

Bài báo khoa học

## Hiện trạng chuyển đổi số trong quản lý chất thải công nghiệp hướng tới kinh tế tuần hoàn tại các tỉnh phía Nam

Nguyễn Điền Châu<sup>1\*</sup>, Hồ Thị Thanh Hiền<sup>1</sup>, Lâm Trúc Thanh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Văn Lang; dienchaunguyensgcc@gmail.com; hien.htt@vlu.edu.vn; thanhhu98@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: dienchaunguyensgcc@gmail.com; Tel.: +84-909232706

Ban Biên tập nhận bài: 5/2/2022; Ngày phản biện xong: 16/3/2022; Ngày đăng bài: 25/4/2022

**Tóm tắt:** Hiện nay, chuyển đổi số là mục tiêu chiến lược phát triển kinh tế xã hội, đồng thời là cơ hội để phát triển kinh tế tuần hoàn. Nghiên cứu này phân tích hiện trạng chuyển đổi số trong hoạt động quản lý chất thải công nghiệp tại một số tỉnh phía Nam trên cơ sở phỏng vấn sâu các bên liên quan. Kết quả cho thấy công tác báo cáo cũng như số hóa, phân tích và quản lý dữ liệu chất thải công nghiệp chỉ áp dụng mức độ chuyển đổi số cơ bản, mặc dù đã có vài công nghệ số được triển khai như hệ thống định vị chất thải (GPS) và phần mềm kê khai phí bảo vệ môi trường nước thải. Công tác quản lý chất thải tái chế tại các doanh nghiệp vừa và nhỏ cần được đẩy mạnh và hỗ trợ bằng phần mềm dữ liệu. Nghiên cứu nhấn mạnh vai trò của trung tâm trao đổi (thông tin) chất thải trên nền tảng công nghệ kỹ thuật số. Vai trò tích cực của công nghệ số là động lực thúc đẩy chuyển đổi số. Rào cản lớn nhất chính là thiếu thể chế và hướng dẫn cụ thể, yêu cầu về trình độ nhân lực, và chi phí đầu tư cho chuyển đổi số. Nghiên cứu đưa ra các giải pháp cụ thể nhằm tối ưu hóa công tác quản lý chất thải công nghiệp trên cơ sở chuyển đổi số.

**Từ khóa:** Chuyển đổi số; Quản lý chất thải công nghiệp; Kinh tế tuần hoàn.

### 1. Mở đầu

Quá trình phát triển của con người trên hành tinh trái đất cùng với các hoạt động khai thác tài nguyên, khoáng sản, sản xuất công nghiệp, tiêu dùng và nhiều hoạt động khác, nền kinh tế vận hành theo mô hình tuyến tính không còn phù hợp. Nền kinh tế tuyến tính gồm các hoạt động khai thác tài nguyên, khoáng sản và phát thải tăng tương ứng với các hoạt động sản xuất và tiêu dùng, khiến cho nguồn tài nguyên giới hạn trên trái đất sẽ cạn kiệt trong một ngày không xa và đó là một quá trình phát triển không bền vững [1]. [2] chỉ ra rằng khối lượng nguyên liệu đầu vào cho nền kinh tế châu Âu đạt 65 tỷ tấn vào năm 2010, trong đó 21 tỷ tấn nguyên liệu không tạo ra sản phẩm cuối cùng (tức là chúng bị mất đi trong quá trình chuyển đổi giữa các dạng nguyên liệu và trong quá trình sản xuất, do các sản phẩm phụ không được sử dụng, không hiệu quả, và các vấn đề về bảo quản), đồng thời thải ra 2,7 tỷ tấn chất thải, trong đó chỉ 40% được tái chế và tái sử dụng. Chính vì vậy, ngày nay các quốc gia trên thế giới đều đang định hướng chuyển đổi kinh tế tuyến tính sang mô hình kinh tế được cho là bền vững hơn do khả năng tái tạo trên cơ sở tái sử dụng các nguồn tài nguyên đã sử dụng thông qua các chu trình vật chất và năng lượng [3-4], gọi là *kinh tế tuần hoàn (KTTH)*. Khái niệm về KTTH được đưa ra chính thức bởi [5] mặc dù có nguồn gốc từ những năm 1960. Các nhà nghiên cứu cho rằng trong mô hình KTTH, chất thải được giảm thiểu và quản lý tốt hơn, chức năng của chất thải là tài nguyên và năng lượng được khôi phục, giúp các tổ chức có lợi nhuận và môi trường bền vững hơn [6].

Các công nghệ tiên tiến trong bối cảnh Công nghiệp 4.0 (I4.0) được cho là đòn bẩy phát triển KTTH và giúp giải quyết một số mục tiêu phát triển bền vững [7–9]. Theo [10], mục đích của I4.0 là kết nối ngành công nghiệp với internet, giúp các nhà máy trở nên tiết kiệm, thông minh và hiệu quả hơn. Các công nghệ tiên tiến cần kể đến là hệ thống vật lý mạng (*Cyber-Physical Systems-CPS*), internet vạn vật (*Internet of Things-IoT*), dữ liệu lớn (*Big Data-BD*), sản xuất phụ trợ (*Additive Manufacturing-AM*), internet dịch vụ phát triển trên nền tảng blockchain (*Internet of Services-IoS*), điện toán đám mây (*Cloud Computing-CC*), thực tế tăng cường (*Augmented Reality-AR*), tích hợp hệ thống (*Systems Integration*), mô phỏng (*Simulation*), an ninh mạng (*Cybersecurity*), và robot tự hành (*Autonomous Robots*) [11–13]. Những công nghệ này không chỉ mang lại lợi ích do ưu điểm của chúng mà còn giúp giảm phát sinh chất thải, tác động môi trường và thúc đẩy phát triển công nghiệp theo quy trình sản xuất sạch hơn [14–15].

Điều cơ bản và tất yếu để phát triển và áp dụng công nghệ 4.0 chính là chuyển đổi số, sự kết hợp này tạo nên sự thay đổi trong sản xuất công nghiệp thúc đẩy kinh tế tuần hoàn [16]. Vai trò của chuyển đổi số được xác định trong việc thực hiện các nguyên tắc KTTH, trong quy trình vận hành nhà máy, mô hình sản xuất, kinh doanh và dịch vụ [3, 17–21]. “Kế hoạch hành động phát triển KTTH cho một Châu Âu xanh hơn và cạnh tranh hơn” được Liên minh Châu Âu phê duyệt vào tháng 3 năm 2020 nhấn mạnh tầm quan trọng của chính sách giảm thiểu khí nhà kính và tiết kiệm tài nguyên, đồng thời nêu rõ chính sách này có thể đạt được thông qua nghiên cứu, hiện đại hóa và chuyển đổi số [22].

Trong “Chương trình chuyển đổi số quốc gia đến năm 2025, định hướng đến năm 2030” Chính phủ Việt Nam đề ra các mục tiêu khá cụ thể như: phát triển Chính phủ số, đến năm 2030 Việt Nam sẽ thuộc nhóm 50 nước dẫn đầu về Chính phủ điện tử, phát triển và nâng cao năng lực cạnh tranh của nền kinh tế, kinh tế số đóng góp 30% GDP, tỷ trọng kinh tế số trong từng ngành, lĩnh vực đạt tối thiểu 20%,... Chuyển đổi số không chỉ giúp phát triển kinh tế đất nước trong thời kỳ mới mà còn góp phần thúc đẩy KTTH với trọng tâm là quản lý chất thải như những phân tích đã nêu trên. Các nghiên cứu gần đây thường tập trung vào ý định số hóa của doanh nghiệp, mà phần lớn bỏ qua thực tế áp dụng công nghệ kỹ thuật số. Mặt khác, việc triển khai các công nghệ kỹ thuật số trong thực tế thấp hơn đáng kể so với ý định chuyển đổi số được báo cáo trong năm 2016 và 2017 [23].

