

## GIỚI THIỆU

Việc chuyển đổi sang hệ thống năng lượng cacbon thấp hơn đã trở thành một yêu cầu cấp thiết mang tính toàn cầu khi cacbon dioxit (CO<sub>2</sub>) và các phát thải khí nhà kính khác đã được thừa nhận là những tác nhân gây biến đổi khí hậu. Do đó, việc loại bỏ cacbon trong lĩnh vực năng lượng đang trở thành vấn đề ưu tiên trong chính sách năng lượng quốc tế và đổi mới công nghệ cacbon thấp chính là để đạt được các mục tiêu đó.

Trong lĩnh vực năng lượng, các công nghệ tái tạo đang phải đối mặt với cả các cơ hội lẫn thách thức. Năng lượng đại dương đang thu hút được sự quan tâm mạnh mẽ của cả hai giới chính trị và công nghiệp. Dựa trên các kết quả đáng tin cậy về công nghệ cacbon thấp, các nhà hoạch định chính sách và các nhà đầu tư đã tích cực ủng hộ cho đổi mới, nhưng việc cố gắng thúc đẩy sự thay đổi nhanh chóng cũng có thể dẫn đến những kỳ vọng không thực tế trong ngắn hạn. Đồng thời, yêu cầu triển khai và phát triển nhanh cũng là một thách thức không nhỏ về tài chính và kỹ thuật. Các động cơ và những yếu tố không chắc chắn tồn tại trong lĩnh vực năng lượng đại dương cần được hiểu rõ và cần nhận thức được tác động tương đối của chúng đến việc điều hành chiến lược phát triển, giúp đẩy nhanh quá trình triển khai năng lượng đại dương.

Nguồn năng lượng từ đại dương trên thế giới rất dồi dào, tuy nhiên, vẫn còn tồn tại những rào cản và trở ngại quan trọng đối với việc triển khai quy mô lớn các công nghệ khai thác nguồn năng lượng tiềm năng này. Hiện nay, chi phí năng lượng đại dương cao hơn nhiều so với năng lượng gió ngoài khơi. Để trở thành một phần chính thức và được công nhận trong hỗn hợp năng lượng trên thế giới, sản xuất năng lượng đại dương cần phải có khả năng cạnh tranh được với các dạng năng lượng tái tạo thay thế. Tiềm năng kỹ thuật chưa được nắm rõ là một rào cản quan trọng đối với triển khai toàn cầu và khả năng giảm chi phí đạt được từ sự đổi mới sáng tạo vẫn còn chưa chắc chắn.

Sự phát triển gia tăng năng lượng đại dương có thể mang đến nhiều lợi ích lâu dài, bao gồm: tạo khả năng cho các lộ trình khử cacbon trong cung ứng năng lượng, đa dạng hóa danh mục đầu tư sản xuất năng lượng, an ninh cung ứng năng lượng lớn hơn và mang lại các cơ hội kinh tế tiềm năng để phát triển các thị trường trong nước và xuất khẩu cho các nhà phát triển thiết bị và các hãng nằm trong chuỗi cung ứng.

Để giúp độc giả có thêm thông tin về một lĩnh vực năng lượng đang nổi lên và có rất nhiều tiềm năng cũng như thách thức, Cục Thông tin Khoa học và Công nghệ Quốc gia biên soạn Tổng luận “**CÔNG NGHỆ NĂNG LƯỢNG ĐẠI DƯƠNG: HIỆN TRẠNG VÀ XU THẾ PHÁT TRIỂN**” nhằm giới thiệu một số nguồn năng lượng từ đại dương cũng như phản ánh hiện trạng, xu thế phát triển của các công nghệ năng lượng đại dương trên toàn thế giới.

Xin trân trọng giới thiệu cùng độc giả.

**CỤC THÔNG TIN KH&CN QUỐC GIA**

## I. GIỚI THIỆU CHUNG

### 1.1. Năng lượng đại dương và các nguồn năng lượng đại dương

Nếu đứng trên bờ biển vào một ngày nắng, bạn sẽ cảm nhận được các nguồn năng lượng xung quanh bạn. Đó là nguồn năng lượng bức xạ từ Mặt trời làm cho bạn cảm thấy ấm áp, là nguồn năng lượng trong gió thổi bay tóc bạn, là các con sóng không ngừng vỗ bờ dưới chân bạn. Nếu bạn đứng đủ lâu, bạn sẽ thấy mực nước biển dâng lên và hạ xuống cùng với thủy triều. Ở sâu bên dưới, các dòng nước di chuyển xuyên qua các đại dương. Năng lượng có mặt ở khắp nơi xung quanh chúng ta đang chờ để được khai thác.

Trong lòng đại dương cũng có những nguồn năng lượng dồi dào. Nhiều khu vực có những trữ lượng lớn dầu mỏ và khí tự nhiên nằm sâu dưới đáy biển. Ngoài ra còn có các mỏ chứa đầy khí mêtan, một loại khí giàu năng lượng. Đại dương bao phủ gần ba phần tư bề mặt Trái đất chứa đựng một nguồn năng lượng vô cùng to lớn, có thể cung cấp đủ năng lượng mà thế giới cần trong những năm tới và có một số phương pháp khác nhau để khai thác nguồn năng lượng này.

Thuật ngữ năng lượng đại dương ở đây chỉ đề cập đến các nguồn năng lượng có nguồn gốc từ các công nghệ sử dụng nước biển làm nguồn năng lượng hay để khai thác thế hóa (chemical potential) hoặc thế nhiệt (heat potential) của nước. Năng lượng tái tạo trong đại dương bao gồm 5 nguồn khác nhau, mỗi nguồn có xuất xứ khác nhau và cần các công nghệ chuyển hóa khác nhau. Các nguồn đó (Hình 1.1) bao gồm:



**Hình 1.1. Các nguồn năng lượng đại dương**

#### 1.1.1. Năng lượng sóng

Năng lượng sóng (khác với sóng ngầm hay sóng thần) là nguồn năng lượng được truyền từ gió vào đại dương. Khi gió thổi trên đại dương, mỗi tương tác giữa biển-không khí truyền một phần năng lượng gió vào nước, tạo thành các con sóng và chính các con sóng tích trữ nguồn năng lượng này như một nguồn thế năng (nằm ở chênh lệch mực nước so với mực nước biển trung bình) và động năng (nằm ở chuyển động của các hạt nước).

Việc khai thác năng lượng từ sóng hiệu quả hơn việc khai thác năng lượng trực tiếp từ gió, do thực tế sóng là dạng năng lượng tập trung hơn gió. Nguồn năng lượng chứa bên trong sóng đại dương trên thế giới rất lớn; tại một số khu vực có thể đạt hiệu suất 70 MW/km ở đầu sóng. Về lý thuyết, có thể xây dựng các trạm phát điện lớn để chế ngự toàn bộ nguồn năng lượng này và đáp ứng hầu hết nhu cầu năng lượng của chúng ta.

Tuy nhiên, có nhiều yếu tố tác động đến loại hình phát triển đang trở thành hiện thực này. Sóng biển không nhất quán như thủy triều và vì thế nảy sinh một vấn đề đặc biệt liên quan đến việc tương xứng giữa cung và cầu. Đây là một trong những lý do chính giải thích tại sao năng lượng sóng cho đến nay vẫn chỉ giới hạn ở các chương trình quy mô nhỏ, chưa có một nhà máy thương mại quy mô lớn nào hoạt động.

Nói chung, các con sóng lớn chứa nhiều năng lượng hơn. Cụ thể là năng lượng sóng được quyết định bởi chiều cao của sóng, vận tốc sóng, chiều dài sóng và mật độ nước. Kích thước sóng được quyết định bởi tốc độ gió, chiều dài sóng, độ sâu và địa hình đáy biển (có thể tập trung hay phân tán năng lượng sóng). Chuyển động sóng đạt mức cao nhất ở trên bề mặt và giảm dần theo cấp số nhân với chiều sâu; tuy nhiên, năng lượng sóng ở dạng sóng áp lực khi ở nước sâu hơn.

Thế năng của một tập hợp sóng tỷ lệ thuận với bình phương chiều cao sóng nhân với chu kỳ sóng (khoảng thời gian giữa các đỉnh sóng). Chu kỳ sóng dài hơn tương ứng với chiều dài sóng dài hơn và chuyển động nhanh hơn. Thế năng tương đương động năng (có thể dùng hết). Năng lượng sóng được biểu thị bằng đơn vị kilowatt/m.

Công thức dưới đây biểu thị cách tính năng lượng sóng. Ngoại trừ sóng tạo ra từ những cơn bão lớn, khi các con sóng lớn nhất cao khoảng 15 m và có chu kỳ khoảng 15 giây. Theo công thức này, những con sóng như vậy chứa khoảng 1.700 kilowatt thế năng/m ở đầu sóng. Một vị trí có năng lượng sóng tốt sẽ có thông lượng trung bình thấp hơn, khoảng 50 kW/m.

Công thức tính năng lượng sóng:  $P = kH^2T \sim 0,5 H^2T$ ,

Trong đó:  $P$  = Năng lượng (kW/m);  $k$  = hằng số;  $H$  = chiều cao sóng (từ đỉnh đến vùng thấp nhất giữa hai ngọn sóng) tính bằng m; và  $T$  = chu kỳ sóng (đỉnh đến đỉnh) tính bằng giây.

Trên lý thuyết, tổng tiềm năng năng lượng sóng ước tính đạt 32.000 TWh/năm (TWh = 10<sup>12</sup> Wh) (115 Exajoule (EJ)/năm) (EJ = 10<sup>18</sup>J), cao gần gấp đôi nguồn cung cấp điện năng toàn cầu năm 2008 (16.800 TWh/năm hay 54 EJ/năm). Số liệu này không bị giới hạn bởi khu vực địa lý, kỹ thuật hay những cân nhắc kinh tế. Số liệu phân bố năng lượng sóng theo khu vực tại bờ biển các nước hay khu vực được lấy ở những nơi có công suất năng lượng sóng lý thuyết  $P \geq 5$  kW/m ở độ cao  $\leq 66,5^\circ$  (Bảng 1.1). Tiềm năng trên lý thuyết của năng lượng sóng được thể hiện trong Bảng 1.1 (29,500 TWh/năm hay 106 EJ/năm) cho thấy suy giảm 8% so với tổng tiềm năng lý thuyết, không bao gồm các khu vực có tiềm năng không quá 5kW/m nhưng vẫn được xét đến trong ước tính tiềm năng lý thuyết. Tiềm năng kỹ thuật của năng lượng sóng thấp hơn đáng kể con số nêu trên và phụ thuộc vào những phát triển kỹ thuật của các thiết bị năng lượng sóng. Một nghiên cứu (Sims et al.

2007) ước tính tiềm năng kỹ thuật toàn cầu của năng lượng sóng đạt 500 GW, với giả định các thiết bị năng lượng sóng ngoài khơi đạt hiệu suất 40% và chỉ được lắp đặt ở gần bờ với điều kiện sóng >30 kW/m, trong khi một nghiên cứu khác (Krewitt et al. 2009) ước tính tiềm năng năng lượng sóng đạt 20 EJ/năm.

Bảng 1.1: Tiềm năng năng lượng sóng lý thuyết theo khu vực

Khu vực	Năng lượng sóng TWh/yr (EJ/yr)
Tây và Bắc Âu	2.800 (10,1)
Biển Địa Trung Hải và quần đảo Atlantic (Azores, Cape Verde, Canarias)	1.300 (4,7)
Bắc Mỹ và Greenland	4.000 (14,4)
Trung Mỹ	1.500 (5,4)
Nam Mỹ	4.600 (16,6)
Châu Phi	3.500 (12,6)
Châu Á	6.200 (22,3)
Ôxtrâyliá, Niu Di-lân và các đảo Thái Bình Dương	5.600 (20,2)
Tổng	29.500 (106,2)

Nguồn: Mørk et al., 2010

### 1.1.2. Năng lượng thủy triều

Năng lượng thủy triều được coi là một dạng năng lượng tái tạo sạch bởi vì trong quá trình chuyển hóa không gây ra các chất ô nhiễm. Đây là một dạng thủy điện khai thác năng lượng của thủy triều với sự trợ giúp của một máy phát điện có thể chuyển hóa năng lượng thủy triều thành điện năng hay các dạng năng lượng hữu ích khác.

Thủy triều mỗi ngày dẫn vào bờ một khối lượng nước lớn và có thể cung cấp một nguồn năng lượng dồi dào. Mặc dù nguồn cung năng lượng này ổn định và phong phú, nhưng việc chuyển hóa thành điện năng hữu dụng lại là điều không dễ dàng.

Bất lợi chủ yếu của các trạm điện thủy triều là chúng chỉ có thể sản sinh ra điện khi thủy triều dâng lên hay hạ xuống, nói theo cách khác, chỉ diễn ra 10 giờ mỗi ngày. Tuy nhiên, thủy triều hoàn toàn có thể dự đoán được, vì vậy chúng ta có thể lên kế hoạch để sử dụng điện từ các dạng nhà máy điện khác vào các thời điểm khi nhà máy điện thủy triều không hoạt động.

Nước biển có mật độ lớn hơn 832 lần so với không khí và có môi trường không thể nén được. Vì thế, nguồn năng lượng mà điện thủy triều có thể cung cấp lớn hơn nhiều so với nguồn năng lượng mà gió cung cấp. Điều đó có nghĩa là một dòng chảy thủy triều có vận tốc 15 km/h tương đương với cơn gió có vận tốc 390 km/h.

Mức nước triều phụ thuộc vào địa điểm và nó không giống nhau ở mọi nơi. Ví dụ, thủy

triều không tồn tại ở biển Đen, trong khi tại biển Địa Trung Hải, mức triều thay đổi gần 30 cm. Mặt khác, khối lượng nước di chuyển thực sự lớn tại một số nơi thuộc Đại Tây Dương. Ví dụ, tại Achantina, mức triều có thể đạt đến 11m. Nhưng mức triều thay đổi nhiều hơn ở Canada, Pháp và Anh, đây là những nơi mức triều có thể đạt đến gần 14m. Vì vậy, có những nơi việc khai thác loại hình năng lượng này sẽ thành công. Năng lượng thủy triều không phải là một khái niệm mới, nó đã được sử dụng ít nhất là từ thế kỷ 11 tại Anh và Pháp để phục vụ xây xát ngũ cốc.

Năng lượng thủy triều được phân loại thành hai nhóm chính:

- Hệ thống dòng thủy triều lợi dụng động năng sinh ra do sự chuyển động của nước để quay tuabin. Phương pháp này đang ngày càng trở nên phổ biến do có chi phí và tác động sinh thái thấp.

- Nhóm thứ hai là các đập thủy triều, lợi dụng thế năng sinh ra do khác biệt về độ cao của thủy triều. Loại này không phổ biến lắm do chi phí cao và do các vấn đề môi trường, vì vậy các nhà đầu tư không sẵn sàng đầu tư vào loại hình này.

Mặc dù năng lượng thủy triều là cách khai thác năng lượng từ biển lâu đời nhất, loại hình năng lượng này không phổ biến do một số nguyên nhân như lượng năng lượng chúng ta thu được từ các nguồn hiện nay so với các chi phí môi trường và kinh tế là không có lợi nhuận.

Năng lượng thủy triều được dự đoán sẽ phát triển mạnh hơn trong tương lai và nó có tiềm năng được sử dụng để sản xuất điện. Điều dễ nhận thấy là năng lượng thủy triều có khả năng dự đoán cao hơn so với các nguồn năng lượng khác như năng lượng mặt trời hay thậm chí là năng lượng gió, một dạng năng lượng có lợi thế lớn hơn các dạng năng lượng khác.

### 1.1.3. Năng lượng dòng chảy đại dương

Dòng chảy đại dương là sự chuyển động của nước biển. Chúng vận chuyển dọc theo đại dương một khối lượng lớn nước và năng lượng dưới dạng nhiệt của nước. Năng lượng của các dòng chảy đại dương có tác động đến nhiệt độ trên hành tinh và đến các vùng khí hậu khác nhau trên thế giới.

Các dòng chảy đại dương xuất hiện là do gió và Mặt trời làm nóng nước ở vùng gần xích đạo và do sự khác biệt về độ mặn và mật độ nước. Thay vì di chuyển theo các hướng khác nhau, như thủy triều, các dòng chảy đại dương luôn không đổi và chảy theo cùng một hướng. Các dòng chảy đại dương luôn ở trạng thái chuyển động và chúng bị tác động bởi gió, độ mặn của nước và nhiệt độ, địa hình đáy đại dương và chuyển động quay của Trái đất.

Các dòng chảy đại dương chứa một nguồn năng lượng to lớn có thể khai thác và chuyển hóa thành dạng có thể sử dụng được. Theo ước tính, chỉ cần khai thác 1/1000 nguồn năng lượng hiện tại từ Dòng nước ấm Gulf Stream sẽ đáp ứng được 35% nhu cầu điện năng của cả bang Florida, Hoa Kỳ. Dòng chảy đại dương là một trong số các nguồn năng lượng tái tạo lớn nhất chưa được sử dụng trên Trái đất. Các điều tra sơ bộ cho thấy tiềm năng năng lượng dòng chảy đại dương toàn cầu đạt trên 450.000 MW, tương đương hơn 550 tỷ USD.

Các dòng chảy đại dương thường chảy theo chiều khác nhau phụ thuộc vào vị trí của chúng. Vì thế, tại Bắc bán cầu, các dòng chảy đại dương thường có chiều xoắn theo chiều

kim đồng hồ, nhưng chúng chuyển sang hướng ngược chiều kim đồng hồ tại Nam bán cầu. Nguyên nhân là do hướng gió thổi.

#### 1.1.4. Năng lượng chênh lệch nhiệt độ nước biển

Khoảng 15% tổng số năng lượng mặt trời chiếu tới đại dương được lưu lại dưới dạng nhiệt năng, sự hấp thụ tập trung ở các lớp trên, giảm theo cấp số nhân với độ sâu do độ dẫn nhiệt của nước biển thấp. Nhiệt độ trên mặt biển có thể vượt quá 250C ở các vùng nhiệt đới, trong khi nhiệt độ ở độ sâu 1 km dưới bề mặt trong khoảng từ 5 đến 100C.

Sự chênh lệch nhiệt độ tối thiểu 200C được cho là cần thiết để vận hành một thiết bị chuyển hóa nhiệt năng đại dương (Ocean thermal energy conversion – OTEC). Các vùng ven biển Châu Phi và Ấn Độ, các vùng biển nhiệt đới phía Tây và Đông Nam Châu Mỹ và nhiều đảo vùng Caribê và Thái Bình Dương có nhiệt độ trên mặt biển từ 25 đến 300C, giảm xuống còn từ 4 đến 70C ở độ sâu từ 750 đến 1.000 m. Chênh lệch nhiệt độ hàng năm giữa nước bề mặt và nước ở độ sâu 1.000 m tại khu vực nhiệt đới rộng lớn có tiềm năng còn lớn hơn 200C. Một số nước thuộc vùng Caribê và khu vực Thái Bình Dương có thể phát triển các thiết bị OTEC gần bờ. Biến đổi khí hậu có khả năng sẽ có tác động rõ rệt đến tiềm năng OTEC toàn cầu.

Trong số các nguồn năng lượng đại dương, OTEC là một trong những nguồn năng lượng tái tạo luôn có sẵn để sử dụng, có thể đóng góp vào nguồn cung ứng điện phụ tải cơ bản (base-load power supply) (ở đây có một sự thay đổi nhỏ từ mùa hè sang mùa đông), mặc dù so với năng lượng sóng và dòng thủy triều, mật độ năng lượng của nguồn tài nguyên này rất thấp.

Tiềm năng tài nguyên đối với OTEC được cho là lớn hơn nhiều so với các dạng năng lượng đại dương khác (World Energy Council, 2000). Dạng tài nguyên này còn được phân bố rộng rãi giữa hai vùng nhiệt đới. Một ước tính lạc quan về tiềm năng toàn cầu trên lý thuyết đạt từ 30.000 đến 90.000 TW/năm (108 đến 324 EJ/năm). Theo tính toán của Nihous (2007) có thể đạt được một nguồn điện năng ổn định khoảng 44.000 TWh/năm (159 EJ/năm). Trong khi đó Pelc và Fujita (2002) ước tính có thể sản xuất ra nguồn điện năng hơn 88.000 TWh/năm (318 EJ/năm) từ OTEC mà không ảnh hưởng đến cấu trúc nhiệt của đại dương.

#### 1.1.5. Năng lượng chênh lệch độ mặn

Sự pha trộn giữa nước ngọt và nước biển có thể giải phóng năng lượng dưới dạng nhiệt năng. Việc khai thác thế hóa hai nguồn nước này, qua một màng lọc bán thấm có thể thu được nguồn năng lượng do áp suất (không phải do nhiệt) sau đó có thể chuyển hóa thành các dạng năng lượng hữu dụng.

Do nước ngọt từ các dòng sông đổ vào nước biển mặn được phân bố trên toàn cầu, năng lượng thẩm thấu có thể sinh ra và được khai thác ở tất cả các vùng có nguồn cung đủ nước ngọt. Các vùng cửa sông là những nơi có tiềm năng thích hợp nhất, bởi ở gần nơi có những khối lượng lớn nước ngọt hòa trộn vào nước biển.

Gần đây, tiềm năng kỹ thuật để sản xuất điện năng từ sự chênh lệch độ mặn ước tính đạt 1.650 TWh/năm (6 EJ/năm) và có tiềm năng sản xuất điện phụ tải cơ bản, nếu phát triển

được các công nghệ hiệu quả về chi phí.

## 1.2. Các thách thức khi sử dụng năng lượng đại dương

Hiện tại, để đưa năng lượng đại dương ra thị trường như một sản phẩm thương mại thay thế cho sản xuất điện truyền thống cần tiến hành rất nhiều NC&PT cũng như áp dụng các biện pháp đặc biệt. Các biện pháp như vậy có thể được thực hiện dưới hình thức ưu đãi đặc biệt đối với các dự án trình diễn. Để đạt được mục tiêu này và có thể hạn chế các biện pháp khuyến khích theo thời gian không cần phải có các công cụ mạnh mẽ. Các hệ thống hỗ trợ như vậy cho đến nay đã được sử dụng để tái thiết khả năng cạnh tranh công bằng giữa năng lượng hóa thạch và năng lượng tái tạo.

Năng lượng đại dương hiện có thể được khai thác ở một số khu vực. Một ví dụ là các hệ thống năng lượng độc lập phục vụ cho các cộng đồng sống trên đảo, nơi không có nhiều lựa chọn thay thế. Việc khai thác năng lượng thủy triều đã được triển khai ở một số nơi dưới dạng các trạm điện quy mô lớn. Tuy nhiên, các trạm điện đó hoạt động dựa trên việc xây đập chắn toàn bộ cửa sông và tác động đến môi trường lớn đến mức không thể phát triển rộng các giải pháp như vậy.

Các hệ thống năng lượng đại dương vận hành ở môi trường biển đặc biệt khắc nghiệt. Nước biển mặn làm cho môi trường rất dễ ăn mòn. Đồng thời, lượng năng lượng của sóng cũng như dòng thủy triều và dòng chảy đại dương rất lớn, do đó các ứng suất cơ học sẽ rất lớn.

Một thách thức khác là việc chuyển tải điện vào đất liền. Vấn đề này chủ yếu liên quan đến các thiết bị phát điện khai thác năng lượng sóng ở ngoài khơi cũng như các thiết bị được lắp đặt gần bờ khai thác dòng chảy đại dương và nhiệt năng của biển. Thách thức lớn nhất là động lực học của các dây cáp cao thế kết nối các trạm biển thế với đất liền. Dây cáp cần phải chịu được cả các chuyển động đung đưa cũng như trọng lượng tịnh của nó khi ở độ sâu có thể tới hơn nghìn mét. Do đó, cần phát triển các loại cáp mới.

### 1.2.1. Năng lượng sóng

Tiềm năng năng lượng sóng lớn nhất là ở Đại Tây Dương và Thái Bình Dương, ở giữa vĩ độ 400 và 650. Ở khu vực này, hiệu suất năng lượng có thể đạt khoảng 50-100 kW/mét bề rộng đỉnh sóng. Gần đất liền, mật độ năng lượng giảm do sóng bị các đảo và đất liền ngăn cản. Ngoài ra, năng lượng bị thất thoát do ma sát với đáy biển ở các vùng nước ngầm. Năng lượng của sóng được phân bố đều giữa thế năng (do nước dâng lên đến đỉnh sóng) và động năng (do sự thay đổi tốc độ của nước). Một số dự án thử nghiệm và sản xuất thử đã được vận hành từ nhiều năm nay nhưng mới chỉ dừng lại ở mức độ thử nghiệm.

