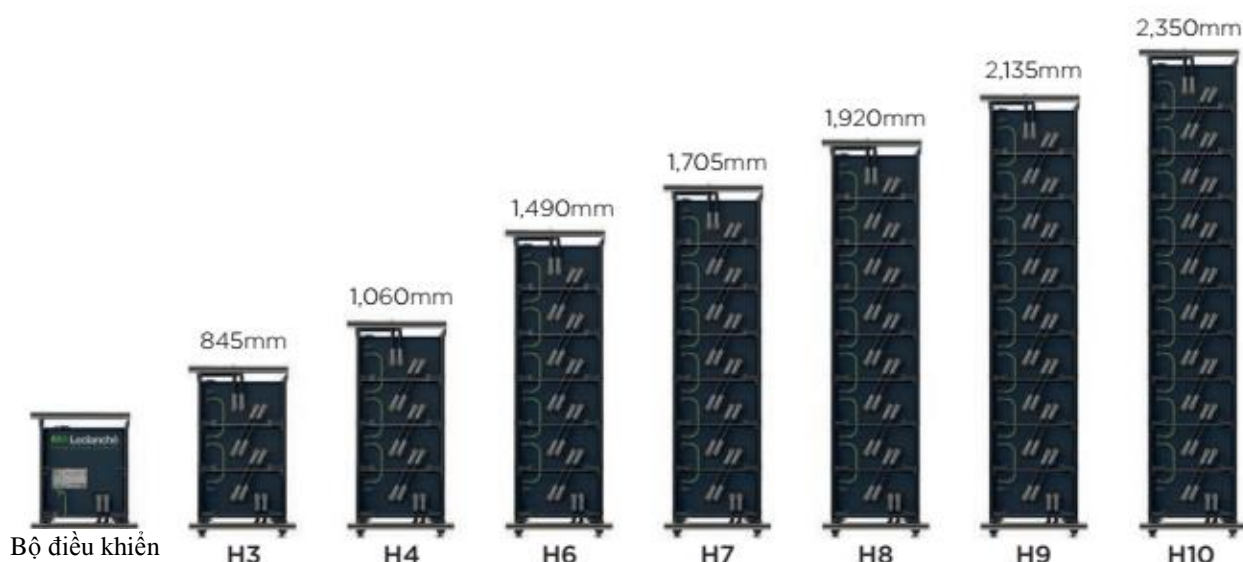
## Cấu hình hệ thống

Giá đỡ pin Navius MRS-3 có 7 chiều cao khác nhau, từ 845mm đến 2.350mm (bao gồm cả ống xả), cho phép chúng vừa vặn hoàn hảo với gần như mọi kích cỡ buồng pin, bất kể loại tàu nào.

Biến thể "H3" thấp nhất chứa tối đa 3 mô-đun và biến thể "H10" cao nhất chứa tối đa 10 mô-đun.

Một số giá đỡ được kết hợp thành một chuỗi - mỗi chuỗi chứa một Hệ thống quản lý pin chuyên dụng. Các chuỗi sau đó được kết hợp để tạo ra một hệ thống hoàn chỉnh cung cấp năng lượng cần thiết cho ứng dụng của tàu. Các chuỗi có chiều cao khác nhau có thể được kết hợp thành một hệ thống nếu cần.

Navius MRS-3 sử dụng một kiến trúc mới cho phép nó cải thiện 50% công suất năng lượng được lắp đặt trong buồng pin so với hệ thống MRS-2 thế hệ trước của chúng tôi.



## Thông số kỹ thuật của hệ thống

Chiều cao giá đỡ (Lưu ý: Cần có khoảng trống lắp đặt 125mm)	H3: 845mm. H4: 1.060mm. H6: 1.490mm. H7: 1.705mm. H8: 1.920mm. H9: 2.135mm. H10: 2.350mm
Chiều rộng & chiều sâu giá đỡ	Rộng 435mm, Sâu 710mm
Trọng lượng giá đỡ bao gồm các mô-đun năng lượng	H3: 251kg, H4: 327kg, H6: 478kg, H7: 554kg, H8: 630kg, H9: 707kg, H10: 738kg
Trọng lượng giá đỡ bao gồm Mô-đun năng lượng & Bộ điều khiển <sup>2</sup>	H3: 153kg, H4: 229kg, H6: 380kg, H7: 456kg, H8: 532kg, H9: 609kg, H10: 685kg
Năng lượng mô-đun đơn / Điện áp danh định	8.7 kWh / 33.6V đến 67.1V
Điện áp tối đa chuỗi đơn <sup>3</sup>	1200V
Mật độ trọng lượng tối đa - Giá đỡ / Chuỗi <sup>3</sup>	111 / 108 Wh/kg
Mật độ thể tích tối đa - Giá đỡ / Chuỗi <sup>3</sup>	120 / 112 Wh/lít
Dấu vết Mật độ năng lượng tối đa - Giá đỡ / Chuỗi <sup>3</sup>	282 / 263 kWh/m <sup>2</sup>

**DỮ LIỆU SƠ BỘ:**

**Leclanché có quyền sửa đổi các thông số kỹ thuật này**



**Bảng dữ liệu kỹ thuật**  
**ECHANDIA ENERGY & ECHANDIA POWER**







# Giải pháp tích trữ năng lượng hạng nặng

Bảng thông số kỹ thuật - ngày 1 tháng 1 năm 2022

ECHANDIA ENERGY

ECHANDIA POWER

Echandia đang dẫn đầu sự phát triển của điện khí hóa hàng hải, với các giải pháp năng lượng không phát thải cho các ứng dụng hàng hải và công nghiệp.

Echandia cung cấp các hệ thống pin hạng nặng và giá đỡ pin trọng lượng nhẹ, độc quyền cũng như kiến trúc hệ thống cho các môi trường phức tạp và đòi hỏi khắt khe.

## Linh hoạt và dạng mô-đun

Hệ thống giá đỡ linh hoạt và dạng mô-đun để đáp ứng mọi yêu cầu của tàu. Vốn dĩ an toàn bằng cách sử dụng hóa chất pin an toàn nhất trên thị trường. Công suất hệ thống linh hoạt và mức điện áp dựa trên ứng dụng.

## Được chứng nhận cho thế giới hàng hải

Echandia tích cực thúc đẩy và tham gia vào việc chứng nhận và phê duyệt kiểu để đáp ứng các tiêu chuẩn ngành cao nhất có thể. Chúng tôi được phê duyệt kiểu cho các hệ thống pin dựa trên LTO từ cả DNV và Bureau Veritas.



## Echandia Energy

### E-LTO ENERGY

#### Mô tả

Hệ thống Năng lượng Cao phù hợp lý tưởng cho các ứng dụng yêu cầu vận hành an toàn và tuổi thọ cao trong điều kiện luân chuyển nhiều trong thời gian dài hơn, thường là 6 phút hoặc lâu hơn cho mỗi chu kỳ.

Công nghệ pin LTO độc đáo được sử dụng cho phép sử dụng nhiều công suất lắp đặt hơn, dẫn đến một hệ thống nhỏ gọn hơn, nhẹ hơn và tiết kiệm chi phí cho một chu kỳ hoạt động nhất định

#### Ứng dụng

Động cơ đẩy hoàn toàn bằng điện

#### Hiệu suất

Dòng điện tối đa cực đại trên mỗi chuỗi (Xả / Sạc) 400 A / 400 A trong 10 giây

Dòng điện tối đa liên tục trên mỗi chuỗi (Xả / Sạc) 160 A / 160 A

Xả / Sạc 2C trong vòng đời tới 80% EOL 50 000 chu kỳ ở 50% DoD

Dung lượng khả dụng (% cài đặt) 90% (5% - 95% SOC)

Trọng lượng Ví dụ: 13800 kg cho 1068 kWh @ 1000 Vmax

#### An toàn

Chống lan truyền thoát nhiệt Cấp độ pin. Được xác minh theo DNV-GLPt-6, Ch-2/ NMA RSV 12

Hệ thống chữa cháy tích hợp Không bắt buộc. Được xác minh theo DNV-GLPt-6, Ch-2/ NMA RSV 12

Phát hiện lỗi Quá áp & thấp áp, quá nhiệt

Bảo vệ chống ngắn mạch Bộ ngắt ở cấp độ chuỗi

Mạch dừng khẩn cấp Có dây cứng

Xếp hạng thiết bị chuyển mạch ngắt kết nối

#### Khái quát

Tuân thủ phân loại Tất cả các tổ chức đăng kiểm

Tuân thủ EMC DNV/BV: dựa trên IEC 60945, IEC 61000-4-X, CISPR 16-2-1 & CISPR 16-2-3

Phê duyệt kiểu DNV, Bureau Veritas

Giao tiếp BMS CAN2.0b, MODBUS TCP và PROFINET

Làm mát Không khí cưỡng bức

Rung và Sốc Các yêu cầu về DNV cộng với bộ giảm chấn luôn được chọn để tuân thủ thông số kỹ thuật của tàu

Mạch sạc trước Tích hợp

# Echandia Power

## E-LTO POWER

### Mô tả

Hệ thống Công suất Cao phù hợp lý tưởng cho các ứng dụng lai ghép trong đó cần có công suất cao trong khoảng thời gian ngắn hơn, thường là 5 phút hoặc ít hơn cho mỗi chu kỳ.