Nghiên cứu này nhằm phân tích vai trò của chuyển đổi số đối với KTTH và hiện trạng chuyển đổi số trong lĩnh vực quản lý chất thải công nghiệp (CTCN) tại một số tỉnh phía Nam. Với những mục tiêu nghiên cứu trên, nội dung tiếp theo trình bày khái niệm, nguyên tắc, các quy mô phát triển KTTH, và vai trò của chuyển đổi số và công nghệ 4.0 trong thúc đẩy KTTH. Phương pháp nghiên cứu sẽ được trình bày ở phần kế tiếp. Kết quả nghiên cứu gồm tổng quan vai trò quản lý CTCN của các bên liên quan và phân tích tổng hợp kết quả phỏng vấn các bên liên quan về hiện trạng chuyển đổi số trong công tác quản lý chất thải. Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu, một số khuyến nghị liên quan đến chuyển đổi số được đề xuất nhằm nâng cao hiệu quả quản lý CTCN với định hướng phát triển KTTH.

## 2. Cơ sở lý thuyết

### 2.1. Kinh tế tuần hoàn

Kinh tế tuần hoàn (*Circular Economy-CE*) là một chủ đề mới trong những năm gần đây, được phát triển dựa trên khái niệm sinh thái công nghiệp (*Industrial Ecology-IE*). Vấn đề cốt lõi của IE chính là tích hợp việc quản lý chất thải trong mạng lưới các hệ thống sản xuất công nghiệp theo hướng khép kín các dòng vật chất và năng lượng để quá trình sản xuất trở nên ít lãng phí nhất có thể [24]. Kinh tế tuần hoàn là sự mở rộng khái niệm IE ra phạm vi mô hình phát triển kinh tế, sản xuất, phân phối và thu hồi sản phẩm. Mặc dù các khái niệm về KTTH chưa thống nhất nhưng chúng đều được mô tả như một sự chuyển đổi có hệ thống mô hình kinh tế tuyến tính sang một mô hình khả thi về kinh tế, nhưng vẫn có khả năng tái tạo trên cơ sở tái sử dụng các nguồn tài nguyên đã sử dụng thông qua các chu trình vật chất và năng lượng. Hội nghị khoa học toàn quốc “Chuyển đổi số và công nghệ số trong Khoa học Trái đất, Mỏ và Môi trường” (EME 2021)

lượng [3–4]. Phát triển KTTH đòi hỏi sự thay đổi trên toàn hệ thống các hoạt động liên quan đến sản phẩm và dịch vụ như thiết kế, khai thác tài nguyên, sản xuất, phân phối, sử dụng, nhằm đạt được ba mục tiêu: 1) giảm thiểu phát sinh chất thải và tiêu thụ tài nguyên; 2) giảm các tác động môi trường khác trong suốt vòng đời của dịch vụ và sản phẩm; và 3) vẫn đảm bảo phát triển kinh tế xã hội [4, 25]. Điều này đòi hỏi sự thay đổi trong ý thức môi trường, mô hình sản xuất–kinh doanh sáng tạo và các chính sách tích hợp [26, 27].

## 2.2. Các nguyên tắc kinh tế tuần hoàn

Các nguyên tắc chính của KTTH có liên quan đến các thứ tự ưu tiên trong quản lý chất thải, bao gồm: giảm thiểu, kéo dài vòng đời sản phẩm thông qua dịch vụ hoặc bảo trì, tái sử dụng, tái sản xuất, và tái chế [28]. Ngoài những nguyên tắc kể trên, [2] đề xuất xem xét ba nguyên tắc về thiết kế vòng đời sản phẩm, phân loại nguyên vật liệu theo khía cạnh kỹ thuật hay dinh dưỡng để thu hồi, và khả năng tái tạo, trong đó nhấn mạnh vai trò của năng lượng tái tạo. [29] bổ sung hoạt động quản lý sản phẩm của doanh nghiệp, hay nói cách khác đây chính là trách nhiệm mở rộng của doanh nghiệp, cũng góp phần thúc đẩy KTTH.

Phát triển KTTH trên toàn thế giới vẫn còn trong giai đoạn sơ khởi, chủ yếu tập trung vào việc tái chế hơn là tái sử dụng [4]. Tuy nhiên hoạt động tái chế tồn tại nhiều giới hạn và thách thức như chi phí, khả năng tái chế, chất lượng nguyên liệu và sản phẩm tái chế [30–32]. Do đó, nhằm mục đích nâng cao giá trị sản phẩm đã qua sử dụng vượt quá giá trị tái chế của chúng, [33] đề xuất khung Re–SOLVE theo định hướng các nguyên tắc của KTTH gồm các thành phần sau: tái sinh (tái sinh năng lượng từ chất thải hoặc phục hồi hệ sinh thái thông qua các hoạt động quản lý đất); chia sẻ (chia sẻ, tái sử dụng, và kéo dài vòng đời sản phẩm thông qua hoạt động bảo trì); tối ưu hóa (tăng hiệu quả sản xuất, giảm thiểu chất thải thông qua sử dụng công nghệ tự động, quản lý và sử dụng dữ liệu lớn); quay vòng (ưu tiên thu hồi sản phẩm và nguyên liệu để tái sản xuất sản phẩm hơn là tái chế nguyên vật liệu); áp dụng kỹ thuật số (phát triển các sản phẩm, chẳng hạn sách, âm nhạc, và dịch vụ kỹ thuật số như văn phòng ảo, showroom ảo); trao đổi (thay thế nguyên liệu và sản phẩm truyền thống bằng các nguyên liệu, sản phẩm thông minh hơn như in 3D, phương tiện vận tải đa phương thức).

## 2.3. Quy mô phát triển kinh tế tuần hoàn

Phát triển KTTH được triển khai ở ba quy mô khác nhau: vi mô, trung mô và vĩ mô [4, 25]. Ở cấp độ vi mô, sự chuyển đổi hướng tới KTTH do một doanh nghiệp (DN) hoặc nhà máy sản xuất (NMSX) thực hiện [34]. [4] đã chỉ ra việc triển khai KTTH ở quy mô này bao gồm ba khía cạnh: 1) thiết kế thân thiện môi trường và sản xuất sạch trong lĩnh vực sản xuất; 2) trách nhiệm tiêu dùng xanh của người tiêu dùng và trong lĩnh vực công; và 3) thu hồi tài nguyên và ngăn ngừa tác động môi trường trong lĩnh vực quản lý chất thải. Ở cấp độ trung mô, trọng tâm KTTH được mở rộng từ một DN/NMSX đơn lẻ sang hợp tác giữa các DN/NMSX thông qua cộng sinh công nghiệp – *industrial symbiosis (CSCN)*, nhằm thiết lập các khu công nghiệp hoặc cụm công nghiệp sinh thái [35]. Nếu sinh thái công nghiệp liên quan tất cả các cấp độ (DN/NMSX, liên DN/NMSX, khu vực và toàn cầu) thì CSCN chỉ quan tâm đến quy mô liên DN/NMSX. Cấp độ vĩ mô nhấn mạnh những nỗ lực thực hiện của chuỗi cung ứng, thành phố, vùng, hoặc quốc gia trong việc thúc đẩy áp dụng mô hình KTTH [25]. Quy mô này bao gồm các quá trình tích hợp và tái thiết kế trong bốn lĩnh vực: 1) Hệ thống công nghiệp; 2) Hệ thống hạ tầng; 3) Bối cảnh văn hóa; và 4) Tiêu dùng xã hội [36–37].