#### Các lĩnh vực ứng dụng

Sóng biển là nguồn năng lượng sạch và tái tạo, được tạo thành do sự chuyển đổi của năng lượng gió khi gió thổi qua bề mặt biển. Năng lượng gió lại xuất phát từ năng lượng mặt trời, vì nhiệt của Mặt trời tạo ra áp suất cao và thấp. Sự vận chuyển năng lượng được tích tụ thông qua cả hai quá trình chuyển hóa năng lượng này. Ngay dưới bề mặt nước biển, sự vận chuyển năng lượng sóng trung bình thường mạnh gấp 5 lần so với vận chuyển năng lượng gió ở 20m trên mặt nước và mạnh gấp 10-30 lần so với cường độ bức xạ mặt trời.

Giá trị vận chuyển năng lượng sóng trung bình thay đổi với một mức độ nhất định từ năm này sang năm khác. Giá trị này thay đổi mạnh giữa các mùa. Mức năng lượng sóng (và năng lượng gió) vào mùa đông lớn hơn so với mùa hè.

Vì vẫn có thể có sóng (sóng cồn) ngay cả khi gió lặng, năng lượng sóng ổn định hơn năng lượng gió. Thông thường, năng lượng sóng phải được khai thác bên ngoài cơ sở hạ tầng đã được thiết lập. Các thiết bị năng lượng sóng có thể được thiết lập ngoài khơi, gần bờ hoặc trên đất liền.

Các thiết bị điện ở ngoài khơi cho đến nay có tiềm năng năng lượng lớn nhất và ít bị các nhà môi trường phản đối nhất. Tuy nhiên, các thiết bị này đòi hỏi đầu tư lớn về cáp và các thiết bị để kết nối với lưới điện trên đất liền. Việc mở rộng quy mô hệ thống có thể làm giảm các chi phí liên quan đến kết nối với lưới điện đến mức có thể chấp nhận được.

Các thiết bị gần bờ biển có thể phá vỡ cảnh quan và giao thông ven biển có thể làm hạn chế việc sử dụng khu vực này. Hơn nữa, mật độ năng lượng của sóng gần bờ nhỏ hơn so với ở ngoài khơi xa. Tuy nhiên, chi phí đầu tư cho các thiết bị ở gần bờ lại thấp hơn chi phí cho các thiết bị ở ngoài khơi xa và việc tiếp cận để vận hành và bảo dưỡng đơn giản hơn.

Năng lượng sóng cần được chuyển hóa thành năng lượng trong hệ thống dao động tương tác với sóng. Hệ thống dao động này có thể là một cột nước dao động trong một buồng kín hoặc chất lỏng. Năng lượng này cũng cần được chuyển hóa thành năng lượng cơ học hữu ích với sự hỗ trợ của các tuabin hoặc động cơ khí nén hoặc thủy lực. Cuối cùng, năng lượng này được chuyển hóa thành điện năng bằng một máy phát.

Một phương pháp khai thác năng lượng sóng đơn giản và phổ biến là Cột Nước Dao động (Oscillating Water Column-OWC). Công nghệ này thường được sử dụng trong các thiết bị ở trên đất liền. Nhờ sự thay đổi liên tục của mực chất lỏng, sóng tạo ra áp suất không khí thay đổi trong buồng, làm chạy tuabin khí. Khi nước trong buồng dâng lên, sẽ tạo ra quá áp. Khi nước hạ xuống, tạo ra chân không. Những sự biến đổi áp suất này tạo ra các dòng khí vào và ra buồng. Tuabin Wells phù hợp để sử dụng dòng khí này vì tuabin quay theo một hướng bất kể hướng của dòng khí như thế nào.

Một phương án khác ngày càng phổ biến hơn là thiết bị hấp thụ năng lượng sóng dạng thiết bị hấp thụ điểm (point absorber). Thiết bị nổi hoặc chìm dưới bề mặt đại dương và được neo vào đáy đại dương. Một máy bơm được gắn vào dây neo và sự di chuyển của sóng làm chạy máy bơm.

Thiết bị lai có thể bơm nước biển vào bồn cao áp hoặc bồn chứa ở trên cao trên bờ biển. Một tổ hợp thiết bị (tuabin và máy phát) có thể sản xuất điện bằng cách dẫn nước trở lại biển.

### 1.2.2. Năng lượng thủy triều

Chênh lệch thủy triều là do lực hút của Mặt trời và Mặt trăng đối với Trái đất. Trong thời gian chênh lệch thủy triều, mực nước biển sẽ dâng lên hoặc hạ xuống tùy thuộc vào vị trí của Trái đất đối diện với Mặt trăng. Hiện tượng này tạo ra sóng. Vì Trái đất quay, các sóng này di chuyển về phía Tây với độ cao của sóng chưa đến 1m và trong thời gian 12 giờ 25 phút, là thời gian giữa triều cao và triều thấp. Các giai đoạn Mặt trời và Mặt trăng dẫn đến



các chu kỳ 14 ngày có độ chênh lệch thủy triều cực đại và cực tiểu. Các điều kiện địa hình làm cho độ chênh lệch thủy triều lớn hơn hoặc nhỏ hơn độ cao sóng 1m. Ngoài ra, những biến đổi áp suất cao và áp suất thấp cùng với ảnh hưởng của hướng gió cũng có thể dẫn đến những thay đổi đáng kể độ chênh lệch của thủy triều.

Tiềm năng năng lượng thủy triều của thế giới được Cơ quan Năng lượng quốc tế (IEA) ước tính là 200 TWh/năm, trong khi Hãng Hammerfest Strøm của Na Uy cho rằng tiềm năng năng lượng thủy triều của thế giới là 450 TWh/năm. Tuy nhiên, các chuyên gia của Canada tin rằng có thể khai thác đến 3.000 TWh/năm dọc theo các bờ biển trên thế giới.

#### Các lĩnh vực ứng dụng

Mặc dù thực tế là nước thủy triều ít khi được sử dụng như một nguồn năng lượng nhưng cho đến nay một số nhà máy điện lớn đã được xây dựng. Nhà máy điện lớn nhất và quan trọng nhất là nhà máy điện ở cửa sông Ranh, miền Bắc nước Pháp. Nhà máy này được hoàn thành năm 1966 dựa trên một con đập đá dài 330m, với 24 tuabin, mỗi tuabin công suất 10MW, được lắp đặt ngay trong con đập này. Nhà máy điện Rance thực tế là nhà máy điện bơm tích nước (pumped-storage power plant) có thể giữ nước lại khi triều cao và thấp và sản xuất điện với giá tốt nhất khi triều thấp. Tuy nhiên, nhà máy điện này có tác động lớn đến môi trường vì nó ngăn lại một lượng lớn nước, trầm tích và các vật liệu khác. Hậu quả của tác động này là rất ít “nhà máy điện rào chắn” (barrier-power plants) như vậy sẽ được xây dựng trong tương lai.

Cả quy mô vật chất lẫn hiệu suất của tuabin thủy triều còn có các hạn chế khác so với tuabin gió. Các dòng chảy đại dương có những vùng nước xoáy có thể làm hỏng các tuabin lớn vì năng lượng sử dụng trên mỗi cánh tuabin khác nhau. Do lực ủa tới của nước mạnh, các rô-to của tuabin thủy triều phải chịu được tải trọng lớn hơn tuabin gió. Công suất của tuabin thủy triều không chỉ phụ thuộc vào năng lượng của triều cường, mà độ sâu của đầu vào cũng đóng một vai trò quan trọng. Các cánh của rô-to phải được lắp ở độ sâu đủ để không va chạm với các phương tiện giao thông trên mặt nước. Tốc độ rô-to có thể lên tới 20 vòng/phút, tức là khoảng 3 giây một vòng quay. Điều này cho phép tốc độ trên đỉnh của cánh rô-to đạt khoảng 80km/giờ. Đây là mối nguy hiểm không chỉ cho giao thông trên mặt nước, mà sinh vật biển, như cá và các loài động vật thân mềm cũng dễ bị tổn thương. Tuy nhiên, cho đến nay chưa có báo cáo nào về tác động có hại đến sinh vật biển sau nhiều năm vận hành thử nghiệm nhà máy điện thủy triều Kvalsundet của Na Uy. Tuabin thí điểm trong nhà máy Kvalsundet sản xuất điện hầu như liên tục trong nhiều năm và quá trình sản xuất chỉ bị gián đoạn để làm sạch các cánh quạt.

#### 1.2.3. Năng lượng chênh lệch độ mặn

Năng lượng chênh lệch độ mặn dựa trên hiện tượng hóa học là các dung dịch muối thu hút nước ngọt ở môi trường xung quanh chúng. Quá trình này gọi là năng lượng thẩm thấu. Mặc dù hiện tượng này đã được biết đến từ hàng trăm năm nay và tiềm năng ở các cửa sông và biển trên thế giới là lớn, nhưng hầu như không có phát triển công nghệ nào cho nguồn năng lượng này. Tiềm năng năng lượng này tỷ lệ thuận với độ chênh lệch độ mặn của nước biển và nước ngọt. Theo lý thuyết, mỗi mét khối nước ngọt chảy ra biển có thể tạo ra 0,7

kWh điện.

Hiện đã có một số công nghệ khai thác năng lượng từ sự chênh lệch độ mặn. Thấm thấu điều áp chậm (Pressure retarded osmosis-PRO) dựa trên cơ sở thiết lập một bồn chứa nước ngọt và một bồn chứa nước mặn ở cửa sông, nơi có một màng bán thấm ngăn cách hai bồn chứa này. Màng này ngăn nước mặn không hòa lẫn vào nước ngọt, tuy nhiên lại để cho nước ngọt đi vào bồn nước mặn. Chênh lệch độ mặn sẽ làm cho cột nước ở bồn chứa nước mặn cao lên. Cột nước này có thể được khai thác bằng cách xả nước qua tuabin, giống như một nhà máy thủy điện thông thường.

Năm 2006, chưa có màng bán thấm nào có hiệu suất, độ bền và tuổi thọ cao để có thể thử nghiệm thí điểm. Tuy nhiên, nhiều tổ chức đã triển khai các mô hình thử nghiệm và khẳng định lý thuyết này áp dụng được trong thực tiễn.

Thiết bị năng lượng dựa trên nồng độ muối trong nước linh hoạt xét về khả năng định vị và thiết kế hình dạng. Các thiết bị xử lý có kích thước hạn chế, có thể được điều chỉnh phù hợp với môi trường địa phương và được lắp đặt trong đá hoặc dưới nền đất. Chi phí đầu tư có thể được giảm thiểu bằng cách kết hợp các nhà máy xử lý với các trạm điện và các cơ sở hạ tầng khác hiện có.

#### 1.2.4. Năng lượng chênh lệch nhiệt độ của nước biển

Mặt trời làm nước biển nóng lên và năng lượng này tạo ra sự chênh lệch nhiệt độ giữa các vùng nước ở độ sâu khác nhau. Ở các vùng nước nhiệt đới và cận nhiệt đới, nhiệt độ gần bề mặt nước có thể cao hơn 20-25°C so với nhiệt độ của nước ở độ sâu 1.000m. Sự chênh lệch nhiệt độ này có thể được sử dụng để sản xuất điện. Để đạt hiệu quả chấp nhận được, cần có độ chênh lệch nhiệt độ 200C hoặc lớn hơn trong vòng một năm. Các điều kiện này tồn tại ở các khu vực nhiệt đới và cận nhiệt đới.

Khả năng làm nóng nước cao và khối lượng nước khổng lồ làm cho năng lượng nhiệt năng đại dương có tiềm năng rất to lớn về mặt lý thuyết. Tuy nhiên, độ chênh lệch nhiệt độ quá nhỏ làm cho hiệu suất sản xuất điện thấp.

Khai thác năng lượng nhiệt năng đại dương còn một khoảng thời gian dài mới đạt đến bước đột phá để có thể thương mại và có thể sẽ còn lâu mới đến lúc chúng ta có thể thấy các dự án sinh lợi.

#### 1.3. Các tác động đối với môi trường và xã hội

Hơn hai phần ba diện tích bề mặt Trái đất được bao phủ bởi đại dương, điều đó cung cấp một tiềm năng năng lượng to lớn cùng với các sản phẩm quan trọng khác cho các thị trường ven biển.

Cũng giống như các dạng năng lượng tái tạo khác, năng lượng đại dương mang lại một phương án đáng cân nhắc để khắc phục biến đổi khí hậu và an ninh cung ứng năng lượng. Những ích lợi hữu hình bao gồm giảm sự phụ thuộc vào nhiên liệu nhập khẩu, cung cấp nguồn năng lượng liên tục với giá cả chấp nhận được, ổn định giá lâu dài, tránh các rủi ro hydrocarbon và khan hiếm tài nguyên, an toàn môi trường. Một số dạng năng lượng đại dương sẽ mang đến những sản phẩm và dịch vụ thay thế như: nước uống, sưởi ấm, làm mát và nhiên liệu sinh học, có thể đặc biệt thích hợp với các cộng đồng sống xa lưới điện tại các

nước đang phát triển. Điều này có thể dẫn đến sự phát triển các ngành công nghiệp mới, tạo việc làm mới và có tác động lan tỏa ra toàn bộ khu vực hay nền kinh tế quốc dân.

Việc khai thác năng lượng đại dương không trực tiếp phát thải CO<sub>2</sub> trong khi vận hành, tuy nhiên, lượng phát thải khí nhà kính có thể tăng từ các công đoạn khác nhau trong chu trình các hệ năng lượng đại dương, bao gồm khai thác nguyên liệu thô, chế tạo các kết cấu, xây dựng, bảo trì và ngưng hoạt động.

Các thiết bị sản xuất năng lượng đại dương cũng giống các thiết bị năng lượng tái tạo khác đều sản xuất năng lượng sạch, phi cacbon. Tuy nhiên, việc chế tạo, lắp đặt và toàn bộ quá trình sử dụng các thiết bị năng lượng đại dương yêu cầu sử dụng các vật liệu và dịch vụ có hoặc dẫn đến phát thải cacbon. Việc chế tạo các kết cấu thép cho các tuabin thủy triều và vận chuyển đến nơi lắp đặt là những ví dụ rõ rệt của các hoạt động phát xạ cacbon cao.

Các dự án năng lượng đại dương thường kéo dài, nói chung khoảng hơn 25 năm và trên 100 năm đối với đập thủy triều, vì vậy cần cân nhắc những tác động lâu dài từ việc triển khai các dự án này. Trong khi các kinh nghiệm từ các công nghệ ngoài khơi khác (như khai thác dầu mỏ và khí đốt, năng lượng gió ngoài khơi) có thể tiếp thu thì kinh nghiệm trong triển khai và vận hành công nghệ năng lượng đại dương còn rất ít, nghĩa là có rất ít thông tin về các tác động môi trường địa phương hay xã hội của chúng.

Năm 2001, chính phủ Anh đã kết luận rằng “tác động bất lợi đối với môi trường của các thiết bị năng lượng sóng và thủy triều là tối thiểu và ít hơn nhiều so với gần như bất cứ nguồn năng lượng nào khác, nhưng cần có nghiên cứu tiếp để xác lập những tác động”. Cùng thời gian đó, chính phủ một số nước thuộc Châu Âu và Bắc Mỹ cũng tiến hành đánh giá môi trường chiến lược để lên kế hoạch về những tác động môi trường tiềm năng của các dự án năng lượng đại dương, bao gồm cả những tác động từ quy mô triển khai, thiết kế, lắp đặt, vận hành, bảo dưỡng và ngưng hoạt động đối với môi trường tự nhiên và sinh học. Bất cứ một loại hình triển khai năng lượng đại dương quy mô lớn nào cũng đều cần đánh giá tác động rộng đối với môi trường và xã hội để xem xét tất cả các phương án phát triển.

Bên cạnh việc giảm thiểu biến đổi khí hậu, các tác động tích cực có thể từ năng lượng đại dương còn bao gồm việc tránh được những ảnh hưởng bất lợi đến các loài sinh vật biển nhờ giảm thiểu các hoạt động khác của con người trong khu vực xung quanh các thiết bị khai thác năng lượng đại dương và đẩy mạnh cung cấp năng lượng và tăng trưởng kinh tế khu vực, việc làm và du lịch. Một ví dụ điển hình là Scotland được ước tính có khả năng tạo ra 630 đến 2.350 việc làm nhờ năng lượng đại dương vào năm 2020. Một ví dụ khác là các hệ thống năng lượng đại dương đã thu hút khách du lịch, tạo việc làm trong ngành du lịch và dịch vụ.

Các ảnh hưởng bất lợi có thể bao gồm phá vỡ cảnh quan tự nhiên, tiếng ồn trong giai đoạn xây dựng và các tác động hạn chế khác đến hệ sinh thái địa phương. Tác động của các dự án cụ thể sẽ khác nhau tùy thuộc vào chất lượng dự án, môi trường nơi dự án triển khai và các cộng đồng sống gần đó. Các chiến lược công nghệ cụ thể, như thiết bị OTEC di động có thể hạn chế các tác động đến cảnh quan môi trường, là một cách tiếp cận để giảm thiểu các tác động bất lợi có thể.

## Năng lượng sóng

Tác động môi trường của công nghệ năng lượng sóng khó có thể đánh giá do còn thiếu kinh nghiệm triển khai. Các ảnh hưởng tiềm năng thay đổi tùy theo công nghệ và địa điểm, nhưng có thể kể ra như phá vỡ cảnh quan tự nhiên, tiếng ồn và rung, trường điện từ, phá vỡ vùng sinh vật và môi trường sống, biến đổi chất lượng nước và có thể gây ô nhiễm. Các dự án thí điểm và triển khai tiền thương mại có khả năng cung cấp những dữ liệu hữu ích về tác động đối với môi trường và việc giảm thiểu tác động.

Các tác động của thiết bị chuyên hóa năng lượng sóng có thể không đáng kể, do hầu hết các thiết bị đều ngập dưới nước một phần hoặc hoàn toàn, ngoại trừ trường hợp các mảng thiết bị lớn được lắp đặt gần bờ. Cũng với lý do đó, tác động tiềm năng đến các tuyến di trú, thức ăn và nơi làm tổ của chim được cho là không đáng kể.

Việc triển khai các thiết bị sóng có thể có những tác động tương tự đối với các công trình hiện có trên biển, mặc dù phạm vi một số ảnh hưởng có thể nhỏ hơn so với những sử dụng hiện tại. Tiếng ồn và rung động có khả năng gây ảnh hưởng nhiều nhất trong giai đoạn xây dựng và giai đoạn ngừng hoạt động, trong khi các trường điện từ xung quanh thiết bị và dây cáp điện nối từ dàn thiết bị vào bờ có thể là vấn đề đối với cá mập, cá đuối, bởi chúng sử dụng trường điện từ để định hướng và xác định vị trí con mồi. Rò rỉ hóa chất do ăn mòn (sơn và chất chống gỉ) và chảy dầu từ hệ thống nâng thủy lực là những tác động tiềm tàng. Tất cả những ảnh hưởng đó đều cần được tiến hành nghiên cứu để hiểu, loại trừ hay giảm thiểu. Việc khai thác năng lượng và những tác động xuôi dòng có thể gây ra những thay đổi ở lớp trầm tích (như xói rửa đáy biển hay tích tụ trầm tích) cũng như sự suy giảm chiều cao sóng. Các trang trại năng lượng sóng có thể làm giảm các điều kiện sóng cồn tại các bãi biển lân cận và làm thay đổi động lực sóng dọc theo bờ biển. Các khía cạnh này có thể được đánh giá thông qua các nghiên cứu thành phần và thử nghiệm bể chứa.

## Năng lượng thủy triều

Cửa sông là nơi có môi trường độc đáo, phức tạp và dễ thay đổi vì vậy cần có sự chú ý đặc biệt và thận trọng. Các tác động đến môi trường tự nhiên cần phải được giải quyết cho các giai đoạn xây dựng và vận hành, cũng như giai đoạn ngừng hoạt động sau này.

Tác động của giai đoạn xây dựng tùy thuộc vào kỹ thuật xây dựng, với một số tác động lâu dài đến sự đa dạng và phong phú của các loài. Tại nhà máy điện La Rance, mặc dù cửa sông bị đóng trong giai đoạn xây dựng, tính đa dạng sinh học phải mất gần 10 năm sau khi vận hành mới có thể khôi phục lại trạng thái tương đương với các vùng cửa sông lân cận. Các phương pháp xây dựng khác như giồng chìm chờ nổi (floating caissons) ngập dưới mặt biển có thể làm giảm các tác động ngắn và dài hạn. Tác động môi trường trong thời gian xây dựng nhà máy điện thủy triều Sihwa cho thấy rất hạn chế, phần lớn là vì nhà máy được xây dựng trên đập đã có sẵn.

Việc xây đập sẽ ảnh hưởng đến biên độ và thời gian thủy triều bên trong lưu vực và làm biến đổi môi trường sống của các loài cá và chim, độ mặn của nước và sự di chuyển trầm tích tại vùng cửa sông. Có thể giảm nhẹ một số tác động bằng việc áp dụng các thực tiễn vận hành thích hợp: ví dụ như đập La Rance duy trì hai lần thủy triều mỗi ngày trong lưu

vực, điều đó dẫn đến sự khôi phục tính đa dạng sinh học “tự nhiên” trong lưu vực sông. Tuy nhiên, trầm tích tích tụ ở cuối thượng lưu cầu phải được nạo vét thường xuyên. Việc xây dựng và vận hành các đầm triều (tidal lagoons) ngoài khơi có thể ít gây tác động bất lợi đến các hệ sinh thái gần bờ; tuy nhiên cũng ảnh hưởng đến khu vực hình thành đầm triều mới.

Về khía cạnh tác động xã hội, các dự án thủy triều được xây dựng cho đến nay không phải di dân ở các vùng lân cận và điều đó cần được duy trì đối với các dự án trong tương lai. Ngoài ra, giai đoạn xây dựng còn tạo ra các cơ hội việc làm và những lợi ích liên quan cho các cộng đồng địa phương. Sau khi xây dựng xong, các bức thành của đập còn có thể mở ra những tuyến đường vận tải mới và ngắn hơn, điều này cũng có thể cải thiện các điều kiện kinh tế xã hội cho các cộng đồng địa phương.

#### Năng lượng dòng chảy đại dương

Những tác động có thể phát sinh do triển khai thương mại với quy mô thực tế các hệ thống năng lượng dòng chảy đại dương có thể chia thành bốn loại, gồm: môi trường tự nhiên (bản thân đại dương); quần thể sinh vật đáy đại dương; sinh vật biển trong tháp nước; sử dụng không gian biển.

Các tác động tự nhiên được cho ở mức hạn chế, các thiết bị năng lượng dòng chảy đại dương sẽ không đủ độ lớn để làm thay đổi sự tuần hoàn trong đại dương hay thay đổi sự vận chuyển khối lượng nước thực. Tuy nhiên, các hệ thống này cũng có thể làm thay đổi mô hình uốn khúc và các quá trình diễn ra trên bề mặt đại dương. Những tác động này cần được đánh giá đầy đủ trước khi đưa vào vận hành.

Các hệ thống khai thác năng lượng đại dương có khả năng hoạt động ở dưới tầm nước của tàu thuyền đi lại trên bề mặt, vì vậy ảnh hưởng nguy hiểm đến hàng hải thương mại là tối thiểu. Hoạt động tàu ngầm hải quân có thể bị ảnh hưởng, mặc dù có thể tránh được do tính chất cố định của hệ thống. Các cấu trúc ngầm dưới nước có thể ảnh hưởng đến môi trường sống và hoạt động của cá. Các cấu trúc ngầm có thể trở thành các thiết bị hút cá, bao gồm cả vấn đề gây vướng tuyến đường. Những thay đổi liên quan đến môi trường sống gần biển, đặc biệt là đối với các công trình quy mô lớn cũng có thể là vấn đề cần nghiên cứu.

#### Năng lượng chênh lệch nhiệt độ nước biển

Khả năng thay đổi các đặc điểm nước biển trong khu vực do hoạt động bơm của thiết bị OTEC có thể có tác động đến môi trường. Những khối lượng lớn nước lạnh ở sâu bên dưới và nước ấm ở bên trên được bơm vào các bộ trao đổi nhiệt và được hòa trộn làm biến đổi các đặc điểm nhiệt độ và dinh dưỡng của nước trước khi được xả trở lại đại dương. Chính vì lý do này mà các dự án OTEC dạng nổi (shipboard OTEC) thường được kiến nghị để sao cho những khối lượng lớn nước xả ra không gây tác động dài hạn đến khu vực xả. Xả nước ở độ sâu có thể giảm thiểu tác động môi trường, nhưng hiện nay vẫn chưa có bằng chứng thuyết phục.