Công nghệ pin LTO độc đáo được sử dụng cho phép sử dụng nhiều công suất lắp đặt hơn, dẫn đến một hệ thống nhỏ gọn hơn, nhẹ hơn và tiết kiệm chi phí hơn cho một chu kỳ hoạt động nhất định.

### Ứng dụng

Dự trữ quay, tiết giảm phụ tải đỉnh, cân bằng tải, cần cầu, v.v.

### Hiệu suất

Dòng tối đa cực đại trên mỗi chuỗi (Xả / Sạc)	550 A / 550 A trong 100 giây
Dòng tối đa liên tục trên mỗi chuỗi (Xả / Sạc)	400 A / 400 A trong 300 giây, 160 A / 160 A > 300 giây
Xả / Sạc 2C trong vòng đời tới 80% EOL	70 000 chu kỳ ở mức 50% DoD
Dung lượng khả dụng (% cài đặt)	90% (5% - 95% SOC)
Trọng lượng	Ví dụ: 4770 kg cho 274 kWh @ 1000 Vmax

### An toàn

Chống lan truyền thoát nhiệt	Cấp độ pin. Được xác minh theo DNV-GLPt-6, Ch-2/ NMA RSV 12
Hệ thống chữa cháy tích hợp	Không bắt buộc. Được xác minh theo DNV-GLPt-6, Ch-2/ NMA RSV 12
Phát hiện lỗi	Quá áp & thấp áp, quá nhiệt
Bảo vệ chống ngắn mạch	Bộ ngắt ở cấp độ chuỗi
Mạch dừng khẩn cấp	Có dây cứng
Xếp hạng thiết bị chuyển mạch ngắt kết nối	

### Khái quát

Tuân thủ phân loại	Tất cả các tổ chức đăng kiểm
Tuân thủ EMC DNV/BV:	dựa trên IEC 60945, IEC 61000-4-X, CISPR 16-2-1 & CISPR 16-2-3
Phê duyệt kiểu	DNV, Bureau Veritas
Giao tiếp BMS	CAN2.0b, MODBUS TCP và PROFINET
Làm mát	Không khí cưỡng bức
Rung và Sóc	Các yêu cầu về DNV cộng với bộ giảm chấn luôn được chọn để tuân thủ thông số kỹ thuật của tàu
Mạch sạc trước	Tích hợp



**Orca Energy ESS đại diện cho một sự thay đổi trong ngành hàng hải khi ra mắt vào năm 2016. Không có Hệ thống tích trữ năng lượng nào khác có thể cạnh tranh với số lượng lắp đặt của hệ thống Orca Energy. Kết quả vượt trội và mức độ an toàn cao nhất đã thiết lập tiêu chuẩn mới trong ngành cho pin hàng hải.**

Khi ra mắt, Corvus Energy đã kết hợp khả năng nghiên cứu và phát triển đầu ngành của mình với nhiều năm kinh nghiệm từ việc có cơ sở lắp đặt giải pháp ESS lớn nhất toàn cầu để xây dựng ESS hàng hải an toàn nhất, đáng tin cậy nhất, hiệu suất cao và tiết kiệm chi phí của ngành.

### Ứng dụng

Orca Energy lý tưởng cho các ứng dụng cần cả năng lượng và lượng điện năng cao, di chuyển một lượng lớn năng lượng với chi phí trọn đời rẻ trên mỗi kWh. Các loại tàu điển hình là:

- |                  |               |                 |
|------------------|---------------|-----------------|
| • Phà            | • Tàu xa bờ   | • Tàu buôn      |
| • Tàu du lịch    | • Giàn khoan  | • Cản trục cảng |
| • Ro/Ro - Ro/Pax | • Tàu kéo     | • Sạc trên bờ   |
| • Du thuyền      | • Tàu đánh cá | • Trang trại cá |

### Đặc trưng

- Tỷ lệ C cao - lên đến 3C liên tục
- Đã lắp đặt trên hơn 250 tàu trên khắp thế giới
- Được thiết kế cho điện áp lên đến 1200 VDC
- Thời gian lắp đặt và chạy thử thấp
- Chi phí vòng đời thấp
- Tăng cường độ tin cậy với các kết nối điện có sẵn
- Thiết kế linh hoạt và mô đun hóa
- Bảo vệ chống thoát nhiệt pin đơn lẻ thụ động
- Khả năng mở rộng và điện áp theo yêu cầu của tàu
- Hệ thống quản lý pin (BMS) đã được chứng minh trong ngành
- Khả năng giám sát từ xa
- Thiết kế miễn nhiễm EMI nâng cao cho môi trường hàng hải

### Cải tiến an toàn của Corvus Energy

Thụ động-Đơn lẻ - Cách ly thoát nhiệt (TR) ở cấp độ pin

- Cách ly thoát nhiệt ở cấp độ pin thực sự
- TR không lan truyền đến các pin lân cận
- Cách ly KHÔNG phụ thuộc vào làm mát chủ động

Vượt tiêu chuẩn thông khí TR của tổ chức đăng kiểm và quốc gia tàu treo cờ

- Tích hợp hệ thống xả khí thoát nhiệt
- Dễ dàng thông hơi ra môi trường bên ngoài thay vì bùng pin





**Thông số kỹ thuật | Corvus Orca Energy**

**Thông số kỹ thuật hiệu suất**

Tỷ lệ C - Đỉnh (Xả / Sạc)	Giá trị cụ thể theo dự án
Tỷ lệ C - Liên tục (Xả / Sạc)	Lên đến 3C / Lên đến 3C

**Thông số kỹ thuật hệ thống**

Kích thước mô-đun đơn / Gia số	5,6 kWh / 50 VDC
Phạm vi gói đơn	38-136 kWh / 350-1200 VDC
Mật độ trọng lượng tối đa - <b>Gói</b>	77 Wh/kg   13 kg/kWh
Mật độ thể tích tối đa - <b>Gói</b>	88 Wh/l

**Gói mẫu**

Năng lượng	124 kWh (249 kWh đối với Gói Cao)
Điện áp	Tối đa: 1100 VDC   Danh nghĩa: 980 VDC   Tối thiểu: 800 VDC
Kích thước - Gói Dọc - 124 kWh	Cao: 2241 mm   Rộng: 865 mm   Sâu: 738 mm   1628 kg
Kích thước - Gói Ngang - 124 kWh	Cao: 1260 mm   Rộng: 1730 mm   Sâu: 738 mm   1726 kg
Kích thước - Gói Cao - 249 kWh	Cao: 3000 mm   Rộng: 1345 mm   Sâu: 738 mm   3375 kg

**Hệ thống mẫu - 8 Gói Dọc**

Năng lượng	992 kWh
Điện áp	Tối đa: 1100 VDC   Danh nghĩa: 980 VDC   Tối thiểu: 800 VDC
Kích thước - 8 x 124 kWh	Cao: 2241 mm   Rộng: 6920 mm   Sâu: 738 mm   13 024 Kg

**Thông số kỹ thuật an toàn**

Chống lan truyền thoát nhiệt	Cách ly thoát nhiệt ở cấp độ pin thụ động với hệ thống khí thải
Hệ thống chữa cháy	Theo khuyến nghị của SOLAS, tổ chức đăng kiểm và Corvus
Mạch ngắt kết nối	Chế độ an toàn dựa trên phần cứng đối với trường hợp quá nhiệt và quá điện áp
Bảo vệ chống ngắn mạch	Cầu chì được bao gồm ở cấp độ gói
Mạch dừng khẩn cấp	Có dây cứng
Phát hiện lỗi nối đất	Tích hợp
Xếp hạng thiết bị chuyển mạch ngắt kết nối	Đầy tải

**Thông số kỹ thuật chung**

Tuân thủ phân loại	DNV GL, Lloyds Register, Bureau Veritas, ABS, RINA
Phê duyệt kiểu	DNV GL, Bureau Veritas, ABS, RINA
Bảo vệ chống xâm nhập	Hệ thống: IP44
Làm mát	Không khí cưỡng bức
Rung và sốc	UNT38.3, DNV 2.4, IEC 60068-2-6
EMC	IEC 61000-4, IEC 60945-9, CISPR16-2-1



# PemGen<sup>®</sup>

## MT-FCPI-500



MT-FCPI-500 là Hệ thống lắp đặt năng lượng pin nhiên liệu hàng hải nhằm mục đích hỗ trợ vận tải biển không phát thải. Hệ thống này cung cấp phương án cung cấp năng lượng LT-PEM nhỏ gọn và mạnh mẽ cho nhiều ứng dụng hàng hải, cả trên đường thủy nội địa hoặc trong vùng biển gần. Danh mục Hệ thống năng lượng pin nhiên liệu PemGen có sẵn trên cơ sở cấu hình theo đơn đặt hàng. Hãy liên lạc để điều chỉnh hệ thống này cho ứng dụng của bạn.



