Biến rác thải nhựa trên đại dương thành cơ hội trong nền kinh tế tuần hoàn

OPTOCE

Tháng 9 năm 2022

Norad SINTEF Norwegian Ministry of Foreign Affairs

1. Giới thiệu

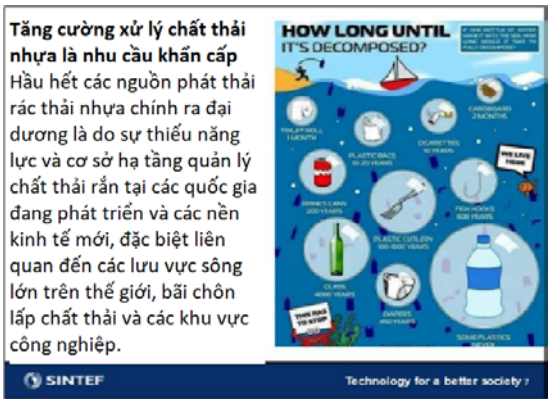
Dự án OPTOCE là một phần trong Chương trình Phát triển của Na uy nhằm chống lại rác thải trên biển và vi nhựa được khởi động vào năm 2018. Chương trình nhằm đóng góp vào Mục tiêu Phát triển Bền vững (SDG) 14.1, trong đó nêu rõ đến năm 2025, thế giới phải ngăn chặn và giảm thiểu đáng kể các loại ô nhiễm môi trường biển (Regjeringen, 2020).

2. Ô nhiễm chất thải nhựa

Ước tính có khoảng 13 triệu tấn nhựa rò rỉ vào đại dương của chúng ta mỗi năm, gây hại cho đa dạng sinh học, nền kinh tế và sức khỏe của chính chúng ta (The State of Plastics, 2018). Nếu không có hành động nào triển khai, thì lượng chất thải nhựa dự kiến sẽ tăng gấp ba lần vào năm 2040 (Breaking the Plastic Wave, 2020).

3. Nguyên nhân

Hành động quốc tế là chìa khóa để giải quyết các nguồn rác thải nhựa đáng kể nhất trên các đại dương. Việc quản lý chất thải không đầy đủ ở các nước đang phát triển và các nền kinh tế mới, đặc biệt là kết nối với các lưu vực sông lớn trên thế giới, bãi thải / bãi chôn lấp và các điểm nóng công nghiệp là nguyên nhân chính. Ước tính rằng hơn 80% rác thải nhựa đại dương đến từ các nguồn trên đất liền và các nước châu Á là một trong những nước đóng góp nhiều nhất cho rác biển và vi nhựa (Jambeck et al., 2015).



4. Mục tiêu của dự án OPTOCE

Dự án OPTOCE nhằm giới thiệu các phương thức để ngành công nghiệp xi măng có thể tham gia và tăng công suất xử lý Chất thải nhựa không tái chế ở Trung Quốc, Ấn Độ, Myanmar, Thái Lan và Việt Nam và từ đó góp phần giảm thải rác thải nhựa ra biển.

Ước tính các gia này đang phát thải khoảng 217 000 tấn chất thải nhựa mỗi ngày, tương đương 79 triệu tấn/năm và trong đó lượng nhựa thải ra biển nhiều nhất. Một lượng chất thải nhựa tương đối nhỏ được xử lý theo cách phù hợp với môi trường. Tuy nhiên, các quốc gia này cũng có sản lượng công nghiệp cao nhất về xi măng, thép và năng lượng điện, sử dụng lượng than khổng lồ và đóng góp một phần lớn lượng khí thải CO_2 trên thế giới

Thay thế một phần than đá bằng chất thải nhựa không thể tái chế tạo thành cơ hội cùng có lợi, ngăn chặn nhựa thải ra đại dương, giảm nhu cầu sử dụng một lượng lớn than hóa thạch và gián tiếp giảm phát thải khí nhà kính bằng cách tránh xây dựng các lò đốt hoặc bãi chôn lấp mới .

