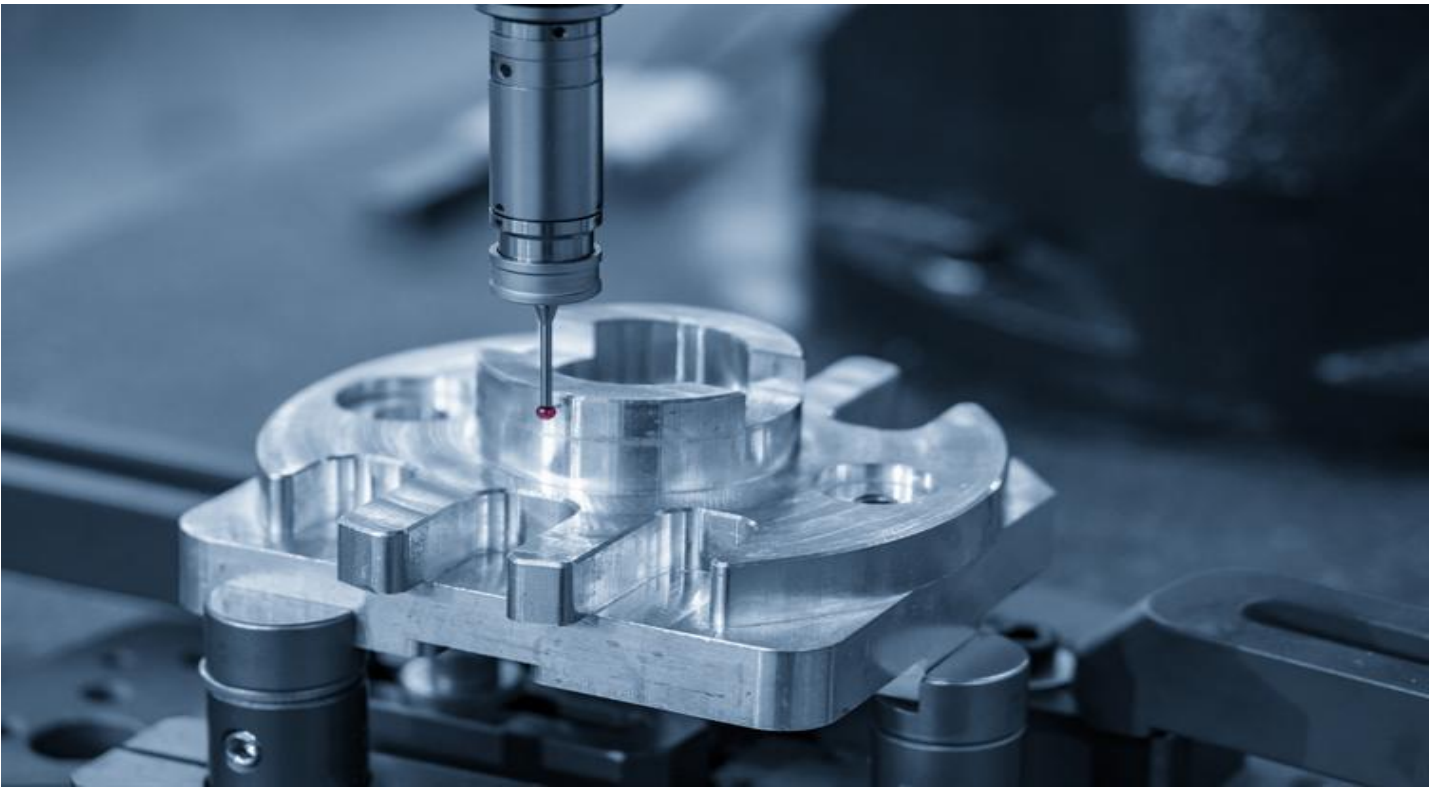
BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
CỤC THÔNG TIN, THỐNG KÊ

TỔNG LUẬN | KHOA HỌC CÔNG NGHỆ KINH TẾ

ISSN 0866 - 7712 Số 5 - 2025

CƠ SỞ HẠ TẦNG CHẤT LƯỢNG THÔNG MINH HƯỚNG TỚI KỶ NGUYÊN SỐ HÓA



Hà Nội, 5-2025

CỤC THÔNG TIN, THỐNG KÊ

Địa chỉ: 24, Lý Thường Kiệt, Hoàn Kiếm, Hà Nội.

Tel: (024) 38262718, Fax: (024) 39349127

BAN BIÊN TẬP

TS. Trần Đắc Hiến (Trưởng ban)

ThS. Nguyễn Lê Hằng; ThS. Phùng Anh Tiến; ThS. Nguyễn Phương Anh

MỤC LỤC

Lời giới thiệu 3

I. TỔNG QUAN VỀ HẠ TẦNG CHẤT LƯỢNG 4

1.1. Khái niệm về hạ tầng chất lượng 4

1.2. Lịch sử phát triển của cơ sở hạ tầng chất lượng 11

1.3. Sự giao thoa giữa Bảo đảm chất lượng, Quản lý chất lượng và Hạ tầng chất lượng 13

II. VAI TRÒ QUAN TRỌNG CỦA CƠ SỞ HẠ TẦNG CHẤT LƯỢNG 15

2.1. Ví dụ về vai trò then chốt của tiêu chuẩn hóa 15

2.2. QI thúc đẩy thế giới phát triển bền vững 17

III. CÁCH MẠNG CÔNG NGHIỆP LẦN THỨ TƯ VÀ VAI TRÒ HỖ TRỢ ĐỔI MỚI SÁNG TẠO VÀ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG CỦA HẠ TẦNG CHẤT LƯỢNG THÔNG MINH 21

3.1. Cách mạng công nghiệp lần thứ tư (CMCN 4.0) và những ranh giới phát triển công nghiệp mới 21

3.2. Các công nghệ thiết yếu của Cách mạng công nghiệp lần thứ tư 24

3.3. Cách mạng công nghiệp lần thứ tư và Smart QI 28

3.4. Những đóng góp chính của Smart QI cho cuộc Cách mạng công nghiệp lần thứ tư 39

3.5. Smart QI đóng góp vào phát triển bền vững 42

KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ 43

Tài liệu tham khảo 50

Lời giới thiệu

Trong kỷ nguyên chuyển đổi số và cách mạng công nghiệp lần thứ tư (CMCN 4.0), thế giới đang chứng kiến những biến đổi sâu sắc về cách thức sản xuất, phân phối, tiêu dùng và quản lý chất lượng. Dưới tác động của các công nghệ mới như trí tuệ nhân tạo (AI), Internet vạn vật (IoT), dữ liệu lớn (Big Data) và chuỗi khối (Blockchain), các yêu cầu về chất lượng, an toàn, truy xuất nguồn gốc và độ tin cậy của sản phẩm - dịch vụ ngày càng trở nên phức tạp, đa chiều và tức thời. Trong bối cảnh đó, cơ sở hạ tầng chất lượng thông minh (Smart Quality Infrastructure - Smart QI) nổi lên như một xu thế tất yếu, không chỉ nhằm hiện đại hóa các hệ thống đo lường, tiêu chuẩn hóa, đánh giá hợp quy và công nhận, mà còn để xây dựng lòng tin kỹ thuật trong môi trường số hóa và toàn cầu hóa.

Tổng luận **Cơ sở hạ tầng chất lượng thông minh hướng tới kỷ nguyên số hóa** nhằm cung cấp một cái nhìn tổng thể và phân tích chuyên sâu về quá trình chuyển đổi từ mô hình hạ tầng chất lượng truyền thống sang mô hình "thông minh", với trọng tâm là việc ứng dụng công nghệ số để tăng cường tính hiệu quả, minh bạch và khả năng tương tác của các thành phần trong hệ thống chất lượng. Từ việc số hóa dữ liệu đo lường, tự động hóa quá trình kiểm tra - chứng nhận, đến việc áp dụng AI trong phân tích rủi ro hay blockchain trong truy xuất nguồn gốc - các nội dung được trình bày sẽ cho thấy tiềm năng to lớn cũng như thách thức không nhỏ của hành trình này.

Ngoài ra, phần kết luận và khuyến nghị cũng xem xét thực trạng, cơ hội và hàm ý chính sách đối với Việt Nam - một quốc gia đang đẩy mạnh công nghiệp hóa, chuyển đổi số và hội nhập sâu rộng. Trong một thế giới mà "chất lượng" không còn là đích đến mà là quá trình liên tục thích ứng, một hệ thống hạ tầng chất lượng thông minh sẽ là đòn bẩy chiến lược để Việt Nam phát triển bền vững, đổi mới sáng tạo và nâng cao năng lực cạnh tranh quốc gia.

Hy vọng tổng luận này sẽ đóng góp một phần vào việc hình thành nhận thức mới, góc nhìn đa chiều và nền tảng tham khảo cho các nhà hoạch định chính sách, chuyên gia kỹ thuật cũng như cộng đồng nghiên cứu đang quan tâm đến lĩnh vực chất lượng trong thời đại số.

Cục Thông tin, Thống kê xin trân trọng giới thiệu.

I. TỔNG QUAN VỀ HẠ TẦNG CHẤT LƯỢNG

1.1. Khái niệm về hạ tầng chất lượng

Chiếc máy nướng bánh mì tôi mới mua có an toàn để sử dụng không? Các cuộc gọi từ điện thoại di động của tôi có thể bị nghe lén hoặc can thiệp không? Làm sao tôi có thể chắc chắn rằng đồ chơi và quần áo của con tôi không chứa các chất độc hại? Đó là những câu hỏi luôn bủa vây trong tâm trí mỗi người trong một xã hội công nghiệp hiện đại đang phát triển với tốc độ chóng mặt. Rõ ràng, với sự phức tạp ngày càng tăng của nền kinh tế hiện đại, chúng ta rất khó tìm ra câu trả lời chính xác cho những nghi ngờ, thắc mắc như vậy.

Về khía cạnh xã hội, để có thể giúp giải đáp những nghi ngờ, thắc mắc về chất lượng, độ an toàn của các sản phẩm dịch vụ, cơ sở hạ tầng chất lượng (QI) hiệu quả giữ một vai trò vô cùng quan trọng vì nó đem lại niềm tin cho mỗi chúng ta. Có thể hiểu một cách đơn giản, cơ sở hạ tầng chất lượng là hệ thống được thiết lập để bảo đảm sản phẩm, dịch vụ an toàn và có chất lượng cao. Hệ thống này bao gồm mọi thứ từ tiêu chuẩn hóa và đánh giá hợp quy (thử nghiệm, kiểm tra và chứng nhận) đến công nhận, đo lường và giám sát thị trường.

Về khía cạnh thương mại quốc tế, các quốc gia cạnh tranh với nhau không phải nhờ lợi thế tài nguyên thiên nhiên, địa lý hay chi phí lao động thấp mà phần lớn là dựa vào những yếu tố liên quan tới năng lực thâm nhập và cạnh tranh của công ty trên các thị trường mới. Một trong những yếu tố này là khả năng chứng minh chất lượng và sự an toàn của hàng hóa và dịch vụ cũng như tuân thủ các tiêu chuẩn quốc tế tại các thị trường mục tiêu. Người tiêu dùng sẽ là người đánh giá cuối cùng về chất lượng hàng hóa và dịch vụ, vì vậy các sản phẩm cần tuân thủ các thông số kỹ thuật mà người mua đặt ra và chúng cần được chứng minh là không gây hại cho sức khỏe con người và môi trường. Để chứng minh sự tuân thủ như vậy, một cơ sở hạ tầng chất lượng lành mạnh là yếu tố then chốt.

Định nghĩa sau đây về Cơ sở hạ tầng chất lượng đã được các thành viên của Mạng lưới quốc tế về Cơ sở hạ tầng chất lượng (INetQI)[1] thông qua:

"Hệ thống bao gồm các tổ chức (công và tư) cùng với các chính sách, khuôn khổ pháp lý và quy định có liên quan, cũng như các hoạt động cần thiết để hỗ trợ và nâng cao chất lượng, sự an toàn và tính lành mạnh về môi trường của hàng hóa, dịch vụ và quy trình".

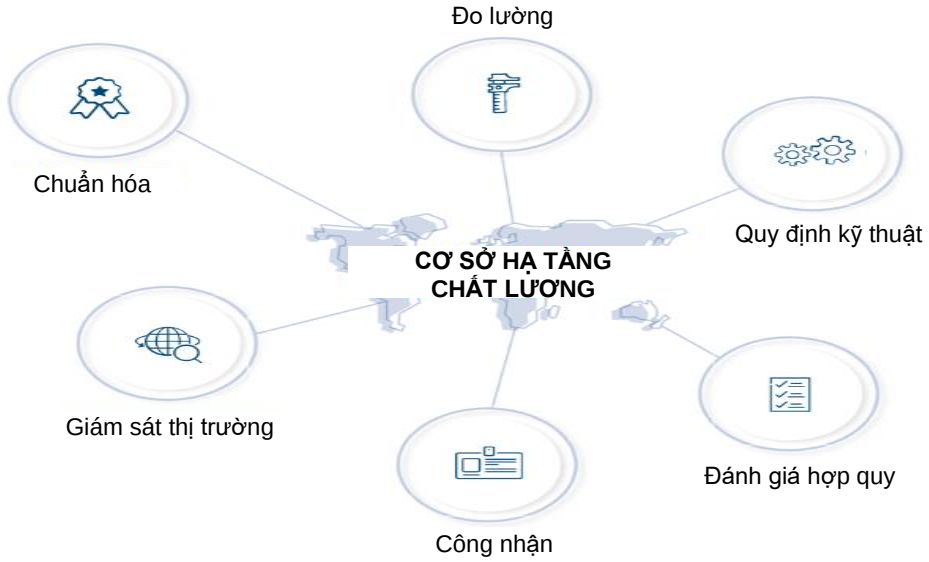
[1] https://www.inetqi.net/documentation/quality-infrastructure-definition/

Cơ sở hạ tầng chất lượng rất cần thiết để thị trường trong nước hoạt động hiệu quả và mức độ được quốc tế công nhận của nó rất quan trọng để có thể tiếp cận thị trường nước ngoài. Đây là yếu tố quan trọng để thúc đẩy và duy trì phát triển kinh tế, cũng như phúc lợi xã hội và môi trường.

Cơ sở hạ tầng chất lượng dựa vào:

- Đo lường
- Chuẩn hóa
- Công nhận
- Đánh giá hợp quy
- Giám sát thị trường

Theo định nghĩa này, có thể thấy QI có ba yếu tố cốt lõi mà nếu không có chúng thì các bộ phận khác của nó không thể hoạt động tối ưu. Đó là tiêu chuẩn, đo lường và công nhận. Những dịch vụ dựa trên ba yếu tố cốt lõi này bao gồm hiệu chuẩn (một phần của hệ thống đo lường) và kiểm tra, thử nghiệm và chứng nhận (gọi chung là chứng nhận hợp quy).



Hình 1. Cơ sở hạ tầng chất lượng

Nguồn:UNIDO

Đo lường - Nền tảng của khoa học, công nghệ và cuộc sống

1 kg có nặng như nhau ở các quốc gia không? Đồng hồ của tôi có chỉ đúng giờ không? Đâu là câu trả lời chính xác và nhất quán cho những câu hỏi này?

Các phép đo rất quan trọng vì con người đều phải phụ thuộc vào chúng nếu xã hội và nền kinh tế muốn hoạt động hiệu quả. Khoa học về phép đo hay còn gọi là Đo lường và các ứng dụng của nó cũng quan trọng không kém. Đo lường là yếu tố thiết yếu bảo đảm chất lượng và là trọng tâm của đánh giá hợp quy. Đo lường bảo đảm độ chính xác của kết quả đo bằng cách so sánh chúng với các tiêu chuẩn quốc gia và bằng cách hiệu chuẩn các thiết bị và quy trình đo lường.

Các đơn vị đo lường chung, các thiết bị và kỹ thuật đo lường chính xác, đáng tin cậy là những yếu tố cốt lõi của khoa học và công nghệ, đồng thời cũng không thể thiếu đối với rất nhiều hoạt động của con người. Việc cung cấp một sản phẩm hoặc dịch vụ luôn phù hợp với mục đích sử dụng, qua đó bảo vệ sức khỏe con người, người tiêu dùng và môi trường, đòi hỏi phải có các phép đo và thiết bị đo chính xác, nhất quán.

Hệ thống đơn vị quốc tế (SI) được phát triển để bảo đảm độ tin cậy của các kết quả đo lường. Hệ thống này hình thành nên cơ sở cho đo lường ở các quốc gia trên toàn cầu và hỗ trợ thương mại quốc tế. Do đó, hầu như mọi quốc gia trên thế giới đều có viện đo lường. Các viện này chịu trách nhiệm thực hiện và phổ biến các đơn vị (ví dụ kilôgam, mét, giây) và hợp tác quốc tế để so sánh các tiêu chuẩn đo lường quốc gia của họ.

Doanh nghiệp không thể kiểm soát quy trình sản xuất một cách hiệu quả để tạo ra sản phẩm hoặc dịch vụ đạt yêu cầu nếu các thiết bị đo không được hiệu chuẩn đúng cách. Các thiết bị đo trong phòng thí nghiệm cần được hiệu chuẩn định kỳ để bảo đảm dữ liệu thử nghiệm đáng tin cậy và có thể lặp lại.Đo lường bao gồm các nội dung:

- Định nghĩa đơn vị đo lường
- Hiện thực hóa các đơn vị này trong thực tiễn
- Bảo đảm khả năng truy xuất đo lường đến tận nơi làm việc

Một hệ thống đo lường đầy đủ bao gồm:

- Đo lường khoa học
- Đo lường công nghiệp
- Đo lường pháp lý

Để các kết quả đo có độ tin cậy, chúng phải có khả năng truy xuất về các chuẩn quốc tế và đáp ứng các tiêu chí về tính so sánh quốc tế.

Sự phối hợp và công nhận lẫn nhau giữa các quốc gia về năng lực đo lường được thực hiện thông qua hệ thống đo lường toàn cầu, được quản lý bởi:

- Cục Đo lường Quốc tế (BIPM) - phụ trách đo lường khoa học và công nghiệp
- Tổ chức Đo lường Pháp lý Quốc tế (OIML) - phụ trách đo lường pháp lý

Chuẩn hóa - mang lại lợi ích cho doanh nghiệp và xã hội

Sản phẩm và dịch vụ cần phải đáp ứng kỳ vọng của người sử dụng, vận hành đúng như thiết kế, đồng thời an toàn, dễ sử dụng và đáng tin cậy. Tiêu chuẩn chính là công cụ chuyển hóa những yêu cầu đó - hoặc bất kỳ đặc tính nào mà người mua hay người dùng mong muốn - thành các thông số kỹ thuật cụ thể, như: kích thước, dung sai, trọng lượng, quy trình, hệ thống hay thực hành tốt. Khi sản phẩm hoặc dịch vụ có thể chứng minh rằng chúng đáp ứng tiêu chuẩn, điều đó mang lại niềm tin cho người tiêu dùng và khách hàng.

Hộp 1. Hơn 1.000 tổ chức xây dựng tiêu chuẩn

Hiện nay, trên thế giới có thể có hơn 1.000 tổ chức xây dựng tiêu chuẩn (Standards Developing Organizations - SDO). Một trong những nhà cung cấp tiêu chuẩn, quy chuẩn và ấn phẩm kỹ thuật hàng đầu toàn cầu là IHS Markit, đơn vị này cung cấp quyền truy cập vào hơn 1,2 triệu hồ sơ từ hơn 500 tổ chức và nhà xuất bản tiêu chuẩn khác nhau.