<b>KHÁI QUÁT</b>	Loại pin nhiên liệu	Màng trao đổi proton nhiệt độ thấp (LT-PEM)
	Mô hình pin nhiên liệu	60 x Nedstack FCS13-XXL
<b>ĐIỆN</b>	Công suất danh nghĩa	500 kW <sub>e</sub>
	Công suất cực đại (BoL)	626 kW <sub>e</sub>
	Phạm vi điện áp	500 -1000 VDC
	Phạm vi dòng điện	0 -1200 A
<b>VỎ MÁY</b>	Trọng lượng	15.000 kg
	Cấp độ xây dựng	Container ISO 20 ft (Dung tích lớn)
	Chiều dài	6.06 m
	Chiều rộng	2.44 m
	Chiều cao	2.90 m
	Xếp hạng IP	IP 54
<b>NGUỒN NẠP HYDRO</b>	Chất lượng	Cấp ≥ 2.5 (CO < 0.2 ppm)
	Áp suất cung cấp	0.3 - 6 barg
	Mức tiêu thụ danh nghĩa (BoL)	59 kg/ MWh <sub>e</sub>
	Mức tiêu thụ tối đa	40 kg/h
<b>CHẤT LÀM MÁT</b>	Dung môi	Nước DI hoặc BASF FC G20
	Nhiệt độ đầu ra	Tối đa 65 °C
	Công suất làm mát yêu cầu	900 kW <sub>th</sub>
	Nhiệt có thể phục hồi	>400 kW <sub>th</sub>
<b>ĐIỀU KIỆN MÔI TRƯỜNG XUNG QUANH</b>	Nhiệt độ hoạt động	-10 - 40 °C
	Nhiệt độ bảo quản	5 - 60 °C (tùy chọn -20 °C - 60 °C)
<b>ỨNG DỤNG</b>	Mục đích sử dụng	Công suất đẩy chính cho tàu nhỏ hơn Nguồn APU cho tàu lớn hơn Được đồng trong container khi ở trên boong hờ Tích hợp dựa trên đường trượt bên dưới boong tàu
	Vị trí	
	Hệ thống cân bằng nhà máy (Balance of Plant)	20 năm
	Nâng cấp ngăn xếp	24k - 30k giờ chạy Phê duyệt phân loại theo yêu cầu IEC-60092 IEC-60529 IEC-60533 IEC-62282-3
<b>TUÂN THỦ</b>	Tiêu chuẩn	

*To be sure.*

**BALLARD**

FCwave™

## Mô-đun năng lượng pin nhiên liệu cho các ứng dụng hàng hải

Hệ thống 200kW của Ballard, FCwave™, được thiết kế để cung cấp năng lượng không phát thải cho tàu thuyền. Đỉnh cao của quá trình phát triển sản phẩm và kinh nghiệm thực địa dựa trên hơn 100 triệu km vận hành của phương tiện hạng nặng, FCwave™ sử dụng công nghệ đã được chứng minh từ danh mục mô-đun hạng nặng của Ballard để mang lại hiệu suất đáng tin cậy, mật độ công suất cao và tính kinh tế thuận lợi.

FCwave™ của Ballard được phát triển và thử nghiệm cho môi trường biển, đồng thời là Pin nhiên liệu được chứng nhận kiểu DNV đầu tiên trên thế giới cho các ứng dụng hàng hải. Hệ thống này có thể mở rộng từ 200kW đến MW để phù hợp với nhiều loại tàu hoạt động trên các tuyến đường ngắn hoặc dài hơn và đòi hỏi khắt khe.



### Tính năng

#### Dạng mô-đun, công suất có thể mở rộng

Có sẵn ở các mức tăng 200kW, FCwave™ tạo điều kiện cho đầu ra công suất có thể mở rộng và tích hợp linh hoạt vào tàu.

#### Chi phí vòng đời thấp

Tổng chi phí sở hữu thấp, đạt được nhờ tối ưu hóa hiệu suất sản phẩm, các thành phần phổ biến trên các nền tảng sản phẩm và yêu cầu bảo trì thấp.

#### Tuổi thọ dài

Được cấp năng lượng bởi ngăn xếp làm mát bằng chất lỏng hạng nặng FCgen®-LCS của Ballard và được thiết kế để mang lại hiệu suất lâu dài.

#### Dễ tích hợp

Hệ thống được tích hợp vào một tủ sạch sẽ với cửa ra vào dễ dàng và tất cả các giao diện có thể tiếp cận từ phía trước để bảo trì và bảo dưỡng.

### Hoạt động an toàn

Được thiết kế đồng hành cùng ngành để chịu được sự khắc nghiệt của môi trường biển, FCwave™ được phát triển, thử nghiệm và chuẩn bị sẵn sàng để lắp đặt với sự tập trung cao độ vào sự an toàn.

#### Chẩn đoán từ xa

Kết nối chẩn đoán cho phép khách hàng giám sát dữ liệu hiệu suất từ xa và lập kế hoạch bảo trì phòng ngừa.

#### Dẫn đầu về công nghệ

Công nghệ pin nhiên liệu Ballard tương tự cung cấp năng lượng cho FCwave™ đã được chứng minh trên hơn 3.600 xe tải và xe buýt chạy bằng pin nhiên liệu được triển khai ở Trung Quốc, Châu Âu và Bắc Mỹ.

## Thông số kỹ thuật sản phẩm

Hiệu suất	
Công suất định mức	200kW
Công suất tối thiểu	55kW
Hiệu quả nhiên liệu cao nhất	53.5%
Điện áp hoạt động	350 - 720 V DC
Dòng điện định mức 1	2x300 A hoặc 1 x550 A
Đầu ra làm mát hệ thống	Tối đa 65° C
Công nghệ ngăn xếp	
Quản lý nhiệt	Làm mát bằng chất lỏng
Áp suất H2	3,5 – 6,5 barg
Vật lý	
Kích thước (dài x rộng x cao) 2	1209 mm x 741 mmx 2195 mm
Trọng lượng (ước tính) 3	1000 kg
Bảo vệ môi trường	IP44
Phòng máy (DNV CG-0339)	+0°C - +45°C
Nhiệt độ khởi động tối thiểu	0°C
Nhiệt độ lưu trữ ngắn hạn	-40°C - +60°C
Chất phản ứng và chất làm mát	
Loại	Hydro dạng khí
Thành phần	Theo thông số kỹ thuật SAE J2719 và ISO 14687:2019 Loại I, Loại II - Hạng D
Chất oxy hóa	Không khí
Thành phần	Hạt, hóa chất và muối lọc
Chất làm mát 4	Nước hoặc 50/50 glycol
Tuân thủ an toàn	
Chứng nhận	Phê duyệt kiểu DNV
Vỏ máy	Hàng rào thứ cấp kín cho hydro
Giám sát	
Giao diện điều khiển	Ethernet, CAN
Phát thải	
Khí thải	Không phát thải

1 Đầu ra hệ thống (đầu ra 1x550A đang chờ kiểm tra). 2 Kích thước mục tiêu. 3 Bao gồm: đế trượt có khung, ngăn xếp pin nhiên liệu, hệ thống ống nước và hệ thống dây điện, vỏ H2, hệ thống làm mát, hệ thống không khí, bảng điện và linh kiện khác (cảm biến, khay cáp, v.v.). 4 Loại chất làm mát của khách hàng.