Phương thức này gọi là Đồng xử lý hay Quản lý chất thải tích hợp

Những gì được coi là chất thải trong lĩnh vực này sẽ trở thành tài nguyên trong lĩnh vực khác. Khái niệm này thể hiện nền kinh tế tuần hoàn trên thực tế và kết hợp xử lý chất thải với sản xuất công nghiệp hiện có, thường được ưu tiên hơn so với phương pháp đốt và chôn lấp trong Hệ thống quản lý chất thải được quốc tế chấp nhận.

5. Các mục tiêu bổ sung

Các mục tiêu bổ sung và hiệu quả của dự án OPTOCE sẽ như sau:

- Giảm thiểu rác thải trên biển từ các hoạt động trên đất liền.
- Tăng cường sự phối hợp và quan hệ đối tác của nhiều bên liên quan.
- Thúc đẩy sự tham gia của khu vực tư nhân.
- Tăng cường nghiên cứu để hỗ trợ việc ra quyết định và chính sách dựa trên cơ sở khoa học.

6. Rác thải nhựa đến từ đâu?

Ước tính có khoảng 9,3 tỷ tấn nhựa nguyên sinh được sản xuất trên toàn cầu cho đến năm 2019.

Trong số này, khoảng 6,3 tỷ tấn đã trở thành chất thải nhựa; trong đó, chỉ có 9% được tái chế, 12% được đốt và 79% chôn lấp.

Nếu xu hướng sản xuất và quản lý chất thải tiếp tục như hiện nay, khoảng 12 tỷ tấn chất thải nhựa sẽ nằm trong các bãi chôn lấp hoặc trong môi trường tự nhiên vào năm 2050 (Geyer et al. 2017)

7. Tái chế như thế nào?

Tái chế là lựa chọn ưu tiên nhưng không phải tất cả chất thải nhựa đều thích hợp để tái chế. Từ khía cạnh kỹ thuật, rất khó để tái chế nhựa bao gồm một số loại polyme, vì bạn cần phải loại rác thải nhựa.

Từ góc độ kinh tế, lĩnh vực tái chế sẽ bị ảnh hưởng nếu giá dầu giảm.

Các nghiên cứu từ châu Á đã chỉ ra rằng lĩnh vực tái chế đã giảm 50% nhu cầu và giảm 20% giá trong đại dịch Covid-19. Các nghiên cứu cũng chỉ ra rằng hầu hết nhựa cuối cùng trong đại dương là nhựa chất lượng thấp khó tái chế (Ocean Conservancy, Stemming the Tide, 2015).

8. Biện pháp thiêu đốt ngày càng phổ biến

Thu hồi năng lượng từ chất thải và nhựa trong các Lò đốt chất thải rắn thành phố chuyển hóa chất thải thành năng lượng (WtE) thường liên quan đến việc phát điện trong các tuabin hơi nước, nhưng hiệu suất chuyển đổi thành điện năng kém và có thể không thu hồi được chi phí xây dựng (Mutz và cộng sự, 2017) .

Đầu tư xây dựng các nhà máy đốt rác phát điện (WtE) rất tốn kém, chúng cũng là nguồn phát thải bổ sung và tạo ra một lượng lớn tro bay (tro bay làm sạch khí thoát ra, tro bay, tro đáy, v.v.) cần được xử lý/chôn lấp

Đốt chất thải ướt trong mùa mưa là một thách thức khác, do các điều kiện đốt khó khăn và thường dẫn đến lượng khí thải tăng cao.

9. Các giải pháp tích hợp khác là gì?

Các nước có ngành công nghiệp xi măng ở một mức độ nhất định có thể bỏ qua việc xây dựng các lò đốt chất thải phát điện WtE đắt tiền.

Các lò nung xi măng đã đi vào hoạt động và có thể tăng công suất xử lý chất thải lên đáng kể nếu được tích hợp vào chiến lược quản lý chất thải. Chúng thường tiết kiệm chi phí và không tạo ra bất kỳ chất cặn bã nào cần thải bỏ.