Trung tâm Dịch vụ Tiêu chuẩn Quốc gia Trung Quốc (GB China National Standards Service Center) cung cấp quyền truy cập vào khoảng 200.000 tiêu chuẩn quốc gia và tiêu chuẩn ngành của Trung Quốc.

Tính đến cuối năm 2018, ISO - tổ chức xây dựng tiêu chuẩn quốc tế lớn nhất - có 22.513 tiêu chuẩn quốc tế trong danh mục của mình. Tổ chức IEC có 10.771 tiêu chuẩn, còn ITU ban hành hơn 4.000 khuyến nghị kỹ thuật, được gọi là Khuyến nghị ITU-T.

Nguồn UNIDO

Tiêu chuẩn là các văn bản mang tính tự nguyện mô tả về các sản phẩm, dịch vụ, công nghệ hoặc quy trình được sử dụng chung và lặp lại. Chúng đặt ra các tiêu chí về khả năng tương thích, chất lượng và an toàn để bảo đảm các mức độ thống nhất và đồng bộ nhất định vì lợi ích của cộng đồng. Ví dụ, tiêu chuẩn hóa được ước tính tạo ra lợi ích kinh tế hàng năm cho Đức là khoảng 17 tỷ Euro, chiếm khoảng 0,7% tổng sản phẩm quốc nội (GDP) của nước này.

Tiêu chuẩn được xây dựng theo một quy trình minh bạch, dựa trên sự đồng thuận. Tất cả các bên quan tâm đều có thể tham gia và đóng góp chuyên môn của mình. Mặc dù việc sử dụng tiêu chuẩn trên nguyên tắc là tự nguyện, nhưng các cơ quan quản lý có quyền tuyên bố việc tuân thủ là bắt buộc (qua đó trở thành quy định kỹ thuật). Tiêu chuẩn tự nguyện và dựa trên sự đồng thuận không chỉ mang lại lợi ích cho khu vực công, doanh nghiệp mà còn cho toàn xã hội. Những tiêu chuẩn này hỗ trợ chính phủ

trong việc ban hành quy định, cũng như giúp ngành công nghiệp tự điều chỉnh. Bằng cách cải thiện chất lượng và độ an toàn của sản phẩm, các tiêu chuẩn xây dựng nên lòng tin giữa những người tham gia thị trường và làm giảm chi phí giao dịch. Các tiêu chuẩn quốc tế làm giảm rào cản thương mại và giúp doanh nghiệp tạo dựng hoặc thâm nhập vào các thị trường mới.

Tiêu chuẩn góp phần phổ biến các thông lệ tốt nhất và các quy trình tiên tiến. Nhờ đó, các công ty có thể kế thừa các công nghệ và phương pháp hiện đại nhất và phát triển chúng hơn nữa để tạo nên đổi mới sáng tạo. Tác động kinh tế tích cực của tiêu chuẩn hóa cũng vượt xa việc lan tỏa tri thức: ví dụ, tiêu chuẩn giúp làm giảm số vụ tai nạn tại lao động và nâng cao chất lượng cuộc sống nói chung.

Không chỉ áp dụng cho hàng hóa, tiêu chuẩn còn được xây dựng để định nghĩa hiệu suất và đặc tính của:

- Quy trình
- Con người
- Tổ chức
- Hệ thống quản lý

Hệ thống tiêu chuẩn quốc gia thường được điều phối bởi Tổ chức Tiêu chuẩn Quốc gia (National Standards Body - NSB). Đây là đầu mối hợp tác giữa cơ quan quản lý nhà nước, doanh nghiệp, các tổ chức xã hội nhằm xây dựng các tiêu chuẩn phục vụ cho thị trường trong nước.

Để thúc đẩy thương mại toàn cầu, các tiêu chuẩn và quy chuẩn kỹ thuật quốc gia nên được xây dựng trên cơ sở tiêu chuẩn quốc tế. Vì vậy, NSB còn đóng vai trò đại diện lợi ích quốc gia tại các tổ chức tiêu chuẩn hóa khu vực và quốc tế, nơi các tiêu chuẩn đồng thuận được hình thành.

Đánh giá sự hợp quy - Bảo đảm độ tin cậy

Đánh giá sự hợp quy là các quy trình và thủ tục được sử dụng nhằm xác định xem một sản phẩm, dịch vụ, quy trình, hệ thống quản lý hoặc nhân sự có tuân thủ các yêu cầu cụ thể hay không. Những yêu cầu này có thể được xác định thông qua luật pháp, quy định kỹ thuật, tiêu chuẩn hoặc các hình thức khác. Đánh giá sự hợp quy góp phần làm tăng độ tin cậy và tính khách quan về chất lượng và sự an toàn của sản phẩm và dịch vụ.

Đánh giá sự hợp quy có thể áp dụng cho sản phẩm, dịch vụ, hệ thống, con người và tổ chức. Các dịch vụ đánh giá sự hợp quy được thực hiện bởi các tổ chức chuyên môn gọi là các tổ chức đánh giá sự hợp quy (CAB). Nhu cầu đánh giá sự hợp quy và

các yêu cầu liên quan có thể mang tính tự nguyện hoặc bắt buộc theo quy định của pháp luật. Trong những lĩnh vực trọng yếu, chính phủ chỉ định các tổ chức có thẩm quyền thực hiện đánh giá.

Đánh giá sự hợp quy bao gồm các hoạt động như thử nghiệm, kiểm định, chứng nhận và hiệu chuẩn.

Thử nghiệm (Testing): Là hình thức đánh giá hợp quy phổ biến nhất. Sản phẩm, dịch vụ hoặc quy trình được kiểm tra theo một tập hợp tiêu chí nhất định, chẳng hạn như tiêu chí về hiệu suất hoặc an toàn. Thử nghiệm cũng là cơ sở cho các hình thức đánh giá khác như kiểm tra (inspection) và chứng nhận (certification).

Kiểm tra (Inspection): Được thực hiện bởi các tổ chức đại diện cho chính phủ hoặc doanh nghiệp. Giúp giảm thiểu rủi ro cho người mua, người sử dụng hoặc người tiêu dùng, liên quan đến các yếu tố như chất lượng, khả năng sử dụng, độ an toàn trong vận hành. Các tổ chức kiểm tra có thể hoạt động trong khu vực tư nhân hoặc nhà nước, phụ trách kiểm tra nhiều loại sản phẩm trong nước và nhập khẩu, vật liệu, hệ thống, nhà máy, quy trình, phương pháp làm việc và dịch vụ.

Chứng nhận (Certification): Là cam kết chính thức được đưa ra bởi bên thứ ba độc lập rằng một sản phẩm, dịch vụ, quy trình, cá nhân, tổ chức hoặc hệ thống quản lý đáp ứng đầy đủ các yêu cầu quy định.

Hiệu chuẩn (Calibration): hiệu chuẩn hay phân cỡ là việc so sánh các giá trị đo lường thu được từ một thiết bị cần kiểm chuẩn với các giá trị tiêu chuẩn hiệu chuẩn (standard hoặc etalon) có độ chính xác đã biết

Công nhận - Tạo dựng lòng tin

Công nhận sẽ bảo đảm mức độ tin cậy của đánh giá sự hợp quy. Các tổ chức công nhận sẽ xác nhận năng lực kỹ thuật cũng như tính khách quan của các cơ quan đánh giá sự hợp quy. Tóm lại, các cơ quan công nhận là đơn vị "kiểm tra những người làm công tác kiểm tra". Niềm tin vào đánh giá sự hợp quy rất quan trọng, cho dù hoạt động này có bắt buộc theo luật pháp hay không. Thông qua mạng lưới các thỏa thuận quốc tế, công nhận còn giúp các kết quả đánh giá sự hợp quy được công nhận và so sánh trên phạm vi toàn cầu. Việc này giúp tránh lặp lại các thủ tục đánh giá sự hợp quy cách không cần thiết, dẫn đến nới lỏng thương mại quốc tế.

Các nhà cung cấp dịch vụ đánh giá sự hợp quy (ví dụ như các tổ chức đánh giá sự hợp quy - CAB) cần phải tạo dựng được niềm tin là hoạt động của họ diễn ra một cách khách quan, không thiên vị và có đủ năng lực để xác định việc các yêu cầu cụ thể có được đáp ứng hay không.

Những yêu cầu đó có thể được đưa ra thông qua:

- Luật pháp và quy định pháp lý
- Tiêu chuẩn do ngành hoặc các bên liên quan xây dựng

Tổ chức công nhận cấp quốc gia và khu vực (AB) đóng vai trò bảo đảm niềm tin cho các dịch vụ đánh giá sự hợp quy. Họ thực hiện việc này bằng cách:

- Đánh giá CAB dựa trên các tiêu chí quy định trong tiêu chuẩn quốc tế
- Cấp công nhận cho các CAB đáp ứng đầy đủ các tiêu chí đó

Tổ chức công nhận quốc gia (AB) có thể đạt được sự công nhận ở cấp khu vực và quốc tế nếu trải qua đánh giá chéo (peer evaluation) - do các tổ chức công nhận khác thực hiện. Sau đó, nếu đáp ứng yêu cầu, tổ chức công nhận này có thể được mời tham gia vào các thỏa thuận công nhận lẫn nhau do Diễn đàn Công nhận Quốc tế (International Accreditation Forum - IAF) và Hợp tác Công nhận Phòng thí nghiệm Quốc tế (International Laboratory Accreditation Cooperation - ILAC) điều hành.

Giám sát thị trường và an toàn sản phẩm - bảo đảm cạnh tranh công bằng và an toàn

Giám sát thị trường, với vai trò là một yếu tố kiểm soát của cộng đồng, góp phần đáng kể vào việc bảo đảm an toàn cho các sản phẩm trên thị trường và tạo ra sân chơi bình đẳng cho các tác nhân kinh tế. Các cơ quan giám sát thị trường kiểm tra ngẫu nhiên các sản phẩm để xem chúng có đáp ứng các yêu cầu cụ thể theo luật pháp hay không. Nếu không đáp ứng được các yêu cầu này, các cơ quan sẽ thực hiện các biện pháp thích hợp đối với các tác nhân kinh tế tương ứng: cụ thể là các nhà sản xuất, đại diện được ủy quyền, nhà nhập khẩu, nhà phân phối và nhà cung ứng dịch vụ hoàn thiện. Đối với các sản phẩm nguy hiểm, cơ quan giám sát thị trường có thể ra lệnh thu hồi hoặc rút sản phẩm khỏi thị trường cũng như đưa ra cảnh báo cấp quốc gia về sản phẩm đó, áp dụng các chế tài trừng phạt đối với các chủ thể chịu trách nhiệm và đồng thời thông báo cho các cơ quan chức năng khác và công chúng về các sản phẩm nguy hiểm đang lưu hành trên thị trường. Thông qua các biện pháp này, giám sát thị trường bảo đảm tính hợp quy của sản phẩm và bảo vệ lợi ích cộng đồng. Ví dụ, Quy định 2019/1020 của Liên minh châu Âu bảo đảm cho thị trường nội địa châu Âu hoạt động thông suốt kể từ năm 2021. Quy định này hiện đại hóa những phần cốt lõi trong khuôn khổ pháp lý về giám sát thị trường tại EU.

Tóm lại, tất cả những yếu tố nêu trên có thể mang tính chất tự nguyện, nghĩa là nhà cung ứng hoặc người mua có thể lựa chọn có hoặc không tuân thủ; không tuân thủ không phải là hành vi vi phạm pháp luật. Tuy nhiên như đã nêu, trong những trường hợp cụ thể, chính quyền yêu cầu phải bắt buộc tuân thủ thì được gọi là quy định kỹ thuật. Trong những trường hợp này, không tuân thủ sẽ trở thành hành vi vi

phạm pháp luật. Giám sát thị trường sẽ góp phần phát triển và triển khai các quy định kỹ thuật sử dụng tất cả các yếu tố và dịch vụ lõi của QI cũng như tăng cường triển khai QI hơn nữa.

QI cũng có thể được xem xét ở cấp độ khu vực và quốc tế, nơi có rất nhiều tổ chức liên chính phủ và phi chính phủ đã được thành lập trong những năm qua. Ngoài các tổ chức khu vực và quốc tế xử lý các yếu tố cốt lõi của QI, còn có nhiều công ty đa quốc gia cung cấp dịch vụ chứng nhận hợp quy tại nhiều quốc gia.

1.2. Lịch sử phát triển của cơ sở hạ tầng chất lượng

Để hiểu được sự hình thành và phát triển của QI chúng ta cần sơ lược lại quá trình phát triển của các cuộc cách mạng công nghiệp cũng như tác động của chúng.

Cuộc cách mạng công nghiệp đầu tiên diễn ra ở Vương quốc Anh rồi lan sang châu Âu và Mỹ vào nửa đầu thế kỷ 19. Yếu tố chính và quan trọng nhất của cuộc cách mạng này là phát minh ra động cơ hơi nước. Hơi nước và nhiên liệu hóa thạch được sử dụng để cung cấp một lượng năng lượng chưa từng có, hỗ trợ các hoạt động của con người. Những thành tựu lớn khác còn là cải tiến trong khai thác mỏ và luyện kim, và một thành tựu quan trọng nữa là sản xuất từ các bộ phận có thể thay thế.

Sản xuất với các bộ phận có thể thay thế mang lại những lợi ích phi thường, chẳng hạn như lắp ráp và sửa chữa sản phẩm dễ dàng hơn, chuyên môn hóa và cạnh tranh giữa các nhà sản xuất, tất cả đều dẫn đến giảm chi phí và nâng cao chất lượng. Phải mất hàng thập kỷ nỗ lực, các nhà phát minh xuất chúng mới thiết lập được hoạt động sản xuất dựa trên các bộ phận có thể thay thế. Tuy nhiên, nó cũng mở ra vô số vấn đề cần giải quyết:

- Các phép đo chính xác và đáng tin cậy liên quan đến vật liệu, bộ phận sản phẩm và rất nhiều khía cạnh của quy trình công nghiệp.
- Thông số kỹ thuật liên quan đến chất lượng vật liệu và bộ phận (ví dụ: dung sai và kích thước).
- Cách bảo đảm tính tương thích/khả năng sử dụng của sản phẩm.
- Cách bảo đảm tính an toàn và phù hợp với mục đích sử dụng của các sản phẩm cuối.

Đây chính là thời điểm các thành phần của QI xuất hiện và phát triển để mang lại giải pháp cho những vấn đề này.

Ngành công nghiệp phát triển đã dẫn đến cuộc ***Cách mạng công nghiệp lần thứ hai***, làm chuyển hóa các nền kinh tế và xã hội. Giai đoạn này được đánh dấu bởi sự ra đời của các "quốc gia công nghiệp hóa".

Cách mạng công nghiệp lần thứ hai bao gồm khoảng thời gian từ nửa sau thế kỷ 19 và kết thúc vào đầu Thế chiến thứ nhất, gồm bốn yếu tố thiết yếu:

- Đổi mới sáng tạo công nghệ.
- Những thay đổi ở các phương thức sản xuất và cơ cấu tổ chức.
- Phát triển cơ sở hạ tầng quan trọng cho công nghiệp hóa.
- Sự xuất hiện và trở nên vững mạnh của hệ thống QI hiện đại với vai trò là một yếu tố hỗ trợ chính của công nghiệp hóa.

Những thay đổi trong phương thức sản xuất và cơ cấu tổ chức của doanh nghiệp diễn ra khi sản xuất từ các bộ phận có thể thay thế khiến cho năng suất và sản lượng tăng mạnh, góp phần hình thành nên sản xuất hàng loạt hiện đại với sự phát triển của dây chuyền lắp ráp và các cơ sở hạ tầng quan trọng khác cho công nghiệp hóa.

Phát triển các cơ sở hạ tầng quan trọng bao gồm QI: Trong giai đoạn này, cùng với sự hình thành của các cơ sở hạ tầng quan trọng như giao thông, điện khí hóa và viễn thông, các hệ thống như đường sắt quốc gia, mạng lưới điện báo và hạ tầng điện đều có mức độ phức tạp cao. Những hệ thống này cần sự phối hợp chặt chẽ, bị tác động bởi động lực thị trường (và pháp lý), bởi các tiêu chuẩn tự nguyện, các tổ chức chính phủ và liên chính phủ. Giai đoạn này cũng chứng kiến sự hợp nhất của đo lường, tiêu chuẩn hóa và chứng nhận hợp quy (CA) với vai trò là các thành phần chính của QI hiện đại.

Trong giai đoạn cách mạng công nghiệp lần thứ hai tới cách mạng công nghiệp lần thứ ba, tất cả các thành phần của QI (tiêu chuẩn hóa, đo lường và CA) đều phát triển ổn định theo kịp với sự phát triển của các ngành kinh tế để đạt đến tầm cỡ quốc gia, với mức độ tương tác ngày càng tăng với các hoạt động quản lý của chính phủ. Kiểm soát chất lượng và logistics là hai lĩnh vực tác động mạnh đến sự phát triển của ngành công nghiệp trong nhiều thập kỷ sau Thế chiến II, góp phần thúc đẩy cách mạng công nghiệp lần thứ ba.

Cách mạng công nghiệp lần thứ ba đánh dấu một thời đại thay đổi lớn. Khái niệm "Cách mạng công nghiệp lần thứ ba" xuất hiện vào những năm 1980 chủ yếu do sự ra đời của công nghệ thông tin và tác động của chúng đối với ngành công nghiệp và xã hội. Trong những năm 1960, máy tính đa năng bắt đầu được sử dụng rộng rãi cho các ứng dụng khoa học và kinh doanh, đã tác động mạnh đến ngành công nghiệp ở nhiều cấp độ khác nhau, bao gồm cả việc phát triển và sử dụng hệ thống máy tính thời gian thực để giám sát và kiểm soát các quy trình. Tuy nhiên, thời điểm quyết định sự ra đời của Cách mạng công nghiệp lần thứ ba liên quan đến việc phát minh ra Bộ điều khiển logic có thể lập trình (PLC). Trước khi có PLC, cách duy nhất để

điều khiển thiết bị trong nhà máy là sử dụng mạch rơ-le cơ điện. Các nhà máy hiện đại phải cần hàng chục bộ truyền động có công tắc BẬT/TẮT để điều khiển máy móc. Một nhược điểm lớn là thiếu tính linh hoạt vì sửa đổi quy trình sản xuất là một thủ tục phức tạp. Tất cả đã thay đổi khi General Motors thay thế rất thành công "hệ thống rơ le" bằng một thiết bị có tên là "Bộ điều khiển kỹ thuật số mô-đun" (Modicon PLC). Sau thành công này, nhiều công ty tham gia thị trường và thúc đẩy phát triển và cải tiến nhanh chóng PLC. Tuy nhiên, mức tăng chóng mặt của các thiết bị, cấu trúc dữ liệu và ngôn ngữ lập trình không tương thích đã tạo ra vô vàn khó khăn khi tích hợp thiết bị từ các nhà sản xuất khác nhau. Với sự ra đời của bộ vi xử lý và máy tính cá nhân (PC) vào đầu những năm 1980, thách thức nảy sinh đó là các chương trình phần mềm phải được thiết kế để chạy trên các hệ thống khác nhau.