Dưới điều kiện hoạt động bình thường, các thiết bị OTEC ít gây phát thải vào khí quyển và không gây ảnh hưởng bất lợi đến chất lượng không khí của địa phương. Sự sinh trưởng của sinh vật phù du có thể nảy sinh do nước thải giàu dinh dưỡng được xả ra; điều này chỉ

xảy ra nếu có đủ ánh sáng ở độ sâu có dòng chảy ổn định (thường sâu hơn độ sâu xả nước). Các sinh vật biển, chủ yếu là sinh vật phù du sẽ bị thu hút bởi các chất dinh dưỡng đại dương trong các ống xả của thiết bị OTEC, có thể gây đóng cáu sinh học hay ăn mòn.

Năng lượng chênh lệch độ mặn

Việc hòa trộn nước biển với nước ngọt là một quá trình tự nhiên tại môi trường cửa sông, và các trạm sản xuất điện từ sự chênh lệch độ mặn lặp lại quá trình này bằng cách trộn nước ngọt với nước biển trước khi xả nước lợ trở lại đại dương. Mặc dù nước lợ bình thường là chất thải chủ yếu, nhưng việc xả tập trung có thể gây biến đổi môi trường và có tác động đến động và thực vật của địa phương.

Các nhà máy điện chênh lệch độ mặn có thể được xây dựng một phần hay toàn phần ở dưới lòng đất để tránh phá vỡ môi trường tự nhiên của địa phương.

## II. CÔNG NGHỆ NĂNG LƯỢNG ĐẠI DƯƠNG

Tất cả các công nghệ năng lượng đại dương, ngoại trừ các đập thủy triều, đều ở giai đoạn khái niệm và đang được nghiên cứu, hoặc đang là nguyên mẫu tiền thương mại và ở giai đoạn trình diễn thử nghiệm. Hiện nay, có nhiều phương án lựa chọn công nghệ đối với từng nguồn năng lượng đại dương, ngoại trừ các đập thủy triều, do đó chưa có sự hội tụ công nghệ. Trong bốn thập niên qua, các ngành công nghiệp đại dương khác (chủ yếu là dầu và khí) đã có những tiến bộ đáng kể trong các lĩnh vực vật liệu, xây dựng, ăn mòn, cáp và truyền thông ngầm dưới biển. Ngành công nghiệp năng lượng đại dương hy vọng được hưởng lợi từ các tiến bộ này. Các công nghệ năng lượng đại dương cạnh tranh có thể sẽ xuất hiện trong thập niên này, tuy nhiên là chỉ khi có được tiến bộ công nghệ đáng kể. Các công nghệ năng lượng đại dương thích hợp cho cả sản xuất điện và nước sinh hoạt, trong khi OTEC cũng có thể được sử dụng để cung cấp các dịch vụ năng lượng nhiệt (ví dụ, điều hòa không khí bằng nước biển).

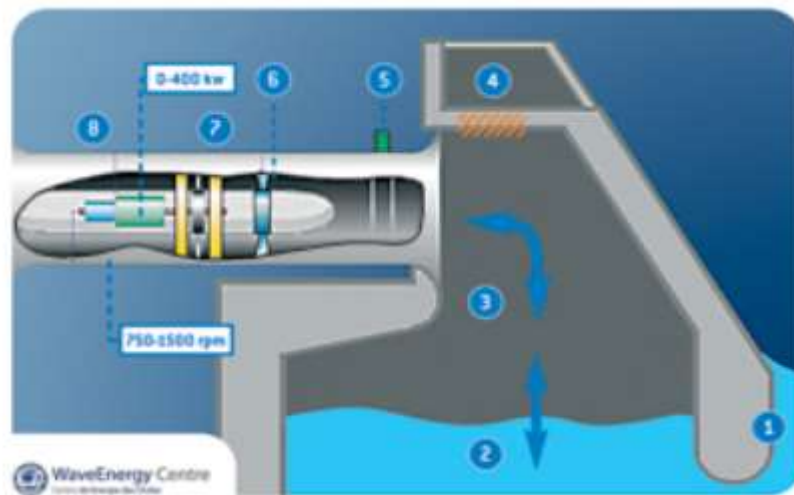
### 2.1. Công nghệ năng lượng sóng

Nhiều công nghệ năng lượng sóng với các nguyên lý hoạt động khác nhau đã được hình thành và trong nhiều trường hợp đã được chứng minh, để chuyển hóa năng lượng của sóng thành dạng năng lượng hữu ích. Các phương án khác nhau gồm có phương pháp tương tác sóng với các chuyển động tương ứng (nhấp nhô, dâng lên, hạ xuống) cũng như độ sâu của nước (sâu, vừa, nông) và khoảng cách tính từ bờ (ven bờ, gần bờ, ngoài khơi). Để các thiết bị phao hoạt động hiệu quả cần có những chuyển động lớn, những chuyển động này có thể đạt được bằng cách cộng hưởng hoặc bằng cách đóng chốt, tức là lưu giữ/giải phóng các cấu phần chuyển động cho tới khi thế năng được tích lũy.

Các thiết bị sản xuất năng lượng sóng bao gồm các công đoạn chuyển hóa sơ cấp, thứ cấp và cấp ba. Hệ thống phụ tương tác sơ cấp là các quy trình cơ học chất lưu và cung cấp năng lượng cơ học cho giai đoạn tiếp theo. Hệ thống phụ thứ cấp có thể tích hợp cơ chế truyền động trực tiếp hoặc bao gồm quy trình tích trữ ngắn hạn, tạo điều kiện thuận lợi cho quy trình xử lý năng lượng trước khi máy phát điện vận hành. Giai đoạn chuyển hóa cấp ba sử dụng các quy trình cơ điện và điện.

Các nghiên cứu mới đây đã nhận dạng được hơn 50 loại thiết bị năng lượng sóng với các giai đoạn phát triển khác nhau. Cho đến nay, hạn chế về quy mô của các thiết bị năng lượng sóng chưa được nghiên cứu đầy đủ trong thực tiễn. Kích thước của các thiết bị năng lượng sóng theo hướng truyền sóng nhìn chung bị hạn chế về độ dài dưới quy mô của bước sóng chính đặc trưng cho phổ mật độ năng lượng sóng tại một điểm cụ thể. Sản xuất điện quy mô lớn từ năng lượng sóng đòi hỏi một tổ hợp các thiết bị, chứ không phải là các thiết bị lớn hơn và giống như các máy phát điện bằng tuabin gió, các thiết bị này có thể được lựa chọn cho các địa điểm cụ thể. Sau đây là một số công nghệ khai thác năng lượng từ sóng đã được phát triển và thử nghiệm:

### 2.1.1. Cột nước dao động



Hình 2.1. Thiết bị cột nước dao động

- |                                    |                                     |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Sóng tới                        | 5. Van cách ly (isolation valve)    |
| 2. Cột nước                        | 6. Van tác động (fast acting valve) |
| 3. Buồng chạy bằng hơi             | 7. Tuabin giếng (well turbine)      |
| 4. Van xả áp (bypass relief valve) | 8. Máy phát điện                    |

Cột nước dao động (Oscillating water columns - OWC) là các thiết bị chuyển hóa năng lượng sóng, sử dụng chuyển động của sóng để tạo ra mức áp lực thay đổi giữa buồng nạp khí và khí quyển. Không khí với tốc độ cao thoát qua tuabin khí được nối với máy phát điện, chuyển hóa động năng thành điện năng.

Khi sóng rút ra xa, luồng không khí đảo chiều và đi vào buồng này, tạo ra xung năng lượng khác. Tuabin khí quay theo cùng một hướng, không phụ thuộc vào dòng chảy nhờ thiết kế của nó hay nhờ các cánh tuabin. Một thiết bị OWC có thể là một cấu trúc cố định được lắp đặt ở vị trí sóng vỡ (breaking waves) (gắn vào đá hoặc một phần của đê chắn sóng), thiết bị này cũng có thể được đặt ở đáy biển gần bờ hoặc nó có thể là một hệ thống nổi được neo ở các vùng nước sâu hơn.

### 2.1.2. Hệ thống dao động toàn bộ

Các hệ thống chuyển hóa năng lượng sóng kiểu dao động toàn bộ (Oscillating-body - OB) sử dụng chuyển động của sóng tới để tạo ra các chuyển động dao động giữa hai thân;

những chuyển động này sau đó được sử dụng để vận hành hệ thống chiết xuất năng lượng. OB có thể là các thiết bị được lắp đặt nổi trên bề mặt đại dương hoặc chìm hơn là chìm hoàn toàn. Thông thường, các thiết bị nổi trên bề mặt đối xứng theo trục (phao) sử dụng lực của phao để tạo ra chuyển động dâng lên tương đối so với thân thứ hai, thân này có thể được giữ chắc lại bằng neo cố định. Nhìn chung, các thiết bị này được gọi là các “hấp thụ điểm” (point absorbers), vì chúng vô hướng. Một biến thể khác của thiết bị nổi ở bề mặt sử dụng các khối trụ nổi có khớp nối được kết nối với nhau. Sóng sẽ tạo ra những chuyển động quay qua lại của các khớp nối, được cản lại bởi thiết bị chiết xuất năng lượng. Một số thiết bị OB chìm hoàn toàn dưới nước và dựa vào sức ép thủy lực dao động để hấp thụ năng lượng sóng.

Cuối cùng là các thiết bị có khớp nối, được lắp đặt tại thềm biển tương đối gần bờ và khai thác năng lượng dao động ngang của các cơn sóng tới.

### 2.1.3. Hệ thống chiết xuất năng lượng

Các hệ thống chiết xuất năng lượng được sử dụng để chuyển hóa động năng, dòng khí hoặc dòng nước được thiết bị năng lượng sóng tạo ra thành dạng hữu ích, thường là điện năng. Có rất nhiều khả năng lựa chọn khác nhau tùy thuộc vào công nghệ được sử dụng. Các dao động sóng theo thời gian thực sẽ tạo ra những dao động năng lượng điện tương ứng có thể làm giảm chất lượng điện của một thiết bị đơn lẻ. Trong thực tiễn, có thể cần đến một số phương pháp tích trữ năng lượng trong thời gian ngắn (trong vài giây) để ổn định quá trình cung cấp năng lượng. Năng lượng tích lũy được tạo ra bởi nhiều thiết bị sẽ ổn định hơn là bởi một thiết bị, do đó thường là người ta sử dụng nhiều bộ thiết bị. Hầu hết các thiết bị dao động toàn bộ sử dụng quá trình cộng hưởng để trích xuất năng lượng một cách tối ưu, các thiết bị này cần có cấu trúc hình học, khối lượng hoặc kích thước kết cấu phải được kết nối với tần số của sóng. Năng lượng tối đa chỉ có thể thu nhận được bằng hệ thống điều khiển tiên tiến.

Năng lượng sóng có thể được chuyển hóa thành điện năng thông qua các hệ thống được lắp đặt trên bờ biển hay ngoài khơi.

#### Hệ thống ngoài khơi

Các hệ thống ngoài khơi được lắp đặt ở vùng nước sâu, thường là sâu hơn 40m. Các cơ chế hiện đại sử dụng chuyển động nhấp nhô của sóng để chạy máy bơm sản xuất điện. Các thiết bị ngoài khơi khác sử dụng các ống nối với các phao nổi trên sóng. Sự dâng lên và hạ xuống của phao làm căng và giãn ống này, tạo áp lực làm cho nước quay tuabin.

Các tàu biển được chế tạo đặc biệt cũng có thể thu nhận được năng lượng sóng biển ngoài khơi. Các tàu này sản xuất điện bằng cách dẫn sóng qua các tuabin ở bên trong và sau đó xả trở lại biển.

#### Hệ thống trên bờ biển

Các hệ thống năng lượng sóng trên bờ biển chiết xuất năng lượng trong các sóng vỡ. Các công nghệ khai thác năng lượng từ sóng trên bờ biển bao gồm:

- Cột nước dao động: Cột nước dao động có kết cấu bê tông hoặc thép một phần chìm dưới biển và một đầu thông ra biển nằm dưới mực nước biển. Thiết bị này có cột không khí



ở phía trên cột nước. Khi sóng đi vào cột không khí, chúng làm cho cột nước dâng lên và hạ xuống. Quá trình này nén và xả nén cột không khí. Khi sóng rút đi, không khí bị hút vào qua tuabin và tạo ra sự giảm áp suất không khí đối với phần tuabin tiếp xúc với biển.

- Hệ thống kênh thuôn nhỏ: Hệ thống kênh thuôn nhỏ có cấu tạo là một kênh thuôn (tapered channel), kênh này dẫn vào bể chứa được lắp đặt trên các vách đá trên mặt biển. Cấu tạo thu hẹp của kênh làm cho sóng gia tăng độ cao khi chúng di chuyển vào mặt vách đá này. Sóng tràn qua thành kênh đi vào bể chứa và nước tích trữ sau đó sẽ được dẫn qua tuabin.

- Thiết bị dao động: Thiết bị năng lượng sóng dao động là một hộp hình chữ nhật, có một đầu mở ra biển. Một nắp sập được gắn phía ngoài đầu hở và hoạt động của sóng làm cho nắp sập đung đưa ra phía trước và phía sau. Chuyển động này làm chạy máy bơm thủy lực và máy phát điện.

## 2.2. Công nghệ năng lượng thủy triều

Sản xuất điện dựa vào thủy triều tương tự như sản xuất thủy điện, ngoại trừ việc dòng nước có thể chảy theo cả hai hướng và cần phải tính đến đặc điểm này khi phát triển máy phát điện. Có ba phương pháp để khai thác thủy triều.

- Phương pháp thông dụng nhất là xây đập, sát gần với cửa sông hoặc vịnh, đập làm cho dòng nước chảy qua tuabin khi mực nước dâng lên hoặc hạ xuống.

Phương pháp này có rất nhiều lợi ích, bao gồm việc bảo vệ được cả một dải bờ biển lớn khỏi bị hư hại bởi thủy triều cao khi có bão và tạo ra cầu đường. Tuy nhiên, cửa sông nằm trong số các hệ sinh thái sinh lợi hữu ích nhất và nhạy cảm nhất thế giới và việc làm các đập nước này làm ngập lụt các cửa sông, phá hủy nghiêm trọng các quá trình tự nhiên của chúng.

- Một phương án lựa chọn khác là sử dụng các tuabin ngoài khơi, gần giống như trang trại gió dưới nước.

Phương án này có ưu điểm là rẻ hơn rất nhiều so với việc thiết lập trang trại gió dưới nước và không gây ra các vấn đề về môi trường giống như đập thủy triều.

- Và phương án khác nữa là tuabin trực dọc.

### 2.2.1. Đập thủy triều



Hình 2.2. Nhà máy điện thủy triều ở cửa sông Rance vùng Bretagne (Pháp)

Phương pháp sử dụng đập thủy triều để khai thác năng lượng thủy triều là phương pháp xây đập, như trường hợp nhà máy điện thủy triều ở sông Rance của Pháp. Các tuabin gắn vào đập thủy triều sản xuất ra điện khi dòng nước chảy vào và chảy ra ở cửa sông. Các hệ thống này tương tự như đập thủy điện tạo ra áp lực tĩnh hoặc cột áp (độ cao của áp lực nước). Khi mực nước ngoài vịnh hoặc phá (lagoon) thay đổi tương đối so với mực nước bên trong tuabin, các tuabin này có khả năng sản xuất điện.

Các hệ thống đập bị ảnh hưởng bởi các vấn đề chi phí cho cơ sở hạ tầng dân sự cao, kết hợp với việc một con đập được xây dựng trên toàn hệ thống cửa sông và các vấn đề môi trường liên quan đến việc thay đổi hệ sinh thái, vì vậy gần đây, nhiều chính phủ vẫn do dự khi chấp thuận cho xây dựng các đập thủy triều.

Những mối quan ngại về tác động môi trường của các thiết bị đập thủy triều từ khi xây dựng nhà máy điện thủy triều La Rance đã dẫn đến sự phát triển các công nghệ ít tác động đến môi trường hơn. Nhà máy điện thủy triều lớn nhất thế giới được xây dựng ở cửa sông Rance của Pháp năm 1966. Nhà máy này có công suất 240 MW và hàng năm sản xuất được 600 GWh (công suất trung bình khoảng 68 MW).

Có một số trạm điện thủy triều khác, ví dụ trạm 20 MW ở Annapolis Royal, Canada, được hoàn thành năm 1984 và các hệ thống nhỏ (dưới 500kW) ở Vịnh Kislaya và Lạch Jangxia, được hoàn thành vào thời gian xây dựng nhà máy điện thủy triều La Rance.

Cấu hình tuabin có thể có nhiều dạng khác nhau.

- Nhà máy điện thủy triều La Rance sử dụng tuabin có máy phát điện đặt trong lòng tuabin (bulb turbine). Ở các hệ thống tuabin này, dòng nước chảy quanh tuabin, do đó việc bảo dưỡng khá khó khăn, vì nước phải được ngăn không chảy qua tuabin.

- Tuabin có máy phát điện đặt ở ngoài, kết nối với trục tuabin (rim turbine), giống như

tuabin được sử dụng trong dự án Annapolis Royal, giảm thiểu được những vấn đề trên vì máy phát được lắp ở đập, vuông góc với các cánh tuabin. Một bất lợi là của loại tuabin này là khó điều chỉnh công suất của các tuabin và chúng cũng không hoạt động tốt khi bơm.

- Tuabin dạng ống được đề xuất để sử dụng trong dự án thủy triều Severn ở Anh. Trong cấu hình này, các cánh được gắn vào trục dài và được bố trí theo góc sao cho máy phát nằm trên đỉnh đập.

### 2.2.2. Tuabin ở ngoài khơi



Hình 2.3. Tuabin ngoài khơi

Được đề xuất gần như ngay sau cuộc khủng hoảng dầu mỏ trong những năm 1970, tuabin thủy triều mới trở thành hiện thực trong những năm gần đây, khi tuabin “thử nghiệm” 15kW được vận hành ở Loch Linnhe. Tương tự như tuabin gió, tuabin thủy triều có nhiều ưu điểm so với các hệ thống thủy triều kiểu đập thủy triều và rào chắn thủy triều, bao gồm giảm thiểu tác động môi trường.

Tuabin thủy triều sử dụng các dòng thủy triều di chuyển với tốc độ nằm trong khoảng 2 đến 3m/giây để sản xuất 4 đến 13 kW/m<sup>2</sup>. Dòng thủy triều di chuyển nhanh (>3m/giây) có thể gây ra tác động không tốt lên các cánh tuabin theo cách giống như gió rất mạnh có thể làm hỏng các máy phát điện bằng tuabin gió truyền thống; đồng thời tốc độ nhỏ hơn lại không kinh tế.

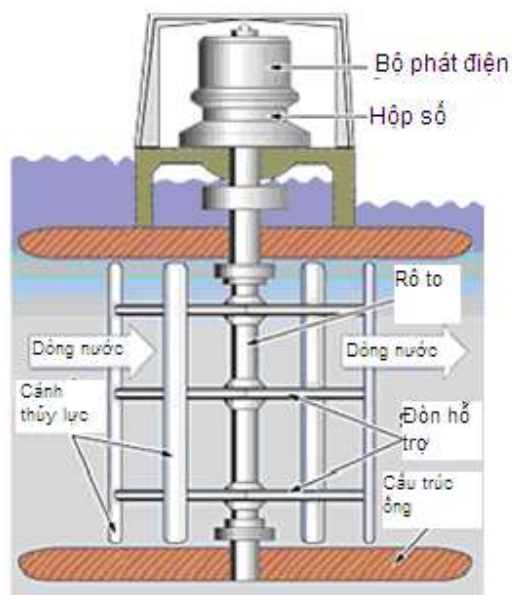
Tuy nhiên, công nghệ hiện đang được phát triển bao gồm hai rôto đóng trục có đường kính 15 đến 20m, mỗi rôto chạy một máy phát thông qua hộp số giống như tuabin thủy điện hoặc tuabin gió. Cả hai thiết bị năng lượng này của mỗi hệ thống được lắp đặt ở mỗi bên của chân đế bằng thép ống đường kính 3m, chân đế này được đặt vào hốc đã được khoan vào nền đáy biển.

Mỗi tuabin chìm dưới nước thường sản xuất từ 750 đến 1500 kW (tùy thuộc vào đặc điểm và vận tốc đỉnh của dòng chảy tại đó), được kết hợp thành từng tổ hợp hoặc “trang trại” ở dưới biển, ở những vị trí có dòng chảy mạnh, theo cách rất giống với các tuabin gió ở

trang trại gió. Sự khác biệt lớn là các tuabin sử dụng dòng nước biển hiện nay có công suất điện nhỏ hơn (vì nước có tỷ trọng lớn hơn 800 lần so với không khí) và chúng có thể được kết nối chặt chẽ với nhau (vì các dòng thủy triều thường chảy theo hai hướng trong khi gió thì thổi theo nhiều hướng).

Nghiên cứu tác động môi trường do các nhà tư vấn độc lập thực hiện đã khẳng định công nghệ này không gây ra bất kỳ mối đe dọa nghiêm trọng nào cho cá hoặc động vật có vú ở biển. Các rô-to quay chậm (10 đến 20 vòng /phút) và một động cơ của tàu thuyền quay nhanh hơn 10 lần và chúng định vị tại một địa điểm trong khi một số tàu thuyền chạy nhanh hơn rất nhiều so với tốc độ bơi của cá.

### 2.2.3. Tuabin trực đứng



Hình 2.4. Mặt cắt tuabin trực đứng

Tuabin được lắp đặt trong hộp bê tông rắn, hộp này cố định tuabin vào đáy biển, hướng dòng chảy chảy qua tuabin làm quay tuabin, hộp số và máy phát đặt trên đó. Toàn bộ bộ thiết bị này được đặt trên bề mặt của nước và dễ dàng tiếp cận để bảo dưỡng và sửa chữa. Tuabin được nối với rô-to, truyền động cho tổ hợp máy phát điện và hộp số gắn với nó.

Tuabin kiểu này có thể phân loại thành bốn hệ thống khác nhau:

- Hệ thống cấp điện cỡ micro: Có thể cung cấp từ 5 đến 25kW phục vụ cho người dùng ở vùng xa.
- Hệ thống cấp điện cỡ trung: Thiết lập hệ thống năng lượng đại dương với công suất 500kW. Hệ thống này phù hợp để sử dụng cho các cộng đồng ở vùng sâu vùng xa hoặc các khu công nghiệp.
- Hệ thống cấp điện năng lượng xanh: Dùng để sản xuất điện quy mô lớn, nhiều tuabin được kết nối thành chuỗi để tạo ra đập thủy triều ở cửa sông. Cấu trúc này có thêm lợi ích như là một giải pháp giao thông.

- Hệ thống cấp điện cỡ lớn: Hệ thống này là đập thủy triều có khả năng sản xuất hàng nghìn mega oát điện. Các đập thủy triều có thể dài nhiều kilomet và có thể vận hành ở độ sâu đến 70m. Cấu trúc này cũng có thêm lợi ích như là một giải pháp giao thông.

### 2.3. Công nghệ năng lượng dòng chảy đại dương

Các vị trí tốt nhất để lắp đặt thiết bị năng lượng dòng chảy đại dương là các eo biển giữa các đảo hoặc mũi biển, nơi dòng nước chảy mạnh hơn. Một vị trí tốt là vùng có tốc độ nước 2,5m/giây hoặc lớn hơn. Khoảng cách giữa nguồn năng lượng và nơi có nhu cầu cũng cần phải tính đến, vì hầu hết các vị trí tốt để khai thác nguồn năng lượng này lại ở rất xa so với các địa điểm có nhu cầu năng lượng.

Mục đích của công nghệ là chuyển hóa động năng của dòng chảy đại dương thành điện năng, công nghệ này rất giống với các thiết bị chuyển hóa năng lượng gió. Khối lượng di chuyển của nước biển làm quay rôto và chạy máy phát để sản xuất điện. Sự khác biệt giữa gió và nước là nước có tỷ trọng cao hơn, do đó có thể sản xuất ra nhiều năng lượng hơn so với các thiết bị nhỏ hơn. Nguyên lý của năng lượng dòng chảy đại dương cũng giống như nguyên lý của năng lượng gió.