**HyPM™ HD 90**

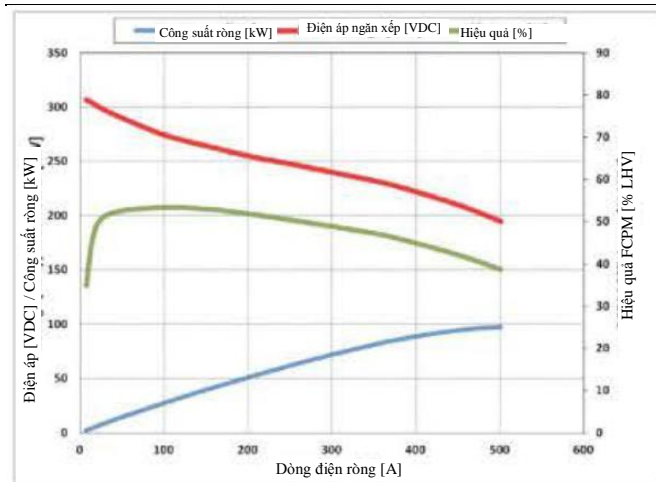
- Ngăn xếp MEA PEM tiên tiến làm mát bằng chất lỏng
- Hệ thống cân bằng nhà máy tích hợp
- Điều khiển và chẩn đoán trên tàu nâng cao
- Đi kèm với hệ thống phân phối không khí cathode áp suất thấp
- Khả năng tắt máy dưới 0 -46°C

**Dữ liệu kỹ thuật**

Công suất điện định mức	Liên tục 99 kW
Dòng điện hoạt động	0 đến 500 A <sub>DC</sub>
Điện áp hoạt động	180 đến 360 V <sub>DC</sub>
Hiệu quả cao nhất	55% <sup>1)</sup>
Phản ứng	< 5 giây từ khi tắt sang trạng thái không hoạt động < 3 giây từ khi không hoạt động đến công suất định mức
Nhiên liệu	Hydro >99,98%
Chất oxy hóa	Không khí xung quanh
Chất làm mát	Nước khử ion (DI H <sub>2</sub> O) hoặc 60% ethylene glycol / DI H <sub>2</sub> O
Nhiệt độ môi trường xung quanh	Hoạt động -10 đến +55 °C Lưu trữ -40 đến +65 °C (<2°C với tính năng tắt đóng băng tự động)

Giao diện truyền thông CAN v2.0A (tiêu chuẩn 11 bit)

1) Hiệu quả dựa trên LHV của H<sub>2</sub>, 25°C, 101,3 kPa, bao gồm cả tải kỹ sinh trên tàu, không bao gồm quạt tản nhiệt và máy bơm nước



Hiệu suất điển hình của HyPM™ HD 90 <sup>1)</sup>

Sản phẩm được giao thực tế có thể khác về hình thức. Thông số kỹ thuật có thể thay đổi mà không cần thông báo trước. In tại

Canada © Hydrogenics Corporation 2012-04-16

HYDROGENICS Corporation

220 Admiral Blvd. Mississauga, Ont, L5T 2N6 Canada

ĐT: +1 (905) 361 3660 Fax +1 (905) 361 3626

**Mô-đun năng lượng pin nhiên liệu hạng nặng**



- Khởi động nhanh và phản hồi linh hoạt
- Chu kỳ khởi động-dừng không giới hạn
- Mạnh mẽ, chắc chắn và đáng tin cậy
- Không cần nước để tạo ẩm
- Không cần nitơ để tắt máy

**Vật lý**

Kích thước Dài x Rộng x Cao <sup>2)</sup>	955 x 1525 x 345 mm
Khối lượng <sup>3)</sup>	327 kg
Thể tích <sup>3)</sup>	502 Lít

2) Không bao gồm hệ thống phân phối không khí và máy bơm nước tùy chọn

3) Bao gồm hệ thống phân phối không khí và máy bơm nước tùy chọn

**Bao gồm**

- Bộ phận phân phối không khí (quạt áp suất thấp)
- Sổ tay hướng dẫn tích hợp và vận hành
- Bảo hành sản phẩm

**Tùy chọn**

- Máy bơm nước làm mát
- Bộ quản lý nhiệt
- Phần mềm chẩn đoán
- Linh kiện điện tử

**Ứng dụng**

- Xe buýt trung chuyển đô thị
- Đội xe thương mại hạng nặng
- Xe tải công nghiệp
- Hàng hải
- Hàng không vũ trụ

www.hydrogenics.com

[fuelcellsales@hydrogenics.com](mailto:fuelcellsales@hydrogenics.com)

HYDROGENICS GmbH

Am Wiesenbusch 2, 45966 Gladbeck, Đức

ĐT: +49 (2043) 944 133 Fax +49 (2043) 944 146





Dữ liệu thông số kỹ thuật:  
Xi lanh nhiên liệu thay thế G-Stor™ H2



## Mang đến cho bạn nhiều đổi mới hơn

Các sản phẩm G-Stor H2 của Luxfer là dòng xi lanh chứa hydro áp suất cao trọng lượng nhẹ hàng đầu.

# G-Stor™ H2

## Cho xe chạy bằng pin nhiên liệu

Các sản phẩm G-Stor H2 của Luxfer là dòng xi lanh chứa hydro áp suất cao trọng lượng nhẹ hàng đầu được sử dụng bởi một số OEM lớn nhất thế giới chuyên thiết kế, phát triển và sản xuất các hệ thống lưu trữ hydro nén tiên tiến nhất cho các ứng dụng pin nhiên liệu.

Ưu điểm của G-Stor H2 là công nghệ xi lanh Loại 3 trọng lượng nhẹ, không thấm nước. Sản phẩm cũng có sẵn với van điện từ hydro áp suất cao độc quyền của Luxfer, dẫn đến giải pháp lưu trữ hydro được chứng nhận, tiết kiệm chi phí, lý tưởng cho xe buýt trung chuyển bằng pin nhiên liệu, xe tải hạng nặng, xe tải, vận chuyển khí đốt dạng rời và xe nâng hàng.

Nhiều hệ thống lưu trữ hydro được trang bị xi lanh và van G-Stor H2, chẳng hạn như xe buýt trung chuyển bằng pin nhiên liệu và xe thương mại.

Xi lanh của chúng tôi cũng được sử dụng trên xe buýt đi lại chạy bằng hydro trong Thế vận hội mùa hè ở London và chúng tôi tiếp tục cung cấp các hệ thống H2 trên khắp thế giới. G-Stor H2 là giải pháp lý tưởng cho các ứng dụng yêu cầu áp suất nạp lên đến 10.153 psi (700 bar) để tăng phạm vi cung cấp nhiên liệu.

Lợi ích của G-Stor H2

- Trọng lượng nhẹ.
- Không thấm nước.
- Khả năng nạp nhanh.
- Áp suất vận hành từ 5.076 psi (350 bar) đến 10.153 psi (700 bar).
- Có sẵn với bộ điều khiển lưu lượng khí có độ chính xác cao trong Van điện từ (ESV) của Luxfer (hình).

Lợi ích của Hydro

- Lưu trữ an toàn hơn đáng kể so với nhiên liệu lỏng – chất rò rỉ sẽ phát tán vào không khí thay vì trên mặt đất.
- Nếu được tạo ra bằng cách điện phân nước sử dụng năng lượng tái tạo như năng lượng mặt trời, thì khí nhà kính sẽ bị loại bỏ.
- Xe chạy bằng pin nhiên liệu có khả năng vận hành gần như im lặng và giảm thiểu việc bảo trì mà không cần các bộ phận động cơ chuyển động.
- Nước là sản phẩm phụ duy nhất của xe chạy bằng pin nhiên liệu.

Sức chứa H2	Áp suất dịch vụ	Thể tích nước	Đường kính	Chiều dài	Trọng lượng bồn chứa	Tổng trọng bồn chứa + nhiên liệu	Kích thước mỗi ren	Khung gắn cố	Số bộ phận
kg	bar	l	mm	mm	kg	kg			
0,7	350	29	281	730	17	17,7	2.000-12UN-2B	Không	L028H35
0,8	350	34	281	830	19	19,8	2.000-12UN-2B	Không	L034H35
0,9	350	39	281	926	21	21,9	2.000-12UN-2B	Không	L039H35
2,3	350	94	340	1458	48	50,3	2.000-12UN-2B	Không	Q095H35
1,6	350	68	399	850	37	38,6	2.000-12UN-2B	Không	V068H35
1,8	350	74	399	900	39	40,8	2.000-12UN-2B	Không	V074H35
3,6	350	150	415	1614	74	77,6	2.000-12UN-2B	Có	W150H35
4,9	350	205	415	2110	95	99,9	2.000-12UN-2B	Có	W205H35
7,8	350	322	415	3165	141	148,8	2.000-12UN-2B	Có	W322H35
2,13	700	53	332	1161	58	60,1	2.000-12UN-2B	Không	M053H70

Tất cả các xi lanh đều có cổng kép, trừ khi có ghi chú khác, với kết nối ren lồi = 2.000-12UN-2B.