Ủy ban Kỹ thuật Điện Quốc tế (IEC) bắt đầu phát triển thông số kỹ thuật IEC 61131-3 vào năm 1982, đóng góp rất lớn vào tính nhất quán của các sản phẩm phần mềm, làm cải thiện khả năng tương tác và tích hợp các giải pháp.

Cũng trong khoảng thời gian này, sử dụng công nghệ máy tính để hỗ trợ thiết kế sản phẩm cũng như tích hợp thiết kế kỹ thuật số với hệ thống sản xuất (Thiết kế hỗ trợ máy tính và Sản xuất hỗ trợ máy tính, CAD/CAM) đã góp phần mang lại rất nhiều tiến bộ.

Tuy nhiên, trao đổi dữ liệu sản phẩm kỹ thuật tiềm ẩn nguy cơ. Các nhà sản xuất sản phẩm phức tạp (ví dụ: ngành hàng không vũ trụ và ô tô) đã thiết lập nên các cơ sở hạ tầng chuỗi cung ứng lớn và phức tạp, liên quan đến hàng nghìn nhà cung ứng và hàng trăm khách hàng. Các công ty bắt đầu sử dụng hệ thống máy tính để duy trì dữ liệu chính xác và ổn định, có thể được chia sẻ với các nhà cung ứng và khách hàng. Hiểu được cấu trúc và định dạng của dữ liệu kỹ thuật số này là rất cần thiết để trao đổi thông tin trên toàn bộ chuỗi cung ứng và các đối tác. Tất cả những việc này dẫn đến sự ra đời của ISO/TC 184, Hệ thống tự động hóa công nghiệp và tích hợp, cung cấp một bộ tiêu chuẩn cơ bản (ISO 10303) trong lĩnh vực này và tạo điều kiện thuận lợi cho việc trao đổi dữ liệu.

1.3. Sự giao thoa giữa Bảo đảm chất lượng, Quản lý chất lượng và Hạ tầng chất lượng

Cần phân biệt một số khái niệm có liên quan tới hạ tầng chất lượng như: bảo đảm chất lượng và quản lý chất lượng. Đây là một vấn đề tưởng đơn giản nhưng lại rất quan trọng đối với những người tìm hiểu về lĩnh vực này. Mỗi khái niệm hoạt động ở một cấp độ khác nhau, nhưng có thể phân biệt theo cấp độ ứng dụng:

- Bảo đảm chất lượng (Quality Assurance - QA) và Quản lý chất lượng (Quality Management - QM) hoạt động ở cấp độ doanh nghiệp hoặc tổ chức.
- Hạ tầng chất lượng (Quality Infrastructure - QI) thuộc cấp độ nền kinh tế quốc gia hoặc liên kết giữa các tổ chức, cơ quan.

Bảo đảm chất lượng và Quản lý chất lượng: Hướng tới bên trong tổ chức

Bắt đầu từ cấp độ doanh nghiệp: QA là khái niệm ra đời sớm hơn, tập trung vào việc bảo đảm sản phẩm đầu ra đáp ứng yêu cầu chất lượng đã định sẵn. Thời kỳ đầu của sản xuất công nghiệp, nhiều doanh nghiệp lập hẳn phòng kiểm tra chất lượng chỉ để đo lường và kiểm tra sản phẩm sau cùng.

Về sau, khái niệm QM, Quản lý chất lượng ra đời, mở rộng phạm vi hơn QA rất nhiều. QM không chỉ kiểm soát chất lượng sản phẩm cuối cùng, mà còn bảo đảm mọi quy trình trong doanh nghiệp vận hành hiệu quả, hướng tới cải tiến liên tục. QM ngày nay còn chú trọng đến quản lý tri thức và rủi ro, ví dụ như bảo đảm nhân sự được đào tạo và giữ chân, hay phát hiện sớm các rủi ro trong vận hành.

Tóm lại, QA tập trung vào chất lượng sản phẩm đầu ra còn QM bao quát toàn bộ quy trình vận hành và cải tiến hệ thống tổ chức.

Cơ sở hạ tầng chất lượng - Nền tảng chất lượng ở tầm quốc gia

Khác với QA và QM, QI là hạ tầng chất lượng không thuộc về một tổ chức riêng lẻ mà là hệ thống phục vụ toàn nền kinh tế. Nó bao gồm:

- Đo lường (bảo đảm độ chính xác trong đo đạc)
- Tiêu chuẩn hóa
- Đánh giá sự hợp quy (thử nghiệm, giám định, chứng nhận)
- Công nhận
- Giám sát thị trường và quy định kỹ thuật

QI giống như "cơ sở hạ tầng mềm" hỗ trợ doanh nghiệp vận hành hiệu quả, tạo điều kiện thuận lợi cho thương mại quốc tế thông qua sự công nhận lẫn nhau giữa các hệ thống chất lượng quốc gia.

Các dịch vụ QI mang cả tính chất công lẫn tư nhân. Ví dụ: độ truy xuất đo lường đến Hệ thống đơn vị quốc tế (SI) là lợi ích chung, ai cũng có thể tiếp cận. Nhưng các dịch vụ như hiệu chuẩn thiết bị, kiểm thử hay chứng nhận hệ thống quản lý lại là dịch vụ trả phí - mang tính tư nhân. Đặc biệt với các nước đang phát triển, việc nhà nước hỗ trợ ban đầu để các doanh nghiệp nhỏ tiếp cận các dịch vụ QI là điều rất nên làm.

Bảng 1. So sánh nhanh giữa QM/QA và QI

Tiêu chí	QM/QA	QI
Cấp độ	Doanh nghiệp	Kinh tế quốc gia
Chức năng	Quản lý nội bộ	Hỗ trợ/ hạ tầng
Tổ chức	Áp dụng trong một tổ chức	Nhiều tổ chức phối hợp
Tư duy	Theo logic thị trường	Theo nhiệm vụ công
Người dẫn dắt	Chuyên gia chất lượng	Các tổ chức quốc tế, chuyên gia QI
Mạng lưới	Hội chất lượng quốc gia	Mạng lưới QI quốc tế (INetQI, UNIDO...)

Nguồn: qi4d

II. VAI TRÒ QUAN TRỌNG CỦA CƠ SỞ HẠ TẦNG CHẤT LƯỢNG

2.1. Ví dụ về vai trò then chốt của tiêu chuẩn hóa

Đường ray tàu hỏa - Từ hỗn loạn đến chuẩn hóa

Ở nửa đầu thế kỷ 19, ngành đường sắt phát triển rất mạnh tại nước Anh và giữ vai trò là cầu nối quan trọng giữa cuộc Cách mạng công nghiệp lần thứ nhất và lần thứ hai. Tuy nhiên, vào thời kỳ đầu, đường ray được làm từ sắt rèn, tốt hơn sắt đúc, nhưng vẫn còn nhiều hạn chế về độ bền và độ tin cậy.

Bước ngoặt đến vào năm 1856 khi quy trình sản xuất thép Bessemer ra đời, giúp giảm mạnh chi phí sản xuất. Năm 1857, Robert Forester Mushet, một nhà luyện kim người Anh, lần đầu tiên sản xuất được đường ray bằng thép. Vật liệu này nhanh chóng thay thế sắt, giúp kéo dài tuổi thọ và độ ổn định của đường ray.

Tuy vậy, quá trình hoàn thiện công thức và chất lượng thép không hề đơn giản, đòi hỏi nhiều năm nghiên cứu và thử nghiệm. Cuối thế kỷ 19, chất lượng đường ray ở Mỹ vẫn còn rất kém. Các công ty đường sắt Mỹ thậm chí phải nhập khẩu ray từ Anh với giá cao hơn nhưng chất lượng tốt hơn.

Trước tình trạng đó, ông Charles Dudley, làm việc tại công ty đường sắt Pennsylvania (một trong những tập đoàn lớn nhất thời đó), đã tiến hành phân tích chi tiết các loại thép, đề xuất công thức cải tiến cho thép dùng làm ray. Dù bị nhiều nhà sản xuất thép phản đối gay gắt, Dudley vẫn kiên trì thúc đẩy đối thoại giữa nhà cung ứng với khách hàng. Ông lập ra các ủy ban kỹ thuật, nơi hai bên cùng thảo luận về tiêu chuẩn, cách kiểm tra và đánh giá chất lượng.

Sau gần 20 năm nỗ lực không ngừng, năm 1898, tổ chức ASTM (Hiệp hội Vật liệu và Thử nghiệm Mỹ) chính thức được thành lập. Đây là một trong những tổ chức

xây dựng tiêu chuẩn đầu tiên trên thế giới. Tiêu chuẩn ASTM đầu tiên - A1:1898 - về thép và hợp kim liên quan đã được ban hành, đặt nền móng cho mối quan hệ minh bạch và hiệu quả giữa nhà sản xuất vật liệu và doanh nghiệp chế tạo. Charles Dudley sau đó trở thành Chủ tịch đầu tiên của ASTM từ năm 1902 đến 1908.

Sự ra đời của đánh giá hợp quy - Từ hàng hải đến công nghiệp nồi hơi

Đánh giá hợp quy - tức là việc xác minh sản phẩm, quy trình hoặc dịch vụ có đáp ứng quy định, tiêu chuẩn hay không - đã xuất hiện từ rất sớm, đặc biệt là trong lĩnh vực hàng hải.

Từ thế kỷ 13-14, các bang như Venice và Genoa đã đưa ra các quy định giới hạn tải trọng, kiểm tra tàu và xử phạt nghiêm khắc khi vi phạm. Tuy nhiên, những hoạt động này vẫn còn mang tính rời rạc và thiếu hệ thống. Rủi ro hàng hải chủ yếu được xử lý thông qua tài chính - bằng bảo hiểm và chia sẻ rủi ro giữa các bên.

Mãi đến cuối thế kỷ 18, nhờ cuộc cách mạng công nghiệp (với động cơ hơi nước và thân tàu kim loại), giao thương đường biển bùng nổ, nhu cầu bảo đảm an toàn cũng tăng mạnh. Tại quán cà phê nổi tiếng của Edward Lloyd ở Luân đôn, nơi tụ họp của thương nhân, chủ tàu và thuyền trưởng, khái niệm "bảo hiểm tàu biển" ra đời cùng với hoạt động "đánh giá độ tin cậy" của tàu trước khi cấp bảo hiểm.

Năm 1760, Hiệp hội Đăng kiểm tàu biển (Register Society, sau này là Lloyd's Register) được thành lập, chuyên kiểm tra và xếp hạng độ an toàn của tàu. Các tổ chức đăng kiểm khác cũng ra đời tại châu Âu: Bureau Veritas (Pháp, 1828), RINA (Ý, 1861), và Det Norske Veritas - DNV (Na Uy, 1864).

Không chỉ ngành hàng hải, ngành công nghiệp nồi hơi – thiết bị sử dụng hơi nước để tạo động lực - cũng đối mặt với nhiều tai nạn nghiêm trọng vào cuối thế kỷ 19. Một ví dụ là vụ nổ nồi hơi trên tàu Sultana năm 1865 tại Hoa Kỳ, khiến hơn 1.200 người thiệt mạng - trở thành thảm họa hàng hải tồi tệ nhất lịch sử nước này.

Sau đó, năm 1866, công ty Hartford Steam Boiler (Hoa Kỳ) được thành lập, trở thành công ty đầu tiên kết hợp giữa kiểm tra kỹ thuật và bảo hiểm. Họ chỉ cấp bảo hiểm cho các nồi hơi đã được kiểm tra và đạt yêu cầu kỹ thuật.

Tại Đức, sau vụ nổ nồi hơi tại nhà máy bia ở Mannheim năm 1865, một nhóm doanh nhân thành lập hiệp hội kiểm tra và bảo hiểm nồi hơi - tiền thân của TÜV (Hiệp hội Kiểm định Kỹ thuật). Các tổ chức tương tự mọc lên khắp nước Đức, sau đó được liên kết thành một mạng lưới toàn quốc.

Từ hai ví dụ nêu trên rút ra bài học về tiêu chuẩn và đánh giá sự hợp quy

Cả hai trường hợp - từ đường ray thép đến tàu biển và nồi hơi - đều cho thấy một điểm chung: Khi công nghệ phát triển, rủi ro cũng tăng theo. Và để quản lý rủi ro, cần có:

- Các tiêu chuẩn kỹ thuật rõ ràng và được thống nhất, làm nền tảng cho thiết kế, chế tạo và vận hành thiết bị.
- Hệ thống đánh giá hợp quy nghiêm ngặt, do các tổ chức độc lập và chuyên môn cao thực hiện.

Tiêu chuẩn hóa và đánh giá hợp quy không chỉ giúp nâng cao chất lượng, giảm thiểu tai nạn, mà còn tạo niềm tin cho thị trường, từ đó thúc đẩy phát triển kinh tế bền vững và an toàn hơn.

2.2. QI thúc đẩy thế giới phát triển bền vững

Hỗ trợ tăng trưởng kinh tế thông qua thương mại

Hạ tầng chất lượng (QI) hỗ trợ các thị trường nội địa vận hành hiệu quả hơn, tạo điều kiện tiếp cận thị trường nước ngoài, đa dạng hóa xuất khẩu và góp phần thúc đẩy phát triển kinh tế. Để giao thương thành công, các nhà sản xuất cần bảo đảm sản phẩm của họ có chất lượng ổn định, tuân thủ các tiêu chuẩn liên quan và đáp ứng yêu cầu, thông số kỹ thuật phù hợp với thị trường mục tiêu.

Chương trình nghị sự 2030 của Liên hợp quốc về Phát triển bền vững công nhận thương mại quốc tế là động lực để phát triển kinh tế và giảm đói nghèo – một động lực mạnh mẽ thúc đẩy chuyên môn hóa, cạnh tranh, hiệu quả theo quy mô và đổi mới sáng tạo. Để khai thác hiệu quả động lực từ thương mại, cần có chính sách và hành động ở cả cấp quốc gia và quốc tế, nhằm giải quyết các khía cạnh xã hội như: tiền lương thỏa đáng, bảo vệ sức khỏe, an toàn và quyền lợi người lao động; cũng như các khía cạnh môi trường như: phân bổ tài nguyên hợp lý và hiệu quả ở cấp độ toàn cầu, thúc đẩy phổ biến công nghệ và sản phẩm thân thiện với môi trường.

Một hệ thống hạ tầng chất lượng mạnh và hiệu quả là thiết yếu để đáp ứng các yêu cầu của thị trường mục tiêu và khai thác sức mạnh của thương mại, thông qua các biện pháp giải quyết hiệu quả các vấn đề xã hội và môi trường mà không tạo ra rào cản thương mại quốc tế không cần thiết.

Thúc đẩy đổi mới sáng tạo phát triển công nghiệp bền vững và toàn diện

Các tổ chức QI cùng với các dịch vụ hỗ trợ đóng vai trò then chốt trong việc nâng cao sự thịnh vượng thông qua hỗ trợ phát triển công nghiệp và hạ tầng - từ đó thúc đẩy phát triển kinh tế. Hạ tầng chất lượng góp phần vào đổi mới sáng tạo bằng cách

thúc đẩy phát triển và phổ biến rộng rãi các công nghệ, sản phẩm mới phù hợp với thông lệ và tiêu chuẩn tốt nhất. Việc này giúp tạo thêm việc làm và thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội.

Việc doanh nghiệp tư nhân triển khai các tiêu chuẩn phù hợp với các Mục tiêu Phát triển bền vững (SDGs) của Liên hiệp quốc một cách hiệu quả và tiết kiệm chi phí, kết hợp với vai trò hỗ trợ, thúc đẩy hoặc thực thi của cơ quan quản lý nhà nước, có thể mang lại nhiều kết quả thiết thực như:

- Cải thiện hiệu suất sinh thái của vật liệu và sản phẩm
- Hỗ trợ nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng
- Thúc đẩy và giám sát phát triển hạ tầng và sản xuất bền vững

Như vậy, QI có thể góp phần vào tăng trưởng bền vững về môi trường bằng cách xây dựng năng lực thể chế nhằm phát triển các ngành công nghiệp xanh, áp dụng công nghệ sản xuất sạch và hỗ trợ vòng đời sản phẩm bền vững.

Số hóa và trí tuệ nhân tạo đang định hình nên Cách mạng Công nghiệp lần thứ tư, và đặt ra những thách thức mới trong việc đo lường, thử nghiệm và chứng nhận các sản phẩm mới. Tuy nhiên, các công nghệ mới này cũng giúp cải thiện chất lượng theo nhiều cách: doanh nghiệp có thể giám sát quy trình, thu thập dữ liệu theo thời gian thực và sử dụng phân tích dữ liệu để dự báo các vấn đề về chất lượng hoặc nhu cầu bảo trì. Các công cụ số cũng giúp con người làm việc nhanh hơn, chính xác hơn và tiết kiệm chi phí.

Do đó, hạ tầng chất lượng cần một sự chuyển đổi mang tính nền tảng để bắt kịp với Cách mạng Công nghiệp lần thứ tư. Sự chuyển đổi này không chỉ đòi hỏi năng lực công nghệ nâng cao mà còn cần cả thay đổi về giá trị và tư duy trong các tổ chức QI. Trong bối cảnh này, cả năm trụ cột của QI sẽ đóng vai trò quan trọng trong việc phổ biến và áp dụng các tiêu chuẩn mới, thiết bị mới và phương pháp mới để giảm thiểu rủi ro, thiết lập các yêu cầu rõ ràng và thống nhất, đồng thời bảo đảm tính bền vững.

Góp phần bảo đảm an ninh lương thực và nông nghiệp bền vững

Tương lai của ngành nông nghiệp đang đối mặt với nhiều thách thức đa dạng và phức tạp. Với các quốc gia có mật độ dân số cao nhưng diện tích canh tác hạn chế, mục tiêu cốt lõi là không được đánh đổi an ninh lương thực và tính bền vững môi trường để chạy theo năng suất cây trồng. Đối với các quốc gia kém phát triển, mục tiêu lớn nhất là xóa đói và bảo đảm dinh dưỡng đầy đủ cho tất cả mọi người.

Các tổ chức QI và dịch vụ mà họ cung cấp giúp bảo đảm thực phẩm an toàn, phù hợp cho tiêu dùng. Họ cần nhanh chóng chuyển mình để hỗ trợ sản xuất nông nghiệp và thực phẩm bền vững, từ đó nâng cao chất lượng cuộc sống, sức khỏe và điều kiện kinh tế - xã hội của người dân. QI cũng đóng vai trò thiết yếu trong việc hỗ trợ thương mại các sản phẩm nông nghiệp và thực phẩm - một lĩnh vực xuất khẩu quan trọng của nhiều quốc gia đang phát triển.

Hỗ trợ y tế và cuộc sống lành mạnh

QI giữ vai trò trung tâm trong toàn bộ lĩnh vực y tế, nơi phụ thuộc vào các thiết bị, quy trình và hoạt động y khoa. Chất lượng dịch vụ chăm sóc sức khỏe dựa trên việc định lượng chính xác thuốc men, các quy trình vật lý, hóa học, sinh học dùng trong chẩn đoán và điều trị, bảo đảm an toàn và hiệu quả.

Các hướng dẫn và quy định về thiết bị y tế và phương pháp điều trị chỉ có thể được tin cậy nếu các phép đo và quy trình đánh giá tuân thủ các tiêu chuẩn tham chiếu quốc tế, có thể truy xuất nguồn gốc, và được thực hiện bằng thiết bị được hiệu chuẩn một cách chính xác và có năng lực.