Thiết bị phải đảm bảo hoạt động với hiệu suất cao, nó được gắn cố định vào nền đáy biển, việc bảo dưỡng có thể được thực hiện mà không gặp rủi ro và các trở ngại khó can thiệp và cuối cùng là cần giảm thiểu tác động môi trường và chi phí thiết bị. Đây là các mục đích chính của thiết bị năng lượng dòng chảy đại dương. Có hai giải pháp cơ bản đang được phát triển: với trục nằm ngang và trục dọc thẳng đứng.

Mỗi công nghệ này đều có ưu điểm và nhược điểm. Trục dọc cho phép nâng cao trên mực nước biển để bảo dưỡng các rôto và nhờ cấu trúc của nó có thể dễ dàng tạo ra hộp kỹ thuật dễ tiếp cận trên bề mặt dùng cho hệ thống điều khiển, các máy biến thế và các bộ đấu nối vào lưới điện. Các dự án trong thực tiễn sử dụng công nghệ này là dự án French của Marine Currents Ltd hoặc Dự án Năng lượng xanh của Canada do Hội đồng Nghiên cứu Quốc gia Canada phát triển.

Mặt khác, công nghệ trục ngang lại nhỏ gọn hơn và cho phép kết nối nhiều rôto với nhau. Ngoài ra, thiết bị được chế tạo từ nhiều mô đun và có thể được neo giữ tại, do đó quá trình lắp đặt rẻ hơn và dễ phù hợp hơn đối với các vùng địa lý khác nhau. Hiện đang có một số dự án sử dụng công nghệ này. Hai dự án trong số đó là “Solón” của Tập đoàn Atlantis Resources và “OCGen” của Hãng Ocean Renewable Power.

Công nghệ thứ ba do Verdant Power ở New York nghiên cứu. Công nghệ này sử dụng tuabin trục dọc, tuy nhiên thiết bị lại được lắp đặt ở sông thay vì ở biển. Hiện đang có hai dự án sử dụng công nghệ này đang được triển khai. Dự án thứ nhất là RITE, được xây dựng ở sông Đông của Thành phố New York, sản xuất 10MW và dự án thứ hai là CORE ở sông St.Lawrence, Ontario. Dự án này cung cấp 15MW điện.

### 2.4. Công nghệ năng lượng chênh lệch nhiệt độ nước biển

Hệ thống OTEC là chu trình năng lượng hơi, tương tự như chu trình Rankine, hoạt động ở các điều kiện đặc biệt. Do nhiệt độ trong thiết bị bay hơi và thiết bị ngưng thấp, cần lựa chọn chất lưu hoạt động có áp suất hơi đủ lớn ở nhiệt độ phòng. Ví dụ, propan, có áp suất

hơi khoảng 5,5 atm ở nhiệt độ 50C và khoảng 9,5 atm ở nhiệt độ 250C; amoniac có áp suất hơi lần lượt là 5,2 atm và 10,3 atm ở nhiệt độ tương ứng, còn có các chất lưu khác có các đặc điểm nhiệt tương tự.

Nước ấm từ bề mặt đại dương được dẫn vào thiết bị trao đổi nhiệt hoặc thiết bị bay hơi, ở đó chất lưu hoạt động của chu trình Rankine bay hơi; hơi này đi qua tuabin, vận hành máy phát điện và sau đó đi vào thiết bị ngưng tụ.

Nước lạnh, được bơm từ biển sâu bằng đường ống, được sử dụng để làm lạnh chất lưu hoạt động. Sau khi ngưng tụ và trở lại trạng thái lỏng, chất lưu hoạt động được bơm vào thiết bị bay hơi và như vậy chu trình mới lại bắt đầu.

Ngoài các điều kiện cần có đối với chất lưu hoạt động, thiết bị OTEC đòi hỏi kích thước của hệ thống tuần hoàn dòng nước ấm và nước lạnh khá lớn, do việc phải bơm nước lạnh từ độ sâu 600-900m.

Khi hệ thống OTEC được thiết kế để sản xuất điện, các cáp dẫn điện từ nền nổi đến độ sâu dưới biển, sâu tới 1200-1500m và qua cáp cố định khác để được dẫn tới bờ biển; các cáp này cần đủ bền để chịu được lực mạnh của các dòng nước biển, sóng và nền nổi.

Hiệu quả của thiết bị nhiệt này bị hạn chế bởi nguyên lý Carnot; thiết bị OTEC, có  $T_1 = 300\text{C}$  và  $T_2 = 4\text{C}$  sẽ có hiệu suất tối đa là:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \approx 8,6\%$$

#### 2.4.1. Thiết kế và lắp đặt thiết bị

Chênh lệch nhiệt độ cần thiết cho quá trình vận hành kinh tế là khoảng 20°C. Chênh lệch nhiệt độ của đại dương thường thấy ở vĩ độ 20 độ Bắc và 20 độ Nam. Có các loại thiết bị OTEC bao gồm:

##### a) Thiết bị trên đất liền và gần bờ biển

Theo tên gọi, hệ thống OTEC kiểu này được lắp đặt trên đất liền hoặc gần bờ biển.

Các thiết bị này có ưu điểm là được bảo vệ tốt hơn trước bão và lực của sóng biển. Do đó, chúng không cần thiết bị đặc biệt để bảo vệ, như neo tiên tiến hoặc cáp điện dài. Ngoài ra, do các thiết bị đặt ở gần bờ hoặc trên đất liền, chúng có thể vận hành với các ngành công nghiệp khác nhau, ví dụ các ngành công nghiệp cần sử dụng nước đã được khử mặn. Các thiết bị này có thể được lắp đặt trên đất liền, được bảo vệ tốt hơn trước nước biển và bão; hoặc trên bờ biển, trong trường hợp này độ dài ống dẫn cần dùng sẽ ngắn hơn.

Nhược điểm chính của các thiết bị này là ống dẫn được đặt ở vùng sóng nhào, do vậy chúng dễ bị tổn hại khi có bão và các chu kỳ biển động dữ dội kéo dài, trừ phi chúng được chôn ở vùng được bảo vệ.

Để tránh được vấn đề này, các thiết bị có thể được lắp đặt ngoài khơi, ở các vùng nước sâu 10-30m, sao cho quá trình nạp và xả nước của ống ngắn hơn, và do đó kinh tế hơn.

##### b) Thiết bị tự định vị

Trong trường hợp này, các thiết bị được lắp đặt ở thềm lục địa, ở độ sâu tới 100m. Theo



cách này, sẽ tránh được vùng sóng nhào thay đổi bất thường và thiết bị ở gần hơn với nguồn nước lạnh. Chúng có thể được lắp đặt trong xưởng đóng tàu và được cố định ở đáy biển.

Mặc dù có lợi thế là tránh được vùng sóng thay đổi bất thường, các thiết bị này có nhược điểm khác, như việc chuyển giao sản phẩm tốn kém hơn. Ngoài ra, chúng nằm ở ngoài biển, do đó ít được bảo vệ hơn.

Các hệ thống này phức tạp hơn về phương diện kỹ thuật và chúng cần có cáp ngầm dài để nối với đất liền, do vậy đắt hơn.

#### c) Các thiết bị nổi

Vận hành các thiết bị này tương đối phức tạp, do khó ổn định chúng, cũng như chuyển tải điện liên quan đến việc neo đậu gặp khó khăn. Việc bảo dưỡng và sửa chữa cáp ở độ sâu 1.000m cũng là công việc khó khăn. Cáp ít được bảo vệ, nhất là khi có bão.

Các thiết bị này cần có nền ổn định để hoạt động. Bão và biển động là những vấn đề chính và có thể làm đứt gãy đường ống và ngừng quá trình thu nhận nước nóng. Giải pháp để tránh những vấn đề này là sử dụng ống làm bằng polyetylen dẻo gắn vào đáy biển. Một giải pháp khác là thay thế ống thu nhận nước ấm bằng cách thu nhận trực tiếp vào sàn nổi. Trong trường hợp này, vị trí thu nhận là rất quan trọng, cần phải lắp đặt rất cẩn thận để tránh đứt gãy khi biển động.

#### 2.5.2. Các ứng dụng

Các hệ thống OTEC có nhiều ứng dụng, các ứng dụng quan trọng nhất như sau:

- Sản xuất điện.
- Khử mặn nước.
- Nuôi trồng thủy sản, nhờ nước biển sâu giàu chất dinh dưỡng, có thể sử dụng để nuôi sinh vật phù du, dùng làm thức ăn cho các loài ở biển.
- Làm lạnh và điều hòa không khí.
- Chiết xuất chất khoáng.

#### 2.5.3. Sản xuất điện

##### a) Hệ thống OTEC chu trình mở

Trong hệ thống này, chất lưu nhiệt động học là nước biển ấm, được làm bay hơi trong buồng chân không, hoặc trong thiết bị bay hơi thông qua hệ thống bay hơi; nước ấm đi vào phần trên của buồng, qua các lỗ nhỏ, sản sinh ra hơi ấm. Hơi ấm tạo thành dòng trung tâm, trong khi một màng nước đi xuống chạm vào thành của buồng; do đó chỉ có hơi nước bão hòa đi vào tuabin. Hơi nước đi qua tuabin sẽ tạo ra điện. Sau khi đi qua tuabin, hơi nước được ngưng tụ bởi nước lạnh. Nước lạnh này được bơm từ độ sâu dưới biển qua đường ống nước lạnh. Thiết bị ngưng tụ có thể là thiết bị ngưng kiểu tiếp xúc hoặc thiết bị ngưng tụ bề mặt. Trong trường hợp thiết bị ngưng bề mặt, nước ngưng tụ được tách khỏi nước biển, trở thành nguồn cung cấp nước đã được khử mặn.

##### b) Hệ thống OTEC chu trình kín

Trong hệ thống này, nước ấm làm bay hơi chất lưu nhiệt động học, như amoniac, propan, freon, etylen oxyt, v.v.; đi qua thiết bị trao đổi nhiệt. Hơi giãn nở ở áp suất vừa phải qua tuabin, sản sinh ra điện. Sau đó, hơi được ngưng tụ ở thiết bị trao đổi nhiệt, bằng nước biển

lạnh, được bơm từ độ sâu dưới biển qua đường ống nước lạnh. Cuối cùng, chất lưu hoạt động đã ngưng tụ đi trở lại vào thiết bị bay hơi; và cứ thế chu trình này lặp lại.

Ưu điểm của chu trình mở, so với chu trình khép kín như sau:

- Dùng nước làm chất lưu hoạt động cho phép sử dụng vật liệu chế tạo rẻ hơn.
- Nước đã khử mặn được tạo ra ở đầu ra của thiết bị ngưng tụ.
- Chỉ cần dùng nước có chất lượng thấp hơn để sản xuất cùng một lượng năng lượng giống như ở hệ thống khép kín, do sự thất thoát khi làm nóng amoniac trong hệ thống khép kín.

- Thiết bị trao đổi nhiệt với amoniac trong hệ thống khép kín rất lớn, vì cần sử dụng lượng nước lớn cho thiết bị trao đổi nhiệt và điều này làm cho hệ thống đắt tiền hơn.

Các nhược điểm của chu trình mở, so với chu trình khép kín như sau:

- Các tác động ăn mòn của nước biển và cần phải xử lý nước biển để khử khí, để nước đi vào tuabin.
- Tuabin lớn hơn rất nhiều so với tuabin ở hệ thống khép kín, do trong hệ thống khép kín hơi nước ở áp suất lớn hơn.

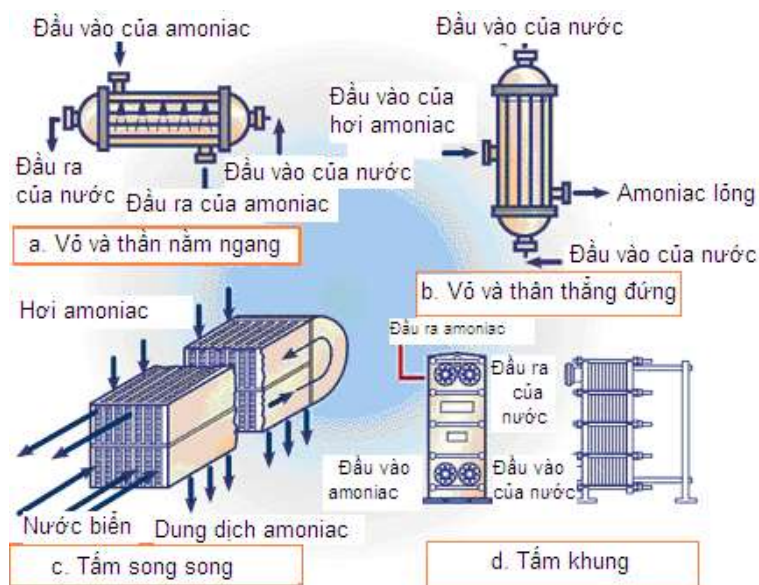
#### c) Hệ thống OTEC lai ghép

Trong hệ thống này, nước biển ấm được làm bay hơi trong buồng chân không bằng hệ thống bay hơi. Sau đó, hơi được tạo ra sẽ làm bay hơi chất lưu hoạt động, chất này đi qua tuabin sản xuất ra điện. Cuối cùng, hơi nước được ngưng tụ ở thiết bị ngưng, sản xuất ra nước đã được khử mặn.

### 2.5.4. Thiết bị

#### a) Thiết bị trao đổi nhiệt

Đặc điểm quan trọng nhất của thiết bị trao đổi nhiệt là diện tích tiếp xúc, diện tích này cần đủ lớn để truyền nhiệt từ chất lưu này sang chất lưu khác, nhờ vào sự chênh lệch nhiệt độ nhỏ trong hệ thống OTEC.



Hình 2.5. Thiết bị trao đổi nhiệt



Các thiết bị trao đổi nhiệt dạng vỏ và ống được thể hiện ở hình a và b. Nước chảy qua các ống, trong khi chất lưu hoạt động bay hơi hoặc ngưng tụ trên thành ống. Nếu các ống có đường rãnh, hiệu quả sẽ gia tăng, do gia tăng diện tích; chất lưu hoạt động tạo ra màng mỏng ở thành ống, quá trình bay hơi sẽ hiệu quả hơn.

Thiết kế dạng vỏ và ống được thể hiện ở hình c, nước và chất lưu hoạt động chảy theo dòng ngược chiều qua các tấm song song. Trong trường hợp này rìa của các tấm sẽ làm gia tăng hiệu suất.

Vật liệu sử dụng trong các thiết bị trao đổi nhiệt rất đa dạng. Có thể sử dụng titan, vì titan chống ăn mòn tốt. Tuy nhiên, vật liệu này là khả năng lựa chọn tốn kém đối với các thiết bị trao đổi nhiệt lớn.

Một phương án lựa chọn khác là hợp kim đồng - niken chống ăn mòn. Tuy nhiên, các hợp kim này không tương thích với amoniac, là chất thường được dùng làm chất lưu hoạt động.

Nghiên cứu cho thấy nhôm là phương án lựa chọn phù hợp đối với các điều kiện ở biển.

Vấn đề chính của các thiết bị trao đổi nhiệt là sự phát triển của chất nhớt do sên, ốc và sinh vật biển nở ra khi tiếp xúc với nước biển. Màng này có tính chất ăn mòn sinh học. Để phòng tránh sự xuất hiện của chúng, nước cần được tiệt trùng, bằng cách trộn lẫn với clo trong đường ống, theo từng giai đoạn.

#### b) Thiết bị bay hơi

Thiết bị bay hơi thông thường có thể đạt hiệu suất 70-80%.

Vấn đề chính của thiết bị bay hơi là sự xuất hiện hiện tượng bay hơi quá mạnh, vì khi hiện tượng này xuất hiện, các giọt nước có thể đi vào tuabin, làm hỏng tuabin. Ngoài ra, nước đã khử mặn sẽ bị nhiễm bẩn theo cách này. Giải pháp cho vấn đề này là sử dụng bộ khử mù, khử lượng giọt nước cần thiết.

#### c) Tuabin

Hơi nước đi vào tuabin với áp suất khoảng 2,4 kPa. Ví dụ, tuabin thích hợp nhất cho thiết bị 100MW có thể là tuabin có tốc độ thấp (200 vòng/phút), đường kính 43,6m.

#### d) Thiết bị ngưng

Các thiết bị ngưng có thể là thiết bị ngưng bề mặt hoặc thiết bị ngưng tiếp xúc trực tiếp. Thiết bị ngưng tiếp xúc trực tiếp có quy trình ngưng hiệu quả hơn.

Trong thiết bị ngưng hai công đoạn, nước biển lạnh được phân phối thông qua hai thùng, được nạp đầy vật liệu kết cấu, có tác dụng làm tăng diện tích bề mặt. Điều này cải thiện quá trình ngưng của chất lưu. Khoảng 80% chất lưu được ngưng tụ ở thùng thứ nhất, chảy theo cùng hướng với nước. Chất lưu chảy qua thùng thứ hai đi theo hướng ngược chiều với dòng nước. Ở đầu cuối của thùng thứ hai, khí không ngưng tụ được thoát ra qua hệ thống chân không.

Các thiết bị ngưng bề mặt có ưu điểm là tạo ra nước đã được khử mặn. Mặc dù tương tự như các thiết bị được sử dụng ở các nhà máy điện, các thiết bị ngưng bề mặt trong hệ thống OTEC vận hành ở áp suất thấp hơn và có nhiều khí không ngưng trong hơi nước hơn.

#### 2.5.5. Lợi ích của OTEC

Các lợi ích kinh tế của OTEC gồm có:

- Hỗ trợ sản xuất nhiên liệu như hydro, ammoniac và methanol.
- Sản xuất điện phụ tải nền.
- Khử mặn nước cho ngành công nghiệp, nông nghiệp và nhà ở.
- Là nguồn vận hành thiết bị nuôi trồng thủy sản trên biển và gần bờ.
- Điều hòa không khí cho các tòa nhà.
- Cung cấp quy trình làm lạnh ở nhiệt độ vừa phải.
- Cung cấp điện sạch, với tiềm năng lớn và giá rẻ trong tương lai.

Các lợi ích không thuộc lĩnh vực kinh tế của OTEC, giúp đạt được các mục tiêu về môi trường gồm có:

- Thúc đẩy cạnh tranh và thương mại quốc tế.
- Nâng cao khả năng tự chủ về năng lượng và an toàn năng lượng.
- Nâng cao tính ổn định xã hội-chính trị quốc tế.
- Có tiềm năng giảm thiểu phát thải khí nhà kính từ việc đốt nhiên liệu hóa thạch.

## 2.5. Công nghệ năng lượng chênh lệch độ mặn

Quá trình trộn lẫn nước ngọt và nước biển, như ở nơi dòng sông chảy ra đại dương, sẽ giải phóng năng lượng và tạo ra một sự gia tăng rất nhỏ nhiệt độ nước ở đó. Thẩm tách điện nghịch đảo (Reversed electro dialysis - RED) và thẩm thấu điều áp chậm (pressure-retarded osmosis - PRO) là các phương thức chuyển hóa nhiệt năng này thành điện năng. Dạng chuyển hóa năng lượng này thường được gọi là năng lượng thẩm lọc và thiết bị điện mẫu thử nghiệm đầu tiên PRO công suất 5kW đã được lắp đặt ở Na Uy năm 2009.

### 2.5.1. Thẩm tách điện nghịch đảo

Quy trình thẩm tách điện nghịch đảo khai thác độ chênh lệch tiềm năng hóa học giữa hai dung dịch. Dung dịch muối đậm đặc và nước ngọt được cho tiếp xúc với nhau thông qua chuỗi các màng trao đổi anion và cation xen kẽ. Độ chênh lệch tiềm năng hóa học sẽ tạo ra hiệu điện thế giữa từng màng; tổng tiềm năng của toàn hệ thống là tổng các độ chênh tiềm năng trên tổng số các màng. Thiết bị sản xuất thử đầu tiên để thử nghiệm khả năng này đang được xây dựng ở Hà Lan.

### 2.5.2. Thẩm thấu điều áp chậm

Thẩm thấu điều áp chậm (PRO), cũng được gọi là năng lượng thẩm thấu, là quá trình trong đó tiềm năng hóa học được khai thác dưới dạng áp suất và lần đầu tiên được đề xuất vào những năm 1970.

Quy trình PRO sử dụng quá trình thẩm lọc tự nhiên sinh ra do sự chênh lệch nồng độ muối giữa hai chất lỏng (ví dụ, nước biển và nước ngọt). Nước biển và nước ngọt có xu thế trộn lẫn với nhau và quá trình này xảy ra lâu cho đến khi áp suất giữa các chất lỏng này nhỏ hơn độ chênh lệch áp suất thẩm thấu. Đối với nước biển và nước ngọt, độ chênh áp suất thẩm thấu nằm trong khoảng từ 2,4 đến 2,6 Mpa (megapascal), tùy thuộc vào độ mặn của nước biển.

Trước khi đi vào các mô đun màng PRO, nước biển được nén ép đến khoảng một nửa áp suất thẩm lọc, khoảng từ 1,2 đến 1,3 MPa. Trong mô đun màng này, nước ngọt di chuyển

qua màng và đi vào nước biển có áp. Nước lợ được tạo thành sau đó phân chia thành hai dòng. Một phần ba được sử dụng để sản xuất điện (tương ứng với thể tích nước ngọt đi qua màng) trong tuabin thủy điện, trong khi phần còn lại đi qua thiết bị trao đổi có áp để nén ép nước biển đi vào. Nước lợ này có thể được đưa trở lại vào sông hoặc ra biển, nơi mà hai nguồn ban đầu của chúng có thể đã được trộn lẫn.

### III. HIỆN TRẠNG VÀ XU THẾ PHÁT TRIỂN CÔNG NGHỆ NĂNG LƯỢNG ĐẠI DƯƠNG TRÊN THẾ GIỚI

#### 3.1. Hiện trạng

Sản lượng của tất cả các dạng năng lượng đại dương đã tăng hơn gấp đôi vào năm 2011 do sự vận hành của nhà máy điện thủy triều hồ Sihwa, gần Seoul, Hàn Quốc, vào tháng 8 năm 2011 với công suất khoảng 550MW. Trong khi hiện nay, việc khai thác năng lượng đại dương chủ yếu dựa vào các đập thủy triều quy mô lớn (một số được xây dựng vào những năm 1960), năng lượng đại dương trong tương lai dự kiến sẽ được khai thác từ các dạng năng lượng mới, bao gồm năng lượng từ dòng thủy triều, chuyển đổi năng lượng nhiệt đại dương và chênh lệch độ mặn.

Bảng 3.1. Hiện trạng phát triển năng lượng đại dương toàn cầu

Loại công nghệ	Giai đoạn phát triển	Hiệu suất thiết lập hay thử nghiệm, địa điểm	Tiềm năng lý thuyết trên toàn thế giới
Năng lượng đập thủy triều	Phát triển quy mô thương mại lớn, nhưng triển vọng tương lai thấp do tác động xấu đến môi trường	Pháp (240MW), Hàn Quốc(254MW), Canada (20MW), Trung Quốc (11MW)	1,200 TWh/ năm
Năng lượng dòng thủy triều	Một số dự án thí điểm, thử nghiệm, bao gồm một nguyên mẫu thương mại	Chủ yếu là ở Anh (4.8MW)	470 TWh/ năm
Năng lượng sóng	Một số dự án thí điểm, thử nghiệm quy mô thực tế	Chủ yếu là ở Anh (2MW), quy mô nhỏ hơn ở Bồ Đào Nha, Tây Ban Nha, Đan Mạch, Thụy Điển, New Zealand	29,500 TWh/năm
Năng lượng chênh lệch nhiệt độ nước biển	Thử nghiệm	Hoa Kỳ (Hawaii) và Pháp	44,000 TWh/năm

Năng lượng chênh lệch độ mặn	Quy mô phòng thí nghiệm	Na Uy (4kW)	1,650 TWh/ năm
------------------------------	-------------------------	-------------	----------------

Nguồn: Hệ thống năng lượng đại dương (2012a), Wright (2012a), Legrand (2012a).

### 3.1.1. Năng lượng thủy triều

Năng lượng thủy triều được chia thành 2 loại chính là đập thủy triều và dòng thủy triều. Cụ thể như sau:

#### a) Năng lượng đập thủy triều

Đập thủy triều thường được phát triển tại các cửa sông và dựa vào sự thay đổi mực thủy triều để sản xuất điện từ năng lượng của nước khi nước đổ xuống. Đây là dạng năng lượng đại dương được khai thác thương mại nhiều nhất và lâu đời nhất. Hai đập thủy triều quy mô lớn đang hoạt động tại Pháp (cửa sông La Rance công suất 240MW, xây dựng năm 1966) và Hàn Quốc (Hồ Sihwa gần Seoul công suất 254MW, hoạt động năm 2011).