## 2.4. Vai trò của chuyển đổi số trong thúc đẩy kinh tế tuần hoàn

Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra vai trò của I4.0 trong phát triển KTTH nói chung và trong quản lý chất thải nói chung. [15] khuyến nghị các công nghệ 4.0 phù hợp với từng thành phần trong khung Re–SOLVE của EMA [33] là: internet vạn vật, điện toán đám mây, hệ thống vật lý mạng, thực tế tăng cường, nhận dạng đối tượng bằng sóng vô tuyến, và cảm biến. Trên thực tế, dữ liệu lớn và internet vạn vật là hai công nghệ hiện đại nhận được sự quan tâm lớn

nhất của giới khoa học trong quá trình chuyển đổi sang KTTH [38]. Theo đó, tác giả chỉ ra 39 ứng dụng về công nghệ thông tin của dữ liệu lớn và internet vạn vật trong sáu nguyên tắc triển khai KTTH: thiết kế, giảm thiểu, tái sử dụng, tái chế, phân loại, và năng lượng tái tạo.

[29] nhấn mạnh vai trò của hệ thống thông tin của doanh nghiệp nhằm thực hiện các hoạt động quản lý sản phẩm của họ. Quản lý sản phẩm cùng với tái chế đóng vai trò ngày càng quan trọng trong việc giảm tiêu thụ tài nguyên trong hoạt động sản xuất, và do đó liên quan đến trách nhiệm của doanh nghiệp trong quản lý môi trường và tài nguyên [6]. Hoạt động này cụ thể là trao đổi thông tin liên quan đến vòng đời sản phẩm. Để nâng cao năng lực của hệ thống thông tin, chuyển đổi số và tối ưu hóa đầu cuối đóng vai trò then chốt. Bên cạnh đó, phần mềm quản lý vòng đời sản phẩm (*Product Life Cycle Management-PLM*) và hệ thống thông tin doanh nghiệp (*Enterprise Information System-EIS*) là những công cụ giúp chia sẻ thông tin giữa các bên liên quan và giải quyết các vấn đề khác nhau, chẳng hạn tối ưu hóa việc tái chế hoặc tái sử dụng vật liệu [39].

Theo định hướng KTTH, phát triển sản phẩm bền vững luôn cần sự hỗ trợ của công cụ phân tích vòng đời sản phẩm (*Life Cycle Analysis-LCA*) và gắn liền với chuyển đổi số dữ liệu và quy trình đánh giá [40]. [41] lưu ý tiềm năng sử dụng công nghệ blockchain với các đặc trưng quan trọng như nội địa hóa, nhanh chóng, và chuyển đổi số để triển khai các nguyên tắc KTTH trong chuỗi cung ứng, đặc biệt trong điều kiện đại dịch Covid-9.

Những phân tích tích trên cho thấy vai trò “xương sống” của chuyển đổi số cùng với việc áp dụng công nghệ 4.0 trong việc thực hiện các nguyên tắc KTTH, trong quy trình vận hành nhà máy, mô hình sản xuất, kinh doanh và dịch vụ [3, 17–21]. Do đó, chuyển đổi số là điều cơ bản và tất yếu tạo nên sự thay đổi trong sản xuất công nghiệp thúc đẩy KTTH [16].

### **3. Phương pháp nghiên cứu**

#### *3.1. Phương pháp tổng quan tài liệu*

Để thực hiện nghiên cứu này, nhóm tác giả đã sử dụng các các nguồn tài liệu gồm báo cáo và chuyên đề khoa học, báo cáo môi trường và quản lý chất thải, thông tin từ website,... Bên cạnh đó, nhóm tác giả còn tham khảo bài báo khoa học từ các nhà xuất bản uy tín như Science Direct, Sage, Springer, Taylor and Francis,... sử dụng các từ khóa như “số hóa”, “chuyển đổi số”, “công nghiệp 4.0”, “kinh tế tuần hoàn”, “tuần hoàn chất thải”, “sinh thái công nghiệp”. Mục đích tổng quan tài liệu nhằm phân tích vai trò của chuyển đổi số và công nghiệp 4.0 đối với KTTH, và vai trò quản lý chất thải công nghiệp của các bên liên quan.

#### *3.2. Phương pháp phỏng vấn chuyên gia*

Phương pháp phỏng vấn nhằm tìm hiểu hiện trạng chuyển đổi số trong công tác quản lý chất thải ở các tỉnh phía Nam, để thực hiện mục tiêu nói trên thì các đối tượng cần phỏng vấn là đại diện các bên liên quan trong hệ thống quản lý chất thải công nghiệp ở các tỉnh phía Nam, chia thành 5 nhóm: 1) Doanh nghiệp sản xuất/ phát thải: Công ty DMC, Công ty Văn Phú, Công ty AGC VN, Công ty Taekwang Vina, Công ty Đông Hải Bến Tre, Công ty VREC, Công ty Faswell VN, Công ty TTCL VN, Công ty Kolon Bình Dương, Công ty Long Sơn, Công ty Công nghiệp WINCONS, Công ty Long Vĩ; 2) Doanh nghiệp tư nhân hoặc nhà nước đảm trách công tác thu gom, vận chuyển và xử lý chất thải: Công ty Môi Trường Á Châu, Công ty Môi Trường Chân Lý, Chi nhánh XLCT – Công ty Nước – Môi Trường Bình Dương, Công ty TNHH MTV Dịch vụ Công ích Tân Bình, Công ty Môi Trường Pedaco – Petrosetco PVN VN, Công ty CP Môi Trường Đô Thị Đà Nẵng, Công ty Môi Trường Việt Úc; 3) Đơn vị tư vấn: Trung tâm Công nghệ Môi trường ENTEC, Trung tâm Quan trắc & Kỹ thuật Tài nguyên Môi trường An Giang, Trung tâm Quan trắc Tài nguyên & Môi trường TP.HCM, Trung tâm Đo đạc Bản đồ – Sở Tài nguyên và Môi trường (Sở TN&MT) TP.HCM, Công ty Môi trường CAV, Công ty Gia Bảo Linh; 4) Chủ đầu tư hạ tầng khu công nghiệp/ khu chế xuất (KCN/KCX): Công ty TNHH MTV Đầu tư Kinh doanh nhà Khang Phúc (KCN Lê Minh

Xuân), Công ty CP Long Hậu (KCN Long Hậu), TCT Xây dựng Sài Gòn–TNHH MTV (KCN Cái Mép), Tổng Công ty IDICO (KCN Nhơn Trạch); 5) Cơ quan quản lý nhà nước: STN&MT tỉnh Long An, Chi cục Bảo vệ Môi trường TP.HCM (BVMT), Phòng TN và MT quận Phú Nhuận, Phòng TN và MT huyện Củ Chi, Phòng QLCTR–Sở TN&MT TP.HCM, Chi cục BVMT tỉnh BR–VT, Ban quản lý các KCX/KCN TP.HCM (Hepza), STN&MT tỉnh Bình Dương, Chi cục BVMT tỉnh Đồng Nai.