Góp phần vào bình đẳng giới

Sự phát triển của QI có thể tạo ra những tác động tích cực đến bình đẳng giới và nâng cao vị thế của phụ nữ trong lĩnh vực kinh tế. Đặc biệt, việc xây dựng các tiêu chuẩn nhạy cảm giới có thể hỗ trợ mạnh mẽ cho các nỗ lực thúc đẩy bình đẳng giới, bảo đảm rằng các yếu tố liên quan đến giới tính được tính đến đầy đủ trong hoạch định chính sách và thiết kế sản phẩm.

Mang lại năng lượng sạch với giá thành hợp lý

Khi đi kèm với chính sách phù hợp, QI đóng vai trò quan trọng trong việc hỗ trợ các chính phủ và tổ chức nâng cao hiệu suất năng lượng, hiệu quả kinh tế, và chuyển đổi sang năng lượng sạch - đồng thời ngăn chặn các sản phẩm nguy hiểm, độc hại hoặc gây hại môi trường xâm nhập vào thị trường.

Góp phần bảo đảm nước sạch và vệ sinh môi trường

QI cung cấp công cụ kỹ thuật để nguồn nước sạch tới với nhiều người hơn và bảo đảm an toàn sử dụng. Ngoài ra, QI hỗ trợ kiểm soát ô nhiễm và thúc đẩy sử dụng nước hiệu quả. Dịch vụ đo lường giúp phát triển các chỉ số tin cậy và có thể so sánh ở cấp độ quốc tế nhằm theo dõi mức dự trữ, tốc độ khai thác và chất lượng nguồn nước quốc gia, cũng như hiệu chuẩn đồng hồ đo nước để bảo đảm việc sử dụng và tiêu dùng nước diễn ra một cách tiết kiệm và bền vững.

Bảo vệ sự sống dưới nước và trên đất liền

Việc bảo vệ và nuôi dưỡng môi trường tự nhiên là điều không thể thiếu để bảo đảm phúc lợi con người và sự sống còn của nhân loại. Tác động từ các hoạt động của con người lên hành tinh đã đạt đến mức độ nguy hiểm, đe dọa đến khả năng duy trì và quản lý tài nguyên thiên nhiên cũng như sự tồn tại của sinh quyển.

Sự sống dưới nước và trên cạn chịu ảnh hưởng mạnh mẽ từ hoạt động của con người. Mặc dù các hành động bảo vệ và phục hồi môi trường là cần thiết, nhưng tác động của chúng vẫn còn hạn chế nếu thiếu một cách tiếp cận tổng thể.

Điều cấp thiết hiện nay là phải áp dụng một mô hình phát triển kinh tế tích hợp mới, trong đó tính bền vững môi trường trở thành ưu tiên hàng đầu. Các tổ chức và dịch vụ của hạ tầng chất lượng (QI) đóng vai trò thiết yếu trong việc triển khai các chính sách và hành động nhằm sử dụng bền vững tài nguyên biển (sự sống dưới nước) và bảo vệ các hệ sinh thái (sự sống trên đất liền), qua những hoạt động:

- Nâng cao năng lực đo lường
- Phổ biến các phương thức thực hành tốt
- Hỗ trợ công tác quản lý
- Giám sát, báo cáo và xác minh việc tuân thủ các quy định về môi trường
- Tiêu dùng và sản xuất có trách nhiệm

Mô hình kinh tế hiện nay, được củng cố và mở rộng mạnh mẽ từ nửa sau thế kỷ 20, tập trung vào việc tạo ra dòng hàng hóa và dịch vụ ngày càng lớn. Những sản phẩm này nhanh chóng được tiêu dùng và thay thế bằng các sản phẩm mới, tạo thành một vòng xoáy ngày càng tăng tốc. Mô hình này là một trong những nguyên nhân chính dẫn đến các thách thức toàn cầu mà chúng ta đang phải đối mặt.

Các mô hình tiêu dùng và sản xuất cần phải thay đổi một cách căn bản, tách tăng trưởng kinh tế ra khỏi sự phụ thuộc vào tài nguyên thiên nhiên và tác động môi trường. Điều này có thể đạt được thông qua:

- Giảm cường độ sử dụng vật liệu và năng lượng trong các hoạt động kinh tế
- Giảm lượng khí thải và chất thải đi kèm

Bằng cách khuyến khích tiêu dùng các sản phẩm và dịch vụ tác động sinh thái thấp hơn (ít tiêu tốn năng lượng, nguyên liệu), chúng ta vẫn có thể duy trì chất lượng cuộc sống mà không gây hại cho hành tinh.

Các tổ chức QI và dịch vụ của họ giữ vai trò thiết yếu trong việc hỗ trợ quá trình chuyển đổi sang mô hình tiêu dùng và sản xuất bền vững. Cụ thể:

- Cung cấp thông tin chính xác về mức sử dụng vật liệu, năng lượng, nước và đất
- Đo lường lượng phát thải và chất thải liên quan
- Hỗ trợ xây dựng chính sách bền vững dựa trên dữ liệu tin cậy
- Khuyến khích các bên liên quan thực hiện hành vi thân thiện với môi trường.

III. CÁCH MẠNG CÔNG NGHIỆP LẦN THỨ TƯ VÀ VAI TRÒ HỖ TRỢ ĐỔI MỚI SÁNG TẠO VÀ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG CỦA HẠ TẦNG CHẤT LƯỢNG THÔNG MINH

3.1. Cách mạng công nghiệp lần thứ tư (CMCN 4.0) và những ranh giới phát triển công nghiệp mới

Nền tảng của CMCN 4.0 dựa trên sự phát triển theo cấp số nhân của công nghệ thông tin và truyền thông (CNTT&TT). Chúng ta hãy xem xét ba khía cạnh sau:

- Vai trò đột phá của CNTT&TT
- CMCN 4.0 ra đời
- CMCN 4.0 giải quyết sự "bền vững mang tính sống còn" như thế nào?

Vai trò đột phá của CNTT&TT

Tin học và tiêu chuẩn hóa là hai yếu tố chính mang lại tiến bộ. Phát minh ra bóng bán dẫn "transistor" và sự ra đời của các thiết bị điện tử bán dẫn vào đầu những năm 1950 mở ra kỷ nguyên số. Ngành công nghiệp bán dẫn và số hóa được thúc đẩy bởi nhu cầu thu nhỏ, đã tác động mạnh tới lĩnh vực điện tử và công nghệ thông tin (CNTT), tạo điều kiện tích hợp các thiết bị CNTT vào các sản phẩm, dịch vụ và quy trình của hầu như mọi lĩnh vực và sử dụng máy tính cho mọi loại ứng dụng kinh doanh. Kết quả là, xuất hiện ngày càng nhiều máy tính hiệu suất cao với giá cả phải chăng, làm thay đổi cách con người sống và kinh doanh.

Sự phát triển theo cấp số nhân, vốn được duy trì trong hơn 50 năm qua, của số hóa là nhờ các thế hệ mạch tích hợp và công nghệ RAM. Lĩnh vực điện tử và CNTT phát triển, tác động mạnh đến các thành phần của QI, thể hiện rõ ở mối quan hệ với đo lường nếu xét đến nhu cầu thu nhỏ và bảo đảm đo lường tin cậy và chính xác. Đồng thời, quá trình số hóa cũng góp phần chuyển đổi chuẩn hóa. ***Chuẩn hóa*** giữ vai trò quan trọng trong sự phát triển theo cấp số nhân của công nghệ thông tin và truyền thông. Sự tương tác qua lại giữa chuẩn hóa và công nghệ thông tin được thể hiện ở ba khía cạnh chính sau:

Một mặt, chuẩn hóa góp phần vào:

- Thúc đẩy phổ biến công nghệ và phát triển thị trường.

- Giúp củng cố/ổn định nhiều lớp công nghệ khác nhau và hỗ trợ khả năng tương tác giữa các thiết bị và phần mềm.

Mặt khác, sự phát triển của công nghệ thông tin đã dẫn đến:

- Thiết lập những cách thức mới để chuẩn hóa để đối phó với tốc độ thay đổi chóng mặt của chúng.

Bên cạnh đó, tốc độ phát triển của thế giới viễn thông và hội tụ với các công nghệ thông tin đã tạo ra ngành công nghiệp thông tin và truyền thông (ICT). Sự phát triển của ngành này dựa trên bốn khía cạnh cơ bản:

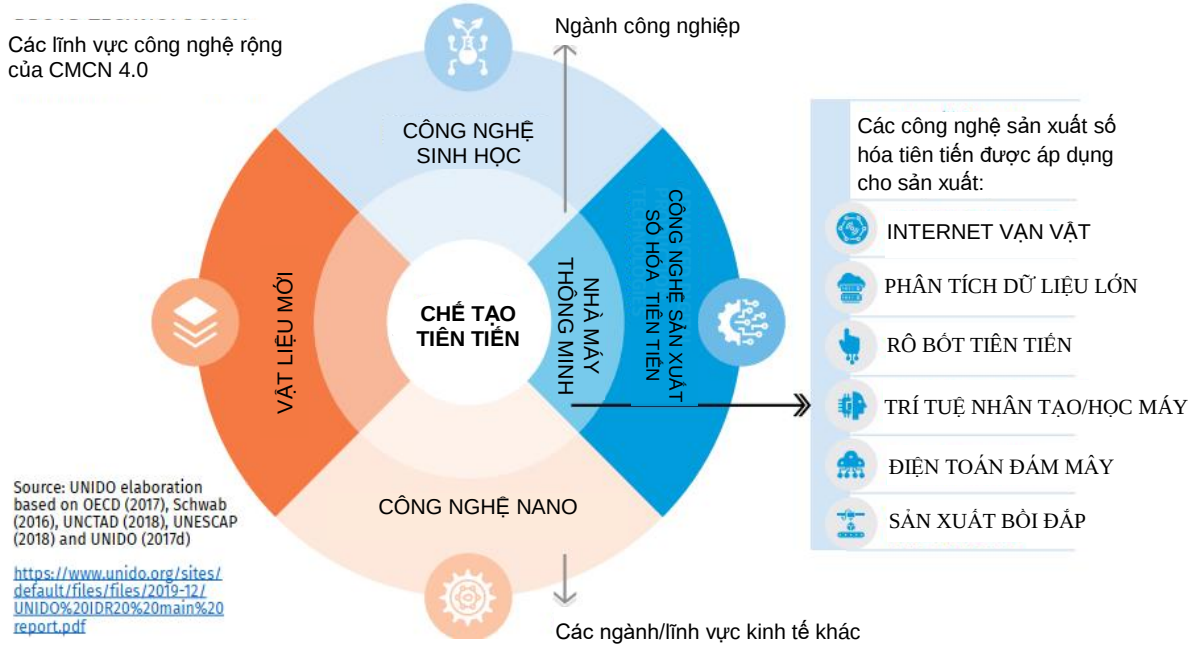
- Phát minh và triển khai công nghệ chuyển mạch gói
- Bãi bỏ quy định đối với ngành viễn thông
- Phát minh và lan tỏa rộng rãi mạng lưới toàn cầu (WWW).
- Cải tiến và phát triển rộng rãi công nghệ không dây

Cách mạng Công nghiệp lần thứ tư ra đời

Thuật ngữ "CMCN 4.0" được Giáo sư Wahlster (Giáo sư Trí tuệ nhân tạo người Đức) đặt ra, để giải thích rằng nhằm duy trì vai trò lãnh đạo trong sản xuất, nước Đức cần làm chủ cuộc cách mạng công nghiệp được thúc đẩy bởi internet, và hiểu được "cầu nối" giữa thế giới kỹ thuật số và thế giới vật lý. Khái niệm này nhanh chóng lan rộng với việc xuất bản bài viết "Làm chủ cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư" của Klaus Schwab (Chủ tịch Diễn đàn Kinh tế Thế giới) vào năm 2015, và việc chọn CMCN 4.0 làm chủ đề chính cho cuộc họp Diễn đàn Kinh tế Thế giới năm 2016 tại Davos, Thụy Sĩ. Schwab tuyên bố "*So với các cuộc cách mạng công nghiệp trước đây, CMCN 4.0 đang diễn ra theo tốc độ cấp số nhân thay vì theo tuyến tính. Hơn nữa, cuộc cách mạng này đang phá vỡ hầu hết mọi ngành ở mọi quốc gia. Chiều rộng và chiều sâu của những thay đổi này báo trước sự chuyển đổi của toàn bộ hệ thống sản xuất, quản lý và quản trị*". Hiệu suất xử lý thông tin phi thường cùng với khả năng lưu trữ và di chuyển thông tin với khối lượng chưa từng có và với tốc độ cực nhanh đã khai mở toàn bộ các lĩnh vực ứng dụng mới. Sự chuyển đổi tương tự cũng đã diễn ra ở các lĩnh vực phát triển có sự liên kết chặt chẽ với công nghệ số, đặc biệt là khoa học và công nghệ sinh học, khoa học vật liệu và công nghệ nano. Sự tương tác và hội tụ của những tiến bộ này được thể hiện rõ trong Hình 2 bên dưới, được trích từ Báo cáo Phát triển Công nghiệp của UNIDO năm 2020.

Những công nghệ này (trong Hình 2) và ứng dụng của chúng có tác động lớn đến các doanh nghiệp và đang phá vỡ các chuỗi giá trị hiện có (thậm chí trước khi có tác động của COVID-19). Các mô hình mới xuất hiện trong những lĩnh vực như sản xuất,

sử dụng vật liệu và các bộ phận, cách đáp ứng nhu cầu của khách hàng, làm thay đổi cách con người tạo ra giá trị. Các nhà lãnh đạo doanh nghiệp và hoạch định chính sách cần nhận biết và thích ứng với sự đổi mới đang diễn ra với tốc độ cấp số nhân, và hình thành nên các chiến lược, phương pháp quản lý và chính sách phù hợp.



Hình 2. Các lĩnh vực công nghệ rộng của Cách mạng công nghiệp lần thứ 4

Nguồn: UNIDO

Giải quyết phát triển bền vững mang tính sống còn thông qua CMCN 4.0

Phát triển bền vững đã thu hút sự chú ý của cộng đồng quốc tế sau khi công bố báo cáo "Tương lai chung của chúng ta" của Ủy ban Môi trường và Phát triển Thế giới vào năm 1987 và tổ chức Hội nghị Thượng đỉnh Trái đất Rio (Hội nghị Liên hợp quốc về Môi trường và Phát triển, UNCED) năm 1992.

Báo cáo "Khởi động lại Cơ sở hạ tầng Chất lượng cho tương lai bền vững" của UNIDO đã cung cấp những hiểu biết sâu sắc về cách QI hỗ trợ và thúc đẩy thực hiện các Mục tiêu Phát triển bền vững (SDG) của Liên hợp quốc. Báo cáo mô tả cách QI hỗ trợ các nền kinh tế đạt được SDG bằng cách mang lại sự thịnh vượng, nâng cao phúc lợi của con người và bảo vệ hành tinh. Tài liệu này tập trung vào cách các công nghệ mới của CMCN 4.0 giải quyết yêu cầu cấp thiết về tính bền vững ở khía cạnh xã hội và môi trường trong lĩnh vực công nghiệp, đồng thời xem xét cách các thành phần QI thông minh hỗ trợ cụ thể cho sự bền vững liên quan đến lĩnh vực công nghiệp.

3.2. Các công nghệ thiết yếu của Cách mạng công nghiệp lần thứ tư

CMCN 4.0 được đặc trưng bởi sự tương tác sâu sắc với QI. Một mặt, các thành phần QI là những yếu tố hỗ trợ thiết yếu cho các công nghệ và quy trình và mặt khác, các đổi mới sáng tạo và chuyển đổi liên quan đến CMCN 4.0 cũng tác động rõ rệt đến chính QI.

Các công nghệ số (bao gồm "các công nghệ sản xuất kỹ thuật số tiên tiến") đã mở ra những cơ hội mới cho QI và các tổ chức của QI. Tương tự như vậy, các nhu cầu của QI trong CMCN 4.0 đang định nghĩa lại khái niệm "chất lượng". Điều này thúc đẩy các tổ chức QI cải tổ hoạt động và cung cấp các loại dịch vụ mới. Sự chuyển đổi này được gọi là "Cơ sở hạ tầng chất lượng 4.0" hoặc được tổ chức UNIDO gọi là "Cơ sở hạ tầng chất lượng thông minh" (Smart QI), nhằm nhấn mạnh tầm quan trọng của không chỉ các công nghệ, mà còn cả các yếu tố tổ chức và con người.

Sự chuyển đổi của ngành công nghiệp, cụ thể là sản xuất, được hỗ trợ bởi cuộc cách mạng Công nghệ lần thứ 4 nhằm mục đích:

- Thiết lập các hoạt động sản xuất linh hoạt có thể dễ dàng được trang bị lại để sản xuất những phiên bản khác của các sản phẩm hiện có hoặc sản xuất các sản phẩm hoàn toàn mới.
- Sử dụng các hệ thống mạng - vật chất (rô bốt, bộ truyền động và cảm biến) có khả năng tự động quản lý các hoạt động tại xưởng sản xuất của nhà máy (gồm xử lý vật liệu và các bộ phận, thực hiện các nhiệm vụ và các hoạt động giám sát và kiểm soát).
- Triển khai dữ liệu hiệu quả và an toàn, các hệ thống thu thập và trao đổi cho tất cả các thiết bị được kết nối và cho phép chúng tương tác với nhau và với các trung tâm thiết kế và kiểm soát tại địa phương hoặc từ xa.
- Tạo ra các bản sao kỹ thuật số của các mã sản phẩm ở bất kỳ giai đoạn có liên quan nào của quy trình sản xuất, các bản sao có thể được các nhà thiết kế xác thực hoặc sửa đổi bất cứ khi nào cần, can thiệp trực tiếp vào quy trình.

Những tiến bộ này được thúc đẩy bởi sự kết hợp của các công nghệ sản xuất kỹ thuật số tiên tiến, chẳng hạn như Internet Vạn vật công nghiệp (IIoT), dữ liệu lớn và phân tích, robot tiên tiến, AI/học máy (ML), điện toán đám mây, sản xuất bồi đắp (in 3D). Các công nghệ này là các yếu tố hỗ trợ thiết yếu cho CMCN 4.0.

Sau đây là mô tả ngắn gọn tác động của từng yếu tố:

Internet vạn vật công nghiệp (IIoT)

IIoT được thiết kế với vai trò là phần mở rộng của Internet vạn vật (IoT), dành

riêng cho môi trường nhà máy. Vượt ra ngoài phạm vi kết nối của các thiết bị vật chất "thông thường" (ví dụ: thiết bị đeo được như đồng hồ, thiết bị nhà thông minh, thiết bị chăm sóc sức khỏe đơn giản), IIoT chuyên hỗ trợ kết nối không dây (thông qua các hệ thống điện toán đám mây và điện toán biên), khả năng tương tác của robot và hệ thống điều khiển công nghiệp. IIoT cũng liên quan chặt chẽ đến tốc độ, độ tin cậy, bảo mật và mức tiêu thụ năng lượng.