Các kích thước khác và chiều dài xi lanh tùy chỉnh và cấu hình kích thước có sẵn theo yêu cầu với đơn hàng tối thiểu. Phải sử dụng thiết bị giảm áp đã được phê duyệt để phòng cháy chữa cháy.

Thông số kỹ thuật của xi lanh là giá trị danh nghĩa và có thể thay đổi mà không cần thông báo trước.

Để biết thêm thông tin, hoặc để liên hệ với chúng tôi, vui lòng truy cập [www.luxferxilanhs.com](http://www.luxferxilanhs.com)

## Nghiên cứu điển hình về tiếp nhiên liệu hydro

### Tiếp nhiên liệu hydro lỏng

Norled



*Tháp tiếp nhiên liệu di động Norled cung cấp hydro lỏng cho phà Hydra RoPax bằng xe moóc.*

Các giải pháp tiếp nhiên liệu được phát triển, TRL 9.

Hệ thống tiếp nhiên liệu Norled:

- Tốc độ bốc hàng 3 tấn/giờ, tốc độ có thể tăng lên 4-5 tấn/giờ cho dự án tiếp theo
- Tháp có thể di chuyển được nhưng nó cũng có thể là một cấu trúc cảng cố định nếu có sẵn không gian trong cảng/bến cảng
- Thời gian tiếp nhiên liệu trên Norled Hydra. Chúng tôi sẽ dành tất cả 1 -1,5 giờ trong suốt quá trình vận hành
- Kích thước (diện tích dấu vết, chiều cao) Diện tích là 4\*5m và chiều cao là khoảng 12m
- Trọng lượng khoảng 15 tấn
- Không sử dụng máy bơm hoặc nguồn điện. Chúng tôi sử dụng áp suất quá mức trong xe moóc để đẩy LH2 lên tàu.

Trong quá trình tiếp nhiên liệu, chúng tôi đã phát triển một hệ thống phát thải rất ít và chỉ áp suất được giải phóng từ tháp tiếp nhiên liệu và xe tải (khoảng 10-15 kg) từ tải trọng LH2 3,2-3,5 tấn. Đối với phiên bản tiếp theo của hệ thống tiếp nhiên liệu, chúng tôi sẽ hướng tới việc thu gom loại khí "mắc kẹt" này và sử dụng tại địa phương. Trong quá trình vận chuyển, Linde Gas không bị sôi hay thất thoát.

Nhiên liệu hydro được cung cấp bằng xe tải ống từ một nhà máy điện phân xanh 24 MW ở Đức bởi Linde trong khi nguồn cung của Na Uy bắt kịp nhu cầu.

Unitrove



*Hệ thống tiếp nhiên liệu di động Unitrove được giới thiệu tại COP26 ở Glasgow, Vương quốc Anh.*

TRL 5

Quá trình phân phối LH2 từ máy bơm đông lạnh của chúng tôi sẽ ở mức 500 lít/phút (30.000 lít/giờ hoặc 2100 kg/giờ).

Thiết bị này là một máy bơm 4 cấp được điều khiển bởi động cơ 6,5KW.

Với áp suất ngược là 4 bar, áp suất phân phối sẽ nằm trong khoảng 6,5 bar.

Tốc độ dòng chảy tối thiểu của máy bơm là khoảng 250 lít/phút (15.000 lít/giờ 1050 kg/giờ). Áp suất phân phối sẽ vào khoảng 7,3 bar.

Thiết bị tại COP26 sẽ nặng trong khoảng 1-1,5 tấn. Thiết bị này sẽ chỉ tiếp nhiên liệu cho con tàu. Dấu vết cao khoảng 1m x 1,8m x 2,5m.

Về cơ bản, thiết bị này sẽ bao gồm một máy đo coriolis Emerson LH2, khớp nối ngắt bao gồm hệ thống báo trước, van, máy dò khí và báo động, v.v.

Để phát triển ZEMFS, nếu chúng tôi tích hợp 3 mô-đun (Bơm chìm + Bơm pittông HP + lưu ý lưu trữ: đang được phát triển) tất cả được chứa trong một container ISO 40 foot, mô-đun này sẽ nặng khoảng 15-20 tấn. Đối với việc sạc điện, vẫn đang trong quá trình phát triển, quá trình này có thể được thực hiện trên một mô-đun riêng biệt để đảm bảo khoảng cách an toàn.

## **Tiếp nhiên liệu hydro dạng khí**

CMB.Tech



*Cơ sở tiếp nhiên liệu hydro dạng khí đa phương thức cố định của CMB.Tech.*

Trạm tiếp nhiên liệu đa phương thức CMB.Tech ở Antwerp, Bỉ, nơi phân phối ở hai áp suất tiếp nhiên liệu hydro cho tàu ở mức 200 và 350 bar và một trạm tiếp tiếp nhiên liệu cho xe moóc ở mức 500 bar.

## 1002136 (Gói 12 bình 500 bar) ELEKTRA



© by Argo-Anleg GmbH

Đặc điểm kỹ thuật chính

Áp suất danh định PN

20 - 500 bar

H<sub>2</sub> Có thể sử dụng (10,5 Kg \* 12)

126 Kg (@ 15°C)

Trọng lượng của gói

~2950 Kg (không có H<sub>2</sub>)

Cảm biến đo nhiệt độ

-40°C đến +121°C, 4-20mA, 9-36V DC

Cảm biến đo áp suất

0-700 bar, 4-20mA, 14-30V DC

Kết nối nhanh kỹ thuật

Kết nối điện

Được trang bị các phụ kiện góc container theo tiêu chuẩn ISO

Vận chuyển bằng xe nâng/cầu

Argo-Anleg GmbH | Am Schornacker 59 | D-46485 Wesel | +49(0)281-206 526-0

[www.anleg.de](http://www.anleg.de)



## Thông số kỹ thuật

### Mô tả gói

Áp suất danh định PN	500 bar
H2 Có thể sử dụng (10,5 Kg * 12)	126 Kg
Trọng lượng của gói	~2950 Kg (không có H2)

### Thiết bị trong gói

12*MOTV mỗi bình với TPRD	0-500 bar
1 * Cảm biến đo nhiệt độ	-40°C đến +121°C, 4-20mA, 9-36Vdc
1 * Cảm biến đo áp suất + Đồng hồ đo	0-700 bar, 4-20mA, 14-30Vdc
1 * Van thủ công cho đường cấp	0-1350 bar
1 * Van thủ công cho đường nạp lại	0-1350 bar
1 * Van điện từ cho đường cấp	0-1350 bar
1 * Van một chiều cho đường cấp	0-1350 bar
1 * Van một chiều cho đường nạp lại	0-1350 bar
12 * Bình	Dung tích 350L, PN-500 bar

### Kết nối cho gói

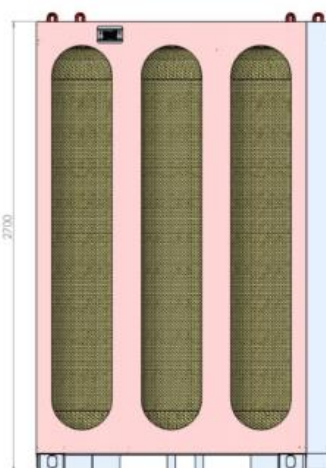
Kết nối ổ cắm	Đầu nối nhanh 1/2"
Kết nối nạp lại	Đầu nối nhanh 1/2"
Kết nối thông gió	Đầu nối nhanh 1"
Kết nối điện	Harting HAN 6M 20 chốt



### Giấy chứng nhận

TPED & ADR đang chờ xử lý

### Kích thước tổng thể



© by Argo-Anleg GmbH



**Hội thảo về An toàn Hydro – Hydro lỏng (LH2)**

**Ngày 6 tháng 3 năm 2019, Bergen,**

# **Dự án chuỗi cung ứng LH2 quy mô lớn & Trình diễn tuabin khí H2**

**Kawasaki Heavy Industries, Ltd.**



**Powering your potential**

## 4. Các công nghệ hydro

### Bảo quản đông lạnh

Bồn chứa hydro hóa lỏng



Sản xuất hydro > Vận chuyển/Bảo quản > Sử dụng hydro

Thông số kỹ thuật bồn chứa hydro hóa lỏng

Mô hình	Bồn hai thân hình cầu
Dung tích chứa	540 m <sup>3</sup>
Áp suất thiết kế	0.686 MPa + Chân không
Nhiệt độ thiết kế	-253°C
Phương pháp cách nhiệt	Cách nhiệt peclit chân không