Đồng xử lý chất thải trong lò nung xi măng so với lò đốt

Mục đích	Sản phẩm công nghiệp của xi măng clinke	Giảm khối lượng bằng cách đốt
Giới hạn nhiệt độ	1500 - 2000ºC	800 - 1100ºC
Chi phí đầu tư xây dựng	Các thiết bị được vận hành tại chỗ và liên tục. Đầu tư và chi phí vận hành công nghiệp	Chi phí cao để xây dựng, vận hành và bảo dưỡng
Chi phí	Thường hiệu quả chi phí	Rất khác nhau: 10 - 200 USD/tấn rác
Hiệu quả năng lượng	Tiệm cận 100%	Hiệu quả năng lượng thấp, khoảng 15 - 25%. Sản phẩm điện không thu hồi được chi phí xây dựng
Các loại chất thải rắn được sử dụng	Tương đối hạn chế, yêu cầu các loại chất thải rắn được xử lý sơ bộ	Các loại rác thải ướt vào mùa mưa gây khó khăn trong vận hành và dẫn đến phát thải ô nhiễm
Sản phẩm còn lại	Không có cặn bã phải thải bỏ	25 - 35% chất thải đốt cuối cùng là tro cần được chôn lấp
Phát thải	Không có tác động gì nếu được vận hành tốt	Phát thải khí thường xuyên ở nồng độ cao dioxin và các chất ô nhiễm không khí khác
Khí nhà kính	Giảm phát thải CO_2 so với chôn lấp và đốt cùng loại chất thải	Xây dựng các lò đốt phát điện sẽ tăng thêm các điểm phát thải trong cả nước

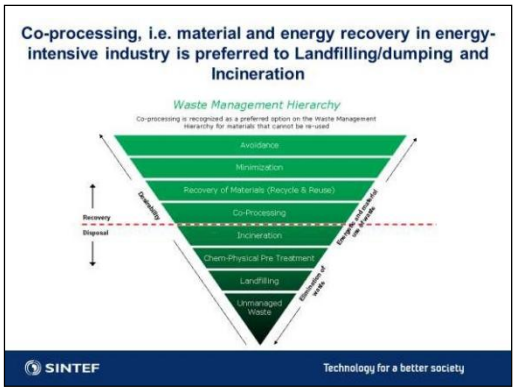
10. Khả năng sử dụng lò xi măng như thế nào?

Lò nung xi măng đã được chứng minh là phương tiện hiệu quả để thu hồi giá trị từ vật liệu phế thải và đồng xử lý trong lò nung xi măng hiện là một phần không thể thiếu trong nhiều phương án khả thi để xử lý một số loại chất thải, đã được thực hiện ở các nước phát triển trong bốn thập kỷ qua.

Hai nhà máy xi măng mà chúng tôi có ở Na Uy, hiện nay đang thay thế khoảng 75% than sử dụng bằng chất thải, bao gồm cả nhựa, và đây là phương án xử lý duy nhất để xử lý chất thải hữu cơ nguy hại ở Na Uy trong 30 năm qua. Na uy không xây dựng lò đốt chuyên dụng cho chất thải nguy hại.

Phương pháp đem lại hiệu quả về chi phí, tiết kiệm tài nguyên và thân thiện với môi trường hơn so với đốt rác. Hiệu suất sử dụng năng lượng tốt hơn nhiều so với các lò đốt rác (WtE) - và không tạo ra dư lượng, so với khoảng 30% trong lò đốt rác WtE.

Lò nung xi măng có hệ thống tiền nung có nhiều tính năng riêng nên rất lý tưởng cho việc xử lý chất thải; nhiệt độ cao, thời gian lưu trú lâu, lượng oxy dư thừa trong và sau khi đốt, điều kiện phối trộn tốt, quán tính nhiệt, dòng khí thải được làm sạch khô do nguyên liệu có kiềm (nó trung hòa các khí có tính a xít cũng như khí chứa clo), cố định các vết của kim loại nặng trong cấu trúc clinker, không tạo ra sản phẩm phụ và thu hồi hiệu quả năng lượng và các thành phần nguyên liệu trong chất thải.



11. Một cơ hội đồng lợi ích

Không phải tất cả rác thải nhựa đều có thể tái chế, chúng ta cần phải tìm ra các giải pháp bổ sung để tránh viễn cảnh rác thải nhựa sẽ bóp nghẹt chúng ta và hành tinh của chúng ta!