Dữ liệu lớn và phân tích

ISO/IEC 20546:2019 định nghĩa dữ liệu lớn là "*các tập dữ liệu lớn, chủ yếu thể hiện ở các đặc điểm về khối lượng, tính đa dạng, tốc độ và/hoặc khả năng thay đổi của dữ liệu - đòi hỏi cần một công nghệ có khả năng mở rộng để lưu trữ, xử lý, quản lý và phân tích hiệu quả*".

Khoảng những năm 2010, các loại tập dữ liệu mới bắt đầu được tạo ra với khối lượng rất lớn và đa dạng (ví dụ: video, phương tiện truyền thông xã hội, phát trực tuyến, ứng dụng di động, IoT), mỗi loại đều có các nhu cầu về tốc độ khác nhau, làm nảy sinh thêm các yêu cầu về công nghệ. Trong bối cảnh của cuộc cách mạng Công nghiệp lần thứ 4, dữ liệu lớn được thu thập và chia sẻ bởi các cảm biến (và các thiết bị khác) được sử dụng để:

- Bảo đảm sự phối hợp và đồng bộ hóa tối ưu của thiết bị.
- Thực hiện kiểm tra ảo và kiểm soát chất lượng của sản phẩm.
- Phân tích quy trình sản xuất (ví dụ: xác định các điểm nghẽn ẩn hoặc tiềm ẩn).
- Hỗ trợ tự động hóa thông qua phân tích dữ liệu lịch sử.
- Sử dụng các hệ thống trí tuệ nhân tạo để tạo ra những thay đổi có thể được các hệ thống thực - ảo thực hiện trực tiếp.

Những ứng dụng này được kỳ vọng sẽ thúc đẩy tăng trưởng dữ liệu từ khoảng 10% trong tổng số vào năm 2020 lên khoảng30% vào năm 2025. Để hỗ trợ phát triển toàn diện và bền vững, cần phải tính đến sự sai lệch dữ liệu, vì sự sai lệch hoặc thể hiện không đầy đủ có thể khiến cho bình đẳng xã hội tiếp diễn liên tục.

Robot tiên tiến

Theo ISO 8373:2012, một robot công nghiệp là "*một cỗ máy đa năng có thể lập trình lại, được điều khiển tự động, có thể chuyển động theo ba trục trở lên, cỗ máy này có thể cố định tại chỗ hoặc di động để sử dụng trong các ứng dụng tự động hóa công nghiệp*".

Để bắt kịp với các mô hình của CMCN 4.0, ngành robot đang trải qua một quá trình phát triển nhanh chóng, dẫn đến ra đời một thế hệ robot mới được kết nối hoàn

toàn, thông minh hơn, linh hoạt hơn, có khả năng di chuyển và tự học. Chúng có vai trò thiết yếu và hỗ trợ trong CMCN 4.0. Robot và cobot (con người và robot hợp tác) dần trở nên phổ biến hơn trong mọi lĩnh vực của cuộc sống ngày nay, đặc biệt ngành công nghiệp được hưởng lợi rất nhiều từ cả hai.

Trí tuệ nhân tạo/Học máy

Từ điển Merriam-Webster định nghĩa trí tuệ nhân tạo (AI) là:

- Một nhánh của khoa học máy tính liên quan đến việc mô phỏng hành vi thông minh trong máy tính,
- Khả năng của một cỗ máy bắt chước hành vi thông minh của con người.

Trong vài thập kỷ qua, các ứng dụng và chuyển giao ý tưởng từ AI sang nhiều lĩnh vực đã được biểu hiện ở nhiều loại sản phẩm và dịch vụ khác nhau, chẳng hạn như công cụ tìm kiếm, phương tiện truyền thông xã hội, dịch thuật tự động, nhiếp ảnh kỹ thuật số, trợ lý kỹ thuật số, phi công tự động, máy bay không người lái và robot, cũng như các công nghệ mới nổi, chẳng hạn như xe tự lái, bán lẻ không người giám sát và nhiều công nghệ khác nữa.

Học máy (machine learning), một thuật ngữ được Tom Mitchell[2] định nghĩa trong sách "*Machine learning"* xuất bản năm 1997 là *"nghiên cứu về các thuật toán máy tính có thể tự cải thiện thông qua trải nghiệm bằng cách sử dụng dữ liệu*", đang trở thành lĩnh vực thống trị hiện nay trong AI. Một trong những nhánh của nó, ***học sâu (deep learning)***, được từ điển Oxford định nghĩa là "*một loại học máy dựa trên mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) trong đó nhiều lớp xử lý được sử dụng để trích xuất các tính năng cấp cao hơn dần dần từ dữ liệu*" xuất hiện sau khi hiệu suất xử lý của máy tính tăng lên và sự ra đời của GPU (bộ xử lý đồ họa).

Việc sử dụng các hệ thống học máy và học sâu có tầm quan trọng cơ bản đối với cuộc cách mạng Công nghiệp lần thứ 4 với vai trò là một công cụ hỗ trợ chính cho nhiều chức năng khác nhau, bao gồm:

- "Thị giác", ví dụ, phát hiện và điều khiển vật thể bằng rô-bốt và các thiết bị khác hoạt động trên sàn nhà máy.
- Tất cả các hoạt động được mô tả trong phần "dữ liệu lớn" nêu bên trên, cung cấp trí tuệ cần để:
  - Hỗ trợ kiểm tra sản phẩm và kiểm soát chất lượng tự động (ví dụ: phát hiện các bất thường của sản phẩm, chẳng hạn như trầy xước, mòn, bẩn, đổi màu)
  - Phân tích chẩn đoán máy móc và các thiết bị khác (để kiểm tra xem ổ trục,

[2] Nhà khoa học máy tính người Mỹ của trường đại học Carnegie Mellon (CMU)

rô-to, hộp số... có hoạt động chính xác không và để xác định, mô tả sự cố trục trặc)

- Phân tích dữ liệu theo thời gian thực để tối ưu hóa quy trình (ngăn ngừa tình trạng tắc nghẽn và thời gian chết)
- Phân tích dự đoán, xử lý dữ liệu lịch sử để đề xuất quy trình cải tiến

- Hỗ trợ thiết kế sản phẩm, đặc biệt về mô phỏng.

Điện toán đám mây

Điện toán đám mây đề cập đến việc sử dụng mức khả dụng "theo yêu cầu" của các tài nguyên CNTT (đặc biệt là hiệu suất xử lý và lưu trữ dữ liệu) bằng cách truy cập các máy chủ dữ liệu được phân bố tại nhiều địa điểm mà không có sự quản lý trực tiếp của người dùng.

Điện toán đám mây đã tạo điều kiện phát triển CMCN 4.0 bằng cách thúc đẩy xu hướng giá/hiệu suất có lợi của các tài nguyên điện toán và dịch vụ viễn thông. Việc này đã mang lại những khả năng mới để sử dụng các dịch vụ toàn cầu có thể mở rộng và an toàn, với các mức hiệu suất được điều chỉnh theo nhu cầu của khách hàng, được cung cấp thông qua các máy chủ dữ liệu có thể cung cấp hiệu suất được tối ưu hóa.

Với vai trò là một yếu tố hỗ trợ thiết yếu cho CMCN 4.0, điện toán đám mây cung cập một số chức năng quan trọng nhất như sau:

- Lưu trữ và trao đổi dữ liệu giữa các thiết bị được kết nối thông qua IIoT.
- Sử dụng năng lực xử lý và các ứng dụng chuyên biệt (bao gồm các dịch vụ AI và phân tích).
- Hỗ trợ khả năng hiển thị và chia sẻ dữ liệu của nhiều bên theo dọc chuỗi cung ứng.
- Cho phép theo dõi vị trí của các mặt hàng sản phẩm trong các nhà máy và cho các ứng dụng logistics.

Sản xuất bồi đắp (in 3D)

ISO/ASTM 52900:2015 định nghĩa sản xuất bồi đắp (AM) là "*quy trình hòa nhập các vật liệu lại để tạo thành các bộ phận từ dữ liệu mô hình 3D, thường là theo từng lớp, trái ngược với phương pháp sản xuất cắt gọt và các phương pháp sản xuất hình thành*".

Công nghệ này gồm một mô hình kỹ thuật số (thường được tạo ra nhờ thiết kế hỗ trợ máy tính, CAD, phần mềm hoặc quét đối tượng 3D) và một quy trình do máy tính điều khiển để tạo ra vật thể 3D.

In 3D là một hình thức sản xuất bồi đắp và trong ISO/ASTM 52900:2015 nó được định nghĩa là *"chế tạo các vật thể thông qua việc lắng đọng một vật liệu bằng*

cách sử dụng đầu in, vòi phun hoặc công nghệ máy in khác". Tuy nhiên, in 3D cũng được sử dụng như từ đồng nghĩa với sản xuất bồi đắp (AM).

Vào cuối những năm 1980, Chuck Hull[3] thành lập tập đoàn 3D Systems Corporation để thương mại hóa máy in 3D. Chỉ đến nửa sau của những năm 2000, tốc độ áp dụng các công nghệ AM (và đặc biệt là máy in 3D) mới thực sự tăng. Sự phát triển của AM cũng liên quan đến các doanh nghiệp kỹ thuật và sản xuất, vượt ra khỏi việc tạo mẫu đơn giản, để sản xuất các bộ phận của sản phẩm thực với độ chính xác và tin cậy thích hợp. Về mặt này, cần nêu rõ ba khía cạnh quan trọng khác liên quan đến sự phát triển của AM:

- Thứ nhất, xuất hiện một kho lưu trữ các thiết kế sản phẩm (tức là mô tả kỹ thuật số hoàn chỉnh về sản phẩm, sử dụng các định dạng khác nhau) có sẵn trên internet và các chợ trực tuyến in 3D cung cấp nhiều dịch vụ khác nhau.
- Thứ hai, AM sẽ có tác động lớn đến các chuỗi giá trị toàn cầu. Mức độ gián đoạn sẽ khác nhau tùy thuộc vào lĩnh vực và các đặc điểm cụ thể của các chuỗi giá trị toàn cầu (GVC).
- Cuối cùng, một tác động lớn là đầu vào lao động cho các sản phẩm AM sẽ ít đi rõ rệt so với các quy trình thông thường và dẫn đến tăng sản xuất tại địa phương, quy mô nhỏ.

Rõ ràng là AM là một thành phần quan trọng của CMCN 4.0. Một số khía cạnh chính cùng với tác động tiềm tàng đến GVC là:

- Tạo mẫu nhanh hơn và rẻ hơn.
- Đơn giản hóa và có khả năng tăng mạnh năng suất sản xuất các bộ phận: các bộ phận yêu cầu các bước xử lý phức tạp có thể được sản xuất "một lèo", làm tăng năng suất chung.

3.3. Cách mạng công nghiệp lần thứ tư và Smart QI

Những tiến bộ được trình bày ở các phần nêu trên có tác động sâu sắc đến QI. Rõ ràng là các dịch vụ của QI và cách thức chúng được phát triển và cung cấp trở nên rất khác với trước đây, đặc biệt là về tốc độ, tính phức tạp, sự phong phú của thông tin, khả năng cơ cấu và cung cấp thông tin cho các mục tiêu phù hợp (con người hoặc máy móc).

Có hai thách thức lớn liên quan đến việc phát triển Smart QI:

- Thứ nhất, cách thức cải tiến quy trình (bị tác động bởi số hóa và nhu cầu đáp ứng các yêu cầu ngày càng khắt khe của tất cả các bên liên quan) đang ảnh hưởng

[3] Người phát minh ra kỹ thuật in li-tô lập thể năm 1986

đến tất cả các tổ chức Smart QI. Quan điểm này rất quan trọng đối với các tổ chức phát triển tiêu chuẩn (SDO), vì quy trình phát triển tiêu chuẩn là nền tảng cho các hoạt động của họ, nhưng cũng rất quan trọng đối với tất cả các tổ chức QI khác, liên quan đến các quy trình mà họ tuân theo để phát triển các sản phẩm tương ứng của mình.

- Thứ hai, các loại sản phẩm và giải pháp mới nổi mà nhiều tổ chức smart QI đang phát triển để đáp ứng nhu cầu của các bên liên quan, cụ thể là trong khuôn khổ của CMCN 4.0.

Chuyển từ QI sang các quy trình và dịch vụ sáng tạo smart QI

Dưới đây là sơ lược về những đổi mới sáng tạo mới nổi quan trọng của từng thành phần QI, cho thấy cách lĩnh vực này điều chỉnh các quy trình của mình để đáp ứng nhu cầu của quá trình số hóa và CMCN 4.0.

A. Đo lường thông minh

Đo lường đang trải qua những thay đổi lớn do CMCN 4.0 và quá trình chuyển đổi số. Khởi đầu với việc định nghĩa lại các đơn vị cơ sở của Hệ thống Đơn vị Quốc tế (SI), những tiến bộ gần đây gồm đo lường trong hóa học, sinh học và khoa học sức khỏe, sự xuất hiện của đo lường lượng tử cũng như sự tiến bộ hơn nữa của đo lường ở cấp độ nano (nanometrology).

Tự động hóa thử nghiệm và đo lường đã đạt được tiến bộ lớn, với các xu hướng trong tương lai bảo đảm và cải thiện chất lượng sản phẩm và quy trình sản xuất, được thực hiện bằng cách thu thập và kết hợp dữ liệu sản xuất với dữ liệu kiểm tra và đánh giá đo lường theo 'thời gian thực', xử lý chúng, do đó giảm nhu cầu về các hoạt động ngoại tuyến riêng biệt.

Một môi trường, được đặc trưng bởi sự phát triển của các thiết bị kết nối, dữ liệu tăng mạnh, sử dụng phần mềm tiên tiến và các hoạt động tự động của thiết bị, đang thúc đẩy đo lường đổi mới để duy trì được các chức năng và giá trị quan trọng của nó. Những đổi mới sáng tạo chính của đo lường liên quan đến số hóa và CMCN 4.0 bao gồm:

- *Đo lường trong dây chuyền/trên máy:* Đây là các phép đo được thực hiện trong quy trình làm việc, trên dây chuyền sản xuất hoặc trực tiếp trên máy nơi sản xuất sản phẩm. Ý tưởng là nhúng kiểm tra/kiểm soát vào quy trình thay vì thực hiện chúng như một hoạt động riêng biệt. Tiến bộ này dựa trên khái niệm cho rằng chỉ đạt được hiệu quả kiểm soát chất lượng tốt nhất khi phép đo được thực hiện tại điểm gần với quy trình sản xuất nhất. Đo lường trực tuyến và trên máy giúp tăng tốc quy trình và cho phép điều chỉnh ngay lập tức. Đo lường trên máy đặc biệt hấp dẫn vì có thể thực

hiện kiểm tra đồng thời với các hoạt động vận hành máy móc (kiểm tra trong quá trình máy vận hành), với hiệu quả tối đa (không mất thêm thời gian kiểm tra) và các lợi thế khác (ví dụ: so sánh ngay với dữ liệu thiết kế điều khiển máy và gia công bù nếu phát hiện bất thường). Đo lường trực tuyến/trên máy đòi hỏi các công nghệ hỗ trợ, ở nhiều cấp độ khác nhau, bao gồm thiết bị đo lường không tiếp xúc được cải tiến, phần mềm tiên tiến; và đối với đo lường trên máy: tích hợp dụng cụ đo với công cụ máy.

- *Đo lường không tiếp xúc:* Đây là quá trình quét ảnh đối tượng có độ phân giải cao, thường kết hợp với điều khiển từ xa các dụng cụ đo. Các thiết bị không tiếp xúc ngày càng có mức độ chính xác cao và mang lại những lợi thế lớn. Chúng rất nhanh, cho phép xử lý tập dữ liệu lớn hơn nhiều (từ các góc nhìn khác nhau), có thể nắm bắt các hình dạng bề mặt phức tạp, không làm gián đoạn chuyển động của mục tiêu và hoàn toàn phù hợp để hỗ trợ các phép đo trực tuyến. Các thiết bị đo không tiếp xúc sử dụng nhiều công nghệ khác nhau, bao gồm hệ thống thị giác, hệ thống dựa trên laser, máy quét cắt lớp vi tính, ảnh trắc học và cảm biến khoảng cách ánh sáng trắng cộng hưởng. Tất cả các hệ thống này tạo ra một lượng lớn dữ liệu 3D kỹ thuật số.
- *Các cấu trúc dữ liệu và mô hình liên quan đến đo lường (được phần mềm tiên tiến hỗ trợ):* Các hoạt động đo lường và kiểm soát trong bối cảnh CMCN 4.0 đòi hỏi dữ liệu phải được tổ chức hiệu quả. Do đó, cấu trúc dữ liệu và ứng dụng phần mềm rất quan trọng. Ví dụ, phần mềm thực tế tăng cường/thực tế ảo (AR/VR) sử dụng dữ liệu cảm biến cho phép phát triển các mô hình nâng cao của các vật thể (ví dụ: các bộ phận sản phẩm nhỏ và phức tạp) mà dữ liệu cơ bản không đủ. Các công cụ CAD cần so sánh dữ liệu mô hình 3D và các kích thước và dung sai liên quan, với thông tin sản phẩm được thu thập trong quá trình sản xuất để đánh giá sự hợp quy, đánh giá các khuyết tật và, nếu cần khởi động các hành động khắc phục.
- *Công nghệ kiểm tra*: Chúng thường ở các định dạng độc quyền, làm cản trở các doanh nghiệp người dùng phát triển các hệ thống tích hợp. Tuy nhiên, hiện có nhiều nỗ lực để giải quyết vấn đề này, ví dụ, bởi các nền tảng dựa trên Khung thông tin chất lượng, được công bố dưới dạng ISO 23952:2020. Triết lý của Khung thông tin chất lượng là: "*Tất cả các mô hình thông tin để vận chuyển dữ liệu chất lượng phải được lấy từ các thư viện mô hình chung để các thành phần lập mô hình thông tin chung có thể được tái sử dụng trong toàn bộ quy trình đo lường chất lượng và, do đó, toàn bộ quy trình sẽ tương thích tự nhiên*".
- *Hiệu chuẩn không chạm (TCal):* Đây là một khái niệm và xu hướng quan trọng khác thúc đẩy CMCN 4.0. Ý tưởng là thiết lập kết nối kỹ thuật số với phòng thí

nghiệm hiệu chuẩn, để cung cấp bản sao kỹ thuật số của đơn vị đang được kiểm tra (UUT) và nhận dữ liệu hiệu chuẩn có liên quan từ phòng thí nghiệm và thực hiện hiệu chuẩn tại cơ sở sản xuất. Đây là một cách khác để cải thiện hiệu quả của quy trình, chất lượng sản phẩm và ngăn ngừa thời gian ngừng sản xuất có thể xảy ra. Với TCal, chuẩn tham chiếu hiệu chuẩn vẫn nằm trong phòng thí nghiệm hiệu chuẩn, còn UUT vẫn nằm tại chỗ. Tuy nhiên, quy trình này sẽ tạo ra các nguồn bất ổn mới cần được quản lý.

Động lực chính của đổi mới trong đo lường là nhằm cung cấp các dịch vụ này theo cách có tổ chức chặt chẽ và nhất quán, bao gồm cả việc chuyển đổi SI sang thế giới kỹ thuật số. Nỗ lực này được lãnh đạo bởi Nhóm công tác của Ủy ban quốc tế Cân Đo (CIPM) về "SI kỹ thuật số" (TG "Digital-SI"), đã công bố "Tầm nhìn lớn về Khung kỹ thuật số SI" vào năm 2020, nêu bật các mục tiêu cần đạt được.