Nội dung phỏng vấn: 1) Hình thức và tần suất nộp báo cáo môi trường/ quản lý chất thải; 2) Phương pháp số hóa dữ liệu và chuyển đổi số; 3) Phương pháp xử lý, phân tích, chia sẻ dữ liệu của tổ chức; 4) Các công nghệ 4.0 được sử dụng; 5) Kế hoạch trong việc chuyển đổi số trong 05 năm tới; 6) Các yếu tố thúc đẩy và rào cản đối với việc chuyển đổi số. Thời gian phỏng vấn từ tháng 8–10/2021 thông qua hình thức gọi điện thoại trực tiếp.

#### 4. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

##### 4.1. Vai trò và trách nhiệm của các bên liên quan trong quản lý chất thải công nghiệp

Bộ Tài Nguyên và Môi Trường (BTN&MT) cấp phép hoạt động và trực tiếp quản lý các doanh nghiệp thu gom, vận chuyển, tái chế, xử lý CTCN nguy hại liên tỉnh, và những doanh nghiệp này có trách nhiệm báo cáo định kỳ cho BTN&MT về tình hình hoạt động của doanh nghiệp về công nghệ, công suất xử lý, kiểm soát chất lượng môi trường tại đơn vị,... Ngoài ra, các chủ dự án đầu tư cơ sở hạ tầng và sản xuất (do BTN&MT thẩm định báo cáo đánh giá tác động môi trường) có trách nhiệm quản lý môi trường tại đơn vị, đồng thời báo cáo định kỳ công tác quản lý môi trường (bao gồm chất thải) cho BTN&MT.

Sở Tài nguyên và Môi trường là cơ quan tham mưu về quản lý môi trường cho Ủy ban nhân dân (UBND) cấp tỉnh, thành phố. Liên quan đến vấn đề quản chất thải, STN&MT là cơ quan cấp và quản lý sở chủ nguồn thải, công tác thu gom, lưu giữ và chuyển giao xử lý, tái chế chất thải từ các NMSX trong và ngoài khu công nghiệp, khu chế xuất, cụm công nghiệp, khu công nghệ cao (KCN/KCX/CCN/KCNC), chủ đầu tư hạ tầng KCN/KCX/CCN/KCNC, và các doanh nghiệp thu gom, vận chuyển, tái chế, xử lý chất thải công nghiệp nguy hại hoạt động trong phạm vi tỉnh, thành phố. Các đơn vị nêu trên có trách nhiệm quản lý môi trường tại đơn vị, và báo cáo cho STN&MT định kỳ về tình hình quản lý chất thải thông qua báo cáo công tác bảo vệ môi trường hoặc báo cáo quản lý chất thải, kèm theo hợp đồng và chứng từ chuyển giao chất thải. Các NMSX trong KCN/KCX/CCN/KCNC và chủ đầu tư hạ tầng KCN/KCX/CCN/KCNC đồng thời có trách nhiệm báo cáo về công tác bảo vệ môi trường, bao gồm chất thải, cho Ban quản lý các KCN/KCX của tỉnh, thành phố. Các nội dung quản lý chất thải tập trung vào chất thải nguy hại và phế liệu nhập khẩu, chủ yếu về khối lượng.

Dữ liệu về chất thải được quy định báo cáo dạng file cứng theo biểu mẫu của BTN&MT (Thông tư 25/2019/TT–BTNMT, Phụ lục VI). Hiện nay, hệ thống cơ sở dữ liệu (CSDL) quốc gia về nguồn thải đang được BTN&MT thiết kế, xây dựng, dự kiến sẽ hoàn thành trong năm 2022 (Văn bản Số 642/BTNMT–TCMT).

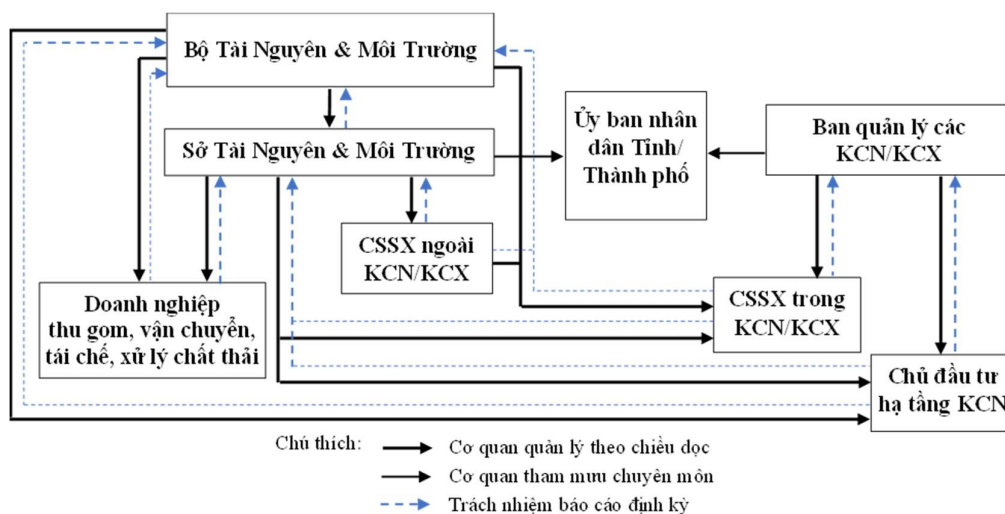
##### 4.2. Hiện trạng chuyển đổi số trong hệ thống quản lý chất thải công nghiệp

###### 4.2.1. Công tác báo cáo môi trường

Hiện nay, các doanh nghiệp sản xuất, đơn vị hoạt động trong lĩnh vực môi trường, chủ đầu tư hạ tầng KCN/KCX, Ban quản lý các KCN/KCX và cơ quan quản lý nhà nước có tần suất nộp báo cáo môi trường từ 1–4 lần/ năm, với hình thức là bản giấy (hard copy). Một số ít đơn vị có gửi báo cáo dạng file mềm cho cơ quan quản lý nhà nước tuy nhiên việc này mang tính chất tự phát và không phải là chủ trương chính thức của nhà nước (Công ty VREC, Công ty Việt Úc,...). Nội dung báo cáo: quản lý phế liệu nhập xuất nhập khẩu, khối lượng phế liệu phát sinh; quan trắc, giám sát môi trường định kỳ; thành phần, đặc tính và khối lượng của chất thải (nguy hại hoặc không nguy hại; dạng chất thải: rắn, lỏng, khí); công tác thu



gom, lưu giữ, vận chuyển và xử lý các loại chất thải; kế hoạch đầu tư xây dựng, duy tu bảo dưỡng hay nâng cấp các công trình xử lý chất thải; phương án phòng ngừa, ứng phó và xử lý khi có sự cố xảy ra; và phương án phối hợp giữa đơn vị và các cơ quan chức năng. Phương tiện vận chuyển chất thải nguy hại (CTNH) theo yêu cầu của pháp luật phải có hệ thống định vị vệ tinh (GPS) được kết nối mạng thông tin trực tuyến để xác định vị trí và ghi lại hành trình vận chuyển CTNH (Thông tư 36/2015/TT-BTNMT). Bên cạnh đó, việc quản lý và thu phí bảo vệ môi trường nước thải theo Nghị định 53/2020/NĐ-CP được thực hiện với hình thức nhập liệu vào phần mềm (Ví dụ: <https://thuphinuocthai.sotnmt.baria-vungtau.gov.vn/Login.aspx>). Như vậy có thể thấy, ngoại trừ phương tiện vận chuyển CTNH và kê khai phí bảo vệ môi trường đối với nước thải, công tác báo cáo môi trường đối với quản lý CTCN áp dụng mức độ chuyển đổi số hết sức cơ bản với các phần mềm vi tính văn phòng.