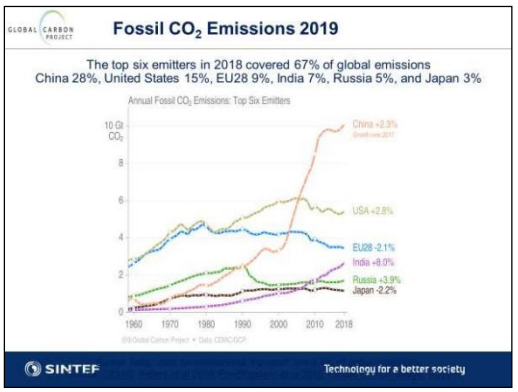
Dự án OPTOCE dự kiến sẽ phát hiện ra tiềm năng chưa được khai thác để loại bỏ, xử lý và sử dụng có lợi chất thải nhựa không thể tái chế của khu vực tư nhân.

Nghiên cứu đã chỉ ra rằng chất thải nhựa hỗn hợp đồng xử lý có thể tiết kiệm tới 1200 kg CO_2 tương đương trên mỗi tấn chất thải được xử lý, khi tính đến lượng giải phát khí thải thu được so với sử dụng than đá (Astrup, Fruergaard and Christensen, 2009).

Thế giới có thể cần giảm một nửa lượng phát thải khí nhà kính trong năm 2030 để ngăn chặn mức độ nguy hiểm của hiện tượng ấm lên toàn cầu

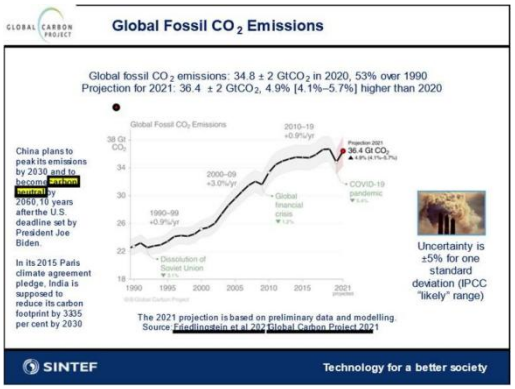
Lượng khí thải carbon dioxide toàn cầu từ nhiên liệu hóa thạch sẽ tăng lên trong những năm tới do các yếu tố địa - chính trị như chiến tranh ở Ukraine.

Sự sụt giảm nhẹ phát thải khí nhà kính ở Mỹ và EU được bổ sung bởi sự gia tăng dự kiến ở Trung Quốc, Ấn Độ và các khu vực khác trên thế giới, nơi tăng trưởng kinh tế thúc đẩy nhu cầu năng lượng ngày càng tăng.



12. Chúng tôi muốn giới thiệu tiềm năng loại bỏ rác thải nhựa thông qua các nghiên cứu thí điểm tại các địa phương

OPTOCE đang thực hiện các nghiên cứu thí điểm tại các nhà máy xi măng địa phương để điều tra và lập hồ sơ về tính khả thi, nhằm chứng minh giải pháp này theo các điều kiện địa phương khác nhau và phát hiện ra những hạn chế tiềm ẩn trong quá trình áp dụng.



Chúng tôi đã ký kết các thỏa thuận với chính quyền trung ương và địa phương, các công ty quản lý chất thải hàng đầu và ngành công nghiệp xi măng ở tất cả các nước trong phạm vi dự án OPTOCE; chúng tôi có các thỏa thuận với các trường đại học và các tổ chức phi chính phủ và sẽ hợp tác với các tổ chức quốc tế như Ngân hàng Thế giới, UNDP, UNEP, v.v.

Các nghiên cứu thí điểm sẽ so sánh hiệu suất kỹ thuật và môi trường trong các điều kiện cơ bản, tức là khi chỉ sử dụng than, với các điều kiện đồng xử lý trong đó các nguồn chất thải nhựa không thể tái chế khác nhau được sử dụng làm đồng nhiên liệu cùng với than. Các công ty bên thứ ba độc lập và được công nhận sẽ lấy mẫu và phân tích các chất ô nhiễm trong khí thải và bã thải. Các tác động có thể xảy ra đối với quá trình và chất lượng sản phẩm sẽ được đánh giá. Kết quả sẽ được công bố trên các Tạp chí khoa học.