(C) 2018 Kawasaki Heavy Industries, Ltd. Đã đăng ký bản quyền

### 4. Các công nghệ hydro

#### Vận chuyển hydro hóa lỏng trên đất liền

##### Container vận chuyển hydro hóa lỏng



Sản xuất hydro >Vận chuyển/Bảo quản >Sử dụng hydro

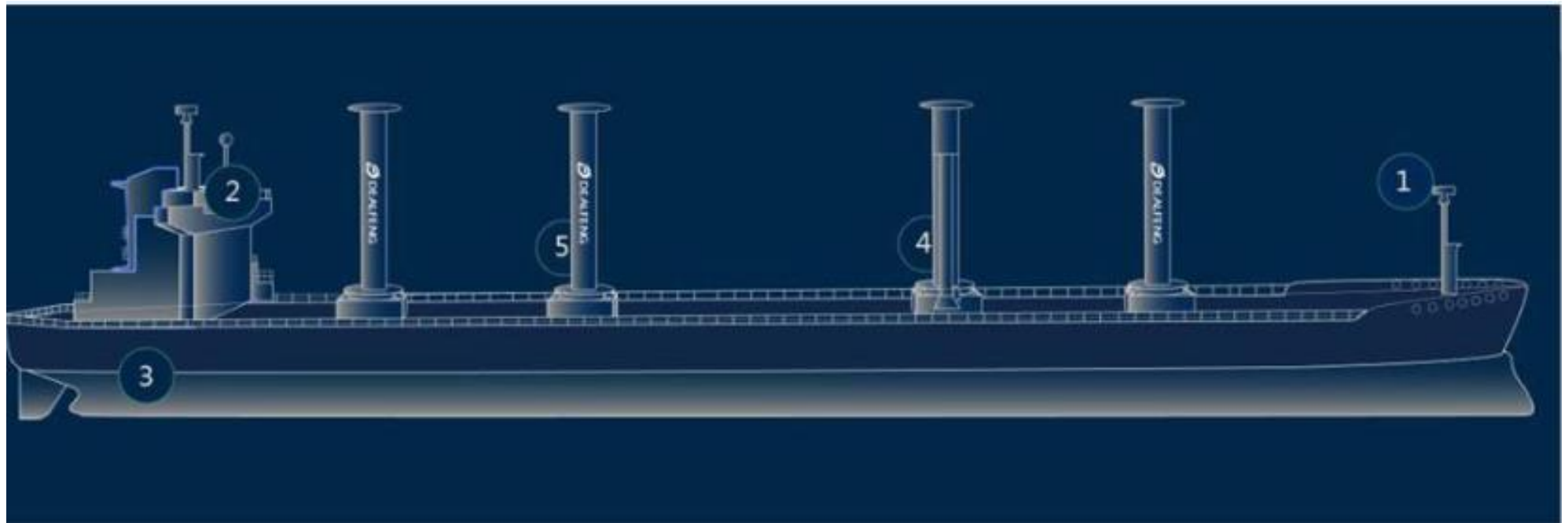
Thông số kỹ thuật container vận chuyển hydro lỏng	
Mô hình	Container ISO 40 ft
Thể tích bên trong	45,6 m <sup>3</sup>
Trọng lượng không tải	22,3 tấn
Công suất tải hydro	2,8 tấn
Phương pháp cách nhiệt	Cách nhiệt cán màng chân không
Phụ kiện	Thiết bị bay hơi áp suất

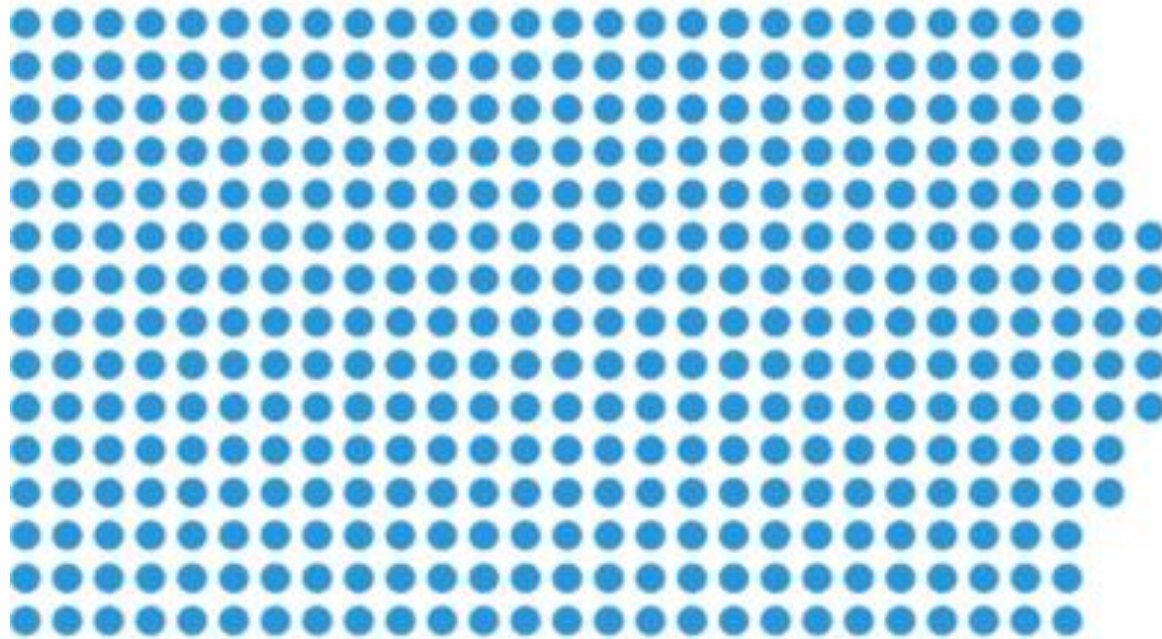


(C) 2018 Kawasaki Heavy Industries, Ltd. Đã đăng ký bản quyền

## TIẾN ĐỘ DỰ ÁN

Thời gian biểu giao cánh buồm rotor Dealfeng				
Ngày - Loại	24mx4m + Nền móng cố định	24mx4m + Nền móng gấp	30mx5m + Nền móng cố định	30mx5m + Nền móng gấp
2022.07	V	V		
2023.05	V	V	V	V
Giao hàng sau khi đặt hàng	4 tháng	4 tháng	4 tháng	4 tháng
Mục tiêu sản xuất	20 chiếc/ năm (12/2023)			





SILVERSTREAM  
.....  
TECHNOLOGIES

Hệ thống Silverstream® - Bôi trơn không khí

Công nghệ hiệu quả tác động cao, thông minh, có thể kiểm chứng

[www.silverstream-tech.com](http://www.silverstream-tech.com)

Bản quyền © 2023 Bảo lưu mọi quyền. Silverstream Technologies (UK) Ltd. Riêng tư & Bảo mật