Hình 1. Sơ đồ tổ chức quản lý chất thải tại Việt Nam.

Hệ thống văn bản pháp luật về môi trường và quá trình thực thi các văn bản pháp luật cho thấy Việt Nam tập trung quản lý về chất thải cần xử lý, đặc biệt là CTNH, và công tác quản lý chất thải tái chế, hay còn gọi là phế liệu còn lỏng lẻo tại các doanh nghiệp vừa và nhỏ. Trong khi đó, công tác số hóa dữ liệu chất thải cần xử lý cũng không được quan tâm thực hiện và nếu có cũng ít cập nhật (STN&MT TP.HCM). Những nguyên nhân nêu trên dẫn đến các khả năng sau: 1) Dữ liệu về thành phần và khối lượng chất thải không chính xác; 2) Tỷ lệ giữa chất thải cần xử lý và chất thải tái chế không được xác định, do đó khó có thể đánh giá được các mục tiêu phát triển KTTH. Thật vậy, nghiên cứu về mạng lưới buôn bán phế liệu nhựa quốc tế [42] cũng chỉ ra rằng các báo cáo hoặc dữ liệu về phế liệu nhựa tại các khu vực đang phát triển như Nam Mỹ, Châu Phi và đa phần các quốc gia Châu Á rất hiếm hoi.

#### 4.2.2. Số hóa, phân tích và quản lý dữ liệu chất thải

Kết quả khảo sát cho thấy công tác số hóa dữ liệu và số liệu tại các doanh nghiệp Việt Nam không được quan tâm thực hiện. Đối với doanh nghiệp có yếu tố đầu tư nước ngoài chi phối thì có tiến hành số hóa hoặc số hóa một phần dữ liệu (Công ty TTCL VN; Công ty Long Sơn). Việc quản lý, chia sẻ dữ liệu/ thông tin giữa các phòng ban trong cùng một đơn vị được thực hiện thông qua hệ thống các phương tiện mạng xã hội (Zalo, Viber) và email. Hầu như tất cả các đơn vị đều sử dụng phần mềm Excel để làm công cụ phân tích và thống kê số liệu.

Doanh nghiệp sản xuất đều được yêu cầu kê khai khối lượng chất thải xử lý và tái chế (phế liệu) và báo cáo cơ quan quản lý nhà nước định kỳ, tuy nhiên dữ liệu về chất thải tái chế chỉ tập trung ở các loại có giá trị cao như đồng, nhôm, giấy, nhựa,... Các doanh nghiệp quy

mô vừa và nhỏ thường không thông kê, quản lý và cũng không quan tâm đến quá trình tái chế một số loại chất thải có giá trị thấp phát sinh trong quá trình sản xuất như tro xỉ lò hơi, lò dầu và lò đốt chất thải [43]. Một số tập đoàn sản xuất lớn trên thế giới như Adidas có hệ thống kiểm toán môi trường cho toàn chuỗi cung ứng của họ như các nhà máy sản xuất gia công, các nhà cung cấp hóa chất, nguyên vật liệu, các nhà cung cấp dịch vụ xử lý chất thải, ... do đó các dòng chất thải tái chế được kiểm soát trên toàn chuỗi cung ứng về mặt khối lượng, chất lượng lẫn mục đích tái chế (Công ty Long Vi). Kết quả khảo sát của nghiên cứu này tương đồng [23]; tác giả cũng chỉ ra rằng các công ty lớn hơn thường xuyên thực hiện các biện pháp số hóa bên trong doanh nghiệp của họ một cách đáng kể.

Đối với các cơ quan quản lý nhà nước, công tác số hóa cũng chưa được triển khai thực hiện mặc dù “Chương trình chuyển đổi số quốc gia đến năm 2025, định hướng đến năm 2030” được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt tại Quyết định số 749/QĐ-TTg ngày 03/6/2020. Kết quả khảo sát cho thấy một số cơ quan quản lý nhà nước hiện nay phải thuê đơn vị tư vấn hoặc sử dụng lực lượng sinh viên thực tập để thực hiện công tác nhập số liệu từ báo cáo giấy vào file excel theo từng thời điểm khác nhau (STN&MT TP.HCM; Hepza). Cơ quan quản lý nhà nước là đơn vị quản lý tổng hợp tất cả các dữ liệu về môi trường của phạm vi tỉnh/ thành, có cái nhìn tổng quát và nắm rõ dòng thải phát sinh, lưu trữ, xử lý như thế nào, đồng thời là cơ quan hướng dẫn, giám sát các doanh nghiệp thực hiện công tác bảo vệ môi trường nhưng do công tác số hóa chưa được quan tâm thực hiện nên nguồn dữ liệu phong phú không được khai thác hiệu quả.

#### 4.2.3. Chia sẻ thông tin chất thải

Trung tâm trao đổi thông tin về chất thải đóng vai trò then chốt trong CSCN và phát triển sinh thái công nghiệp. Vai trò của chia sẻ thông tin có thể hỗ trợ các doanh nghiệp về trao đổi chất thải với mạng lưới các nhà máy bên trong cũng như bên ngoài KCN. Cho đến nay, khu vực phía Nam hầu như chỉ có khu chế xuất Linh Trung I – TP.HCM (5 cơ sở), KCN Biên Hòa–Đồng Nai (5 cơ sở), và KCN Nhơn Trạch 2 – Đồng Nai được nhắc tới như những ví dụ tiêu biểu cho việc phát triển công nghiệp xanh với một số doanh nghiệp thực hiện trao đổi chất thải, đặc biệt là trao đổi chất thải bên trong KCN/KCX [44–45].

Công tác trao đổi chất thải với các đơn vị thu gom và tái chế chất thải bên ngoài KCN vẫn là phổ biến nhất, chủ yếu dựa trên giá mua–bán phế liệu chứ không hẳn dựa trên việc tối ưu hóa bán kính thu gom và hiệu quả tái chế. Hình thức này tiềm ẩn nhiều rủi ro vì các cơ sở tái chế bên ngoài KCN thường là những cơ sở tư nhân, quy mô nhỏ, công nghệ thủ công nên quá trình tái chế sẽ làm phát sinh nhiều sản phẩm phụ khác, đôi khi mức độ ô nhiễm môi trường của các sản phẩm phụ này còn cao hơn phế phẩm đem tái chế [45]. Thật vậy, nghiên cứu của Thanh và cộng sự [43] cho thấy một số lượng rất lớn (33) đơn vị tham gia công tác thu gom–vận chuyển, tái chế và xử lý tro xỉ thải tại 61 cơ sở sản xuất, chứng tỏ nguồn lực này rất phân tán, khó kiểm soát việc thu hồi triệt để tro, xỉ nhằm tái chế và tái sử dụng hợp lý.