Mục đích chung là cung cấp đánh giá định lượng và định tính về cách thức sự tham gia của ngành công nghiệp tư nhân có thể cải thiện việc quản lý chất thải nhựa và ngăn chặn rác thải biển tràn ra đại dương ở mỗi quốc gia.

13. Thí điểm được thực hiện tại Trung Quốc vào tháng 12 năm 2020

Sông Dương Tử ở Trung Quốc tiếp nhận chất thải từ hàng trăm triệu người dẫn đến sự cố tuabin trong một đập thủy điện lớn có tên là Tam Hiệp nằm ở tỉnh Hồ Bắc. Chúng tôi đã ký một thỏa thuận với Công ty xi măng Huaxin ở thị trấn Zigui, nằm ở thượng nguồn của con đập, để đánh giá khả năng thu gom và đồng xử lý vật liệu nổi từ sông, bao gồm cả lượng lớn nhựa.

Một cuộc trình diễn thí điểm đã được tiến hành ở sông Dương Tử với nhà máy xi măng Huaxin vào tháng 12 năm 2020. Kết quả cho thấy, hàng năm có thể ngăn chặn được 20.000 tấn rác thải nhựa có khả năng thoát ra đại dương của chúng ta.

Dự án OPTOCE cũng đã nghiên cứu tính khả thi của việc sử dụng chất thải rắn đô thị như nhiên liệu có nguồn gốc từ rác thải (RDF) từ thành phố Zigui làm đồng nhiên liệu.

Tính khả thi của việc xử lý rác thải nhựa của bệnh viện Covid-19 và các hoạt chăm sóc sức khỏe ít lây nhiễm trong các lò xi măng xung quanh Vũ Hán cũng đã được nghiên cứu.

14. Thí điểm được thực hiện tại Việt Nam từ tháng 12 năm 2021

Các nhà máy giấy ở châu Á chủ yếu sử dụng giấy và bìa đã qua sử dụng nhập khẩu từ châu Âu và Trung Đông để sản xuất giấy mới. Giấy đã qua sử dụng với nhựa nhiều lớp là một vấn đề rác thải lớn trên toàn châu Á.

Chúng tôi đã ký thỏa thuận với nhà sản xuất giấy lớn nhất Việt Nam, nằm ở sông Mekong và sản xuất số lượng lớn nhựa không tái chế.

Rác thải, chẳng hạn như các mảnh băng, miếng nhựa nhiều lớp và nhãn dán. Vào tháng 12 năm 2021, chúng tôi đã tiến hành một cuộc trình diễn thí điểm tại nhà máy xi măng INSEE ở Hòn Chông, tỉnh Kiên Giang, để đánh giá tính khả thi của việc sử dụng chất thải nhựa không thể tái chế từ nhà máy tái chế giấy lớn nhất Việt Nam và chất thải cao su từ sản xuất giày/dép như một loại đồng nhiên liệu.

15. Kế hoạch thí điểm tại Thái Lan

Một số bãi chôn lấp và bãi rác thải ở Thái Lan chứa tới 42% nhựa. Có khoảng 2.500 bãi rác thải trong số này nằm rải rác trên khắp đất nước, cộng lại sẽ chứa tới 190 triệu tấn rác thải nhựa tích lũy nếu tính đại diện (Sharma et al., 2020).

Chúng tôi đã ký một thỏa thuận với nhà sản xuất xi măng lớn thứ hai trong nước, nhà sản xuất xi măng này sẽ thu gom chất thải nhựa từ các bãi thải và sử dụng nó như một nguyên liệu thay thế cho than đá.

Có một mối quan tâm lớn trong việc sử dụng tài nguyên và phục hồi các bãi chôn lấp và bãi thải ở châu Á. Các bãi thải này chiếm nhiều diện tích đất có giá trị và góp phần gây ra ô nhiễm cục bộ và toàn cầu.