Đập thủy triều hầu như không được sử dụng nhiều vào những năm 1980 do nhận thức về tác động đối với môi trường (ví dụ như mất đất bùn) và chi phí vốn cao. Dự án lớn nhất, đập Severn ở cửa sông Severn của Anh công suất 7.500MW với tổng chiều dài đập 16km và chi phí ước tính 30 tỉ USD đã bị bác bỏ vào năm 2010 do không kinh tế.

Một số nước thành viên APEC đã xây dựng các đập thủy triều quy mô nhỏ: Canada (Annapolis Royal, 20MW), Trung Quốc (7 đập thủy triều với tổng công suất 11MW gồm cả Giang Hạ với 3,9MW), Hàn Quốc (đập thủy triều Uldomok, 1MW) và Nga (đập thủy triều thí điểm ở Vịnh Kislaya, 0,4MW).

Các nhà máy điện thủy triều hiện đang hoạt động và đang xây dựng được thống kê trên bảng 3.2.

Bảng 3.2. Danh sách các nhà máy điện thủy triều đang hoạt động và đang xây dựng trên thế giới

Tên nhà máy	Công suất MW	Nước	Năm bắt đầu hoạt động
Annapolis Royal	20	Canada	1984
Jiangxia	3,2	Trung Quốc	1980
Kislaya Guba	1,7	Nga	1968
Rance	240	Pháp	1966
Uldomok	1,0	Hàn Quốc	2009
Hồ Sihwa	254	Hàn Quốc	2010

Nguồn: Đề tài: “Nghiên cứu đánh giá tiềm năng các nguồn năng lượng biển chủ yếu và đề xuất các giải pháp khai thác”, mã số KC.09.19/06-10

#### b) Năng lượng dòng thủy triều

Sự chuyển động của các khối nước đại dương, gây ra bởi chu kỳ thủy triều, tạo ra các chuyển động động lực học. Năng lượng dòng thủy triều có thể được khai thác, thường là

gần bờ và đặc biệt ở những nơi có địa hình hạn chế, như eo biển giữa các đảo.

Sản xuất năng lượng từ dòng thủy triều thường cần đến các thiết bị nhỏ, chủ yếu là nằm dưới mặt nước biển, không gây nhiều tác động tới môi trường. Có nhiều lợi thế khác so với đập thủy triều nhưng các thiết bị dòng thủy triều vẫn đang trong giai đoạn phát triển. Tuabin SeaGen 1,2MW, được đặt ở Strangford Lough, phía Bắc Ireland, là tuabin dòng thủy triều duy nhất trên thế giới, cung cấp thường xuyên điện năng vào lưới điện địa phương trên quy mô thương mại. Một số nguyên mẫu kích cỡ thực tế cũng đã được thiết lập tại Trung tâm Năng lượng biển Châu Âu (EMEC) của Anh, Trung tâm Nghiên cứu Năng lượng biển Fundy (FORCE) của Canada, Lofoten của Na Uy và cánh đồng thủy triều Paimpol – Brèhatt của Pháp.

### 3.1.2. Năng lượng sóng

Sóng có thể cung cấp một nguồn năng lượng hoàn toàn bền vững. Có nhiều phương pháp khai thác năng lượng sóng và thậm chí còn có nhiều thiết bị năng lượng sóng hơn có thể được phát triển. Nhưng lại có rất ít sự đồng thuận về thiết kế ưu tiên cho máy chuyển đổi năng lượng sóng. Các thiết bị quen thuộc bao gồm: khớp nối cuối, máy giảm suất, bộ giảm xung điểm, thiết bị tràn, cột nước dao động, tràn dao động sóng. Do bản chất đa dạng của nguồn sóng, có nhiều khả năng sẽ có một số dạng thiết bị được khai thác ở các vùng khác nhau.

Hai nguyên mẫu cỡ thực tế nổi tiếng nhất là máy P1 và P2 của hãng Pelamis Wave Power (máy giảm suất, sử dụng pit tông thủy động để vận hành máy phát điện) và thiết bị Oyster của Aquamarine Power (bộ giảm xung điểm, sử dụng chuyển động nhồi sóng để chiết xuất năng lượng từ chuyển động tràn của sóng và một hệ thống cao áp thủy lực kết nối với một trạm thủy điện trên đất liền), cả hai đều được triển khai tại EMEC, Anh.

### 3.1.3. Năng lượng chênh lệch nhiệt độ nước biển

Năng lượng chênh lệch nhiệt độ của nước biển dựa trên sự khác biệt về nhiệt độ giữa nước bề mặt ấm và nước ở đáy biển lạnh. Nhiệt độ của nước biển sâu có xu hướng bất biến tương đối ở khoảng 40C trong khi nước bề mặt ấm hơn 200C. Bơm một lượng lớn nước biển lạnh lên bề mặt tạo ra một quá trình trao đổi nhiệt với nước bề mặt ấm hơn, từ đó điện có thể được sản xuất.

Tiềm năng tài nguyên cao cho việc chuyển đổi năng lượng nhiệt đại dương là ở khu vực Thái Bình Dương. Dạng năng lượng đại dương này khả thi về kỹ thuật nhưng nó chưa được xác định rõ liệu nó có khả thi về kinh tế hay không. Công nghệ hiện đang được thử nghiệm tại các đảo Hawaii (Hoa Kỳ) và Reunion (Pháp).

### 3.1.4. Năng lượng chênh lệch độ mặn

Nước biển mặn hơn nước sông khoảng 200 lần. Độ mặn tương đối cao của nước biển tạo ra áp lực hóa học đối với nước sông, có thể được sử dụng để sản xuất điện. Năng lượng từ sự chênh lệch độ mặn do đó có tiềm năng lớn nhất tại các cửa sông lớn, nơi khối lượng lớn nước ngọt đổ ra đại dương.

Thiết bị thăm thẫu thử nghiệm đầu tiên của thế giới với công suất 4kW được Hãng Statkraft khánh thành vào tháng 11 năm 2009 tại Tofte, Na Uy. Hoạt động của thiết bị đã

chứng minh được năng lượng từ sự chênh lệch độ mặn có thể cung cấp nguồn năng lượng tái tạo ổn định với mức ảnh hưởng sinh thái tối thiểu.

### 3.2. Tình trạng phát triển thị trường và ngành công nghiệp toàn cầu và khu vực

Từ những năm 1990, các dự án NC&PT công nghệ năng lượng sóng và dòng thủy triều đã tăng lên, với một số công nghệ đã đạt tới giai đoạn nguyên mẫu tiền thương mại kích cỡ thực tế. Hiện nay, công nghệ năng lượng đại dương kích cỡ thực tế và đang hoạt động duy nhất là đập thủy triều, điển hình là đập La Rance 240 MW ở Tây Bắc nước Pháp, hoàn thành năm 1966. Đập Sihwa 254 MW (Hàn Quốc) mới đi vào hoạt động năm 2011. Các công nghệ để phát triển những nguồn năng lượng đại dương khác - OTEC, chênh lệch độ mặn và dòng chảy đại dương - đều mới chỉ ở giai đoạn khái niệm, NC&PT hoặc ở giai đoạn nguyên mẫu ban đầu. Hiện tại, hơn 100 công nghệ đại dương khác nhau đang được phát triển ở hơn 30 quốc gia.

#### 3.2.1. Thị trường

Ngoài đập thủy triều, tất cả các công nghệ năng lượng đại dương mới chỉ ở giai đoạn khái niệm và đang được NC&PT hoặc đang trong giai đoạn nguyên mẫu tiền thương mại. Do đó, hầu như không có thị trường thương mại cho các công nghệ năng lượng đại dương ở thời điểm hiện nay.

Một số chính phủ đang sử dụng một loạt các sáng kiến và biện pháp khuyến khích để đẩy mạnh và tăng tốc tiến độ phát triển các công nghệ năng lượng đại dương. Các quốc gia ven biển phía Đông Bắc Đại Tây Dương đi đầu trong việc phát triển thị trường cho công nghệ năng lượng đại dương và điện năng được sản xuất từ các nguồn này. Các cơ chế tài trợ như các dự án Cơ chế phát triển sạch (CDM) hay Hệ thống xử lý chung (JI) cho phép các chính phủ có thể đảm bảo thêm nguồn tài trợ bên ngoài cho các dự án năng lượng đại dương ở các nước đang phát triển. Dự án đập Sihwa ở Hàn Quốc được CDM tài trợ một phần.

#### 3.2.2. Phát triển công nghiệp

Do ngành công nghiệp năng lượng đại dương vẫn còn trong giai đoạn NC&PT và thử nghiệm, năng lực và chuyên môn từ các ngành công nghiệp hiện tại, như kỹ thuật điện và đại dương và vận hành ngoài khơi, sẽ được sử dụng, thúc đẩy sự tăng trưởng nhanh chóng của các chuỗi cung ứng công nghiệp. Ngành công nghiệp hiện đang được củng cố bởi một số lượng lớn những công ty kinh doanh độc lập có vốn đầu tư hạn chế từ khu vực tài chính. Đầu tư vào các phát triển thiết bị đã trở nên phổ biến hơn trong 10 năm gần đây và một số chính phủ đã công nhận các kỹ năng và các lợi ích chuyển giao kiến thức từ những ngành công nghiệp khác.

Một tính năng đặc biệt của năng lượng đại dương là sự xuất hiện của một mạng lưới quốc tế các trung tâm thử nghiệm năng lượng đại dương quốc gia, bao gồm cả Trung tâm Năng lượng đại dương Châu Âu (EMEC) ở Scotland - địa điểm đầu tiên của mạng lưới trung tâm thử nghiệm trên toàn thế giới - nơi những kỹ sư phát triển thiết bị có thể giảm chi phí thử nghiệm nguyên mẫu bằng cách sử dụng cơ sở hạ tầng sẵn có, đặc biệt là cáp ngoài khơi, các hợp đồng và giấy phép mua năng lượng. Những trung tâm này đang đẩy nhanh tốc độ phát triển một loạt các công nghệ sóng và dòng thủy triều bằng cách cho phép các

nhà phát triển thiết bị chia sẻ chi phí thử nghiệm nguyên mẫu thiết bị.

Lộ trình phát triển công nghiệp và những nghiên cứu chuỗi cung ứng đã được phát triển ở Scotland, Anh và New Zealand. Hoa Kỳ và Ireland đã hoàn thành việc lập lộ trình và Canada đã bắt đầu thực hiện việc lập lộ trình. Những lộ trình tương tự cũng như chiến lược nghiên cứu khoa học năng lượng biển Châu Âu đã được thiết lập cho các nước EU. Những quốc gia này đã bắt đầu đánh giá tiềm năng thị trường năng lượng đại dương như một ngành công nghiệp hoặc sáng kiến phát triển khu vực. Các khu vực hỗ trợ phát triển cụm công nghiệp, dẫn đến việc có thể mở rộng việc khai thác năng lượng, tìm kiếm đề thu hút sự chú ý của ngành công nghiệp.

Một loạt các sáng kiến toàn cầu và khu vực hiện đã được triển khai cho hợp tác phát triển thị trường năng lượng đại dương và ngành công nghiệp. Đó là những hỗ trợ cho phát triển mạng các mạng lưới quốc tế, dòng chảy thông tin, loại bỏ các rào cản và các nỗ lực đẩy nhanh tốc độ hấp thu năng lượng đại dương. Các sáng kiến bao gồm:

- Hợp đồng thực thi các hệ thống năng lượng đại dương của Cơ quan Năng lượng quốc tế. Sáng kiến này gồm các thành viên từ các nước đang phát triển có thể có cơ hội chuyên gia tri thức để khai thác các nguồn năng lượng đại dương địa phương.

- Thử nghiệm và đánh giá các thiết bị khai thác năng lượng đại dương (EquiMar). Sáng kiến này do EU tài trợ dự kiến sẽ cung cấp một bộ định chuẩn cho đánh giá bộ chuyển đổi năng lượng sóng và dòng thủy triều.

- Dự án Quy hoạch và tiếp thị năng lượng sóng (WavePLAM). Sáng kiến này của ngành công nghiệp Châu Âu giải quyết các rào cản phi kỹ thuật đối với năng lượng sóng.

#### a) Năng lượng sóng

Công nghệ năng lượng sóng bắt đầu được phát triển sau cuộc khủng hoảng dầu đầu tiên vào năm 1974. Nhiều dạng chuyển đổi khác nhau đã và vẫn tiếp tục được đề xuất và thử nghiệm nhưng chúng đều đang ở giai đoạn tiền thương mại. Gần đây, chính phủ và các nhà phát triển đã bắt đầu sử dụng “Mức độ sẵn sàng công nghệ” để chỉ đạo việc phát triển có kế hoạch các thiết bị năng lượng đại dương. Thông thường các thiết bị được thử nghiệm ở quy mô nhỏ trong các cơ sở thí nghiệm (quy mô 1:15 đến 1:50) trước khi thử nghiệm nguyên mẫu lần đầu tiên trên biển (quy mô 1:4 đến 1:10). Thử nghiệm tiền thương mại có thể có kích cỡ bằng một nửa hoặc bằng kích cỡ thực. Hiện nay, mới chỉ có một số ít thiết bị được lắp đặt và thử nghiệm ở kích cỡ thực. Thử nghiệm tiền thương mại các môđun riêng lẻ và các cụm nhỏ bắt đầu được tiến hành trong những năm gần đây và dự kiến sẽ được đẩy mạnh trong thập kỷ này. Do mới ở giai đoạn phát triển, chi phí cho năng lượng sóng tương đối cao, nhưng có khả năng chi phí sẽ giảm đáng kể. Các chương trình như chương trình Gia tốc năng lượng đại dương và các khuyến khích cho thị trường thí điểm nhằm thúc đẩy việc giảm chi phí để các công nghệ năng lượng sóng có thể cạnh tranh thương mại trong tương lai.

Một thiết bị cột nước dao động ở bờ biển đã hoạt động ở Bồ Đào Nha từ năm 1999 và một thiết bị tương tự (thiết bị LIMPET của Voith Hydro Wavegen) đã hoạt động gần như liên tục trên đảo Islay ở Scotland từ năm 2000. Hai thiết bị cột nước dao động ngoài khơi đã

được thử nghiệm ở quy mô nguyên mẫu ở Ôxtraylia (Energetech/Ocealinx) từ năm 2006 và Ireland (OE Buoy). Một thiết bị cột nước dao động đã hoạt động ngoài khơi bờ biển phía Nam Ấn Độ từ năm 1990 đến 2005.

Thiết bị dao động toàn bộ được phát triển hoàn thiện nhất là bộ suy giảm năng lượng sóng Pelamis 750 kW, đã được thử nghiệm ở Scotland và triển khai ở Bồ Đào Nha. Các thiết bị của Bồ Đào Nha đã được bán như một phần của dự án trình diễn thương mại. Công nghệ dao động toàn bộ cận thương mại là PowerBuoy của Hãng Công nghệ năng lượng đại dương, một thiết bị trục thẳng đứng nhỏ (40 đến 250 kW) đã được triển khai tại Hawaii, New Jersey và bờ biển phía Bắc Tây Ban Nha. Các thiết bị dao động toàn bộ khác vẫn đang được phát triển bao gồm thiết bị Wavebob của Ireland, thiết bị WET-NZ và bộ chuyển đổi áp suất cao của Brazil.

Hai thiết bị tràn đỉnh của Đan Mạch được xây dựng với quy mô nguyên mẫu và triển khai trên biển (Wave Dragon và Wave Plane). Hai thiết bị tràn đã được thử nghiệm: Aquamarine Power được triển khai nguyên cỡ đầu tiên tại EMEC vào tháng 11/2009 và AW Energy (Phần Lan) triển khai thiết bị tràn Waveroller ngoài khơi bờ biển Bồ Đào Nha.

#### b) Năng lượng thủy triều

Hiện nay, chỉ có các trạm năng lượng thủy triều được lắp đặt ở cửa sông đang hoạt động. Các trạm này dựa vào một đập nước ngang cửa sông và được trang bị các thiết bị phát điện. Mặc dù bản thân công nghệ đã hoàn chỉnh, nhà máy năng lượng thủy triều quy mô thực tế duy nhất trên thế giới là nhà máy năng lượng La Rance 240 MW, đã hoạt động thành công kể từ năm 1966. Các dự án nhỏ khác đã được đưa vào sau đó ở Trung Quốc, Canada và Nga. Đập Sihwa 254 MW được đưa vào hoạt động năm 2011 và sẽ trở thành trạm năng lượng thủy triều lớn nhất thế giới. Trạm năng lượng Sihwa được bổ sung thêm một đê biển dài 12,7 km xây dựng năm 1994. Dự án này sẽ sản xuất điện trong khi đồng thời làm sạch bồn chứa để cải thiện chất lượng nước.

Đến cuối năm 2011, công suất lắp đặt năng lượng dòng thủy triều của thế giới vẫn thấp hơn 600 MW. Tuy nhiên, nhiều dự án đã được xác định, trong đó một số có khả năng rất cao, bao gồm cả ở Anh (Severn Estuary), Ấn Độ, Hàn Quốc và Nga (Biển Trắng và Biển Okhotsk). Tổng công suất lắp đặt đang được xem xét vào khoảng 43.7 GW, hoặc 64,05 TWh/năm (233 PJ/năm).

#### c) Năng lượng dòng thủy triều và dòng chảy đại dương

Có khoảng hơn 50 thiết bị dòng thủy triều ở giai đoạn chứng minh khái niệm hay phát triển nguyên mẫu, nhưng các chi phí cho triển khai quy mô lớn vẫn chưa được chứng minh. Ví dụ, thiết bị tiên tiến nhất là tuabin thủy triều SeaGen16 công suất 1.2 MW, được lắp đặt tại Stranford Lough, Bắc Ireland đã cung cấp điện vào lưới điện trong hơn 1 năm. Một công ty của Ireland, Open Hydro, đã thử nghiệm tuabin vòng mở tại EMEC ở Scotland, và gần đây hơn là ở vịnh Fundy, Canada. Một số thiết bị cũng đã được thử nghiệm tại Trung Quốc.

Hai công ty đã trình diễn tuabin trục ngang kích thước thực tế là Hammerfest Strom ở Na Uy và Atlantis Resources Corporation ở Scotland, trong khi Ponte di Archimede trình diễn tuabin trục dọc ở eo biển Messina (Italy). Hãng Pulse Tidal trình diễn thiết bị chuyển



động qua lại ở ngoài khơi Humber Estuary, Anh năm 2009.

Các nguồn năng lượng dòng thủy triều không phải là phổ biến, với các địa điểm có tiềm năng hiệu quả về kinh tế nằm ở các vị trí nơi vận tốc dòng thủy triều được gia tốc xung quanh các mũi biển hay qua các kênh giữa các đảo. Những địa điểm tiềm năng được xác định ở Châu Âu (đặc biệt là Scotland, Ireland, Anh và Pháp), Trung Quốc, Hàn Quốc, Canada, Nhật Bản, Philippines, Ôxtrâyli và Nam Mỹ. Một số các dự án phát triển sẽ bắt đầu trong thập niên này: thử nghiệm và mở rộng trong những dự án này được dự tính sẽ giảm chi phí.

Dòng chảy đại dương mở, như Dòng Gulf, đang được nghiên cứu để phát triển. Vì chúng di chuyển chậm hơn và theo một chiều, việc khai thác các dòng mở có thể phải cần đến các công nghệ khác với những công nghệ hiện đang được phát triển cho các dòng thủy triều nhanh hơn, hạn chế hơn. Cho tới nay chưa có thiết bị thí điểm hay trình diễn nào được triển khai. Với quy mô của các dòng chảy đại dương mở, trong đó có liên quan đến khối lượng nước lớn hơn dòng thủy triều, quy mô dự án lớn sẽ có triển vọng nếu công nghệ có thể được phát triển để khai thác các dòng có vận tốc chậm hơn.

#### d) Năng lượng chênh lệch nhiệt độ nước biển

Hiện nay chỉ có một số ít các cơ sở thử nghiệm OTEC đã được triển khai trên toàn cầu. Một nhà thiết bị nguyên mẫu 'Mini-OTEC' đã được thử nghiệm ở Hoa Kỳ vào năm 1979. Thiết bị được lắp đặt trên một xà lan nổi và sử dụng một hệ thống theo chu trình khép kín dựa vào ammoniac với một tuabin dòng vào hướng tâm vận tốc 28.200 vòng/phút. Mặc dù nguyên mẫu này có công suất được đánh giá là 53 kW, các vấn đề về hiệu suất bơm làm giảm công suất của nó xuống còn 18 kW. Thiết bị OTEC dạng nổi thứ hai (OTEC-1) sử dụng cùng một hệ thống theo chu kỳ khép kín nhưng không có tuabin được lắp đặt vào năm 1980. Công suất được đánh giá là 1 MW và chủ yếu được sử dụng cho thử nghiệm và trình diễn, bao gồm các nghiên cứu về những vấn đề xảy ra với bộ trao đổi nhiệt và ống dẫn nước, trong 4 tháng vận hành vào năm 1981.

Vào năm 1982 và 1983 tại Cộng hòa Nauru, một thiết bị 120 kW sử dụng hệ thống chu kỳ khép kín dựa trên Freon và một đường ống nước lạnh ở độ sâu 580m đã vận hành trong vài tháng. Thiết bị được kết nối với lưới điện và sản xuất ra tối đa 31,5 kW điện.

Một thiết bị OTEC chu trình mở được xây dựng ở Hawaii vào năm 1992 và hoạt động từ 1993 đến 1998, sản xuất tối đa 103 kW và khử mặn 0,4 lit nước/s. Các vấn đề vận hành bao gồm sự nở khí nước biển trong buồng chân không, các vấn đề với máy bơm chân không, sản lượng không ổn định của tuabin phát điện và kết nối đến mạng lưới điện.

Năm 1984, Ấn Độ thiết kế hệ thống OTEC chu trình khép kín dựa trên ammoniac công suất 1 MW. Việc lắp đặt bắt đầu từ năm 2000 nhưng không thể hoàn thành do những khó khăn trong triển khai đường ống nước lạnh chạy dài. Một thử nghiệm kéo dài 10 ngày được tiến hành trên xà lan ngoài khơi Tuticorin vào năm 2005 và việc khử mặn sử dụng sự chênh lệch nhiệt đại dương đã được thực hiện ở độ sâu ít hơn.

Đầu những năm 2000, Nhật Bản đã thử nghiệm một số thiết bị năng lượng OTEC. Năm 2006, Viện Năng lượng đại dương tại Đại học Saga xây dựng một nguyên mẫu thiết bị

OTEC lai công suất 30 kW sử dụng lưu chất hoạt động là hỗn hợp nước/ammoniac và vẫn tiếp tục sản xuất điện.

Những phát triển OTEC quy mô lớn hơn có thể có những thị trường quan trọng ở các quốc gia biển nhiệt đới, bao gồm cả quần đảo Thái Bình Dương, quần đảo Caribe, Trung Mỹ và các quốc gia Châu Phi, nếu công nghệ phát triển đến mức trở thành một lựa chọn cung cấp năng lượng hiệu quả về chi phí.

#### e) Năng lượng chênh lệch độ mặn

Khai thác năng lượng từ sự chênh lệch độ mặn vẫn còn là một khái niệm đang được phát triển, với 2 dự án nghiên cứu/trình diễn đang được phát triển, sử dụng hai khái niệm công nghệ khác nhau. Sự phát triển song song của các công nghệ có liên quan, như khử mặn, dự kiến sẽ có lợi cho sự phát triển của các hệ thống năng lượng thẩm thấu.

Nghiên cứu năng lượng thẩm thấu đang được thực hiện ở Na Uy, với một nguyên mẫu được đưa vào hoạt động năm 2009 như một phần của nỗ lực để mang lại một thiết bị năng lượng thẩm thấu thương mại.

### 3.3. Triển vọng cải tiến, đổi mới và tích hợp công nghệ

Do là các công nghệ mới nổi, các thiết bị năng lượng đại dương có khả năng có những cải tiến công nghệ đáng kể. Không chỉ NC&PT và triển khai thiết bị đặc thù là việc rất quan trọng để đạt được những tiến bộ này, cải tiến công nghệ và đổi mới sáng tạo trong chuyên đổi năng lượng đại dương cũng có khả năng bị ảnh hưởng bởi những phát triển trong các lĩnh vực liên quan. Sự triển khai nhanh chóng các nhà máy điện gió ngoài khơi có thể dẫn đến khả năng các dự án sóng hay dòng thủy triều có thể sử dụng chung cơ sở hạ tầng với các dự án này. Tương tự như vậy, một số nhà máy chuyển đổi năng lượng sóng sử dụng để chắn sóng có thể được hưởng lợi từ các hiệu ứng đồng vận với công trình mới sử dụng cho những mục đích khác.