## Danh sách tham khảo hệ thống Silverstream®

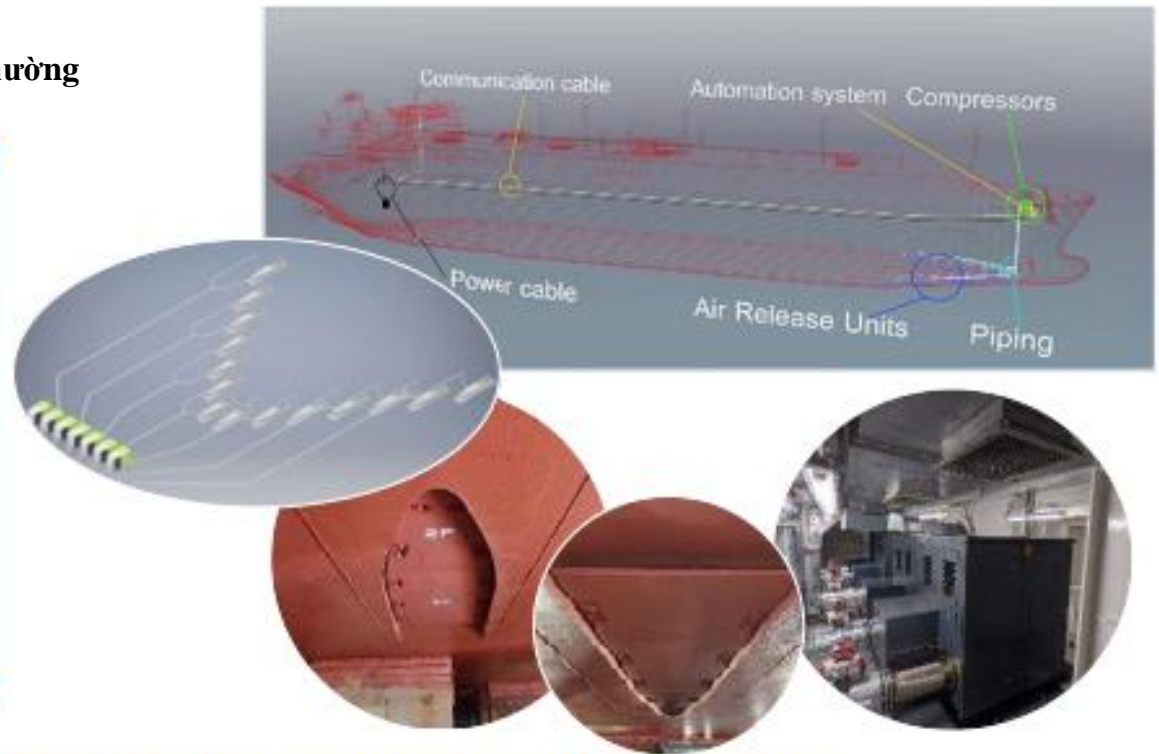
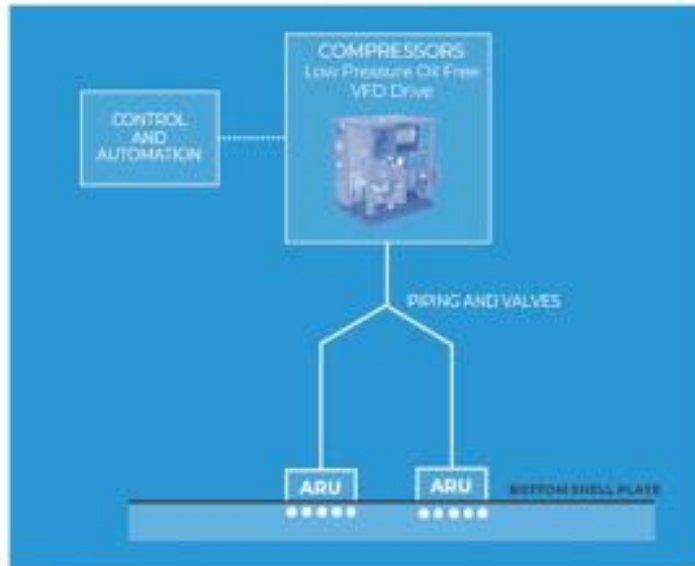


SILVERSTREAM  
TECHNOLOGIES



## Lắp đặt đơn giản - Thích hợp cho tàu trang bị thêm & đóng mới

### Lắp đặt trong quá trình đưa tàu vào ụ khô bình thường



SILVERSTREAM  
TECHNOLOGIES

# Hiệu suất đã được xác minh





# hjulvane

WE MASTER HYDRODYNAMICS



**Hull Vane® đã được cấp bằng sáng chế của chúng tôi là một giải pháp tiết kiệm năng lượng đã được chứng minh dành cho các tàu có trọng lượng rẽ nước từ tốc độ thấp đến trung bình. Kết hợp Tính toán Động lực học Chất lưu (CFD) và kiến thức chuyên sâu về thủy động lực học, chúng tôi có thể tùy chỉnh và tối ưu hóa thiết kế của từng Hull Vane® để đạt được mức hiệu suất cao nhất. Cánh gió thân tàu có sẵn trong ba biến thể, dòng T và U và Đặc biệt.**

**KÍCH THƯỚC CỦA HULL VANE® PHÙ HỢP NHẤT VỚI BẠN TÙY THUỘC VÀO TẢI TRỌNG CỦA TÀU. XEM BÊN DƯỚI:**

LOA (mét)

DÒNG T	DÒNG U	TỪ	LÊN TỚI
T-400	U-400	10	22
T-750	U-750	22	36
T-1000	U-1000	36	49
T-1250	U-1250	49	62
T-1500	U-1500	62	75
T-1750	U-1750	75	87
T-2000	U-2000	87	100
T-2250	U-2250	100	112
T-2500	U-2500	112	>

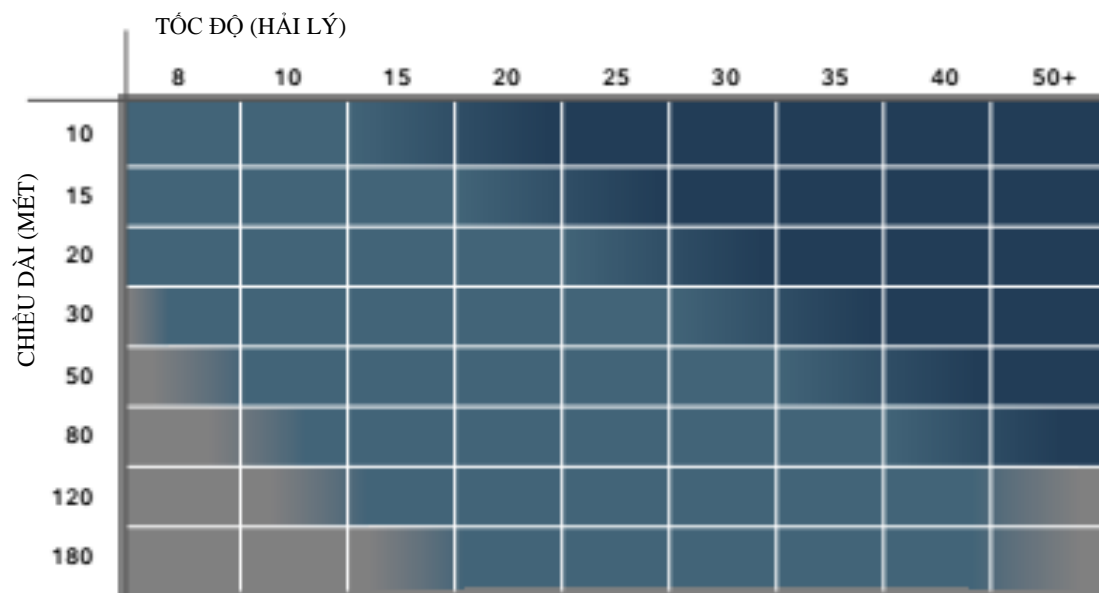
## Hiệu quả

Hull Vane® đặc biệt hiệu quả khi được trang bị cho các tàu có trọng lượng rẽ nước, trọng lượng rẽ nước bán phần và trọng lượng rẽ nước nhanh.

Các ứng cử viên phù hợp cho Hull Vane® bao gồm tàu bảo vệ bờ biển/hải quân, tàu chở khách, tàu ro-ro, tàu du lịch thám hiểm, tàu tiếp tế nhanh và du thuyền có động cơ.

Đối với những loại tàu này, mức tiết kiệm năng lượng điển hình là từ 5% đến 20%, và trong một số trường hợp có thể tiết kiệm được 25%.