"Mục tiêu dài hạn của sáng kiến "SI kỹ thuật số" của TG là thiết lập một khuôn khổ đáp ứng các nguyên tắc FAIR (Có thể tìm thấy, Có thể truy cập, Có thể tương tác, Có thể tái sử dụng) và nguyên tắ tôn trọng các ràng buộc về kinh doanh và quyền riêng tư; và cho phép mọi khía cạnh của hệ thống đo lường quốc tế - kết quả đo lường, sự không chắc chắn, khả năng truy xuất nguồn gốc và nguồn gốc - được truy cập và diễn giải dưới dạng kỹ thuật số, cho phép giao tiếp và phân tích giữa máy với máy.

Khung này sẽ cho phép biểu diễn dưới dạng kỹ thuật số nhiều thông tin hơn, không chỉ kết quả đo lường, mà còn cả hệ thống đang được đo, cách các phép đo được thực hiện và quy trình làm việc (dữ liệu, mô hình, phần mềm) liên quan đến việc thiết lập kết quả đo lường. Khung này sẽ nâng cao mức độ đọc của máy từ các năng lực cơ bản lên biểu diễn tri thức có thể thực hiện được hoàn toàn bằng máy".

Phát triển Khung kỹ thuật số SI đang diễn ra trong hai giai đoạn:

- Giai đoạn đầu tiên liên quan đến phát triển các mô hình dữ liệu và siêu dữ liệu tương tác cho các đại lượng và đơn vị SI và biểu diễn dưới dạng kỹ thuật số tri thức được nhúng trong các tài liệu tham khảo SI chính.
- Giai đoạn thứ hai sẽ liên quan đến biểu diễn kỹ thuật số các quy trình đo lường (bao gồm các phương thức đo lường, quy trình làm việc, phương pháp phân tích, nguồn gốc, và chuỗi truy xuất nguồn gốc) nhằm cho phép máy móc truy cập dữ liệu đo lường hoàn chỉnh và hoạt động tự động.

Khung kỹ thuật số SI cung cấp một tài liệu tham khảo rõ ràng, thống nhất cho các sáng kiến được thực hiện bởi các Viện Đo lường Quốc gia và cộng đồng đo lường nhằm để hỗ trợ quá trình số hóa thường được định nghĩa là "Đo lường cho Chuyển

đổi số (M4DT)".

Với sự phát triển mạnh mẽ của các cảm biến chi phí thấp và vai trò quan trọng của chúng trong việc thúc đẩy CMCN 4.0, cộng đồng đo lường quốc tế đang ứng phó với thách thức bảo đảm rằng dữ liệu hiệu chuẩn có thể đọc được bằng cả con người và máy móc. Hiện tại, chứng chỉ hiệu chuẩn thể hiện kết quả của quy trình hiệu chuẩn ở định dạng phải được con người đánh giá và diễn giải để sử dụng. Tuy nhiên, máy móc hiện không đủ trí tuệ để hiểu ngữ cảnh và do đó phải dựa vào các phương pháp khác để diễn giải dữ liệu. Chứng chỉ hiệu chuẩn kỹ thuật số (DCC), hiện đang được thiết kế, nhằm mục đích cung cấp các định dạng trao đổi phổ biến cho kết quả hiệu chuẩn có thể đọc được và diễn giải bằng cả con người và máy móc.

B. Chuẩn hóa thông minh

Chủ đề chính liên quan đến các loại giao phẩm mới được số hóa hỗ trợ là loại "tiêu chuẩn có thể đọc bằng máy". Đây là hướng chiến lược chính của nhiều SDO, chẳng hạn như ISO, IEC, CEN và CENELEC.

Trong nhiều thập kỷ, các tiêu chuẩn được tạo ra đầu tiên dưới dạng tài liệu giấy sau đó là phiên bản điện tử của tài liệu giấy, thường ở định dạng PDF. Chúng đã được phát triển để mắt người có thể đọc được. Ý tưởng về các tiêu chuẩn có thể đọc được bằng máy liên quan đến khả năng chuyển đổi nội dung của các tiêu chuẩn, tức là tri thức được nhúng trong các tiêu chuẩn, vào các định dạng số phù hợp mà máy có thể "hiểu" và "thực hiện". Rõ ràng, việc này là vô cùng có giá trị đối với CMCN 4.0 (và nhiều lĩnh vực khác thuộc CMCN 4.0), khiến cho chúng ta có thể nhúng các yêu cầu và thông tin "chi tiết" liên quan khác có trong các tiêu chuẩn vào phần mềm điều khiển hoạt động của máy móc, hoặc phân tích dữ liệu sản phẩm và quy trình để giám sát và kiểm soát các chức năng hoặc tối ưu hóa quy trình. ISO và IEC gọi chương trình chuyển đổi này là SMART (Các tiêu chuẩn máy có thể áp dụng, đọc và chuyển giao được). Chương trình chung giữa ISO và IEC này sẽ thúc đẩy quá trình phát triển kỹ thuật số của các tiêu chuẩn quốc tế để giải quyết nhu cầu của người dân, xã hội và nền kinh tế. CEN/CENELEC thường xuyên chia sẻ thông tin nhất quán, những tổ chức này có chương trình SMART tương tự.

Mô hình do IEC SMB - Nhóm chiến lược 12, Chuyển đổi kỹ thuật số và phương pháp tiếp cận hệ thống, đã được các cơ quan tiêu chuẩn hóa của Đức là DIN và DKE sửa đổi và mở rộng được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 2. Các cấp độ số hóa các tiêu chuẩn

Cấp độ 1	Cấp độ 2	Cấp độ 3	Cấp độ 4	Cấp độ 5
• Tài liệu kỹ	• Tài liệu máy	• Nội dung máy	• Nội dung có	• Nội dung có

thuật số • Biểu hiện số hóa	đọc được • Định dạng tài liệu có cấu trúc • Xử lý bằng phần mềm với khối lượng công việc thủ công lớn	đọc và thực hiện được • Nội dung được khám phá hoàn toàn (về mặt ngữ nghĩa) • Tìm kiếm về mặt ngữ nghĩa và truy cập có chọn lọc ở cấp độ nội dung	thể diễn giải bằng máy • Các mô hình thông tin mô tả và giải thích nội dung và mối quan hệ giữa các mục thông tin • Phân tích tự học cùng với xác thực và tối ưu hóa tự động • Các dịch vụ gia tăng giá trị có thể có, ví dụ như kiểm tra hợp quy, trả lời câu hỏi, cung cấp nội dung dự đoán • Có thể tích hợp hoàn toàn chuỗi giá trị kỹ thuật số	thể kiểm soát bằng máy • Nội dung của một tiêu chuẩn được sửa đổi tự động và được thông qua bởi các quy trình ra quyết định tự động • Các tiêu chuẩn kỹ thuật số dựa trên hệ thống trí tuệ nhân tạo chung có khả năng nhận thức • Các tiêu chuẩn kỹ thuật số liên tục thích ứng với tình trạng hiện tại của nghệ thuật về điều kiện khuôn khổ kỹ thuật và quy định

Nguồn: https://www.dke.de/resource/blob/2076816/facc9bde1806e2194a3d26a60c79bf77/idis-whitepaper-en---download-data.pdf

Bảng 2 trình bày các cấp độ khác nhau ở khả năng đọc và "khả năng hành động" của máy của hầu hết các tiêu chuẩn kỹ thuật số trong tương lai. Cấp độ 1 biểu thị các tài liệu giấy in còn cấp độ 5 biểu thị các tiêu chuẩn có thể được máy đọc, hiểu và từ đó hành động. Mặc dù các cấp độ Thông minh (SMART) này là đầu vào ban đầu quan trọng cho chương trình ISO/IEC SMART, nhưng hiện tại chúng đang được xem xét để thống nhất thuật ngữ nhằm tránh nhầm lẫn và hiểu lầm.

ISO, IEC và CEN đã bắt đầu công bố các tiêu chuẩn ở định dạng Ngôn ngữ đánh dấu mở rộng (XML) NISO STS (Bộ thẻ chuẩn). "*NISO STS cung cấp một định dạng XML chung mà các nhà phát triển, nhà xuất bản và nhà phân phối các tiêu chuẩn... có thể sử dụng để công bố và trao đổi nội dung toàn văn và siêu dữ liệu của các tiêu*

chuẩn". Định dạng này áp dụng cho một phần cấp độ 2 nêu ở trên. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng định dạng NISO (và các triển khai ISO và IEC dựa trên định dạng này) chủ yếu được thiết kế để tạo điều kiện thuận lợi cho việc tự động hóa các quy trình xuất bản.

Một số thành phần nội dung (như bảng và công thức) có thể được trích xuất nhưng, nói chung, đánh dấu bị giới hạn ở toàn bộ các mệnh đề dưới dạng các mục riêng lẻ. Điều này có nghĩa là các ứng dụng để nhúng nội dung tiêu chuẩn chi tiết, chẳng hạn như yêu cầu và giá trị tham chiếu, vào các quy trình tự động vẫn đòi hỏi phải làm thủ công, mang tính tùy biến khá lớn.

Các ứng dụng sử dụng nội dung của tiêu chuẩn để cung cấp cho các ứng dụng và hệ thống tự động hóa công nghiệp đã được một số SDO và doanh nghiệp tư nhân phát triển, nhưng chúng chủ yếu là các giải pháp dựa trên dự án hoặc của nhà cung cấp cụ thể. Ngoài ra, đã có các tiêu chuẩn cung cấp các giao phẩm ở các định dạng phù hợp để máy tính xử lý.

Các dự án SMART đang được tiến hành tại ISO và IEC cũng như tại CEN/CENELEC để thiết kế các tiêu chuẩn cho tương lai (các tiêu chuẩn kỹ thuật số đáp ứng các yêu cầu của các cấp độ SMART cao hơn được mô tả trong Hình 3), với ý thức rằng các tiêu chuẩn này sẽ hướng đến các ngành và lĩnh vực ứng dụng cần nhiều tiêu chuẩn "tập trung vào dữ liệu" hơn là "tập trung vào tài liệu".

Vấn đề này phức tạp, đòi hỏi nhiều nỗ lực và phối hợp giữa các chuyên gia. Một khía cạnh quan trọng là cách nắm bắt và thể hiện các yếu tố thông tin chi tiết có trong các tiêu chuẩn với ngữ nghĩa của chúng.

Chúng ta có thể xem ví dụ đơn giản (liên quan đến tiêu chuẩn IEC 60376) minh họa cho vấn đề như sau.

Xét yêu cầu về tác động môi trường: "Hỗn hợp khí SF6, CF4 và SF6 với N2 và/hoặc CF4 có tác động ***nhất định*** *đến môi trường. Do tác động này, SF6, CF4 và khí hỗn hợp của chúng phải được xử lý* ***cẩn thận*** *để ngăn chặn việc* ***cố ý*** *thải khí SF6 và CF4 vào khí quyển.*

Việc sử dụng các từ in đậm giả định rằng những người đọc yêu cầu sẽ "hiểu" và "diễn giải" chúng theo cách nhất quán và có thể lặp lại. Ví dụ, các thuật ngữ "cẩn thận", "nhất định" và "cố ý" có nghĩa là gì trong trường hợp này và mỗi người sử dụng tiêu chuẩn sẽ hiểu hoặc diễn giải chúng như thế nào? Chúng ta có nên dự đoán khả năng xảy ra hành động cố ý gây hại không? Và nếu có, thì có nên dự đoán và nên "xử lý" như thế nào?"

Rõ ràng ngay cả đối với sự hiểu biết của con người, chứ chưa nói đến máy móc, thì các yêu cầu cần được diễn đạt theo cách rõ ràng, không mơ hồ. Để làm được điều này, cần sử dụng nhiều kỹ thuật và công cụ khác nhau từ khoa học thông tin và xử lý ngôn ngữ tự nhiên để hỗ trợ việc biên soạn các tiêu chuẩn có thể đọc được bằng máy.

Một vấn đề nữa (có lẽ là không thể tránh được khi xét đến số lượng khổng lồ các tiêu chuẩn đã công bố) liên quan đến việc trích xuất thông tin từ các tiêu chuẩn hiện có. Vấn đề này có thể thực hiện bằng cách sử dụng các phương pháp và công cụ xử lý ngôn ngữ tự nhiên và áp dụng các phương pháp ML/học sâu, nhưng cũng cần lưu ý rằng các tập dữ liệu có chú thích (hoặc có nhãn) vẫn chưa có sẵn và cần được phát triển dần dần.

C. Đánh giá hợp quy thông minh

Chuyển đổi số cũng đang tác động mạnh đến chứng nhận hợp quy (CA), thúc đẩy đổi mới sáng tạo ở tất cả các tổ chức cung cấp dịch vụ kiểm tra, thanh tra và chứng nhận (TIC).

Để tiếp tục tập trung vào CMCN 4.0 và tác động của số hóa, những phát triển quan trọng nhất sẽ liên quan đến các lĩnh vực sau:

- Tự động hóa các hoạt động kiểm tra và thanh tra.
- Kiểm tra và kiểm toán từ xa.
- Vai trò và kỹ năng mới cần có đối với thanh tra viên/kiểm toán viên.
- Sử dụng công nghệ blockchain để chứng nhận sản phẩm và truy xuất nguồn gốc trên chuỗi cung ứng.

Tự động hóa các dịch vụ kiểm tra và thử nghiệm

Về tự động hóa các hoạt động kiểm tra và thử nghiệm, các nhà cung cấp dịch vụ CA giải quyết nhiều vấn đề liên quan đến tính chính xác và nhất quán của việc đo lường. Họ quan tâm đến đo lường trực tuyến và không tiếp xúc và sử dụng phần mềm tiên tiến, bao gồm dữ liệu lớn và các kỹ thuật AI/ML để tổng hợp và phân tích dữ liệu. Ngoài ra, "bảo trì dự đoán" là một lĩnh vực khác cũng đặc biệt thu hút sự chú ý.

Vì các doanh nghiệp sản xuất luôn thực hiện nhiều cấp độ tự động hóa khác nhau, nên các nhà cung cấp dịch vụ CA cần phải thích ứng và cung cấp các dịch vụ CA phù hợp với nhu cầu của doanh nghiệp. Nhìn chung, những chủ đề chung gồm:

- Phát triển năng lực về công nghệ, thiết bị, phần mềm và hệ thống hỗ trợ các hình thức đo lường, thu thập dữ liệu và phương pháp phân tích tiên tiến. Một số cơ quan chứng nhận hợp quy (CAB) đã cung cấp các giải pháp dựa trên các công nghệ này, hợp tác với các nhà cung cấp hệ thống chuyên dụng.

- Khả năng cung cấp hình thức kết hợp giữa hỗ trợ tại chỗ với các dịch vụ và kiểm tra từ xa, sử dụng mô hình kinh doanh dựa trên đám mây. Khách hàng gửi dữ liệu có liên quan lên đám mây để nhà cung cấp dịch vụ CA xử lý và rồi có thể lấy kết quả của các hoạt động đã thực hiện theo hình thức trực tuyến.

Kiểm toán và kiểm tra từ xa

Kiểm toán từ xa là một tiến bộ nữa đã đạt được sự tăng trưởng ngoạn mục nhờ các biện pháp phong tỏa trong đại dịch COVID-19. Hầu hết các hoạt động này được thực hiện để thay thế cho các hoạt động "thông thường" tương ứng (đòi hỏi can thiệp tại chỗ). Kiểm toán và kiểm tra từ xa cho phép các kiểm toán viên/ thanh tra viên sử dụng nhiều phương tiện hỗ trợ trực quan và điện tử. Các hoạt động này dựa vào việc sử dụng nhiều công nghệ khác nhau với các mức độ chuyên môn hóa tùy thuộc vào phạm vi và bối cảnh. Ví dụ, kiểm tra sản phẩm hoặc nhà máy ở những địa điểm nguy hiểm hoặc khó tiếp cận (ví dụ: bên trong đường ống hoặc động cơ hoặc trong một đơn vị sản xuất sử dụng các chất nguy hiểm), có thể cần phải sử dụng thiết bị thăm dò video đặc biệt (camera kiểm tra, máy nội soi, máy nội soi lỗ khoan, máy nội soi sợi quang), TV mạch kín, hệ thống thực tế ảo và thực tế tăng cường và các công cụ khác.

Đối với các hoạt động thông thường hơn liên quan đến cả kiểm toán và kiểm tra, các công nghệ điển hình được sử dụng gồm:

- Hội nghị truyền hình, với các chức năng liên quan (chia sẻ tài liệu, trò chuyện trên màn hình, v.v.).
- Livestream video từ máy ảnh gắn trên cơ thể và thiết bị hoặc các thiết bị khác (ví dụ: máy bay không người lái).
- Ghi âm video và âm thanh được thực hiện có chủ đích để kiểm toán.
- Tư liệu liên quan (tài liệu và dữ liệu) ở định dạng điện tử.

Thực hiện thành công các cuộc kiểm toán và kiểm tra từ xa đòi hỏi phải áp dụng các phương thức tốt đã được chấp nhận để bảo đảm sự tin cậy và chấp nhận kết quả.

Đối với các cuộc kiểm toán từ xa, các tiêu chuẩn và hướng dẫn cụ thể đã được ISO và Diễn đàn công nhận quốc tế (IAF) công bố, bao gồm ISO 19011:2018, Hướng dẫn về hệ thống quản lý kiểm toán, và IAF MD 4 - Tài liệu bắt buộc của IAF về việc sử dụng Công nghệ thông tin và truyền thông (ICT) cho mục đích kiểm toán/đánh giá. Một tài liệu hữu ích cung cấp thông tin toàn diện về chủ đề này là Hướng dẫn chung của ISO/IAF về: Kiểm toán từ xa do Nhóm Thực hành Kiểm toán ISO 900121 phát triển và được xuất bản vào năm 2020.

Nói chung, các cuộc kiểm tra từ xa thường được áp dụng các phương pháp thực hành hiệu quả như những phương pháp đã được áp dụng cho kiểm toán. Nhiều cơ quan chuyên trách ở một số nước đã xây dựng các hướng dẫn cụ thể và thông tin liên quan cho từng lĩnh vực cụ thể (ví dụ: lĩnh vực y tế). Bên cạnh đó còn có các tổ chức như Hội đồng Quy chuẩn Quốc tế (International Code Coucil) đã phát triển Các phương thức thực hành được khuyến nghị cho Kiểm tra ảo từ xa. Các tài liệu khác cũng đang được triển khai, gồm hướng dẫn kiểm tra ("khảo sát") tàu thuyền từ xa của Ủy ban An toàn Hàng hải thuộc Tổ chức Hàng hải Quốc tế. Ngoài ra, Tiêu chuẩn NFPA 915 của Hiệp hội Phòng cháy chữa cháy Quốc gia (NFPA) Mỹ đã xây dựng các yêu cầu tối thiểu về kiểm tra từ xa để mang lại kết quả tương đương hoặc tốt hơn các kết quả thu được bằng các phương pháp kiểm tra khác.