Để tích hợp năng lượng đại dương vào mạng lưới năng lượng rộng hơn cần nhận thức rõ rằng các nguồn năng lượng khác nhau có tính biến động cao. Ví dụ, việc sản xuất điện từ các dòng thủy triều cho thấy tính biến động rất cao sau mỗi 1-4 giờ, nhưng lại thay đổi rất ít theo hàng tháng hoặc phạm vi thời gian dài hơn. Khi so sánh, biến đổi theo giờ của năng lượng sóng có xu hướng thấp hơn so với năng lượng gió và thấp hơn rất nhiều lần so với năng lượng dòng thủy triều, trong khi thay đổi đáng kể theo mùa và qua các năm. Những mô hình khả dụng của nguồn này có ý nghĩa cho sự tích hợp quy mô lớn năng lượng đại dương vào mạng lưới điện và theo các điều kiện cần thiết cho truyền dẫn điện.

#### 3.3.1. Năng lượng sóng

Công nghệ năng lượng sóng vẫn chủ yếu đang ở giai đoạn đầu phát triển và tiền thương mại. Bất kỳ các dự báo đáng tin cậy nào cũng đều có mức độ không chắc chắn cao, do yêu cầu các giả định về các hệ thống tối ưu hóa chưa được chứng minh ở mức, hay vượt quá mức nguyên mẫu. “Thời gian dưới nước” là điều kiện quyết định đối với các thiết bị sóng thử nghiệm. Khả năng trụ được trong các điều kiện khắc nghiệt là mục tiêu phát triển công nghệ. Như đã xảy ra với máy phát điện tuabin gió, các thiết bị năng lượng sóng dự kiến sẽ phát triển đến quy mô thiết bị thực tế lớn nhất. Điều này sẽ giảm thiểu toàn bộ dịch vụ vận

hành và bảo trì, giảm chi phí lắp đặt và ngừng hoạt động và giảm bớt các yêu cầu về neo giữ.

Việc cắt giảm chi phí có thể phát sinh một phần từ việc tối đa hóa sản xuất năng lượng bằng bộ chuyển đổi năng lượng sóng riêng lẻ (thậm chí nếu được triển khai theo cụm) và từ thực tiễn sản xuất lắp đặt. Có thể cần đến các thiết bị thu hiệu quả và các hệ thống chuyển đổi hiệu quả, đáng tin cậy, cùng với cơ sở hạ tầng sản xuất và lắp đặt chuyên dụng.

### 3.3.2. Năng lượng thủy triều

Các dự án năng lượng thủy triều dựa vào công nghệ thủy điện được xây dựng và vận hành ở môi trường cửa sông. Về cơ bản có ba lĩnh vực vẫn có thể cải tiến công nghệ: sự phát triển của vũng thủy triều xa bờ có thể cho phép thực hiện các dự án hiệu quả về chi phí; nhiều lưu vực thủy triều có thể làm tăng giá trị của các dự án bằng cách giảm tính biến thiên và thậm chí còn cho phép sản xuất điện tải nền hay điện có thể truyền đi; và nâng cao hiệu suất của tuabin, đặc biệt là ở dòng hai chiều (bao gồm cả bơm), có thể làm giảm chi phí tổng thể việc truyền dẫn điện.

Các công nghệ có thể tiếp tục được cải tiến, ví dụ, với các bánh răng cho phép tuabin và máy phát điện có các tốc độ quay khác nhau hay với hệ biến tần, cho kết quả đầu ra tốt hơn. Các thiết bị điện có thể được lắp đặt ngay trong đê quai hoặc được lắp đặt trước trong các khối bê tông cốt sắt hoặc thép và thả nổi đến vị trí định sẵn.

### 3.3.3. Năng lượng dòng chảy đại dương và dòng thủy triều

Giống như công nghệ chuyển đổi năng lượng sóng, công nghệ thủy triều và dòng chảy đại dương đang ở giai đoạn đầu phát triển. Kinh nghiệm hoạt động trên phạm vi rộng của tuabin gió trục ngang có thể tạo lợi thế phát triển tuabin dòng chảy dọc trục, vì các nguyên tắc hoạt động tương tự như nhau. Các thiết kế dòng chảy trong tương lai có khả năng tăng diện tích quét (ví dụ, đường kính cánh quạt) đến kích thước máy thực lớn nhất để tăng công suất phát điện, giảm thiểu số lượng dịch vụ vận hành và bảo dưỡng định kỳ, giảm chi phí lắp đặt và ngừng hoạt động và giảm thiểu nhu cầu về cơ sở hạ tầng.

Tổng nguồn năng lượng thủy triều và dòng chảy đại dương có thể tăng lên, nếu vận tốc dòng ngưỡng thương mại có thể được giảm xuống. Việc tối ưu hóa thiết bị năng lượng thủy triều sẽ theo hướng tuabin ngày càng lớn trong chế độ dòng chảy thấp hơn. Một xu hướng tương tự cũng được nghiên cứu kỹ trong ngành công nghiệp năng lượng gió ở Hoa Kỳ nơi những phát triển công nghệ tuabin gió nhằm mục tiêu đến các địa điểm ít năng lượng hơn, tạo ra sự gia tăng gấp 20 lần nguồn lực sẵn có.

Giống với năng lượng sóng, hiệu suất và độ đảm bảo sẽ là ưu tiên hàng đầu cho các mạng năng lượng thủy triều và dòng chảy đại dương trong tương lai, do việc thương mại hóa và khả năng kinh tế sẽ phụ thuộc vào các hệ thống cần sự bảo dưỡng tối thiểu, do đó sản xuất năng lượng đảm bảo mà không tốn kém chi phí bảo dưỡng. Các vật liệu mới chống thoái biến do ăn mòn, xâm thực, hấp thụ nước và tác động của đá có thể giảm chi phí hoạt động.

### 3.3.4. Năng lượng chênh lệch nhiệt độ nước biển

OTEC cũng đang trong giai đoạn đầu phát triển. Hệ thống trao đổi nhiệt là một trong

những yếu tố chính của thiết bị điện chuyển đổi năng lượng nhiệt đại dương chu trình khép kín. Thiết bị bay hơi và ngưng tụ phải chuyển đổi hiệu quả các lưu chất hoạt động từ pha lỏng sang pha khí và trở lại pha lỏng với sự chênh lệch nhiệt độ thấp. Hiệu quả chuyển đổi nhiệt phụ thuộc nhiều vào bộ trao đổi nhiệt, có thể gây ra thất thoát nhiệt đáng kể trong quá trình sản xuất điện và làm giảm khả năng kinh tế của hệ thống. Thiết bị bay hơi và ngưng tụ chiếm 20-40% tổng chi phí thiết bị, vì vậy hầu hết các nỗ lực nghiên cứu đều hướng tới cải tiến hiệu suất bộ trao đổi nhiệt. Một yếu tố quan trọng thứ hai của thiết bị OTEC là các ống dẫn có đường kính lớn vận chuyển nước lạnh ở độ sâu lên trên bề mặt. Kinh nghiệm thu được trong thập kỷ trước với các ống dẫn đường kính lớn cho sản xuất dầu và khí ngoài khơi có thể được chuyển sang thiết kế ống dẫn nước lạnh.

Một số lựa chọn có sẵn cho lưu chất hoạt động chu trình kín, trong đó phải đun nóng nước bề mặt đại dương ở nhiệt độ thấp và ngưng tụ nước biển sâu ở nhiệt độ thấp hơn. Ba ứng viên chính là ammoniac, prôban và một chất làm lạnh thương mại R-12/31.

### 3.3.5. Năng lượng chênh lệch độ mặn

Thiết bị điện thăm thâu thử nghiệm đầu tiên đi vào hoạt động vào tháng 10 năm 2009 tại Tofte, gần Oslo, Đông Nam Na Uy. Địa điểm này có thể tiếp cận nước biển và nước ngọt từ một hồ gần đó.

Mục tiêu chính của các thiết bị thử nghiệm là để xác nhận hệ thống thiết kế có thể sản xuất năng lượng 24 giờ mỗi ngày. Những hoạt động này tập trung vào các mô đun màng, thiết bị trao đổi áp lực và phát điện (ví dụ, tuabin và máy phát điện). Việc phát triển hơn nữa các hệ thống điều khiển, thiết bị tiền xử lý nước và các ống thoát nước và dẫn nước vào là cần thiết.

Các nhà phát triển hệ thống RED của Hà Lan đã xác định được đường đắp cao Afsluitdijk ở Hà Lan, phân cách nước mặn của biển Bắc với nước lợ của hồ IJsselmeer, là một địa điểm tiềm năng cho một trạm điện công suất 200 MW. NC&PT tiếp tục sẽ tập trung vào lựa chọn vật liệu để tăng hiệu quả của màng và làm sạch dòng nước.

### 3.4. Xu hướng giá

Hiện tại, các thị trường thương mại vẫn chưa thúc đẩy phát triển công nghệ năng lượng đại dương. Tài trợ của chính phủ cho NC&PT và các ưu đãi chính sách quốc gia là những động lực chính cho hầu hết các phát triển và triển khai công nghệ. Chi phí cho hầu hết các công nghệ năng lượng đại dương rất khó đánh giá, bởi có quá ít kinh nghiệm sản xuất và triển khai có sẵn để xác nhận các giả định chi phí. Bảng 3.3 trình bày một số yếu tố chi phí đầu tiên ảnh hưởng đến giá điện bình quân quy dẫn (levelized cost of electricity - LCOE) được cung cấp bởi mỗi phân nhóm công nghệ năng lượng đại dương.

Bảng 3.3. Tóm tắt các chi phí cốt lõi sẵn có và các thông số hiệu suất của tất cả các phân nhóm công nghệ năng lượng đại dương.

Công nghệ năng lượng đại dương	Chi phí đầu tư (USD2005/kW) <sup>i</sup>	Chi phí vận hành và bảo trì hàng năm (USD-	Yếu tố công suất (CF) <sup>ii</sup> %	Tuổi thọ thiết kế <sup>iii</sup> (năm)
--------------------------------	--	--	---------------------------------------	--

		2005/kW)		
Năng lượng sóng	6.200-16.100	180	25-40	20
Năng lượng đập thủy triều	4.500-5.000	100	22.5-28.5	40
Năng lượng dòng thủy triều	5.400-14.300	140	26-40	20
Năng lượng dòng chảy đại dương	N/A	N/A	N/A	20
Năng lượng chênh lệch nhiệt độ nước biển	4.200-12.300	N/A	N/A	20
Năng lượng chênh lệch độ mặn	N/A	N/A	N/A	20

Ghi chú:

Giá của các công nghệ năng lượng đại dương tính theo giá đô la năm 2005

Công suất ước tính dựa trên các đặc điểm công nghệ và nguồn, không dựa trên kinh nghiệm thực tế

Ước tính tuổi thọ thiết kế dựa trên kiến thức của chuyên gia. Giả định tiêu chuẩn đặt ra tuổi thọ thiết kế của một thiết bị năng lượng đại dương là 20 năm

Nguồn: Lewis, A., S. Estefen, (2011)

Trong hầu hết các trường hợp, những thông số chi phí và hiệu suất trên đều dựa trên thông tin rời rạc do thiếu dữ liệu tham khảo đánh giá cùng dạng và kinh nghiệm hoạt động thực tế và do đó nhiều trường hợp phản ánh các chi phí ước tính và hiệu suất giả định dựa trên trình độ kỹ thuật. Hiện nay, chi phí đầu tư mới chỉ được thấy trong một vài trường hợp nhưng vẫn dựa trên những dự án và nghiên cứu mẫu quy mô nhỏ, có thể không đại diện được cho toàn bộ ngành công nghiệp này. Tuy nhiên, những bộ thông số này có thể được sử dụng để đánh giá giá trị tổng thể giá bình quân quy dẫn được công bố trong các tài liệu không có đánh giá cùng dạng và - ở một phạm vi nào đó - giá trị và khả năng của các giả định cơ sở.

#### 3.4.1. Năng lượng sóng và dòng thủy triều

Một số nghiên cứu đã ước tính chi phí cho thiết bị năng lượng sóng và dòng thủy triều bằng cách ngoại suy từ dữ liệu chi phí nguyên mẫu sẵn có.

Các thiết bị sóng và dòng thủy triều đều đang ở giai đoạn đầu phát triển. Chi phí đầu tư có khả năng giảm so với chi phí cho các công nghệ năng lượng tái tạo khác như năng lượng gió. Điều này chỉ có thể được chứng minh bằng phép ngoại suy từ một số dữ liệu hạn chế,

do kinh nghiệm hoạt động thực tế hạn chế. Ước tính chi phí đầu tư hiện nay đều bắt nguồn từ các nguyên mẫu đơn lẻ với chi phí có thể sẽ cao hơn so với các phiên bản thương mại hoàn chỉnh hơn trong tương lai. Một số dữ liệu chi phí vận hành và bảo trì trong Bảng 3.2, cho cả năng lượng sóng và dòng thủy triều, nhưng phải thừa nhận rằng những dữ liệu này đã được ngoại suy từ một số lượng dữ liệu hoạt động thực tế hạn chế. Một trong số ít những nghiên cứu cung cấp phân tích về các chi phí tương lai của Viện Nghiên cứu năng lượng điện Hoa Kỳ (EPRI) đã kiểm tra chi phí của các dự án quy mô thương mại về mặt lý thuyết, sử dụng bộ chuyển đổi năng lượng sóng Pelamis ngoài khơi bờ biển California. Kích thước thiết bị tổng thể được giả định là 213 x 500 kW (106.5 MW). LCOE được tính toán dựa trên tuổi thọ thiết kế 20 năm và mức độ sẵn sàng là 96%. Tiềm năng kỹ thuật sản xuất năng lượng được giả định là tận dụng các lợi thế của những cải tiến NC&PT ngắn hạn vẫn chưa thực hiện nhưng được cho là có thể đạt được với chi phí đầu tư giả định hiện nay. Nghiên cứu kết luận rằng có thể đạt được LCOE 13,4cent/kWh (tính theo giá trị đô la năm 2005) dựa trên chi phí đầu tư 279 triệu USD2005 (2,620 USD2005/kW), hệ số chiết khấu là 7.5%, nhân tố năng suất là 38% và chi phí vận hành và bảo trì hàng năm là 13,1 triệu USD2005 (123 USD2005/kW/năm), với chi phí bổ sung giả định 28,1 triệu USD2005 (264 USD2005/kW) sau 10 năm.

Năm 2006, hãng Carbon Trust của Anh công bố kết quả của một cuộc khảo sát về chi phí hiện tại cho nguyên mẫu bộ chuyển đổi năng lượng sóng và thủy triều tiền thương mại trong đó đề cập đến nhiều dữ liệu chi phí đầu tư. Bộ chuyển đổi năng lượng sóng có chi phí đầu tư dao động từ 7.700 đến 16.100 USD2005/kW với trung điểm (midpoint) là 11.875 USD2005/kW. Tương tự như vậy, chi phí cho nguyên mẫu máy phát điện bằng năng lượng dòng thủy triều dao động từ 8.600 USD2005 đến 14.300/kW với trung điểm 11.400 USD 2005/kW. Một số thiết bị dòng thủy triều có thể có chi phí đầu tư lớn hơn. Nghiên cứu ước tính năng lượng từ các trang trại năng lượng sóng ban đầu của Anh có LCOE từ 21 đến 79 cent/kWh (US2005) trong khi các trang trại dòng thủy triều ban đầu ước tính LOCE từ 16 đến 32 cent/kWh (US2005). Các nghiên cứu của Carbon Trust không tính đến kinh tế học thang biểu, cải tiến NC&PT hay các tác động của tốc độ lĩnh hội.

Một nghiên cứu gần đây trong khuôn khổ Sáng kiến truyền năng lượng tái tạo California cho thấy năng lượng thủy triều (triển khai tại California) sẽ có giá 1 đến 3cent/kWh (US2005).

Những phân tích lý thuyết cho các thiết bị năng lượng sóng cung cấp các tiêu chuẩn hợp lý để chứng minh rằng các dự án năng lượng sóng ngắn hạn có thể có LCOE so sánh được với năng lượng gió trong những năm 1980.

Chi phí đầu tư cho công nghệ năng lượng sóng và dòng thủy triều theo trường hợp này giảm đến một phạm vi từ USD2005 2,600 đến 5,400/kW (trung bình: USD2005 4,000/kW), giả định triển khai trên toàn thế giới từ 2 đến 5 GW vào năm 2020. Lưu ý rằng mức độ triển khai có khả năng phụ thuộc nhiều vào các chính sách bền vững của Vương quốc Anh, Mỹ, Canada và các nước công nghệ đại dương khác.

Mặc dù chưa có nghiên cứu chi phí cuối cùng nào có sẵn cho các công nghệ năng lượng

dòng chảy đại dương, chi phí và kinh tế cho các công nghệ dòng chảy đại dương có thể có các tính chất tương tự như công nghệ dòng thủy triều.

#### 3.4.2. Năng lượng đập thủy triều

Đập thủy triều được coi là công nghệ năng lượng đại dương hoàn chỉnh nhất, do có một số ví dụ về hoạt động của thiết bị được duy trì liên tục, mặc dù dữ liệu về chi phí có rất ít. Các dự án đập thủy triều thường đòi hỏi đầu tư vốn rất cao, với thời gian xây dựng tương đối dài. Xây dựng dân dụng trong môi trường biển - với cơ sở hạ tầng riêng để chống lại các điều kiện biển khắc nghiệt - rất phức tạp và tốn kém. Do đó, chi phí đầu tư liên quan đến công nghệ dòng thủy triều rất cao so với các nguồn năng lượng khác. Các kỹ thuật đổi mới, bao gồm xây dựng các nhà máy dân sự lớn dạng trên bờ và dạng nổi, dự kiến sẽ làm giảm đáng kể rủi ro và chi phí. Cho đến nay, các dự án đập thủy triều đã có quy mô lớn hơn so với các dự án năng lượng đại dương khác, do giảm chi phí đơn vị sản xuất điện.

Chi phí xây dựng đập thủy triều được ước tính vào khoảng từ 4.500 đến 5.000 USD<sub>2005</sub>/kW với chi phí vận hành và bảo trì khoảng 100 USD<sub>2005</sub>/kW/năm. Tuổi thọ thiết kế của dự án năng lượng dòng thủy triều dự kiến sẽ vượt quá 20 năm và có thể được so sánh với các nhà máy thủy điện, có thể đạt đến thời gian hoạt động kinh tế từ 40 đến 100 năm hoặc nhiều hơn.

#### 3.4.3. Năng lượng chênh lệch nhiệt độ nước biển

Công nghệ OTEC chưa có nhiều kinh nghiệm thực địa, do đó rất khó để dự toán chi phí và xu hướng tương lai. Chi phí đầu tư cho các dự án đơn lẻ cao do việc phát triển công nghệ chậm chạp. Dự toán chi phí được thể hiện trong Bảng 3.4 cho thấy rõ những gì đã được ghi nhận trong các tài liệu cho đến nay. Điều này không có nghĩa là các công nghệ OTEC đã đạt được sự trưởng thành đáng kể. Các số liệu trình bày chưa được tính theo giá USD năm 2005, vì vậy các giá trị trong bảng sử dụng giá đôla của năm khác và bao gồm một loạt các công nghệ và địa điểm khác nhau.

Chi phí mới nhất có được đối với OTEC là từ Lockheed-Martin, ước tính chi phí đầu tư là 32.500 USD/kW cho một nhà máy thí điểm 10 MW, giảm xuống còn khoảng 10.000 USD/kW cho một nhà máy thương mại 100 MW.

Những tiến bộ về vật liệu mới và các kỹ thuật xây dựng trong những lĩnh vực khác trong những năm gần đây có thể cải thiện tính kinh tế và tính khả thi kỹ thuật của OTEC.

Bảng 3.4. Chi phí đầu tư và LCOE cho các dự án thí điểm OTEC và giai đoạn khái niệm

Nguồn dữ liệu	Đầu tư (USD <sub>2005</sub> /kW)	LCOE (USD <sub>2005</sub> /kW)		
Vega (2002)	12.300	22	Chu trình khép kín 100 MW, cách bờ 400 km	
SERI (1989)	12.200	—	Nhà máy công suất 40 MW đặt tại Kahe Point, Oahu	
Cohen (2009)	8.000	-	16 - 20	Nhà máy thương mại đầu công suất

	0.000		100 MW
Francis (1985)	5.000 1.000	- —	—
Lennard (2004)	9.400	18 [11]	Chu trình khép kín 10 MW; LCOE trong ngoặc
SERI (1989)	7.200	—	Chu trình mở, trên bờ
Vega (2002)	6.000	10	Chu trình khép kín 100 MW, cách bờ 100 km
Vega (2002)	4.200	7	Chu trình khép kín 100 MW, cách bờ 10 km
Plocek et al. (2009)	8.000	15	Ước tính nhà máy thương mại dạng nổi công suất 75MW ngoài khơi Puerto Rico

Lưu ý: Chi phí đầu tư và LCOE chưa được chuyển đổi sang tỷ giá đô la 2005.

Nguồn: Lewis, A., S. Estefen, (2011)

#### 3.4.4. Nguồn năng lượng từ sự chênh lệch độ mặn

Công nghệ khai thác năng lượng đại dương dựa trên chênh lệch độ mặn vẫn trong giai đoạn đầu và chi phí hiện tại chưa có sẵn. Statkraft ước tính LCOE năng lượng chênh lệch độ mặn trong tương lai có thể rơi vào cùng khoảng với các công nghệ tái tạo hoàn chỉnh hơn khác, như gió, dựa trên mức độ phát triển thủy điện, kỹ thuật khử muối nói chung và công nghệ màng lọc đặc biệt hiện nay. Tuy nhiên, việc đạt được chi phí cạnh tranh sẽ phụ thuộc vào sự phát triển của màng lọc quy mô lớn, chi phí thấp và chắc chắn. Statkraft ước tính chi phí đầu tư sẽ cao hơn nhiều so với các công nghệ năng lượng tái tạo khác, nhưng các yếu tố công suất có thể rất cao, với 8.000 giờ hoạt động hàng năm.

#### 3.5. Tiềm năng phát triển năng lượng đại dương

Về dài hạn, năng lượng đại dương có thể mang đến khả năng giảm lượng khí thải cacbon nhưng về ngắn hạn, nguồn năng lượng này không có khả năng đóng góp đáng kể trước năm 2020 do sự phát triển vẫn còn trong giai đoạn đầu. Năm 2009, năng lượng đại dương bổ sung dưới 10MW trên toàn thế giới (Renewable UK, 2010). Hiện nay, nguồn năng lượng này đạt khoảng 300MW (REN21, 2010).

##### 3.5.1. Các kịch bản năng lượng đại dương

Cho đến khoảng năm 2008, năng lượng đại dương không được xem xét trong bất kỳ mô hình kịch bản năng lượng quan trọng nào trên toàn thế giới. Do đó, tác động tiềm năng của nó đến nguồn cung năng lượng thế giới trong tương lai và giảm nhẹ biến đổi khí hậu mới chỉ bắt đầu được nghiên cứu. Kết quả của các tài liệu kịch bản liên quan đến năng lượng đại dương được công bố không tập trung và sơ bộ, phản ánh một phạm vi rộng các hiệu suất năng lượng có thể đạt được.

Cụ thể, các kịch bản triển khai năng lượng đại dương được xét chỉ nằm trong 3 nguồn chính như sau: Cách mạng năng lượng (E[R]) (Teske et al., 2010), Triển vọng năng lượng



thế giới của IEA (WEO) (IEA, 2009), và Viễn cảnh công nghệ năng lượng của IEA (ETP) (IEA, 2010). Nhiều kịch bản đã được xem xét trong các báo cáo E[R] và ETP và một kịch bản tham khảo duy nhất được ghi lại trong báo cáo WEO. Lưu ý rằng, kịch bản tham khảo E[R] dựa trên trường hợp tham khảo WEO 2009 và do đó mức độ triển khai đến năm 2030 là rất gần (Teske et al., 2010). Các đặc điểm chính của các kịch bản được xem xét, bao gồm các cấp độ triển khai năng lượng đại dương được tóm tắt trong Bảng 3.5.