Để tối ưu hóa thì trung tâm trao đổi thông tin chất thải, hay cũng có thể gọi là “sàn giao dịch chất thải” là rất cần thiết. Tuy nhiên trong thực tế, gần như tất cả các doanh nghiệp đều không công bố hoặc công bố không rõ ràng thông tin về lượng chất thải cũng như các vấn đề liên quan trên trang thông tin điện tử (website) của đơn vị hoặc trên bất cứ website nào. Việc chia sẻ thông tin về chất thải và môi trường của các doanh nghiệp hầu như hạn chế bởi các lý do về bí quyết công nghệ, cạnh tranh và tính minh bạch, ... Tuy nhiên cũng có ý kiến cho rằng tiếp thị phế liệu, dịch vụ tái chế và tiêu hủy chất thải ít bị ảnh hưởng bởi quá trình số hóa so với các hoạt động quản lý chất thải khác như vận chuyển và hậu cần, cân và phân loại, và quản lý container [23].

Để hiện thực hóa ý tưởng lập “trung tâm trao đổi chất thải” hoặc “sàn giao dịch chất thải”, cần trả lời câu hỏi về bên liên quan nào trong hệ thống quản lý CTCN sẽ là đơn vị có chức năng và vai trò phù hợp. Hiện nay, với mục tiêu nâng cao hiệu quả quản lý và vai trò Hội nghị khoa học toàn quốc “Chuyển đổi số và công nghệ số trong Khoa học Trái đất, Mỏ và Môi trường” (EME 2021)

hỗ trợ doanh nghiệp đầu tư vào các KCN/KCX/KCNC của TP.HCM về các dịch vụ quản lý chất thải, Hepza đã đặt hàng Trường ĐH Văn Lang thực hiện đề tài xây dựng cơ sở dữ liệu về nguồn phát sinh, công nghệ và đơn vị tái chế, xử lý cho một số loại CTCN phát sinh từ hoạt động sản xuất trong KCN/KCX trên địa bàn TP.HCM. Ngoài ra, trong nhiều trường hợp, chủ đầu tư hạ tầng KCN là đơn vị đầu tư trạm trung chuyển chất thải rắn công nghiệp. Chẳng hạn có 6 trên tổng số 17 KCN/KCX đang hoạt động tại TP.HCM đầu tư trạm thu gom chất thải rắn tập trung của toàn KCN. Như vậy, từ tình hình thực tế có thể thấy rằng các biên liên quan hiện hữu có thể đóng vai trò chủ động một cách hợp lý trong việc hình thành trung tâm thông tin trao đổi thông tin chất thải là ban quản lý các KCX/KCN và chủ đầu tư hạ tầng KCN. Và tất nhiên việc thành lập các trung tâm trao đổi (thông tin) chất thải không chỉ giới hạn đối với hai đối tượng kể trên theo định hướng xã hội hóa công tác quản lý chất thải.

Việc chia sẻ và trao đổi thông tin chất thải tại những trung tâm này cần được thực hiện trên nền tảng kỹ thuật số như phần mềm quản lý chất thải tích hợp với chức năng tự động hóa tìm kiếm và kết nối với đơn vị có nhu cầu về sản phẩm phụ làm nguyên liệu hoặc đơn vị có năng lực tái chế phù hợp, cũng như tính toán và tối ưu hóa chi phí vận chuyển (Công ty Gia Bảo Linh). Theo [46], thiếu tiêu chuẩn hướng dẫn chính là một trong những rào cản quan trọng trong việc triển khai chuyển đổi số. Nghiên cứu [23] cũng chỉ ra rằng việc áp dụng các công nghệ kỹ thuật số cần được dựa trên các hướng dẫn và tiêu chuẩn cụ thể, chẳng hạn như phân loại và mã hóa các loại chất thải tái chế.

#### 4.2.4. Động lực và rào cản

Về định hướng 5 năm tới, có khoảng 70% đơn vị được khảo sát có dự tính số hóa dữ liệu nhưng chỉ ở mức độ cơ bản (có nghĩa là sẽ nhập liệu và lưu trữ, nhưng chưa có kế hoạch rõ ràng về sử dụng nguồn dữ liệu đó), có khoảng 30% đơn vị chưa có dự tính phát triển việc số hóa dữ liệu. Tuy nhiên, các đơn vị đều chưa có một định hướng cụ thể về việc việc số hóa mà cao hơn là tiến tới áp dụng các công nghệ chuyển đổi số trong công tác quản lý chất thải. Điều này có thể lý giải do việc thiếu vắng các hướng dẫn cần thiết như đã phân tích ở trên.

Các đơn vị cho biết các yếu tố thúc đẩy cũng chính là thế mạnh của công nghệ (yếu tố bên trong) gồm hệ thống sáng tạo và thông minh, khả năng đo lường và tối ưu hóa quy trình quản lý chất thải. Các yếu tố rào cản đối với chuyển đổi số gồm yếu tố bên ngoài là thể chế và chi phí công nghệ, và yếu tố rào cản từ bên trong là trình độ nắm bắt công nghệ kỹ thuật của của người lao động, đặc biệt là người trên 40 tuổi. Kết quả khảo sát về các yếu tố động lực và rào cản cũng cho thấy mức độ khá tương đồng với công bố [23].

#### 4.3. Giới hạn của đề tài nghiên cứu

Hoạt động liên quan đến công tác quản lý chất thải rắn công nghiệp rất đa dạng, có thể kể đến các hoạt động quản lý và tương tác mang tính chất hành chính trong mạng lưới các bên liên quan (như hoạt động báo cáo, kiểm tra, thanh tra, giám sát,...), và các hoạt động liên quan trực tiếp đến chuỗi giá trị chất thải (như quản lý khách hàng và bán hàng, vận chuyển và hậu cần, cân và phân loại, tiếp thị phế liệu, tái chế và thải bỏ chất thải, quản lý container,...). Nghiên cứu này tập trung làm rõ hiện trạng chuyển đổi số của các bên liên quan trong hệ thống quản lý chất thải rắn công nghiệp ở các khía cạnh: 1) Công tác báo cáo môi trường (trọng tâm là chất thải công nghiệp); 2) Số hóa, phân tích và quản lý dữ liệu chất thải; 3) Chia sẻ thông tin chất thải; và 4) Động lực và rào cản của việc chuyển đổi số. Do đó, các nghiên cứu tiếp theo được đề xuất với mục tiêu đánh giá hiện trạng áp dụng công nghệ chuyển đổi số trong các hoạt động liên quan trực tiếp đến chuỗi giá trị chất thải, đặc biệt là các hoạt động phân loại chất thải, vận chuyển và hậu cần, kiểm soát quá trình tái chế và thải bỏ chất thải.

Phương pháp phỏng vấn đại diện các đơn vị trong hệ thống quản lý CTCN cũng là một giới hạn vì khó thu thập thông tin từ số lượng lớn các đơn vị, do đó hạn chế trong việc suy rộng kết quả nghiên cứu. Tuy nhiên phương pháp này cũng có ưu điểm là cho phép phát triển



hiều câu hỏi phụ nhằm hiểu rõ hơn những nội dung cần quan tâm, đồng thời sử dụng nhiều câu hỏi khác nhau để kiểm tra chéo nhằm đảm bảo độ chính xác của thông tin.