Chúng tôi dự định cùng với Viện Công nghệ Châu Á điều tra và lập hồ sơ về những tác động và lợi ích môi trường của việc khai thác bằng bãi chôn lấp. Các cuộc thử nghiệm sẽ được tiến hành vào năm 2022

16. Thí điểm tại Ấn Độ

Chúng tôi có thỏa thuận với các cơ quan quản lý môi trường trung ương và địa phương ở Ấn Độ, cũng như các công ty quản lý chất thải lớn nhất của đất nước, để chứng minh tính khả thi của việc xử lý chất thải nhựa không thể tái chế từ các thành phố lớn như Nagpur.

17. Thí điểm tại Myanmar

Myanmar hiện không có phương án xử lý chất thải nhựa không thể tái chế nhưng do cuộc đảo chính quân sự vào tháng 2 năm 2021, các hoạt động của dự án ở Myanmar đã bị tạm dừng.

Nếu có thể, chúng tôi sẽ tiến hành các thí nghiệm tại các nhà máy xi măng bên ngoài Mandalay và Yangon và đánh giá xem liệu chất thải nhựa có thể được ngành công nghiệp xử lý theo cách hợp lý về mặt môi trường hay không.

18. Hợp tác học thuật

Hợp tác học thuật được triển khai giữa các quốc gia thành viên từ năm 2020.

Mục tiêu nhằm nâng cao năng lực trong xử lý chất thải nhựa không tái chế (NRPW) và cung cấp kiến thức tốt hơn về tình hình NRPW ở các quốc gia. Nghiên cứu song song luận án Thạc sĩ đã được thực hiện ở bốn quốc gia đối tác.

Một số nghiên cứu đã được hoàn thành và một số nghiên cứu đang triển khai như:

- NRPW phát sinh tại các thành phố và đô thị: Lượng phát thải NRPW là bao nhiêu, làm thế nào để những người thu gom rác phi chính thức có thể phân loại được rác thải nhựa có thể tái chế và không thể tái chế và xử lý NRPW như thế nào.

- NRPW trong bãi thải / bãi chôn lấp: lượng NRPW và những loại NRPW nào được tích tụ trong bãi thải và lượng NRPW được thải ra đường nước / nước ngầm gần đó như thế nào.

- NRPW trong khai thác bãi chôn lấp / bãi thải: khai thác bãi chôn lấp có thể góp phần giảm thiểu rò rỉ rác thải nhựa ra đại dương như thế nào, làm thế nào để sản xuất nhiên liệu có chất lượng từ bãi rác NRPW và có thể làm gì với các chất thải bỏ. Các vật liệu trên sông, bao gồm NRPW, được loại bỏ khỏi sông và xử lý theo cách thân thiện với môi trường.

19. Giảm thiểu rác thải nhựa đại dương

Viện Công nghệ Châu Á tại Thái Lan đã khởi động chương trình sau đại học đầu tiên về rác nhựa đại dương ở Châu Á, có tên gọi Giảm thiểu rác thải nhựa đại dương (MPA) vào năm 2020.
https://www.ait.ac.th/2020/04/ait-launches-marine-plastic-litter-msc-with-us-3-mil-japanese-grant/
Chương trình này được hỗ trợ bởi Chính phủ Nhật Bản và cấp học bổng thạc sỹ một năm cho nhiều sinh viên.

OPTOCE đã tham gia vào việc phát triển chương trình giảng dạy khóa học, giảng dạy, nghiên cứu liên quan và hướng dẫn sinh viên.

20. Xây dựng năng lực

Các bài học kinh nghiệm từ các thí điểm của OPTOCE và từ sự hợp tác học thuật sẽ được chia sẻ thông qua một diễn đàn đa bên trong khu vực, cho phép nâng cao nhận thức, xây dựng năng lực và nhân rộng trên toàn châu lục. Diễn đàn đầu tiên được lên kế hoạch tổ chức tại Bangkok từ 27-28 tháng 10 năm 2022.