### PHẠM VI ÁP DỤNG



HULL VANE\*

FOIL ASSIST



# Kết quả đã được chứng minh

## DU THUYỀN



**20%**  
TỐC ĐỘ  
HÀNH TRÌNH  
RPM THẤP  
HƠN

17.5m Sturiër 565 OC - **Hemera**



**7dB(A)**  
ÍT TIẾNG ỒN  
HƠN Ở BOONG  
SAU

18.5m Yerseke Offshore 62 - **Colinda**



**20%**  
ÍT TIÊU THỤ  
NHIÊN LIỆU  
HƠN

20m Vripack Trawler - **Amoc**



**18%**  
NHIỀU PHẠM  
VI HƠN

36m Dynamiq GTT 115 - **Jaaber**



**25%**  
ĐỘNG CƠ NHỎ  
HƠN

42m Heesen - **Ares**



**14%**  
NHIỀU PHẠM  
VI HƠN

34m Van der Valk Explorer - **Lady Lene**







XÁC ĐỊNH ĐÂY LÀ GIẢI PHÁP PHÙ HỢP CHO TÀU CỦA BẠN BẰNG CÁCH SỬ DỤNG BỘ CẤU HÌNH CỦA CHÚNG TÔI

## THƯƠNG MẠI



**15%**  
LESS FUEL  
CONSUMPTION

55m FSIV – Karina



**15%**  
ÍT PHÁT THẢI  
CO2 HƠN

Phà 30m – Valais



**14%**  
ÍT LẮC ĐỌC  
HƠN

Tàu Cảnh vệ 57m - Linde-G

## HẢI QUÂN & TUẦN TRA



**>10%**  
ÍT TIÊU THỤ  
NHIÊN LIỆU  
HƠN

OPV 108m - HNLMS Groningen



**57,000 l/year**  
57.000 l/năm  
ÍT TIÊU THỤ  
NHIÊN LIỆU  
HƠN

Tàu tuần tra 25m - RPA8



**20%**  
ÍT PHÁT THẢI  
CO2 HƠN

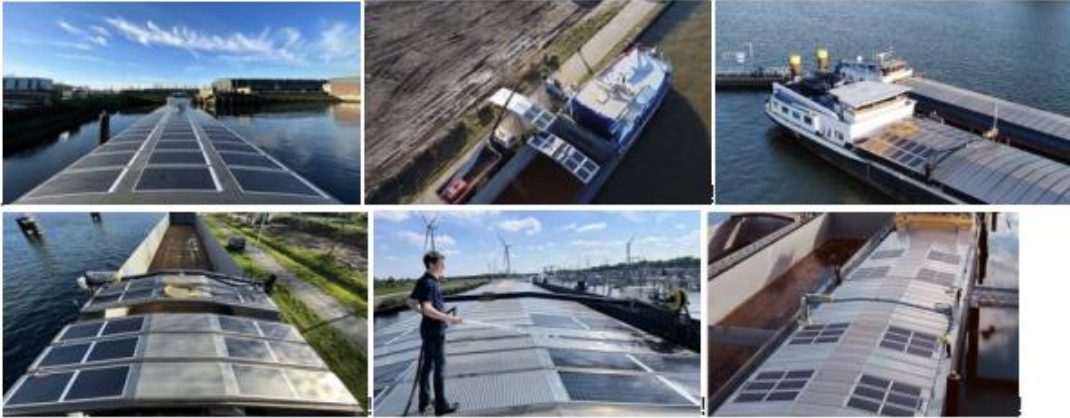
OPV 52m – Themis



## Cửa sập năng lượng mặt trời cho tàu thủy nội địa

### Các dự án hiện có:

MS Addio, MS Kenyro, MS Mededinger, MS Concordia, MS Sira M, MS El Teide, MS Tampico, MS Oleander.



### Các dự án sắp tới:

HGK, MS Fundament, MS Victus, MS Viator, MS Variant, MS Amarige, MS Dependant, MS Wilhelmina Arina. I



Kết quả hiện tại - công nghệ được triển khai trực tiếp/hiện tại:

Tàu lớn (135m)

- Mức sử dụng hàng năm (động cơ đẩy + tải khách sạn)<sup>1</sup>: 1.093.941 kWh

- Sản lượng năng lượng mặt trời hàng năm với bộ cửa sập năng lượng mặt trời hoàn chỉnh<sup>2</sup>: 108.000 kWh (134 kWp lắp đặt)

Phần trăm tiết kiệm năng lượng/nhiên liệu<sup>3</sup>: 12%

Mức tiết kiệm nhiên liệu hàng năm<sup>3</sup>: 32.909 L

Mức tiết kiệm phát thải carbon hàng năm<sup>3</sup>: 107 tấn

Tàu cỡ trung bình (110m)

Phần trăm tiết kiệm năng lượng/nhiên liệu<sup>3</sup>: 12%

Mức tiết kiệm nhiên liệu hàng năm<sup>3</sup>: 24,966 lít

Mức tiết kiệm phát thải carbon hàng năm<sup>3</sup>: 81,5 tấn

Kết quả tương lai trung hạn - khi được thực hiện vào năm 2035

Kết quả tàu trung bình (110m):

Tỷ lệ phần trăm tiết kiệm năng lượng/nhiên liệu<sup>4</sup>: 20%

Mức tiết kiệm nhiên liệu hàng năm<sup>4</sup>: 33.967 lít

Mức tiết kiệm phát thải carbon hàng năm: 111 tấn

Tiềm năng thị trường Châu Âu (3000 tàu có nắp cửa sập phù hợp):

Triển khai công nghệ hiện tại	Triển khai công nghệ trong tương lai (2035)
Tiết kiệm 75 triệu lít nhiên liệu mỗi năm	Tiết kiệm 102 triệu lít nhiên liệu mỗi năm
Giảm 244 kiloton CO2 mỗi năm	Giảm 332 kiloton CO2 mỗi năm

Tài liệu tham khảo và tính toán:

1. dựa trên dữ liệu hiện có của MS Jolina và MS Kenyro
2. Hiệu suất năng lượng dựa trên giá trị trung bình của các phép đo thực tế trên các phương tiện thủy nội địa tính bằng kWh/kWp, bao gồm cả tổn thất do bóng tối, nắp cửa sập bị ngắt kết nối, v.v.
3. Mức tiết kiệm nhiên liệu và CO<sub>2</sub>: 4

Tàu 135m				Tàu 110			
Hiệu suất năng lượng 108.000 kwh				Hiệu suất năng lượng 81.931 kwh			
	Tải khách sạn	Động cơ đẩy			Tải khách sạn	Động cơ đẩy	
mức tiêu thụ	109.394	984.546	kWh	mức tiêu thụ	82.989	746.897	kWh
SFC	270	210	g/kWh	SFC	270	210	g/kWh
mức sử dụng nhiên liệu	29.536	206.755	kg	mức sử dụng nhiên liệu	22.407	156.848	kg
mật độ	0,827	0,827	kg/L	mật độ	0,827	0,827	kg/L
mức sử dụng nhiên liệu	35715	250.006	L	mức sử dụng nhiên liệu	27.094	189.659	L
năng lượng mặt trời	75.600	32.400	kWh	năng lượng mặt trời	57.351	24.579	kWh
mức tiết kiệm nhiên liệu	24.682	8.227	L	mức tiết kiệm nhiên liệu	18.724	6.241	L
tổng mức tiết kiệm nhiên liệu	32.909		L	tổng mức tiết kiệm nhiên liệu	24.966		L
tổng mức sử dụng nhiên liệu	285.721		L	tổng mức sử dụng nhiên liệu	216.754		L
tỷ lệ phần trăm tiết kiệm	12%			tỷ lệ phần trăm tiết kiệm	12%		
nhiên liệu phát thải CO <sub>2</sub>	3,262		kg/L	nhiên liệu phát thải CO <sub>2</sub>	3,262		kg/L
mức giảm CO <sub>2</sub>	107350		kg	mức giảm CO <sub>2</sub>	81438		kg

Lưu ý: Năng lượng mặt trời trước tiên được đưa vào lưới điện tải khách sạn. Các năng lượng dư giúp hỗ trợ động cơ đẩy. Điều này dẫn đến 70% sản lượng năng lượng mặt trời hàng năm cung cấp cho tải khách sạn và 30% cung cấp cho động cơ đẩy.

4. Tình hình năm 2035 so với hiện nay:

- Hiệu quả các tấm pin mặt trời tăng từ 21% lên 30% (pin tiếp đôi perovskite)

<https://www.dnv.com/to2030/technology/solar-pv-powering-through-to-2030.html>

- Hiệu quả sử dụng nhiên liệu của tàu tăng 20% (15-25%) nhờ thiết kế tàu cải tiến

[https://www.cesni.eu/wp-content/uploads/2021/03/cesnipt\\_energyindex\\_en.pdf](https://www.cesni.eu/wp-content/uploads/2021/03/cesnipt_energyindex_en.pdf)

Tàu 110 trong tương lai			
Hiệu suất năng lượng 117.044 kwh			
	Tải khách sạn	Động cơ đẩy	
mức tiêu thụ	66.391	597.518	kWh
SFC	270	210	g/kWh
mức sử dụng nhiên liệu	17.926	125479	kg
mật độ	0,827	0,827	kg/L
mức sử dụng nhiên liệu	21.675	151.728	L
năng lượng mặt trời	58.522	58.522	kWh
mức tiết kiệm nhiên liệu	19.106	14.860	L
tổng mức tiết kiệm nhiên liệu	33.967		L
tổng mức sử dụng nhiên liệu	173.403		L
tỷ lệ phần trăm tiết kiệm	20%		
nhiên liệu phát thải CO <sub>2</sub>	3,262		kg/L
mức giảm CO <sub>2</sub>	110800		kg