## 5. Kết luận và kiến nghị

Đề tài nghiên cứu đã thực hiện tổng quan lý thuyết nhằm phân tích vai trò của chuyên đổi số trong việc hỗ trợ áp dụng các công nghệ 4.0 cũng như vai trò thúc đẩy KTTH. Nhóm nghiên cứu đã thực hiện phỏng vấn 38 đối tượng, là đại diện của các bên liên quan trong hệ thống quản lý CTCN. Kết quả khảo sát cho thấy công tác báo cáo cũng như số hóa, phân tích và quản lý dữ liệu CTCN áp dụng mức độ chuyên đổi số hết sức cơ bản với các phần mềm vi tính văn phòng vốn đã được áp dụng từ cách đây từ 20–25 năm. Hệ thống văn bản pháp luật về môi trường và quá trình thực thi các văn bản pháp luật cho thấy công tác quản lý chất thải tái chế còn lỏng lẻo tại các doanh nghiệp vừa và nhỏ, quy mô doanh nghiệp này chiếm đại đa số trong nền kinh tế Việt Nam. Tại các tỉnh thành phía Nam cũng không có trung tâm trao đổi (thông tin) chất thải trên nền tảng công nghệ kỹ thuật số tiên tiến. Các đối tượng phỏng vấn đều khẳng định vai trò tích cực của chuyên đổi số. Rào cản lớn nhất của chuyên đổi số được cho là thiếu thể chế và hướng dẫn cụ thể, tiếp đến yêu cầu về trình độ kỹ thuật công nghệ, cuối cùng là chi phí đầu tư cho chuyên đổi số.

Trên cơ sở phân tích các thông tin tổng quan và kết quả khảo sát, nhóm nghiên cứu có một số khuyến nghị nhằm thúc đẩy quá trình chuyên đổi số, nâng cao hiệu quả quản lý chất thải và sử dụng tài nguyên. 1) Vai trò của tiêu chuẩn và hướng dẫn chuyên đổi số trong lĩnh vực quản lý chất thải rất quan trọng, cần được nghiên cứu kỹ lưỡng và ban hành để doanh nghiệp và cơ quan quản lý có cơ sở triển khai thực hiện, nhằm hạn chế tối đa lãng phí công sức, chi phí và thời gian; 2) Cần cụ thể hóa yêu cầu và lộ trình kiểm toán môi trường đối với doanh nghiệp; 3) Song song với thể chế hóa công tác kiểm toán môi trường, cần phát triển các phần mềm và có sự đánh giá phần mềm trước khi khuyến nghị sử dụng nhằm mục đích đảm bảo sự tương thích và đồng bộ về kỹ thuật và dữ liệu; 4) Các dòng chất thải tái chế phát sinh từ các nguồn trong nước cũng cần được quản lý chặt chẽ về khối lượng, thành phần để xác định tiềm năng trao đổi và tái chế phù hợp, giảm thiểu các rủi ro về lãng phí chi phí vận chuyển và ô nhiễm môi trường; 5) Khuyến khích thành lập các trung tâm trao đổi (thông tin) chất thải hoạt động cạnh tranh với hệ thống các doanh nghiệp thu gom, vận chuyển chất thải theo hình thức truyền thống hiện nay, đồng thời hỗ trợ các trung tâm này về mặt đào tạo nhân lực có trình độ, công nghệ kỹ thuật số, và thông tin về các đơn vị có nhu cầu phụ phẩm/ sản phẩm tái chế làm nguyên liệu sản xuất, các đơn vị tái chế chất thải, cũng như các đơn vị kiểm nghiệm chất thải có uy tín; 6) Việc quy hoạch và thu hút đầu tư đối với các KCN/KCX/KCNC/CCN mới cần quan tâm đến các ngành nghề và công nghệ sao cho tối ưu hóa khả năng trao đổi chất thải trong KCN. Yếu tố này cần được quy định rõ đối với các nhà đầu tư hạ tầng KCN/KCX/KCNC/CCN; 7) Nâng cao năng lực quản lý nhằm phù hợp với bối cảnh chuyên đổi số, đồng thời nâng cao nhận thức của doanh nghiệp về các xu thế mới và vai trò của chuyên đổi số, công nghệ 4.0 và KTTH với mục tiêu phát triển bền vững; 8) Ở những quốc gia đang phát triển như Việt Nam với doanh nghiệp quy mô vừa và nhỏ đóng vai trò chủ đạo của nền kinh tế, vai trò của Chính phủ rất quan trọng trong việc thúc đẩy doanh nghiệp trong các hoạt động phát triển KTTH nhằm mục tiêu phát triển bền vững. Vai trò của Chính phủ được thể hiện trong hai lĩnh vực: đánh giá chính sách có tiềm năng hiệu quả, thể chế hóa với lộ trình khả thi và cụ thể cho các mục tiêu chính sách; và huy động các nguồn lực trong nước cũng như quốc tế cho đầu tư, nghiên cứu phát triển, và học tập, chuyển giao công nghệ.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.Đ.C., H.T.T.H.; Điều tra, khảo sát, phân tích số liệu: N.Đ.C., H.T.T.H., L.T.T.; Viết bản thảo bài báo: N.Đ.C., H.T.T.H., L.T.T.; Chỉnh sửa bài báo: N.Đ.C., H.T.T.H.

**Lời cảm ơn:** Nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn đến Hội nghị toàn quốc EME2021 đã chấp nhận ý tưởng, tận tình hướng dẫn và tạo cơ hội cho nhóm thực hiện bài báo. Bên cạnh đó, nhóm cũng xin cảm ơn đến 38 đối tượng phỏng vấn là những chuyên gia/ chuyên viên trong lĩnh vực môi trường đã cung cấp nguồn thông tin rất hữu ích cho nghiên cứu này.

**Lời cam đoan:** Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

#### **Tài liệu tham khảo**

1. Sariatli, F. Linear economy versus circular economy: A comparative and analyzer study for optimization of economy for sustainability. *Visegrad J. Bioeconomy Sustainable Dev.* **2017**, *6(1)*, 31–34.
2. Ellen MacArthur Foundation [EMA]. Towards the circular economy. *J. Ind. Ecol.* **2013**, *2*, 23–44.
3. Geissdoerfer, M. et al. Business models and supply chains for the circular economy. *J. Cleaner Prod.* **2018**, *190*, 712–721.
4. Ghisellini, P.; Cialani, C.; Ulgiati, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *J. Cleaner Prod.* **2016**, *114*, 11–32.
5. Pearce, D.W.; Turner, R.K.; Turner, R.K. Economics of natural resources and the environment. Johns Hopkins University Press, 1990.
6. Lewis, H. Defining product stewardship and sustainability in the Australian packaging industry. *Environ. Sci. Policy* **2005**, *8(1)*, 45–55.
7. Schroeder, P.; Anggraeni, K.; Weber, U. The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals. *Res. Anal.* **2019**, *23(1)*, 77–95.
8. Hidayatno, A.; Destyanto, A.R.; Hulu, C.A. Industry 4.0 Technology Implementation Impact to Industrial Sustainable Energy in Indonesia: A Model Conceptualization. *Energy Procedia* **2019**, *156*, 227–233.
9. Silvestre, B.S.; Țircă, D.M. Innovations for sustainable development: Moving toward a sustainable future. *J. Cleaner Prod.* **2019**, *208*, 325–332.
10. Drath, R.; Horch, A. Industrie 4.0: Hit or Hype? *IEEE Ind. Electron. Mag.* **2014**, *8(2)*, 56–58.
11. Wang, Y. et al. Industry 4.0: a way from mass customization to mass personalization production. *Adv. Manuf.* **2017**, *5(4)*, 311–320.
12. Mohammed Ali, B. The Role of Industry 4.0 in Achieving Sustainable Development Goals. *Int. J. Technol.* **2019**, *10(4)*, 291–319.
13. Ramakrishna, S. et al. Emerging Industrial Revolution: Symbiosis of Industry 4.0 and Circular Economy: The Role of Universities. *Sci. Technol. Soc.* **2020**, *25(3)*, 505–525.
14. Halse, L.L.; Jæger, B. Operationalizing Industry 4.0: Understanding Barriers of Industry 4.0 and Circular Economy. 2019. Cham: Springer International Publishing.
15. Lopes de Sousa Jabbour, A.B.; et al. Industry 4.0 and the circular economy: A proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Ann. Oper. Res.* **2018**, *270(1)*, 273–286.
16. Lee, J.; Cameron, I.; Hassall, M. Improving process safety: What roles for Digitalization and Industry 4.0? *Process Saf. Environ. Prot.* **2019**, *132*, 325–339.
17. Markus, A. Digitalizing the circular economy – Circular economy engineering defined by the metallurgical internet of things. *J. Metall. Mater. Trans. B* **2016**, *47*, 3194–3220.