21. Các kết luận chính của các thí điểm đã triển khai

Hai Thí điểm được thực hiện tại Trung Quốc và Việt Nam đã thử nghiệm bốn loại chất thải nhựa không thể tái chế với khối lượng lớn khác nhau và chứng minh rằng việc đồng xử lý trong các lò xi măng địa phương là khả thi về mặt kỹ thuật và môi trường.
Kết quả phân tích cho thấy việc phát thải dioxin không bị ảnh hưởng bởi việc nạp chất thải nhựa và tuân thủ giá trị giới hạn phát thải quốc tế nghiêm ngặt nhất, 0,1 ng TEQ/Nm^3. Đồng xử lý chất thải sẽ làm tăng đáng kể công suất xử lý tại chỗ, tiết kiệm một lượng lớn than và giảm thải nhựa/vi nhựa ra Biển Đông và Bắc Trung Quốc.

22. Lựa chọn các bài báo và ấn phẩm

Có thể tìm thấy tổng quan về các bài báo, bài thuyết trình xuất bản và các liên kết khác trên trang web của chúng tôi: https://optoce.no/

23. Liên hệ/thông tin

TS. Kåre Helge Karstensen
Nhà khoa học hàng đầu và Quản lý chương trình
khk@sintef.no

Tài liệu tham khảo

Astrup, T., Fruergaard, T. and Christensen, T.H., 2009. Recycling of plastic: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. Waste Management and Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy, 2009, Volume: 27 issue: 8, pages: 763-772.

Breaking the Plastic Wave, the Pew Charitable Trust, 2020.

Geyer, R., Jambeck, J.R., and Law, K.L., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances, 2017;3: e1700782. 19 July 2017.

Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. Science, 13 February 2015 Vol 347 Issue 6223.

Kåre Helge Karstensen, Palash Kumar Saha, Eirik Vigerust, Anneli Alatalo Paulsen, Christian John Engelsen and Mehdi Ahmadi, 2019. Ocean plastic: an opportunity in the circular economy? International Cement Review. October 2019. ISSN 0959-6038.

Kåre Helge Karstensen, Palash Kumar Saha, Eirik Vigerust, Anneli Alatalo Paulsen, Christian John Engelsen and Mehdi Ahmadi, 2019. Asia's plastic potential. International Cement Review. March 2020. ISSN 0959-6038.

Mutz, D., Hengevoss, D., Hugi, C. and Gross, T., 2017. Waste-to-Energy Options in Municipal Solid Waste Management. A Guide for Decision Makers in Developing and Emerging Countries. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Germany.

Ocean Conservancy, McKinsey Center for Business and Environment, 2015, Stemming the tide – Land-based strategies for a plastic-free ocean.
Regjeringen, 2020 (https://www.regjeringen.no/en/dokumenter/marine_litter/id2642037/

Sharma, A., Aloysius, V, Visvanathan, C., 2019. Recovery of plastics from dumpsites and landfills to prevent marine plastic pollution in Thailand. Waste Dispos. Sustain. Energy DOI 10.1007/ s42768-019-00027-7.

The state of plastics, 2018. World Environment Day Outlook, www.unenvironment.org

Article in International Cement Review, October 2020

Ocean plastic: an opportunity in the circular economy?

Một vài bài báo về sử dụng các lò đốt xi măng

Karstensen, K.H. et al., 2006. Environmentally Sound Destruction of Obsolete Pesticides in Developing Countries Using Cement Kilns. Environmental Science & Policy, 9, 577-586.

Karstensen, K.H., 2008. Formation, release and control of dioxins in cement kilns – A review. Chemosphere, 70 (2008) 543–560.

Karstensen, K.H., 2010. Test burn with PCB in a local cement kiln in Sri Lanka. Chemosphere, 78, 717-723. ISSN: 0045-6535

Karstensen, K.H. et al., 2014. Destruction of concentrated Chlorofluorocarbons in India demonstrates an effective option to simultaneously curb climate change and ozone depletion. Environmental Science and Policy, 38 (2014) 237-244. ISSN No. 1462-9011.

Article in International Cement Review, March 2020

Asia's plastic potential