Vào tháng 8 năm 2021, một cuộc khảo sát chung do IAF/ILAC/ISO22 thực hiện với hơn 4000 người tham gia đã có kết quả là phần lớn người trả lời (khoảng 80%) thích các cuộc kiểm toán từ xa hoặc kết hợp (kết hợp từ xa và tại chỗ), đánh giá và thẩm định. Phần lớn nhất trí rằng các quy trình từ xa mang lại sự tin cậy tương tự như các cuộc kiểm toán tại chỗ và hơn 90% cho rằng tăng áp dụng các kỹ thuật từ xa sẽ giúp thúc đẩy sử dụng các quy trình mới. Dựa vào những kết quả đáng khích lệ này, ba tổ chức nêu trên sẽ tiếp tục những nghiên cứu mới để đạt được tiến bộ hơn nữa trong lĩnh vực này.

Tóm lại, những chuyển đổi liên quan đến số hóa đòi hỏi các kiểm toán viên và thanh tra viên cần được trang bị các kỹ năng và phương pháp mới để bảo đảm duy trì tính liêm chính của các dịch vụ chứng nhận sự hợp quy.

Các vai trò và kỹ năng mới cần có đối với các kiểm toán viên/thanh tra viên

Để xây dựng các quy trình đo lường và kiểm soát tiên tiến, được tích hợp chặt chẽ, các kiểm toán viên và thanh tra viên cần nắm vững kiến thức và chuyên môn về những công nghệ được đề cập bên trên cũng như ứng dụng của chúng. CAB sẽ ngày càng giữ vai trò quan trọng trong việc xây dựng các hệ thống tự động và giám sát cũng như theo dõi vận hành chính xác của chúng, bảo đảm tuân thủ các tiêu chuẩn tham chiếu và các phương thức thực hành hiệu quả.

Công dụng của công nghệ blockchain

Blockchain được ITU-T định nghĩa là "*Một loại sổ cái phân tán gồm dữ liệu được ghi lại dưới dạng kỹ thuật số được sắp xếp thành chuỗi các khối liên tục phát triển với mỗi khối được liên kết bằng mật mã và được bảo vệ chống lại sự giả mạo và sửa đổi*".

Báo cáo của WTO năm 2018 nhận định blockchain là một công nghệ đang trong quá trình phát triển, có tác động tới nhiều lĩnh vực và có tiềm năng hỗ trợ những thay đổi phi thường. Như vậy, blockchain cũng có tiềm năng tác động đến chứng nhận hợp quy. Trong tương lai gần, công nghệ này liên quan đến ít nhất ba lĩnh vực quan trọng sau:

- Xác minh tính hợp quy của sản phẩm tại mỗi khâu của chuỗi cung ứng và bảo đảm khả năng truy xuất nguồn gốc đầy đủ (do đó, cung cấp các hình thức chứng nhận cực kỳ giá trị và hoàn chỉnh).
- Dấu hiệu hợp quy, được sử dụng để tạo niềm tin cho thị trường bằng cách chứng minh sản phẩm hoặc dịch vụ đáp ứng các yêu cầu đã chỉ định.
- Cơ sở dữ liệu về các công ty được chứng nhận, bảo đảm xác thực và cập nhật thông tin về các công ty và chứng nhận của họ.

Các lĩnh vực khác đặc biệt quan trọng đối với CMCN 4.0 bao gồm, ví dụ, việc xác định chính xác các sản phẩm và cụm lắp ráp, kết hợp thông tin chi tiết về các linh kiện sản phẩm, đặc tính, nguồn gốc của chúng, v.v.

D. Chứng nhận thông minh

Chứng nhận là một trong những lĩnh vực nổi bật của CA. Việc sử dụng công nghệ số của các cơ quan chứng nhận chủ yếu liên quan đến:

- Đánh giá từ xa (“kiểm toán” trong CA).
- Sử dụng công nghệ chuỗi khối để xác thực dữ liệu đánh giá theo thời gian thực.
- Chứng nhận được công nhận của các dịch vụ hỗ trợ giao dịch điện tử (như chữ ký điện tử, dịch vụ chuyển phát và chứng chỉ đã đăng ký, xác thực trang web).

Đối với khía cạnh này, các cơ quan chứng nhận phải chịu trách nhiệm lớn hơn trong việc xác minh mức độ chính xác và nhất quán của các hoạt động do CAB thực hiện, bao gồm độ tin cậy, tính chắc chắn và tính rõ ràng của các công nghệ do CAB sử dụng. Do đó, các cơ quan chứng nhận cần nắm vững về mức độ chắc chắn của các công nghệ cũng như mức độ phù hợp của chúng với mục đích khi đánh giá sự hợp quy.

Ví dụ, cơ quan chứng nhận của Vương quốc Anh (UKAS) nhận thấy cơ hội để củng cố vai trò của mình cũng như của ngành thử nghiệm, giám định và chứng nhận (TIC) như một “đối tác tin cậy” trong việc kết nối các chuỗi giá trị, đồng thời trở thành lực đẩy cho các công nghệ mới.

Việc chứng nhận nền tảng tạo dựng niềm tin vào các hệ thống và phần mềm phục vụ tự động hóa, thanh toán di động hay xe tự lái, và góp phần vào việc xử lý thông tin mật cũng như bảo vệ dữ liệu cá nhân.

Các tổ chức đánh giá hợp quy đã và đang hoạt động trong các lĩnh vực như an toàn thông tin, an ninh mạng, trò chơi điện tử, giám định kỹ thuật số và kiểm thử phần mềm.

Một số tổ chức chứng nhận và giám định được công nhận đã phát triển hệ thống dựa trên nền tảng điện toán đám mây nhằm cung cấp cái nhìn sâu hơn về khách hàng và chuỗi cung ứng của họ.

3.4. Những đóng góp chính của Smart QI cho cuộc Cách mạng công nghiệp lần thứ tư

Những phần trên đã trình bày cách Smart QI liên kết chặt chẽ với các công nghệ thông tin và truyền thông để hỗ trợ CMCN 4.0. Để hoàn thiện bức tranh về sự phối hợp giữa QI và CMCN 4.0, sau đây là hai ví dụ về những đóng góp chính của Smart QI đối với CMCN 4.0.

Ví dụ 1: Phát triển các công nghệ sản xuất kỹ thuật số tiên tiến

Tất cả các công nghệ được đề cập trước đó (IIoT, dữ liệu lớn, rô bốt tiên tiến, AI, điện toán đám mây và sản xuất theo phương pháp bồi đắp) đều có nhu cầu cụ thể về chuẩn hóa và CA, vốn cực kỳ quan trọng đối với sự phát triển và tích hợp của chúng vào nhiều lĩnh vực và ứng dụng khác nhau.

Đây là những vấn đề mang tính chuyên môn cao, thay đổi rất nhanh với hàng trăm tổ chức tham gia sâu ở nhiều cấp độ khác nhau. Sau đây là một vài ví dụ về những vấn đề đang được quan tâm giải quyết:

Vấn đề về dữ liệu lớn.

Dữ liệu lớn bao gồm nhiều loại dữ liệu khác nhau. Các tập dữ liệu khổng lồ được thu thập dưới dạng phi cấu trúc và thường được các nhà cung cấp thông tin hoặc công ty người dùng tổng hợp lại bằng các cơ chế tùy ý, làm hình thành nên các "kho dữ liệu đóng" (data silos) - nơi dữ liệu không được khai thác hiệu quả và khó chia sẻ hoặc trao đổi.

Chuẩn hóa đang đóng vai trò quan trọng để giải quyết vấn đề này. Hiện đã có các tiêu chuẩn công nghệ hỗ trợ xử lý phân tán các tập dữ liệu lớn trên các cụm máy tính. Những tiêu chuẩn này được xây dựng và phổ biến thông qua các sáng kiến nguồn mở (như Apache Hadoop) và được nhúng vào các giải pháp do các nhà cung ứng cung cấp hoặc được các doanh nghiệp người dùng triển khai trực tiếp.

Hướng dẫn về dữ liệu lớn có trong bộ tiêu chuẩn ISO/IEC 20547 có tiềm năng rất quan trọng để thúc đẩy sự đồng bộ. Bộ tiêu chuẩn này xác định một "Kiến trúc tham chiếu dữ liệu lớn" (BDRA) cung cấp một ngôn ngữ chung cho tất cả bên liên quan, một mô hình khái niệm về dữ liệu lớn bao gồm mô tả về các thành phần, quy trình, hệ thống và phân loại các vai trò và hoạt động trong "hệ sinh thái" dữ liệu lớn.

Tuy nhiên, vẫn cần nhiều nỗ lực chuẩn hóa hơn nữa để hỗ trợ các chức năng thu thập và phát trực tuyến dữ liệu theo thời gian thực, cho phép xử lý và phân tích lượng lớn dữ liệu theo thời gian thực hoặc để xác định các thuật ngữ miền (ví dụ: thuật ngữ, định nghĩa, phân loại) giúp chia sẻ dữ liệu dễ dàng hơn giữa các chức năng của doanh nghiệp.

Vấn đề về robot tiên tiến

Một ví dụ nữa là sự phát triển nhanh chóng của robot tiên tiến đã thúc đẩy các sáng kiến chuẩn hóa quan trọng. Việc ngày càng sử dụng rộng rãi robot công nghiệp đã khiến các vấn đề về độ tin cậy, an toàn và bảo mật trở nên rất quan trọng. Robot có thể gặp trục trặc do lỗi cơ học, mất điện và lỗi phần mềm. Những vấn đề này được giải quyết bằng các dự án chuẩn hóa từ nhiều tổ chức khác nhau (bao gồm ISO TC 299, Robotics).

Những xu hướng lớn liên quan đến CMCN 4.0 và số hóa đang thúc đẩy robot chuyển từ thực hiện các nhiệm vụ lặp đi lặp lại thường xuyên sang hành vi "tự chủ", dựa vào khả năng tự học, để trở nên có khả năng thích ứng, chủ yếu thông qua kết nối với IIoT. Rất cần có nhiều nỗ lực chuẩn hóa hơn để:

- Hỗ trợ những cải tiến quan trọng ở phần mềm robot, tức là các ngôn ngữ lập trình và các công cụ phần mềm cần để hướng dẫn robot thực hiện các tác vụ cơ học, gây ra hành động hoặc tương tác với các hệ thống điện tử.
- Xác định các thuật ngữ cho robot và tự động hóa.
- Tạo thuận lợi để phát triển các thư viện phần mềm và các tập dữ liệu được phân loại, hỗ trợ robot thực hiện nhiều tác vụ, điều khiển từ xa, kết nối linh hoạt với các hệ thống học sâu AI và nhiều chức năng khác nữa.

Ví dụ 2: Bảo đảm khả năng tương thích và liên thông

Đây là một lĩnh vực mà Smart QI có thể có những đóng góp rất lớn cho CMCN 4.0.

CMCN 4.0 thúc đẩy việc áp dụng rộng rãi các thiết bị, máy móc và ứng dụng từ nhiều nhà cung ứng khác nhau, được các doanh nghiệp sử dụng trong các nhà máy tại nhiều địa điểm và trao đổi với các đối tác trên khắp các chuỗi cung ứng. Chính vì

vậy, khả năng tương tác giữa các hệ thống không đồng nhất sẽ là yếu tố chính để CMCN 4.0 thành công.

Smart QI có thể đóng góp rất lớn cho sự thành công của CMCN 4.0 ở ba chủ đề chính liên như sau:

- Kiến trúc mô hình tham chiếu cho CMCN 4.0.
- Trao đổi dữ liệu giữa các thiết bị được kết nối với nhau.
- Hợp nhất các tập dữ liệu từ thế giới ảo vật lý, khiến chúng khả dụng và phù hợp để các hệ thống AI sử dụng.

Các mô hình tham chiếu

Những mô hình này cung cấp một cấu trúc và thuật ngữ tổng quát để mô tả và định rõ các kiến trúc hệ thống. Chúng cung cấp cơ sở tham chiếu để xác định các thực thể có liên quan và hiểu các mối quan hệ của chúng trong từng lĩnh vực (trong trường hợp này là sản xuất thông minh), thúc đẩy sự rõ ràng, tính nhất quán của các khái niệm, là một ngôn ngữ chung và cơ sở cho khả năng tương thích và liên thông của các hệ thống.

Hiện tại có một số mô hình kiến trúc tham chiếu tiêu biểu, cũng như nhiều nỗ lực đang được triển khai để làm tăng mức độ hài hòa giữa những mô hình này:

- RAMI4.0 (Mô hình kiến trúc tham chiếu CMCN 4.0) do sáng kiến CMCN 4.0 của Đức phát triển.
- Mô hình ISA-95 đang phát triển (dựa trên bộ tiêu chuẩn ANSI/ISA để phát triển giao diện tự động giữa doanh nghiệp và các hệ thống điều khiển).
- IIRA (Mô hình kiến trúc tham chiếu Internet công nghiệp).

Trao đổi dữ liệu

Trao đổi dữ liệu giữa các thiết bị được kết nối là một yếu tố quan trọng khác của CMCN 4.0. Hiện đã có một số tiêu chuẩn quan trọng được áp dụng như giao thức MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), OPC UA (Open Platform Communications United Architecture) và AutomationML (Automation Markup Language).

Hợp nhất các tập dữ liệu thành các hình thức phù hợp

Khía cạnh thứ ba, việc hợp nhất các tập dữ liệu dưới các dạng phù hợp để các hệ thống AI sử dụng vẫn chưa được hoàn thiện hoàn toàn nhưng lại rất quan trọng để phát huy hoàn toàn "AI công nghiệp". Việc này sẽ cho phép dữ liệu kỹ thuật số được phân tích trong bối cảnh và tự động đưa ra các cải tiến về quy trình và sản phẩm. Những tiến bộ này đòi hỏi phải sử dụng cơ sở hạ tầng dữ liệu tin cậy và sáng tạo, tại

đó dữ liệu và dịch vụ có thể được cung cấp, đối chiếu và chia sẻ trong môi trường tin cậy.

3.5. Smart QI đóng góp vào phát triển bền vững

Như đã nêu trước đó, Cách mạng công nghiệp lần thứ 4 cần gắn liền với yêu cầu cấp thiết về phát triển bền vững cả về xã hội lẫn môi trường. Về vấn đề này, sự đóng góp của Smart QI là vô giá với điều kiện là chính Smart QI cũng cần chuyển đổi. Hiện tại, đã có những nỗ lực tích cực như "Tuyên bố London" có tiêu đề "Cam kết về khí hậu của ISO" được Đại hội đồng ISO thông qua vào năm 2021; và "Lời kêu gọi hành động" chung về các tiêu chuẩn hỗ trợ phát triển bền vững, được ISO, IEC và ITU ký kết tại Hội nghị thượng đỉnh tiêu chuẩn quốc tế về con người, hành tinh và thịnh vượng, được tổ chức kết hợp với cuộc họp G20 vào tháng 10 năm 2021.

Tuy nhiên, chúng ta vẫn còn có nhiều việc phải làm. QI trong CMCN 4.0 cần cung cấp cho doanh nghiệp các hệ thống, phương pháp và công cụ để bảo đảm rằng sản phẩm được sản xuất trong điều kiện thân thiện với xã hội và môi trường, đồng thời có thể được sử dụng bởi các cá nhân và nhóm khác nhau trong xã hội. Một số nhóm phải đối mặt với những rào cản khiến họ không thể tham gia vào các hoạt động kinh tế một cách công bằng. Bằng cách hiểu và giải quyết ngọn nguồn của sự loại trừ xã hội và phân biệt đối xử mang tính hệ thống, Smart QI có thể góp phần thúc đẩy tăng trưởng toàn diện và giảm nghèo. Nhiều tiêu chuẩn đã bao gồm các chiến lược và công cụ hữu ích để hướng tới mục tiêu này. Một số ví dụ về những nỗ lực thúc đẩy sản xuất và tiêu dùng có trách nhiệm hơn là thúc đẩy các hệ thống nguồn mở và chống lại sự lỗi thời có chủ đích. Những nỗ lực như vậy cuối cùng sẽ tạo ra những sản phẩm chất lượng cho mọi người, có thể sử dụng, sửa chữa với chi phí hợp lý và cuối cùng có thể tái sử dụng trong quá trình sản xuất các sản phẩm khác.

Sau đây là một số lĩnh vực quan trọng mà Smart QI có thể hỗ trợ CMCN 4.0 để đáp ứng yêu cầu phát triển bền vững. Đó là các tiêu chuẩn và khuôn khổ đánh giá sự hợp quy (trong đó có thể hiểu rằng đo lường có vai trò gián tiếp theo nhiều cách khác nhau). Trong lĩnh vực này, cũng cần nắm rõ là còn có những tổ chức khác đóng vai trò thiết yếu, bao gồm những tổ chức tư nhân và tự nguyện chịu trách nhiệm về các tiêu chuẩn phát triển bền vững. Những loại tiêu chuẩn này, chẳng hạn như các chương trình chứng nhận, quy tắc ứng xử và nhãn sản phẩm, được phát triển và triển khai bởi các công ty, tổ chức phi chính phủ, các tổ chức liên chính phủ, các cơ quan ngành công nghiệp và các sáng kiến của nhiều bên liên quan.

Đối với tất cả các lĩnh vực được nêu dưới đây, tiềm năng kết hợp giữa Smart QI với CMCN 4.0 là rất lớn, mở ra nhiều cơ hội để thúc đẩy các phương thức phát triển bền vững và công bằng.

- Định nghĩa, mô hình và tiêu chí để đánh giá tác động về vật liệu, năng lượng và nước của các sản phẩm (bao gồm các sản phẩm trung gian) và các dự án, thông tin và báo cáo về việc này trong nhiều bối cảnh khác nhau.
- Các khuôn khổ ngày càng chi tiết để đánh giá, theo dõi, thông tin và báo cáo về khí thải nhà kính.
- Xác định các đặc tính và phương pháp thử nghiệm cho các nguyên liệu thô thứ cấp (áp dụng cho nhiều loại vật liệu khác nhau - nhằm hỗ trợ cung cấp thông tin phù hợp và tăng sự tin cậy, bao gồm các chương trình chứng nhận CA).
- Các tiêu chí chung, hoạt động thực hành tốt và các yêu cầu cụ thể của từng ngành để xây dựng và vận hành chuỗi cung ứng ngược. Lĩnh vực này cũng yêu cầu cập nhật các thỏa thuận liên chính phủ, để sửa đổi các quy định hiện hành về thương mại "chất thải" xuyên biên giới, với nhận thức rằng các sản phẩm hết vòng đời (EOL) không phải là "chất thải". Xây dựng các tiêu chuẩn quốc tế rõ ràng và các phương thức thực hành CA đáng tin cậy sẽ là yếu tố hỗ trợ quan trọng, góp phần xây dựng lòng tin và xóa bỏ nghi ngờ về hành vi sai phạm.
- Các tiêu chí và phương pháp thiết kế sinh thái, với các phương pháp thử nghiệm và khuôn khổ CA liên quan, nhằm mục đích hỗ trợ "các sản phẩm tuần hoàn".
- Các tiêu chuẩn, khung CA và đo lường hỗ trợ "các hoạt động và sản phẩm bền vững" (ví dụ, đã có danh mục hỗ trợ các công nghệ năng lượng tái tạo, nhưng vẫn cần phải làm nhiều hơn nữa đối với các loại hàng hóa khác).
- Sự tham gia của các bên liên quan, tính toàn diện, bình đẳng giới và đa dạng là những yếu tố chính trong việc phát triển QI thông minh. Những yếu tố này giúp ngành công nghiệp đáp ứng được kỳ vọng của xã hội, cũng như thể hiện trách nhiệm của doanh nghiệp.

KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Đối với Việt Nam, Hạ tầng chất lượng quốc gia (National Quality Infrastructure - NQI) là nền tảng kỹ thuật thiết yếu, bao gồm ba trụ cột: tiêu chuẩn hóa, đo lường và đánh giá hợp quy. Đây là công cụ then chốt giúp bảo đảm chất lượng sản phẩm, tạo lập lòng tin trong giao dịch hàng hóa - dịch vụ, đồng thời nâng cao năng lực cạnh tranh của nền kinh tế. Trong bối cảnh Việt Nam đang chuyển mình mạnh mẽ theo hướng công nghiệp hóa, hiện đại hóa và hội nhập sâu rộng với nền kinh tế thế giới, vai trò của NQI ngày càng trở nên cấp thiết và mang tính chiến lược.

Về mặt kinh tế, NQI giúp doanh nghiệp nâng cao chất lượng sản phẩm, tối ưu hóa quy trình sản xuất và giảm lãng phí. Nhờ áp dụng tiêu chuẩn và hệ thống đo lường chính xác, doanh nghiệp có thể tiết kiệm chi phí, kiểm soát rủi ro và bảo đảm khả năng truy xuất nguồn gốc - yếu tố ngày càng quan trọng trong chuỗi cung ứng toàn cầu. Đồng thời, hệ thống đánh giá hợp quy và công nhận giúp hàng hóa Việt Nam đáp ứng các rào cản kỹ thuật của thị trường quốc tế, từ đó mở rộng xuất khẩu và thu hút đầu tư nước ngoài. Một nền kinh tế muốn gia nhập sâu vào các chuỗi giá trị toàn cầu không thể thiếu một hệ thống NQI mạnh và được công nhận quốc tế.

Về mặt xã hội, NQI góp phần bảo vệ quyền lợi người tiêu dùng, sức khỏe cộng đồng và an toàn môi trường. Các tiêu chuẩn kỹ thuật giúp kiểm soát chất lượng sản phẩm tiêu dùng, thực phẩm, dược phẩm, vật liệu xây dựng... góp phần nâng cao chất lượng cuộc sống và giảm thiểu rủi ro trong đời sống hàng ngày. Hệ thống đo lường và thử nghiệm chính xác cũng đóng vai trò quan trọng trong các lĩnh vực an toàn lao động, phòng chống thiên tai, dịch bệnh và biến đổi khí hậu.

Đối với quá trình công nghiệp hóa, NQI là công cụ không thể thiếu để bảo đảm năng suất, chất lượng và khả năng đổi mới trong sản xuất công nghiệp. Các tiêu chuẩn công nghiệp giúp thiết lập sự đồng bộ trong thiết kế, sản xuất và lắp ráp, đặc biệt quan trọng trong các ngành công nghệ cao như điện tử, cơ khí chính xác, ô tô và công nghiệp hỗ trợ. Đo lường chính xác là nền tảng của đổi mới công nghệ, từ sản xuất linh kiện vi mô cho đến tự động hóa và trí tuệ nhân tạo. NQI giúp tạo lập môi trường kỹ thuật đáng tin cậy cho các nhà đầu tư công nghệ cao - một điều kiện cần thiết để Việt Nam vượt qua "bẫy thu nhập trung bình".

Tóm lại, NQI không đơn thuần là một hệ thống kỹ thuật, mà chính là hạ tầng mềm chiến lược giúp Việt Nam phát triển kinh tế một cách bền vững, nâng cao chất lượng xã hội và đẩy nhanh quá trình công nghiệp hóa, hiện đại hóa đất nước. Trong thời đại kinh tế tri thức và cạnh tranh chất lượng, một hệ thống NQI mạnh chính là tấm hộ chiếu để hàng hóa, dịch vụ và giá trị "Made in Vietnam" vươn ra thế giới.

Một số thành tựu đáng ghi nhận của Hạ tầng chất lượng quốc gia của Việt Nam

Trong hơn hai thập kỷ qua, Việt Nam đã đạt được một số bước tiến rõ rệt trong việc xây dựng hạ tầng chất lượng[4]:

[4] https://nhandan.vn/60-tieu-chuan-cua-viet-nam-hai-hoa-tieu-chuan-quoc-te-khu-vuc-post620414.html

- Hệ thống tiêu chuẩn quốc gia (TCVN) với hơn 13.000 tiêu chuẩn, trong đó khoảng 60% đã được hài hòa với tiêu chuẩn quốc tế và khu vực như ISO, IEC, Codex...
- Hệ thống đo lường quốc gia với 25 chuẩn đo lường quốc gia trong các lĩnh vực chính như điện, nhiệt, khối lượng, độ dài... do Viện Đo lường Việt Nam quản lý và duy trì.
- Hệ thống đánh giá hợp quy đang phát triển mạnh mẽ với hơn 1.000 phòng thử nghiệm, gần 200 tổ chức chứng nhận, giám định và hàng chục tổ chức công nhận hoạt động độc lập.

Việt Nam là thành viên đầy đủ của các tổ chức quốc tế như OIML (đo lường pháp định), ILAC (công nhận phòng thử nghiệm), IAF (công nhận tổ chức chứng nhận), ISO (tiêu chuẩn hóa)... giúp kết quả đánh giá hợp quy của Việt Nam có thể được công nhận rộng rãi.

Chỉ số Cơ sở Hạ tầng Chất lượng Toàn cầu (Global Quality Infrastructure Index - GQII) là công cụ đánh giá mức độ phát triển của hệ thống cơ sở hạ tầng chất lượng quốc gia (Quality Infrastructure - QI). Xếp hạng của Việt Nam trong những năm gần đây đã đạt được nhiều tiến bộ[5].

- GQII 2020: Việt Nam xếp hạng 54/184 quốc gia, với điểm số 76,8.
- GQII 2021: Việt Nam cải thiện lên hạng 51/184 quốc gia.
- GQII 2023: Việt Nam tiếp tục tăng hạng, xếp thứ 52/185 quốc gia và nền kinh tế.

Chuyển đổi số và Cơ sở hạ tầng quốc gia của Việt Nam

Chiến lược chuyển đổi số quốc gia (2020-2025, tầm nhìn 2030) với mục tiêu đưa Việt Nam vào nhóm 50 nước dẫn đầu về Chính phủ số có thể được coi là văn bản định hướng giúp Hạ tầng cơ sở quốc gia của Việt Nam chuyển mình. Lĩnh vực đo lường và tiêu chuẩn đã có một số văn bản được ban hành để thúc đẩy số hóa dữ liệu, áp dụng nền tảng cơ sở dữ liệu tập trung, AI, và IoT để nâng cao độ chính xác và hiệu suất, tiêu biểu như quyết định xây dựng Đề án Chuyển đổi số ngành Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng (TCĐLCL) của Bộ Khoa học và Công nghệ trong đó đề xuất phát triển Nền tảng thông tin đám mây số ngành TCĐLCL (Icloud - Standads, Metrology And Quality (iSTAMEQ).

[5] https://gqii.org/gqii-2023/

Một số dự án truy xuất nguồn gốc kỹ thuật số, áp dụng công nghệ số tiên tiến như Blockchain, QR code, mã vạch... đang được triển khai, ví dụ như cà phê Lâm Đồng (thông qua dự án TraceVerified), Chuỗi nông sản sạch tại Sơn La và Bắc Giang, hệ thống truy xuất nguồn gốc theo tiêu chuẩn quốc gia icheck Trace.

Tuy nhiên, đi đôi với số hóa là những rủi ro như rò rỉ dữ liệu và xâm nhập trái phép, giả mạo chứng nhận, làm sai lệch kết quả hoặc tấn công vào các thiết bị số hóa trong đo lường. Mặc dù tới hiện tại, Việt Nam chưa xảy vụ tấn công mạng công khai nhắm trực tiếp và rõ ràng vào các hệ thống số hóa kết quả đo lường, chứng nhận hoặc tiêu chuẩn, nhưng đã có hiện tượng làm giả mã truy xuất nguồn gốc (QR)[6]. Để ứng phó, các cơ quan chức năng đã ban hành các văn bản nhà nước như: Quyết định số 1751/QĐ-TĐC ngày 21/10/2022 Ban hành Quy chế bảo đảm an toàn thông tin mạng và an ninh mạng tại Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng; Quyết định 1761/QĐ-TĐC ngày 24/10/2022 Phân công cán bộ thực hiện công tác an ninh mạng tại Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng; Quyết định 1755/QĐ-TĐC ngày 21/10/2022 Ban hành phương án bảo đảm, ứng phó, khắc phục sự cố an toàn, an ninh mạng của Tổng cục TCĐLCL.

Nhưng vẫn còn nhiều thách thức sâu sắc

Hệ thống NQI của Việt Nam được Ngân hàng Thế giới (WB) xếp ở mức trưởng thành "tiên tiến"[7]. Đây là mức độ trưởng thành thứ 3 trong 4 mức độ trưởng thành gồm: sơ khai, cơ bản, tiên tiến và trưởng thành. Tuy nhiên, để đạt tới mức "trưởng thành" cơ sở hạ tầng quốc gia của chúng ta còn phải đối mặt với một số thách thức đáng chú ý bao gồm:

- Thiếu đầu tư đồng bộ và lâu dài: Các viện, phòng thử nghiệm trọng điểm chưa được đầu tư tương xứng để có thể cạnh tranh trong khu vực. Cơ sở vật chất, thiết bị đo lường và thử nghiệm còn lạc hậu, chưa theo kịp yêu cầu kỹ thuật mới từ các nước phát triển.
- Nhân lực chất lượng cao còn thiếu: Sự thiếu hụt chuyên gia có kiến thức sâu về tiêu chuẩn, đo lường và đánh giá hợp quy khiến việc triển khai các hoạt động NQI còn mang tính hình thức, sao chép hơn là sáng tạo hoặc chủ động dẫn dắt.
- Còn thiếu sự kết nối giữa NQI với doanh nghiệp: Nhiều doanh nghiệp, đặc biệt là doanh nghiệp vừa và nhỏ (SMEs), chưa nhận thức đầy đủ về vai trò của NQI trong

[6] https://baoxaydung.vn/hang-gia-tan-cong-ca-ma-qr-giai-phap-nao-de-truy-xuat-nguon-goc-192250415143920454.htm
[7] file:///C:/Users/monsi/OneDrive/Bureau/Quality-Inffrastructure-Maturity.pdf

tăng năng suất, chất lượng và tiếp cận thị trường. NQI chưa thật sự "thấm" vào hoạt động sản xuất - kinh doanh.

- Chưa tích hợp đầy đủ vào chính sách công: Ở nhiều địa phương và bộ ngành, NQI vẫn bị xem là lĩnh vực kỹ thuật thuần túy, chưa được coi là công cụ chiến lược để hỗ trợ cải cách thể chế, nâng cao chất lượng tăng trưởng.

Về ***số hóa***, Cơ sở hạ tầng chất lượng là nền tảng quan trọng để bảo đảm chất lượng sản phẩm, hàng hóa và dịch vụ. Việc số hóa QI giúp tăng minh bạch, hiệu quả và khả năng hội nhập quốc tế. Tuy nhiên, quá trình này ở Việt Nam đang gặp nhiều thách thức:

- Thiếu kiến trúc tổng thể và kết nối liên thông: Hệ thống thông tin giữa các đơn vị trong chuỗi QI (Ủy ban Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng Quốc gia, các trung tâm đo lường, phòng thử nghiệm, tổ chức chứng nhận...) chưa liên thông dữ liệu hiệu quả; các phần mềm, nền tảng hiện hành (hệ thống truy xuất, phần mềm quản lý phép đo, công bố hợp quy…) còn phát triển rời rạc, thiếu chuẩn hóa.
- Thiếu nhân lực có chuyên môn kép (QI và CNTT): Nhiều cán bộ kỹ thuật, chuyên gia trong lĩnh vực đo lường, tiêu chuẩn, công nhận chưa được đào tạo về chuyển đổi số, bảo mật, hệ thống thông tin. Trong khi, đội ngũ phát triển phần mềm từ phía công nghệ lại thiếu hiểu biết sâu về quy trình nghiệp vụ QI (ví dụ: ISO/IEC 17025, 17065…).
- Thiếu khung pháp lý rõ ràng cho dữ liệu điện tử

Ngoài ra, còn những thách thức như rủi ro bảo mật và giả mạo thông tin (nêu ở trên), thiếu nguồn lực tài chính và công nghệ và thiếu nhận thức và niềm tin vào chuyển đổi số… cũng tác động mạnh đến quá trình chuyển đổi số.

Định hướng phát triển: NQI với vai trò là chính sách phát triển quốc gia

Muốn đưa Việt Nam tiến gần hơn đến nền kinh tế có giá trị gia tăng cao và đổi mới sáng tạo, chúng ta cần xây dựng và vận hành NQI như một "hạ tầng mềm chiến lược". Một số hướng đi quan trọng gồm:

Xây dựng Chiến lược NQI quốc gia tầm nhìn dài hạn

Hiện tại, Bộ Khoa học và Công nghệ đã trình Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Đề án "Phát triển hạ tầng chất lượng quốc gia theo hướng tập trung, thống nhất, đồng bộ và hội nhập quốc tế giai đoạn đến năm 2030, định hướng đến năm 2035". Đề án đề xuất nhiều mục tiêu quan trọng như: hoàn thiện cơ bản hệ thống văn bản quy phạm pháp luật về phát triển hạ tầng chất lượng quốc gia trong đó có Luật Tiêu chuẩn và quy chuẩn kỹ thuật, Luật Chất lượng sản phẩm, hàng hoá và các văn bản quy phạm

pháp luật, văn bản quản lý khác có liên quan; chỉ số Hạ tầng chất lượng quốc gia của Việt Nam đạt vị trí 40 trong bảng xếp hạng Chỉ số hạ tầng chất lượng toàn cầu tới 2035; hình thành và phát triển các tổ chức, mạng lưới chuyên gia của Việt Nam về tiêu chuẩn, đo lường, đánh giá sự phù hợp, công nhận đạt trình độ khu vực và quốc tế; đổi mới và phát triển hạ tầng chất lượng quốc gia theo hướng hiện đại, ứng dụng các nền tảng công nghệ số, các mô hình quản lý tiên tiến, nâng cấp hạ tầng thiết bị, công nghệ chuyên ngành đáp ứng nhu cầu phát triển kinh tế, hội nhập quốc tế và nâng cao năng lực tiếp cận cuộc Cách mạng Công nghiệp lần thứ tư.

Tuy nhiên đã đến lúc Việt Nam cần một chiến lược tổng thể về phát triển NQI, tích hợp chặt chẽ với chiến lược phát triển công nghiệp, đổi mới sáng tạo, hội nhập thương mại và phát triển bền vững. Chúng ta có thể học hỏi kinh nghiệm từ những ví dụ tiêu biểu như Chiến lược NQI của Nam Phi, Malaysia[8] và Đức - nơi NQI không chỉ là lĩnh vực kỹ thuật mà còn là chính sách phát triển quốc gia.

Ưu tiên phát triển năng lực quốc gia về đo lường, công nhận và thử nghiệm

Cần đầu tư mạnh mẽ để phát triển các chuẩn đo lường quốc gia, nâng cấp các tổ chức công nhận và thiết lập các trung tâm thử nghiệm liên vùng có năng lực đạt chuẩn quốc tế, nhất là trong các lĩnh vực mới như: nông nghiệp hữu cơ, sản phẩm carbon thấp, AI, vi điện tử, y sinh...

Gắn NQI với chuyển đổi số và đổi mới sáng tạo

NQI cần đi trước một bước trong việc xây dựng các tiêu chuẩn mới cho công nghệ số, sản phẩm công nghệ cao, dữ liệu lớn… Đồng thời, nên thúc đẩy áp dụng các mô hình "hệ thống chất lượng thông minh" (Smart Quality Infrastructure) sử dụng AI, blockchain, IoT trong giám sát, truy xuất và đánh giá hợp quy, sớm đưa ra khung pháp lý hoàn chỉnh, đào tạo nhân lực chuyên môn kép và khắc phục những khó khan tồn tại được nêu ở phần trên.

Thúc đẩy hợp tác quốc tế và định vị Việt Nam trong chuỗi giá trị toàn cầu

Việt Nam cần tích cực tham gia vào các nhóm kỹ thuật của ISO, IEC, ITU, Codex... không chỉ để học hỏi mà còn góp phần xây dựng tiêu chuẩn toàn cầu - từ đó tăng "quyền lực mềm kỹ thuật" trên trường quốc tế.

Hạ tầng chất lượng quốc gia không chỉ là công cụ kỹ thuật phục vụ kiểm soát chất lượng, mà là một trong những "nền móng vô hình" giúp xây dựng lòng tin, tăng cường cạnh tranh và mở rộng thị trường cho doanh nghiệp. Trong hành trình chuyển

[8] Building excellence: A Malaysia strategy for Quality Infrastructure. https://www.comcec.org/wp-content/uploads/2024/09/4-Malaysia-1.pdf

mình từ nền kinh tế gia công sang nền kinh tế sáng tạo, từ phụ thuộc sang chủ động hội nhập, Việt Nam không thể thiếu một hệ thống NQI mạnh, đồng bộ và hiện đại.

Nếu hạ tầng cứng như đường, điện, cảng biển đưa hàng hóa đến thị trường, thì hạ tầng chất lượng sẽ mở cánh cửa để hàng hóa Việt Nam được công nhận, được tin tưởng và có chỗ đứng xứng đáng trên thị trường toàn cầu.

Tài liệu tham khảo

1. Quality Infrastructure: National Systems and International Context Chapter · November 2022
2. BMZ 2004. Quality Infrastructure, Conformity Assessment – Metrology, Standardization, Testing, Quality Management (MSTQ). Bonn
3. Rebooting quality infrastructurefor a sustainablefuture, unido, 2020
4. Guasch, Racine, Sanchez & Diop. 2007. Quality systems and standards for a competitive edge, Washington DC: The World Bank
5. Hackel, Härtig, Hornig & Wiedenhöfer. 2017. The digital calibration certificate. PTB-Mitteilungen, Heft 3, 75-81.
6. Smart quality infrastructure - Shaping a sustainable future, UNIDO, 2022
7. Choi, Hyun, Hong & Kang. 2014. Standards as catalyst for national innovation and performance–a capability assessment framework for latecomer countries. Total Quality Management & Business Excellence, 25, 969-985
8. Correia de brito, Kauffmann & Pelkmans. 2016. The contribution of mutual recognition to international regulatory cooperation, Paris: OECD
9. https://qi4d.org/2022/04/11/the-interaction-of-qa-qm-and-qi/
10. https://www.gpqi.org/quality-infrastructure/articles/what-is-quality-infrastructure.html
11. Quality Infrastructure Maturity and Trajectories Experiences and Prospects of Advanced and Developing Economies, World bank, 16/42025
12. https://kinhtevadubao.vn/thuc-trang-cua-co-so-ha-tang-chat-luong-viet-nam-va-muc-do-dap-ung-voi-nganh-hang-xuat-khau-ca-phe-31095
13. https://nbc.gov.vn/tintuc/thuc-day-chuyen-doi-so-trong-nganh-tieu-chuan-do-luong-chat-luong/
14. https://tcvn.gov.vn/khac-phuc-bat-cap-han-che-trong-cong-tac-trien-khai-thi-hanh-luat-tcqckt/10/08/2022/