Bảng 3.5. Đặc điểm chính của các kịch bản trung dài-hạn từ các nghiên cứu năng lượng đại dương được công bố

	Công suất TWh/yr (PJ/yr)				G W	
	2010	2020	2030	2050		
Kịch bản	2010	2020	2030	2050	20 50	Lưu ý
Cách mạng năng lượng - Tham khảo	N/A	3 (10, 8)	11 (36, 6)	25 (90 )	N/A	Chính sách không thay đổi
Cách mạng năng lượng	N/A	53 (19 1)	128 (46 1)	678 (2.4 40)	30 3	Giảm khoảng 50% cacbon
Cách mạng năng lượng - tiên tiến	N/A	119 (42 8)	420 (1.5 12)	194 3 (6.9 94)	74 8	Giảm khoảng 80% cacbon
WEO 2009	N/A	3 (10, 8)	13 (46, 8)	N/A	N/A	Cơ sở cho trường hợp tham khảo E[R]
Lộ trình ETP BLUE 2050	N/A	N/A	N/A	133 (47 9)	N/A	Khu vực năng lượng hầu như khử cacbon
Lộ trình ETP BLUE CCS 2050	N/A	N/A	N/A	274 (98 6)	N/A	Biến thể của Lộ trình BLUE - Không thể thu và lưu trữ cacbon
Lộ trình ETP BLUE hi NUC 2050	N/A	N/A	N/A	99 (35 6)	N/A	Biến thể của Lộ trình BLUE - Năng lượng hạt nhân tăng lên 2.000GW
Lộ trình ETP BLUE hi REN 2050	N/A	N/A	N/A	552 (1.987 )	N/A	Biến thể của Lộ trình BLUE – Năng lượng tái tạo tăng lên 75%
Lộ trình ETP BLUE 3%	N/A			401 (1.444	N/A	Biến thể của Lộ trình BLUE - Tỷ lệ chiết khấu

				)		được thiết lập để 3% đối với các dự án sản xuất năng lượng.
--	--	--	--	---	--	---

Nguồn: Lewis, A., S. Estefen, (2011)

Các phân tích trong các kịch bản năng lượng đại dương trên rất sơ bộ. Trong hầu hết các trường hợp, đầu vào không được xác nhận đầy đủ và có thể không thể hiện được các đặc điểm đa dạng của nhiều công nghệ năng lượng đại dương. Trong hầu hết các kịch bản, tất cả các công nghệ năng lượng đại dương đều được gộp chung thành một. Cách tiếp cận này được lựa chọn do sự thuận tiện và do dữ liệu liên quan (ví dụ, các đánh giá chi tiết nguồn tài nguyên trên toàn cầu) đều bị giới hạn. Rất nhiều công nghệ vẫn còn trong giai đoạn đầu phát triển và không có các ước tính đầy đủ cho chi phí đầu tư cũng như chi phí vận hành và bảo trì và các yếu tố năng lực, hay thậm chí tiềm năng kỹ thuật hiện tại và tương lai. Việc phân nhóm công nghệ thành các nhóm phụ trong các nghiên cứu kịch bản tương lai có thể mang lại cái nhìn sâu sắc hơn về vai trò của năng lượng đại dương, nhưng làm như vậy sẽ đòi hỏi mức độ chính xác của dữ liệu hiện chưa có đối với các công nghệ năng lượng đại dương.

Mặc dù các kịch bản nêu trên còn những hạn chế nhưng chúng vẫn cung cấp những phân tích hàng đầu về khả năng triển khai công nghệ năng lượng đại dương, từ đó có thể xây dựng bản phân tích chi tiết hơn. Cụ thể, các kịch bản này chỉ ra một loạt các khả năng triển khai năng lượng đại dương từ cơ sở kịch bản IEA WEO 2009 đến kịch bản E[R] cải tiến tích cực nhất, trong đó giả định giảm phát thải khí CO<sub>2</sub> đến 80% vào năm 2050.

### 3.5.2. Dự báo ngắn hạn

Hầu hết việc triển khai năng lượng đại dương về ngắn hạn có thể sẽ là định hướng chính sách ở những quốc gia có các chương trình nghiên cứu do chính phủ tài trợ và các ưu tiên chính sách đã được thực hiện để thúc đẩy năng lượng đại dương. Trong những trường hợp đó, dự báo về ngắn hạn cho triển khai năng lượng đại dương có thể liên quan đến bất kỳ mục tiêu quốc gia cụ thể đã được thiết lập cho triển khai năng lượng đại dương. Trên thực tế, một số quốc gia đã đề xuất các mục tiêu triển khai không bị ràng buộc và thời hạn để đạt được công suất năng lượng đại dương theo quy định. Trong khi chính phủ Anh đặt mục tiêu 2 GW vào năm 2020 (Mueller và Jeffrey, 2008), Canada, Hoa Kỳ, Bồ Đào Nha và Ireland đang nghiên cứu các mục tiêu triển khai với thời gian biểu tương tự. Tuy nhiên, phần lớn các quốc gia có nguồn đại dương lớn đều chưa định lượng được tiềm năng đại dương của họ cũng như chưa thiết lập được các mục tiêu triển khai trên toàn quốc gia. Và ở những quốc gia đã thiết lập mục tiêu năng lượng đại dương, những mục tiêu này hiếm khi là bắt buộc.

Không tính đến các động cơ triển khai trong ngắn hạn, các dự báo năng lượng đại dương ngắn hạn trong các kịch bản được tóm tắt trong bảng 3.4 nói chúng không dự báo sự đóng góp đáng kể cho giảm thiểu cacbon về ngắn hạn. Từ các kịch bản được trình bày trong Bảng 3.4, việc khai thác năng lượng đại dương trong ngắn hạn (2020) dao động từ 3 đến 119 TWh/năm (10,8 đến 428 PJ/năm), với mức cao nhất nằm trong kịch bản E[R] tiên tiến.

Khoảng dao động rộng như vậy phản ánh mức độ không chắc chắn cao thể hiện trong các giả định kịch bản, cũng như các khung phân tích khác nhau do kịch bản tham khảo được dự định là kịch bản kinh doanh bình thường trong đó các chính sách mới không được ban hành, trong khi kịch bản E[R] tiên tiến nhiều tham vọng tìm cách giảm đáng kể lượng khí thải cacbon.

### 3.5.3. Triển khai dài hạn trong bối cảnh giảm thiểu cacbon

Khả năng để nguồn cung năng lượng đại dương góp phần giảm nhẹ biến đổi khí hậu dự kiến sẽ tăng lên đáng kể trong thời gian dài hơn. Đến năm 2050, các kịch bản triển khai trong Bảng 3.4, dao động từ kịch bản E[R] tham khảo chỉ 25TWh/năm (90 PJ/năm) đến kịch bản E[R] tiên tiến 1.943 TWh/năm (6,994 PJ/năm). Do công nghệ năng lượng đại dương hiện mới ở giai đoạn đầu phát triển, các triển khai hiện tại vẫn rất hạn chế. Triển khai quan trọng không được dự báo cho đến sau năm 2030, mặc dù triển khai thương mại được dự kiến sẽ tiếp tục vượt quá năm 2050.

Để đạt được những cấp độ triển khai cao hơn trong dài hạn, một loạt các thách thức có thể phải đối mặt khi phát triển năng lượng đại dương cần được thảo luận. Cụ thể là:

- Tiềm năng tài nguyên: Các đánh giá tiềm năng tài nguyên cho năng lượng đại dương vẫn đang trong giai đoạn đầu. Tuy nhiên, ngay cả những ước tính cao nhất cho nguồn cung năng lượng đại dương (7 EJ/năm) dài hạn (2050) được trình bày ở trên vẫn nằm trong khả năng lý thuyết và kỹ thuật cho nguồn tài nguyên này cho thấy rằng – ít nhất trên cơ sở toàn cầu - tiềm năng kỹ thuật không thể là một yếu tố hạn chế để triển khai năng lượng đại dương. Như đã trình bày, OTEC có thể có tiềm năng kỹ thuật cao nhất trong các lựa chọn năng lượng đại dương sẵn có, nhưng thậm chí ngoài OTEC ra, tiềm năng kỹ thuật cho năng lượng đại dương được thấy vượt hơn 7 EJ/năm. Hơn nữa, mặc dù các tài liệu nghiên cứu vẫn hạn chế, tác động của biến đổi khí hậu đến tiềm năng kỹ thuật của năng lượng đại dương được dự đoán sẽ rất ít. Ngoài ra, những hạn chế nhất định của từng khu vực đối với nguồn cung là có thể. Các địa điểm năng lượng sóng phân tán toàn cầu trên tất cả các vùng ven biển, nhưng mức độ khả dụng của các địa điểm vĩ độ giữa (30o-60o) với các mức độ biến đổi theo mùa thấp hơn, đủ năng lượng sóng tới và gần các trung tâm phụ tải có thể trở thành một rào cản ở một số vùng trong các kịch bản thâm nhập cao hoặc ở những vùng đông dân cư với mục đích sử dụng cạnh tranh. Tương tự, mức độ khả dụng địa điểm hạn chế có thể ngăn việc triển khai rộng rãi các nhà máy năng lượng thủy triều, năng lượng dòng thủy triều và năng lượng dòng chảy đại dương ngoài những khu vực nhất định, trong khi các cơ hội OTEC và chênh lệch độ mặn không được phân bố đồng đều trên toàn cầu.

- Triển khai theo khu vực: Triển khai ở mức độ tham vọng cao hơn như trong Bảng 3.4 là khả thi hay không sẽ phụ thuộc một phần vào vị trí nguồn năng lượng đại dương có tương quan với các khu vực đòi hỏi dịch vụ năng lượng đại dương hay không. Công nghệ năng lượng sóng và thủy triều vẫn đang được phát triển ở các quốc gia giáp với Bắc Đại Tây Dương và Bắc Thái Bình Dương, cũng như Ôxtraylia, nơi các chương trình được chính phủ tài trợ hậu thuẫn và ủng hộ cho nghiên cứu và triển khai, với các ưu tiên chính sách nhằm thúc đẩy các dự án giai đoạn đầu. Các dự án OTEC có khả năng được phát triển ngoài

khơi các đảo và các quốc gia nhiệt đới. Các dự án năng lượng dòng thủy triều, dòng chảy đại dương và chênh lệch độ mặn có khả năng bị giới hạn ở những địa điểm cụ thể có chất lượng nguồn cung mạnh mẽ. Những địa điểm này có thể sẽ nhiều hơn và phổ biến rộng rãi khi hiệu quả của các công nghệ được hoàn thiện. Nhìn chung, trong khi tiềm năng kỹ thuật được dự kiến sẽ không trở thành một rào cản toàn cầu chính cho triển khai năng lượng đại dương, các đặc điểm tài nguyên sẽ đòi hỏi cộng đồng địa phương trong tương lai phải lựa chọn giữa những công nghệ đại dương có sẵn để phù hợp với điều kiện tài nguyên của khu vực.

- Các vấn đề về chuỗi cung ứng: Công nghệ sản xuất năng lượng đại dương dựa vào sóng, dòng thủy triều và một số công nghệ năng lượng đại dương khác cần có cơ sở hạ tầng vận hành và bảo trì phức tạp ở quy mô thích đáng để hiệu quả về chi phí. Các công nghệ khác nhau đòi hỏi các hỗ trợ khác nhau do sự khác biệt trong phương pháp xây dựng và khai thác. Cho đến khi một số lượng lớn công nghệ năng lượng đại dương được triển khai, sự thiếu hụt cơ sở hạ tầng đầy đủ có thể là một rào cản đáng kể cho sự tăng trưởng của ngành công nghiệp này. Một số lợi ích có thể thu được từ phát triển năng lượng gió ngoài khơi, có thể đóng góp cho nhu cầu về cơ sở hạ tầng (bể chứa, phao neo và đường dây cáp) trước khi có những triển khai năng lượng đại dương quan trọng.

- Công nghệ và kinh tế: Tất cả các công nghệ năng lượng đại dương, ngoại trừ đập thủy triều, đều ở giai đoạn khái niệm, đang trong quá trình nghiên cứu và phát triển, hoặc là mẫu thử nghiệm tiền thương mại và đang trong giai đoạn kiểm chứng. Hiệu suất kỹ thuật của các công nghệ năng lượng đại dương được dự đoán sẽ được cải thiện dần theo thời gian khi có kinh nghiệm và các công nghệ mới có thể khai thác được các nguồn tài nguyên có tiềm năng kém hơn. Tiến bộ kỹ thuật có thể làm giảm chi phí vốn, nâng cao hiệu quả, giảm yêu cầu về vận hành, bảo trì và tăng cường các yếu tố năng lực, cho phép tiếp cận đến các vị trí xa hơn và cung cấp các phương pháp cải tiến cho khai thác các nguồn có tiềm năng kém hơn. Đồng thời với những cải tiến kỹ thuật, giá điện bình quân quy dẫn (LCOE) đối với công nghệ năng lượng đại dương sẽ giảm theo. Các tiến bộ kỹ thuật có dẫn đến việc cắt giảm đủ chi phí liên quan để cho phép triển khai trên quy mô lớn năng lượng đại dương hay không là điều không chắc chắn nhất trong việc đánh giá vai trò tương lai của năng lượng đại dương trong việc đáp ứng các mục tiêu triển khai dài hạn đầy tham vọng.

- Tích hợp và truyền dẫn: Cần nhận ra những đặc điểm rất khác nhau phát sinh từ các nguồn tài nguyên khác nhau khi tích hợp năng lượng đại dương vào mạng lưới năng lượng lớn hơn. Những mô hình tài nguyên sẵn có có các tác động đối với việc tích hợp quy mô lớn năng lượng đại dương vào mạng lưới điện và dựa trên các yêu cầu và việc sử dụng công suất truyền dẫn, bao gồm cả nhu cầu và giá trị của mạng truyền dẫn ngoài khơi. Quản lý hiệu quả tính biến động của một số nguồn năng lượng đại dương ở các cấp độ triển khai cao hơn có thể cần đến các giải pháp kỹ thuật và thể chế tương tự như các công nghệ gió và điện mặt trời, đặc biệt, khả năng dự báo, tính linh hoạt của toàn hệ thống tăng lên, tiêu chuẩn kết nối với lưới điện, tính linh hoạt của nhu cầu và tích trữ năng lượng số lượng lớn. Mặt khác, các công nghệ năng lượng đại dương khác có những đặc điểm có thể tương tự như máy

phát điện nền hoặc thậm chí một phần giống máy phát nhiệt phân tán, do đó không cần tích hợp hoạt động, mặc dù vẫn có thể cần đến cơ sở hạ tầng truyền dẫn mới.

- Tác động đối với xã hội và môi trường: Các tác động đối với xã hội và môi trường của các dự án năng lượng đại dương đang được đánh giá khi các triển khai thực tế đang tăng lên với cấp số nhân. Phân tích rủi ro và giảm nhẹ, sử dụng các đánh giá tác động đối với môi trường, sẽ là thành phần thiết yếu của việc triển khai sớm. Sự quan tâm đến các vấn đề môi trường và sinh thái cũng có khả năng ảnh hưởng đến các địa điểm triển khai năng lượng đại dương. Một cách tiếp cận cân bằng để lôi kéo sự tham gia của các cộng đồng ven biển sẽ cần thiết, trong khi duy trì trách nhiệm đối với việc sử dụng các vùng ven biển và hệ sinh thái đại dương. Một số dạng năng lượng đại dương có các tác động tốt đến môi trường có thể làm cho chúng hấp dẫn cho sự phát triển trong tương lai, nhưng giai đoạn đầu của việc triển khai năng lượng đại dương tạo ra sự không chắc chắn về mức độ mà các vấn đề xã hội và môi trường có thể hạn chế sự phát triển.

#### IV. NGHIÊN CỨU KHAI THÁC VÀ TIỀM NĂNG KHAI THÁC NĂNG LƯỢNG ĐẠI DƯƠNG TẠI VIỆT NAM

##### 4.1. Nghiên cứu khai thác năng lượng đại dương tại Việt Nam

Nghiên cứu, khai thác và sử dụng các dạng năng lượng tái tạo ở Việt Nam đã được triển khai từ hơn 30 năm trở lại đây. Năm 1979, Trung tâm Năng lượng mới và tái tạo đầu tiên được thành lập. Nhiều đề tài nghiên cứu đã được triển khai có kết quả ở nhiều địa phương mang lại các lợi ích thiết thực, đặc biệt là tại các vùng sâu, vùng xa, nơi mạng lưới điện quốc gia chưa được bao phủ. Tuy nhiên, các nguồn năng lượng tái tạo sử dụng cho sản xuất điện mới chỉ bao gồm năng lượng mặt trời, gió, thủy điện và năng lượng sinh học. Do đặc điểm phức tạp về chế tạo các thiết bị chuyên đổi năng lượng đại dương thành điện năng nên việc sử dụng nguồn năng lượng đại dương ở Việt Nam vẫn còn đang ở giai đoạn nghiên cứu đánh giá tiềm năng.

Một trong các kết quả nghiên cứu khoa học về sử dụng năng lượng sóng ở nước ta là đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ: “Nghiên cứu sử dụng năng lượng sóng biển làm nguồn chiếu sáng phao tín hiệu hoạt động ngoài khơi biển Việt Nam”. Đề tài được thực hiện trong năm 2000, 2001 do Bộ Giao thông Vận tải là cơ quan chủ quản và Viện Khoa học Công nghệ Giao thông Vận tải làm cơ quan chủ trì với sự hợp tác của Khoa Môi trường, Đại học Quốc gia Hà Nội và Cục Hàng hải Việt Nam. Kết quả của đề tài là đã chứng minh được khả năng sử dụng năng lượng sóng để tạo ra nguồn điện thấp sáng đèn trên phao tín hiệu và chế tạo thử nghiệm được một mô hình hệ thống thiết bị phát điện bằng năng lượng sóng biển.

Đề tài cấp Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam “Đánh giá tiềm năng năng lượng biển Việt Nam” do Viện Cơ học chủ trì đã được tiến hành trong các năm 2002-2003. Kết quả chính của đề tài là đã đưa ra được bức tranh tổng hợp của tiềm năng năng lượng thủy triều, sóng và dòng chảy ở vùng biển Việt Nam. Trong nội dung nghiên cứu của đề tài đã tiến hành đánh giá tiềm năng năng lượng thủy triều (độ cao của mực nước triều) thông qua tính toán cho một số vịnh trên toàn dải ven biển Việt Nam. Sử dụng các hằng số điều hoà của các sóng triều thành phần để tính toán dự báo cho một số năm. Căn cứ số liệu dự báo từng

giờ của một năm liên tục đã tính ra độ lớn dao động thủy triều từng ngày (chênh lệch giá trị nước lớn và giá trị nước ròng). Sau đó tính độ lớn thủy triều trung bình cả năm. Để có được mức độ biến động của độ lớn thủy triều trong việc điều tiết khả năng cung cấp năng lượng trong một năm, đã tiến hành tính tần suất theo từng khoảng độ lớn thủy triều trong cả năm tại từng vũng vịnh. Đã bước đầu nghiên cứu đánh giá năng lượng triều tại vùng cửa sông ven biển Đông Nam Bộ.

Về năng lượng dòng chảy, đề tài đã đi đến kết luận là trong vùng biển Việt Nam không tồn tại những dòng hải lưu lớn, ổn định theo vận tốc, hướng dòng chảy và thời gian như dòng chảy Gulfstream ở Đại Tây Dương, hay Kuroshio hoặc Cromwell ở Thái Bình Dương. Như vậy có thể thấy rằng tiềm năng năng lượng dòng triều của Việt Nam không lớn. Năng lượng dòng chảy có thể dựa vào dòng chảy với nguồn gốc thủy triều - dòng triều và dòng chảy tổng cộng giữa dòng triều và dòng chảy do gió. Sử dụng mô hình tính toán dòng chảy 3 chiều xây dựng tại Viện Cơ học đã tiến hành tính toán năng lượng dòng chảy cho đơn vị diện tích mặt cắt vuông góc với hướng dòng chảy.

Nhìn chung, việc nghiên cứu các nguồn năng lượng đại dương mới bắt đầu triển khai. Về năng lượng sóng, hiện trạng nghiên cứu còn mới bắt đầu, mới tiến hành các nghiên cứu tính toán sơ bộ tiềm năng năng lượng sóng cho khu vực ven bờ. Ngoài việc cần đánh giá được tiềm năng năng lượng sóng cho toàn bộ vùng biển dài ven bờ và ngoài khơi ở nước ta, một vấn đề hết sức quan trọng trong nghiên cứu năng lượng sóng là cần nghiên cứu về công nghệ chuyên đổi năng lượng sóng thành điện năng lựa chọn được các loại thiết bị thích hợp với các điều kiện trường sóng và điều kiện tự nhiên (gió, bão) của nước ta. Đây là một vấn đề còn hoàn toàn chưa được nghiên cứu cho đến hiện nay. Về năng lượng thủy triều đã có được các nghiên cứu đánh giá tiềm năng khai thác cụ thể cho năng lượng thủy triều tại các vũng vịnh Việt Nam, tuy nhiên cần có các nghiên cứu đầy đủ về phân bố mật độ năng lượng thủy triều cho toàn bộ Biển Đông và vùng biển ven bờ Việt Nam từ đó có các đánh giá chi tiết về khả năng khai thác nguồn năng lượng này.

#### 4.2. Tiềm năng các nguồn năng lượng đại dương ở Việt Nam

Việt Nam có diện tích biển khoảng 1 triệu km<sup>2</sup>, trải dài 3.260 km dọc theo chiều dài đất nước và gồm hơn 300 hòn đảo lớn nhỏ là một yếu tố thuận lợi để phát triển năng lượng đại dương. Việt Nam hoàn toàn có khả năng phát triển năng lượng đại dương dựa vào các đánh giá tiềm năng như sau:

##### 4.1.1. Tiềm năng năng lượng sóng

Tiềm năng năng lượng sóng vùng Biển Đông và ven bờ biển Việt Nam theo tập bản đồ năng lượng sóng vùng Biển Đông và ven bờ biển Việt Nam<sup>1</sup> theo các tháng, theo mùa và trung bình năm (Bảng 4.1) như sau:

Tiềm năng năng lượng sóng vùng Biển Đông và ven bờ biển Việt Nam phụ thuộc trực tiếp vào chế độ gió, trong đó chế độ gió mùa đóng vai trò quyết định. Gió mùa đông bắc tạo

---

<sup>1</sup> Đề tài: “Nghiên cứu đánh giá tiềm năng các nguồn năng lượng biển chủ yếu và đề xuất các giải pháp khai thác”, m. số KC.09.19/06-10

ra vùng năng lượng sóng khá mạnh trên vùng bắc và giữa Biển Đông. Vào thời kỳ các tháng 11 năm trước đến tháng 1 năm sau, trường sóng trên Biển Đông trong gió mùa đông bắc rất mạnh tạo ra các vùng có tiềm năng năng lượng sóng cực đại khoảng 40kW/m. Vào tháng 12, khu vực với năng lượng sóng đạt 30kW/m bao phủ toàn bộ vùng giữa Biển Đông và ép sát vào vùng bờ biển miền Trung Việt Nam từ Đà Nẵng đến Ninh Thuận. Đây là thời gian khai thác năng lượng sóng thuận lợi nhất trong năm. Năng lượng sóng trung bình trong mùa gió mùa đông bắc có độ lớn cực đại đạt 25 kW/m tập trung tại hai khu vực phía ngoài khơi Đông Bắc Biển Đông và phía ngoài khơi Nam Trung Bộ.

Mùa gió mùa tây nam, do tốc độ gió không mạnh bằng gió mùa đông bắc và khu vực ảnh hưởng cũng hạn chế ở vùng phía nam Biển Đông nên tiềm năng năng lượng sóng về cơ bản không lớn. Năng lượng sóng cực đại trong mùa này chỉ đạt khoảng 20 kW/m xảy ra vào các tháng 7, tháng 8 và tập trung tại khu vực ngoài khơi phía đông nam Biển Đông. Tại khu vực quần đảo Trường Sa có thể tận dụng nguồn năng lượng sóng trong mùa gió mùa tây nam để khai thác năng lượng sóng. Năng lượng sóng trung bình trong mùa này có khu vực cực đại tại vùng biển đông nam Biển Đông và độ lớn của năng lượng sóng cực đại tại vùng này chỉ đạt khoảng 10 kW/m.