18. Dantas, T.E.T. et al. How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals. *Sus. Prod. Consumption* **2021**, 26, 213–227.
19. Quint, F.; Sebastian, K.; Gorecky, D. A Mixed–reality Learning Environment. *Procedia Comput. Sci.* **2015**, 75, 43–48.
20. Goyal, S.; Esposito, M.; Kapoor, A. Circular economy business models in developing economies: Lessons from India on reduce, recycle, and reuse paradigms. *Thunderbird Int. Bus. Rev.* **2018**, 60(5), 729–740.
21. Bressanelli, G.; et al. The role of digital technologies to overcome Circular Economy challenges in PSS Business Models: an exploratory case study. *Procedia CIRP* **2018**, 73, 216–221.
22. European Union [EU]. Circular Economy Action Plan: The EU’s new circular action plan paves the way for a cleaner and more competitive Europe 2020 6<sup>th</sup> October 2021.
23. Borchard, R.; Zeiss, R.; Recker, J. Digitalization of waste management: Insights from German private and public waste management firms, 2021.
24. Frosch, R.A. Industrial ecology: a philosophical introduction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1992, 89(3), pp. 800.
25. Murray, A.; Skene, K.; Haynes, K. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *J. Bus. Ethics* 2017, 140(3), 369–380.
26. Bocken, N.M.P.; et al. Taking the Circularity to the Next Level: A Special Issue on the Circular Economy, **2017**, 21(3), 476–482.
27. Kalmykova, Y.; Sadagopan, M.; Rosado, L. Circular economy – From review of theories and practices to development of implementation tools. *Resour. Conserv. Recycl.* **2018**, 135, 190–201.
28. Su, B.; et al. A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. *J. Cleaner Prod.* **2013**, 42, 215–227.
29. Jensen, J.P.; Remmen, A.J.P.M. Enabling circular economy through product stewardship. *Procedia Manuf.* **2017**, 8, 377–384.
30. Sevigné–Itoiz, E.; et al. Environmental consequences of recycling aluminum old scrap in a global market. *Resour. Conserv. Recycl.* **2014**, 89, 94–103.
31. Mirabella, N.; Castellani, V.; Sala, S. Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. *J. Cleaner Prod.* **2014**, 65, 28–41.
32. Bilitewski, B., The circular economy and its risks. *J. Waste Manage.* **2012**, 1(32), 1–2.
33. Ellen MacArthur Foundation (EMA). Growth within: A Circular economy vision for a competitive Europe. 2015.
34. Franco, M.A.J.J.o.C.P. Circular economy at the micro level: A dynamic view of incumbents’ struggles and challenges in the textile industry. *J. Cleaner Prod.* **2017**, 168, 833–845.
35. Geng, Y.; Doberstein, B.J.T.I.J.o.S.D.; Ecology, W. Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving leapfrog development. *Int. J. Sus. Dev. World Ecol.* **2008**, 15(3), 231–239.
36. Naustdalslid, J. Circular economy in China – the environmental dimension of the harmonious society. *Int. J. Sus. Dev. World Ecol.* **2014**, 21(4), 303–313.
37. Zhijun, F.; Nailing, Y.J.S.S. Putting a circular economy into practice in China. *Sus. Sci.* **2007**, 2(1), 95–101.
38. Nobre, G.C.; Tavares, E.J.J.M.T.R. Assessing the role of big data and the internet of things on the transition to circular economy: Part II: An extension of the ReSOLVE framework proposal through a literature review. *Platinum Met. Rev.* **2020**, 64(1), 32–41.

39. Marr, B. Why everyone must get ready for the 4th industrial revolution. *Forbes Tech.* **2016**, 5.
40. Diaz, A.; et al. Sustainable product development in a circular economy: Implications for products, actors, decision-making support and lifecycle information management. *Sus. Prod. Consumption* **2021**, 26, 1031–1045.
41. Nandi, S.; et al. Redesigning Supply Chains using Blockchain-Enabled Circular Economy and COVID-19 Experiences. *Sus. Prod. Consumption* **2021**, 27, 10–22.
42. Pacini, H.; et al. Network analysis of international trade in plastic scrap. *Sus. Prod. Consumption* **2021**, 27, 203–216.
43. Thanh, L.T.; et al. Hiện trạng quản lý tại nguồn tro, xỉ từ các hệ thống lò đốt nhiên liệu trong khu công nghiệp và khu chế xuất trên địa bàn thành phố Hồ Chí Minh. *TNU J. Sci. Technol.* **2021**, 226(08), 195–202.
44. Trung Tâm PT CN HT TP. HCM. Khu công nghiệp sinh thái vì một nền công nghiệp xanh. 2011 12/10/2021]; Available from: <http://congthuonghcm.vn/index.php?mod=article&id=371>.
45. Liên hiệp các Hội Khoa học và Kỹ thuật Việt Nam. Giải pháp môi trường: Trao đổi chất thải công nghiệp. 2007 12/10/2021]; Available from: <http://vusta.vn/chitiet/tin-tuyen-sinh-dao-tao/Giai-phap-moi-truong-Trao-doi-chat-thai-cong-nghiep-1011>.
46. Mechsner, G. Die Digitalisierung der Abfallwirtschaft – Umfrage deckt Unsicherheit bei Entsorgern auf. NETWASTE. 2017.

## The current status of digital transformation in industrial waste management towards circular economy in southern Vietnam

Nguyen Dien Chau<sup>1\*</sup>, Ho Thi Thanh Hien<sup>1</sup>, Lam Truc Thanh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Vanlang University; dienchaunguyensgcc@gmail.com; hien.htt@vlu.edu.vn; thanh98@gmail.com

**Abstract:** Digital transformation appears to be a strategic socio-economic development goal and an opportunity towards circular economy. This study analyzed the current applications of digital technologies in industrial waste management in the southern provinces based on in-depth interviews with stakeholders. The results revealed a basic level of digital transformation in the reporting as well as in the digitization, analysis and management of industrial waste data although some digital technologies such as global positioning system (GPS) and software for environmental protection fee regarding wastewater were in use. Management of recyclables in small and medium sized enterprises needed to be strengthened and supported by database softwares. The role of centers for waste (information) exchange operating on digital technology platforms were highlighted. The strengths of digital technologies showed to be the driving forces of digitalization. The biggest barriers were the lack of institutionalizations and guidelines, the needs for qualified human resources and investment costs for digital transformation. The study proposed solutions to optimize industrial waste management on the basis of digital transformation.

**Keywords:** Digitalization; Industrial waste management; Circular economy.