**Bảng 4.1. Bảng tổng kết phân vùng trường sóng biển dải ven bờ biển Việt Nam**

Vùng	Địa danh, Hướng đường bờ	Độ cao sóng hữu hiệu cực đại năm [m]		Tần suất xuất hiện [P%], Hướng sóng nguy hiểm			Vùng phụ và các đặc điểm trường sóng
		Gió mùa Đông Bắc	Gió mùa Tây Bắc	Gió mùa Đông Bắc	Gió mùa Tây Bắc	Lặng sóng	
1	Móng Cái-Cửa Vạn Đông Bắc-Tây Bắc	2,5-3,0	3,0-3,5	45 Đông Bắc, Đông Đông Bắc	29 Nam, Đông Nam	26	Hai vùng phụ: 1. Móng Cái - cửa Thới. Sóng hướng nam mạnh với hướng thịnh hành là hướng Nam. 2. Cửa Thới - cửa Vạn. Sóng hướng đông bắc tăng đáng kể trong khi sóng hướng nam giảm và chuyển dần sang hướng Đông Nam.
2	Cửa Vạn-Dung Quất Tây Bắc-Đông Nam	5,0-5,5	3,5-4,0	47 Bắc, Đông Bắc, Đông	20 Đông Nam	33	Hai vùng phụ: 1. Cửa Vạn - cửa Tùng. Hướng sóng thịnh hành là Bắc Đông Bắc, Đông Bắc. 2. Cửa Tùng - Dung Quất. Hướng sóng thịnh hành chuyển sang Bắc, Bắc Đông Bắc, Tây Bắc, độ cao sóng tăng đáng kể
3	Dung Quất - Phan Rang Bắc - Nam	6,0-7,0	5,0-6,0	40 Bắc, Đông Bắc	23 Nam, Đông Nam	37	Vùng có động lực sóng mạnh nhất trên toàn dải ven bờ VN
4	Phan Rang - Cà Mau Đông Bắc - Tây Nam	4,0-4,5	3,5-4,0	42 Bắc Đông Bắc, Đông Nam	15 Đông Nam, Nam Tây Nam	43	Hai vùng phụ: 1. Từ Phan Rang đến Định An. Độ cao sóng giảm dần từ bắc xuống nam. Hướng sóng thịnh hành là hướng Bắc Đông Bắc, Đông Bắc. 2. Từ Định An đến Cà Mau. Độ cao sóng tăng đáng kể từ bắc xuống nam, hướng thịnh hành chuyển sang hướng Đông, Đông Đông Nam
5	Ven bờ vịnh Thái Lan		2.5 -3.0		39 Tây Bắc	42	Hai vùng phụ: 1. khu vực ven bờ Hà Tiên đến Rạch Giá. Sóng rất nhỏ do được Phú Quốc và các đảo che chắn. 2. Rạch Cá Ngát xuống phía Vũng Cà Mau. Càng xuống phía nam sóng càng mạnh lên đặc biệt là hướng sóng NW.

Nguồn: Đề tài: “Nghiên cứu đánh giá tiềm năng các nguồn năng lượng biển chủ yếu và đề xuất các giải pháp khai thác”, mã số KC.09.19/06-10



- Theo kết quả tính toán năng lượng sóng trung bình năm cho thấy khu vực có tiềm năng năng lượng sóng 10 kW/m trải rộng toàn bộ vùng giữa Biển Đông và áp sát vào khu vực ven bờ biển nam Trung Bộ. Xét trung bình mùa gió đông bắc và trung bình năm cho thấy đây là khu vực khai thác năng lượng sóng thuận lợi nhất trong tất cả các vùng ven bờ biển Việt Nam.

- Có thể thấy rằng Việt Nam do tiếp giáp trực tiếp với Biển Đông và có hai chế độ gió mùa luân phiên nên được thiên nhiên ban tặng cho nguồn tài nguyên năng lượng sóng phong phú nhất so với các nước trong khu vực. Tuy nhiên, khu vực Biển Đông là một khu vực hẹp so với đại dương nên không tồn tại trường sóng lừng liên tục trong năm. Trường sóng tại các khu vực ngoài khơi và ven bờ Biển Đông có thể được coi là khu vực biển kín, do kích thước hạn chế của Biển Đông nên chu kỳ sóng cũng không lớn so với các vùng ven bờ đại dương nêu trên. Theo như các công thức tính thông lượng năng lượng sóng phụ thuộc trực tiếp vào chu kỳ truyền năng lượng sóng. Do bị giới hạn về diện tích nên giá trị trung bình của chu kỳ này tại khu vực Biển Đông trong mùa gió đông bắc, là mùa có năng lượng sóng mạnh nhất, chỉ đạt khoảng 7-8 giây. Đây là một giới hạn làm hạn chế năng lượng sóng trong khu vực.

#### 4.2.2. Tiềm năng năng lượng thủy triều

Dựa vào các kết quả tính toán tiềm năng năng lượng thủy triều cho các vũng vịnh dọc bờ biển Việt Nam có thể thấy rằng: nhìn chung, dao động mực nước triều ở biển của nước ta không thuộc loại lớn, không phải là nơi có nhiều triển vọng để xây dựng các nhà máy điện thủy triều lớn như các địa điểm khác trên thế giới (độ lớn thủy triều phải lớn từ 6-7m trở lên) (Bảng 4.2). Tuy nhiên, chúng ta có một hệ thống vũng, vịnh ven biển có thể tận dụng khai thác năng lượng thủy triều.

Theo độ lớn của dao động thủy triều, phân bố năng lượng triều các vũng, vịnh cũng theo quy luật tương tự. Nghĩa là mật độ năng lượng triều khá lớn ở khu vực Quảng Ninh khoảng 3,65GWh/km<sup>2</sup>, đến Nghệ An khoảng 2,48GWh/km<sup>2</sup>, rồi giảm đến khu vực Thừa Thiên - Huế là cực tiểu (0,3GWh/km<sup>2</sup>), sau đó lại tăng dần vào miền Nam, đến Phan Thiết là 2,11GWh/km<sup>2</sup>, đạt cực đại tại khu vực Bà Rịa - Vũng Tàu: 5,23GWh/km<sup>2</sup>.

Do kích thước các vịnh to nhỏ khác nhau nên năng lượng triều tàng trữ có thể khai thác trong đó cũng khác nhau. Lớn nhất là toàn khu vực vịnh Hạ Long, công suất năm có tổng là 4.729GWh. Tiếp đến các vịnh có năng lượng trên 100GWh là: vịnh Diên Châu - 620GWh, vịnh Quy Nhơn - 135GWh, vịnh Văn Phong - Bến Gội - 308GWh, vịnh Cam Ranh - 185GWh, vịnh Phan Rang 190GWh, vịnh Pa Đa Răng - 171GWh, vịnh Phan Rí - 221GWh, Mũi Né - 109GWh, vịnh Phan Thiết - 615GWh, vịnh Gành Rái - 714GWh, vịnh Đồng Tranh - 371GWh, vịnh Rạch Giá - 139GWh.

Xét về khả năng khai thác chúng cần lưu ý đến hiệu quả dự án, có nghĩa cần phải đắp đê ngăn vịnh, thì chỉ số này càng lớn càng có triển vọng khai thác (giá thành cho đơn vị năng lượng thu được sẽ rẻ). Những nơi có chỉ số này cao là: vịnh Hạ Long - 57GWh/km vụng Cầu Hai - 185GWh/km, vụng Nước Ngọt nhỏ ở Bình Định - 718GWh/km, vịnh Gành Rái - 73GWh/km. Như vậy, khi xem xét tất cả các mặt về mật độ năng lượng, tiềm năng chứa

trong vịnh cũng như hiệu quả dự án (hay hiệu suất) ta có thể thấy rằng, nơi hội tụ tương đối đủ 3 yếu tố đều lớn là khu vực vịnh Hạ Long (Quảng Ninh) và vịnh Gành Rái (Bà Rịa - Vũng Tàu) - xem bảng 4.3.

Bảng 4.3. Các khu vực có tiềm năng năng lượng thủy triều lớn nhất vùng ven biển Việt Nam

Tên vịnh	Mật độ năng lượng (GWh/km <sup>2</sup> )	Tiềm năng (GWh)	Hiệu suất (GWh/km)
Khu vực Vịnh Hạ Long	3,657	4.728,990	57,196
Vịnh Gành Rái	5,091	714,869	73,260

Nguồn: Đề tài “Nghiên cứu đánh giá tiềm năng các nguồn năng lượng biển chủ yếu và đề xuất các giải pháp khai thác”, mã số KC.09.19/06-10

Như vậy, ở hai nơi này có thể nghiên cứu các dự án xây dựng các nhà máy điện thủy triều với công suất vừa phải để tận dụng nguồn năng lượng vô tận này.

Những địa điểm khác có thể nghiên cứu các dự án hạn chế hơn vì được mặt này lại yếu mặt khác. Chẳng hạn, vịnh Diên Châu (Nghệ An) cũng chứa tiềm năng năng lượng triều khá lớn, mật độ năng lượng cũng tương đối lớn nhưng tính hiệu suất lại kém (21,7GWh/km). Hoặc giả các vùng như vịnh Cầu Hai (Thừa Thiên - Huế) và vịnh Nước Ngọt (Bình Định) có hiệu suất rất cao vì lưu vực có sẵn, cần đắp đê đập không nhiều nhưng tiềm năng không lớn và mật độ năng lượng lại thấp. Có lẽ những nơi này thích hợp để xây dựng các trạm điện thủy triều nhỏ cung cấp cho các nhu cầu địa phương có thể thích hợp. Trường hợp vịnh Cam Ranh (Khánh Hoà) có lẽ cũng tương tự.

#### 4.2.3. Tiềm năng năng lượng dòng triều và dòng chảy

Về năng lượng dòng chảy do gió thuận tụy thì mùa Đông lớn hơn mùa Hè. Hai mùa chuyển tiếp có năng lượng dòng chảy không đáng kể. Về mùa Đông, có một dải nước gần bờ Nam Trung Bộ từ Bình Định đến Khánh Hòa tập trung năng lượng dòng chảy khá lớn, có thể đạt công suất từ 50 đến 80W cho mỗi mét vuông mặt cắt thẳng đứng với hướng dòng chảy ở lớp mặt. Ở ngoài khơi xa hơn thuộc địa phận Ninh Thuận - Bình Thuận cũng có một vùng có năng lượng dòng chảy với giá trị trung bình cỡ 40 - 60W/m<sup>2</sup>.

Với năng lượng dòng tổng hợp gồm cả do gió và do thủy triều, có hai vùng tập trung tương đối lớn là phía Tây Nam đảo Hải Nam và vùng quanh mũi Cà Mau. Ngoài ra, vùng có giá trị nhỏ hơn là ngoài khơi phía Đông Nam Bộ. Vùng Tây Nam đảo Hải Nam, mùa Đông có năng lượng dòng chảy đạt công suất 400 - 600W/m<sup>2</sup>, mùa Hè đạt 200 - 400 W/m<sup>2</sup>. Vùng quanh mũi Cà Mau, mùa Hè có công suất 300 - 500 W/m<sup>2</sup> và mùa Đông có công suất cỡ 100 - 300 W/m<sup>2</sup>. Như vậy khả năng khai thác năng lượng dòng chảy ở nước ta không thể có quy mô lớn vì năng lượng dòng chảy nhỏ và phân bố rải rác. Một số khu vực có sự tập trung năng lượng dòng chảy tương đối lớn có thể tận dụng khai thác để cung cấp

điện cho các nhu cầu tại chỗ, mà ở đó chủ yếu là tận dụng năng lượng dòng triều với hướng dòng chảy thay đổi liên tục trong ngày.

**Bảng 4.2. Tiềm năng thủy triều tại các vịnh, vụng, vũng ven bờ biển Việt Nam**

Thứ tự	Tên vịnh	Tên tỉnh	Diện tích (km <sup>2</sup> )	Triều trung bình (cm)	Mật độ năng lượng (GWh/km <sup>2</sup> )	Năng lượng (GWh)	Độ dài đập cần đắp (km)	Hiệu suất (GWh/km)
1	Vịnh Hạ Long lớn	Quảng Ninh	1.293,047	239,0	3,657	4.728,990	82,681	57,196
2	Vịnh Hạ Long nhỏ	Quảng Ninh	235,961	239,0	3,657	862,966	31,697	27,225
3	Vịnh Diên Châu	Nghệ An	249,675	197,0	2,483	619,966	28,497	21,755
4	Vũng Áng	Hà Tĩnh	11,742	146,3	1,370	16,086	7,338	2,192
5	Vụng Cầu Hai	Thừa Thiên - Huế	114,950	68,6	0,301	34,590	0,187	184,973
6	Vụng Chân Mây	Thừa Thiên - Huế	19,243	68,6	0,301	5,790	6,932	0,835
7	Vũng Lập An	Thừa Thiên - Huế	13,986	76,5	0,374	5,235	0,226	23,164
8	Vịnh Đà Nẵng	Đà Nẵng	123,684	78,5	0,394	48,785	8,283	5,890
9	Vịnh Bãi Nam	Đà Nẵng	222,153	83,3	0,444	98,674	27,637	3,570
10	Vũng An Hòa	Quảng Nam	8,165	97,2	0,605	4,941	58,120	0,085
11	Vụng Mũi An Hòa	Quảng Nam	3,309	97,2	0,605	2,002	2,355	0,850
12	Vũng Dung Quất	Quảng Ngãi	49,937	100,0	0,640	31,980	11,009	2,905
13	Vũng Việt Thanh	Quảng Ngãi	10,522	100,0	0,640	6,738	6,864	0,982
14	Vũng Nho Ua	Quảng Ngãi	2,582	100,0	0,640	1,653	2,775	0,596
15	Vũng Mỹ Hàn	Quảng Ngãi	25,185	102,6	0,673	16,955	10,216	1,660
16	Vụng Moi	Bình Định	19,166	114,7	0,842	16,144	10,827	1,491
17	Vụng Nước Ngọt nhỏ	Bình Định	16,704	113,0	0,817	13,644	0,019	718,105
18	Vụng Nước Ngọt lớn	Bình Định	21,670	113,0	0,817	17,700	4,764	3,715
19	Vụng Quy Nhơn	Bình Định	175,026	110,0	0,774	135,457	19,974	6,782
20	Vụng Cù Mông	Phú Yên	8,672	109,3	0,765	6,633	5,002	1,326

21	Vụng Trích	Phú Yên	10,855	112,1	0,805	8,735	4,004	2,182
22	Vụng Ông Diên	Phú Yên	4,251	112,1	0,805	3,421	5,535	0,618
23	Vụng Chèo - Xuân Đài	Phú Yên	79,360	113,3	0,822	65,257	5,909	11,044
24	Vụng Rô	Khánh Hoà	18,284	108,1	0,748	13,669	6,990	1,956
25	Vụng Văn Phong - Bến Gội	Khánh Hoà	449,980	103,5	0,686	308,619	15,223	20,273
26	Vụng Cây Bàn	Khánh Hoà	18,025	100,2	0,642	11,574	8,913	1,299
27	Cửa Tiên Du	Khánh Hoà	98,646	97,2	0,604	59,621	7,041	8,468
28	Vụng Nha Trang	Khánh Hoà	27,207	94,8	0,575	15,653	10,837	1,444
29	Vụng Thủy Triều	Khánh Hoà	18,091	101,9	0,664	12,021	0,932	12,898
30	Vụng Ba Đài	Khánh Hoà	12,667	119,3	0,910	11,531	7,358	1,567
31	Vịnh Cam Ranh-Bình Ba nhỏ	Khánh Hoà	88,397	119,3	0,910	80,469	2,467	32,618
32	Vịnh Cam Ranh-Bình Ba lớn	Khánh Hoà	187,201	124,5	0,992	185,744	15,199	12,221
33	Vụng Phan Rang	Ninh Thuận	166,977	133,5	1,141	190,500	24,643	7,730
34	Vũng Pa Đa Răng	Bình Thuận	146,400	135,2	1,169	171,158	27,645	6,191
35	Vịnh Phan Rí	Bình Thuận	161,639	146,4	1,372	221,754	28,179	7,869
36	Vùng biển Mũi Gió - Mũi Né	Bình Thuận	68,406	158,2	1,601	109,524	24,491	4,472
37	Vịnh Phan Thiết	Bình Thuận	291,562	181,7	2,112	615,772	35,525	17,333
38	Vịnh Gành Rái	Bà Rịa-Vũng Tàu	140,407	282,1	5,091	714,869	9,758	73,260
39	Vịnh Đồng Tranh	Bà Rịa-Vũng Tàu	70,993	286,0	5,236	371,718	14,864	25,008
40	Vịnh Rạch Giá	Kiên Giang	442,936	70,1	0,314	139,271	26,998	5,159
41	Vụng Ba Trại - Cây	Kiên Giang	266,198	63,6	0,259	68,896	28,508	2,417

	Dương							
42	Vụng Khoe Lá	Kiên Giang	2,140	60,2	0,232	0,496	3,457	0,143
43	Vụng Ba Hòn	Kiên Giang	22,725	60,2	0,232	5,265	9,357	0,563
44	Vụng Hòn Heo	Kiên Giang	1,457	60,2	0,232	0,338	2,776	0,122
45	Vụng Thuận Yên	Kiên Giang	29,195	60,2	0,232	6,764	11,748	0,576
46	Vịnh Đầm	Kiên Giang	7,533	57,5	0,212	1,596	5,591	0,285
47	Vịnh Đông Bắc	Bà Rịa-Vũng Tàu	7,660	236,7	3,585	27,465	4,122	6,663
48	Vịnh Côn Sơn	Bà Rịa-Vũng Tàu	18,150	289,5	5,364	97,349	7,079	13,752
49	Vụng Hòn Bà	Bà Rịa-Vũng Tàu	4,360	289,5	5,364	23,387	1,678	13,937

*Nguồn: Đề tài “Nghiên cứu đánh giá tiềm năng các nguồn năng lượng biển chủ yếu và đề xuất các giải pháp khai thác”, mã số KC.09.19/06-10*

## KẾT LUẬN

Theo các số liệu thống kê và dự báo của Cơ quan Thông tin Năng lượng Hoa Kỳ (EIA) thì mức tiêu thụ năng lượng của thế giới sẽ tăng 57% trong thời gian từ năm 2004 đến năm 2030, trong đó mức tiêu thụ điện năng sẽ tăng với tốc độ trung bình một năm là 0,46 tỷ kW/giờ. Hậu quả của sự gia tăng nhu cầu năng lượng này là sự tăng rất mạnh lượng khí thải CO<sub>2</sub>. Nếu như năm 2004 có 26,9 tỷ mét khối lượng khí này thải vào khí quyển thì đến năm 2015, con số này sẽ là 33,9 và năm 2030 là 42,9 tỷ mét khối<sup>2</sup>. Khai thác nguồn năng lượng tái tạo để từng bước thay thế các nguồn năng lượng truyền thống đang ngày càng cạn kiệt và giảm thiểu ô nhiễm, hiệu ứng nhà kính là chiến lược về năng lượng của các nước trên thế giới, điều này cũng không ngoại lệ đối với Việt Nam.

Để đáp ứng nhu cầu trong khi việc cung ứng năng lượng đang và sẽ phải đối mặt với nhiều vấn đề và thách thức, đặc biệt là sự cạn kiệt dần nguồn nhiên liệu hóa thạch nội địa, giá dầu biến động theo xu thế tăng và Việt Nam sẽ sự phụ thuộc nhiều hơn vào giá năng lượng thế giới..., chính vì vậy việc xem xét khai thác các nguồn năng lượng tái tạo nói chung cũng như nguồn năng lượng đại dương nói riêng trong những thập kỷ tới sẽ có ý nghĩa hết sức quan trọng cả về kinh tế, xã hội, an ninh năng lượng lẫn bảo vệ môi trường. Vấn đề này đã được Chính phủ Việt Nam và các Bộ ngành quan tâm, chỉ đạo thực hiện thông qua một số các văn bản pháp lý như Chiến lược phát triển năng lượng quốc gia của Việt Nam đến năm 2020, tầm nhìn đến năm 2050 (Quyết định số: 1855/QĐ-TTg, 27/12/2007), Quyết định của Thủ tướng chính phủ về một số cơ chế chính sách, tài chính đối với các dự án đầu tư theo cơ chế phát triển sạch (Quyết định số 130/2007/QĐ-TTg, ngày 02/8/2007), Quy hoạch phát triển điện lực quốc gia giai đoạn 2006 - 2015 có xét đến năm 2025 (Quyết định số: 110/2007/QĐ-TTg, ngày 18/7/2007), v.v... Tuy nhiên, để đưa những chủ chương chính sách đã ban hành như nêu trên vào áp dụng trong thực tế còn có một khoảng cách khá xa. Tức là vẫn còn nhiều khó khăn và thách thức, đặc biệt là các dạng năng lượng đại dương khi giá thành thường cao hơn ít nhất gấp 1,3 -2 lần so với giá năng lượng tái tạo trên đất liền (chẳng hạn như điện gió...). Dưới đây là những trở ngại còn tồn tại cần vượt qua:

- Về cơ chế chính sách và tổ chức thực hiện: Mặc dù năng lượng đại dương được khuyến khích phát triển và có mục tiêu phát triển cả trong ngắn hạn và dài hạn. Tuy nhiên, đến nay vẫn chưa ban hành được cơ chế, chế tài cụ thể có hiệu quả để áp dụng vào thực tiễn cho việc đầu tư, quản lý và vận hành các dự án năng lượng đại dương nhằm đạt mục tiêu như đã đề ra.

- Về cơ sở dữ liệu và thông tin: Hiện nay, chưa có cơ quan nào được giao thu thập, cập nhật và thống kê để xây dựng cơ sở dữ liệu và thông tin dài hạn cho phát triển năng lượng đại dương. Việc đánh giá tiềm năng năng lượng đại dương còn gặp rất nhiều khó khăn và bị hạn chế vì do thiếu cơ sở dữ liệu tin cậy và thiếu hỗ trợ tài chính để thực hiện.

---

<sup>2</sup> Harald E. Krogstad and Stephen F. Barstow. (1999). "Satellite wave measurements for coastal engineering applications". *Coastal Engineering, Volume 37, Number 3. August 1999, pages 283-307*

- Về công nghệ: Việt Nam còn thiếu kinh nghiệm phát triển và vận hành các dự án năng lượng đại dương phù hợp với điều kiện trong nước. Phần lớn các công nghệ năng lượng đại dương chưa chế tạo được trong nước mà phải nhập khẩu. Thiếu cán bộ có trình độ và kinh nghiệm trong lĩnh vực năng lượng đại dương.

- Về nguồn tài chính: Một trong các hạn chế đầu tiên là khả năng tiếp cận của các chủ đầu tư tới các khoản vay thương mại với yêu cầu thời gian vay đủ dài để phát triển các dự án năng lượng đại dương. Hiện tại, phần lớn các ngân hàng còn thiếu kinh nghiệm trong việc đánh giá và thẩm định các dự án năng lượng đại dương. Hạn chế thứ hai là chưa có cơ chế bền vững, hiệu quả và minh bạch nhằm cung cấp các trợ giá cần thiết để phát triển năng lượng đại dương.

*Biên soạn: Nguyễn Lê Hằng  
Đặng Bảo Hà  
Nguyễn Khánh Linh*



## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Mạnh Hùng (2010), Nghiên cứu đánh giá tiềm năng các nguồn năng lượng biển chủ yếu và đề xuất các giải pháp khai thác”, mã số KC.09.19/06-10
2. APEC Energy Working Group (3/2013), Marine & Ocean Energy Development, An Introduction for Practitioners in APEC Economies, Institute of Lifelong Education, Moscow
3. Carbon Trust (2004). UK, Europe and Global Tidal Stream Energy Resource Assessment. 107799/D/2100/05/1, Carbon Trust Marine Energy Challenge, Carbon Trust, London, UK.
4. Harald E. Krogstad and Stephen F. Barstow. (1999). “Satellite wave measurements for coastal engineering applications”. Coastal Engineering, Volume 37, Number 3. August 1999, pages 283-307
5. Lang, F, (2008). The Rance Tidal Power Plant: review of 40-years operation, environmental effects. In: 2nd International Conference on Ocean Energy, Brest, France, 15-17 October 2008.
6. Laura Alonso Ojanguren, Pablo Dosset Izaguirre, Li Xin, Wang Quanfeng, Lu Yin hao, Ocean Energy, renewable energy
7. Lewis, A., S. Estefen, J. Huckerby, W. Musial, T. Pontes, J. Torres-Martinez (2011), Ocean Energy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
8. Ocean Energy Systems, 2012 Annual Report/IMPLEMENTING AGREEMENT ON OCEAN ENERGY SYSTEMS
9. SI OCEAN, strategic initiative for ocean energy, Ocean Energy: State of the Art
10. U.S. Department of The Interior, Minerals management Service, Ocean Energy
11. US DOE (2010), Energy Efficiency and Renewable Energy Marine and Hydrokinetic Database. Energy Efficiency and Renewable Energy, US Department of Energy, Washington, DC, USA.
12. Wisner, R., and M. Bolinger (2010), 2009 Wind Technologies Market Report. US Department of Energy, Washington, DC, USA.