



FACTORY AUTOMATION

XUỞNG THỰC HÀNH TỰ ĐỘNG HÓA



TÀI LIỆU THAM KHẢO

CẨM NANG SẢN XUẤT THÔNG MINH

*** Tài liệu tham khảo này được tổng hợp bởi **Deep Research AI** và đã được rà soát, hiệu đính bởi đội ngũ chuyên môn. Mục tiêu là cung cấp thêm nguồn thông tin hữu ích cho nghiên cứu, giảng dạy và ứng dụng thực tiễn.*

TP.HCM, 09/2025

Mục Lục

Phần I: Nền Tảng Của Cuộc Cách Mạng Sản Xuất

Chương 1: Tái định nghĩa Sản xuất trong Kỷ nguyên Công nghiệp 4.0

- 1.1. Phân biệt các khái niệm cốt lõi
- 1.2. Lợi ích chiến lược của Sản xuất thông minh

Chương 2: Các Công Nghệ Trụ Cột của Nhà Máy Thông Minh

- 2.1. Lớp Kết nối (Connectivity)
- 2.2. Lớp Trí tuệ (Intelligence)
- 2.3. Lớp Tương tác và Mô phỏng (Interaction & Simulation)
- 2.4. Lớp Thực thi (Execution)

Phần II: Lộ Trình Chiến Lược Xây Dựng Nhà Máy Thông Minh

Chương 3: Các Giai Đoạn Chuyển Đổi - Một Lộ Trình Thực Thi

- 3.1. Lộ trình 7 bước triển khai
- 3.2. Mô hình 4 cấp độ trưởng thành của Nhà máy thông minh
- 3.3. Kiến trúc 3 tầng công nghệ trong thực thi

Chương 4: Tích Hợp Hệ Thống: Hợp Nhất Công Nghệ Thông Tin (IT) và Công Nghệ Vận Hành (OT)

- 4.1. Khái niệm IT và OT
- 4.2. Sự hội tụ IT/OT
- 4.3. Thách thức và giải pháp

Phần III: Đỉnh Cao Của Tự Động Hóa: Mô Hình Nhà Máy "Dark Factory"

Chương 5: Giải Mã Khái Niệm "Sản Xuất Không Cần Ánh Sáng"

- 5.1. Định nghĩa và Nguyên tắc hoạt động
- 5.2. Lợi ích và Thách thức
- 5.3. Vai trò của con người không biến mất hoàn toàn

Chương 6: Các Nghiên Cứu Điển Hình Toàn Cầu

- 6.1. Siemens Amberg (Đức): Con đường "Thông minh hóa"
- 6.2. FANUC (Nhật Bản): Con đường "Tự động hóa hoàn toàn"

Phần IV: Quản Trị Hiệu Suất và Cải Tiến Liên Tục

Chương 7: Triết Lý Lean Manufacturing trong Bối Cảnh Số

- 7.1. Tái diễn giải 7 lãng phí (Muda) trong môi trường tự động hóa

- 7.2. Sơ đồ chuỗi giá trị 4.0 (Value Stream Mapping 4.0)
- 7.3. Kaizen và 5S trong môi trường công nghệ cao

Chương 8: Độ Chính Xác Dựa Trên Dữ Liệu với Six Sigma

- 8.1. Nguyên tắc cốt lõi của Six Sigma
- 8.2. Chu trình cải tiến DMAIC
- 8.3. Lean Six Sigma

Chương 9: OEE - Thước Đo Vàng Cho Hiệu Suất Thiết Bị Toàn Diện

- 9.1. Định nghĩa và Công thức tính OEE
- 9.2. Tiêu chuẩn (Benchmark) và Ý nghĩa
- 9.3. Chiến lược cải thiện OEE trong nhà máy thông minh

Phần V: Triển Khai Thực Tiễn và Tầm Nhìn Tương Lai

Chương 10: Bối Cảnh tại Việt Nam: Cơ Hội và Thách Thức

- 10.1. Thực trạng và Tiềm năng
- 10.2. Các rào cản chính
- 10.3. Các ví dụ tiên phong

Chương 11: Tác Động Đến Chuỗi Cung Ứng và Lực Lượng Lao Động

- 11.1. Chuỗi cung ứng 4.0
- 11.2. Sự chuyển dịch vai trò của người lao động

Chương 12: Xu Hướng Tương Lai của Ngành Sản Xuất (sau 2025)

- 12.1. Sản xuất bền vững và Kinh tế tuần hoàn
- 12.2. Cá nhân hóa hàng loạt (Mass Customization)
- 12.3. Trí tuệ nhân tạo tạo sinh (Generative AI)
- 12.4. Trí tuệ nhân tạo tác tử (Agentic AI)

Kết Luận và Khuyến Nghị Chiến Lược

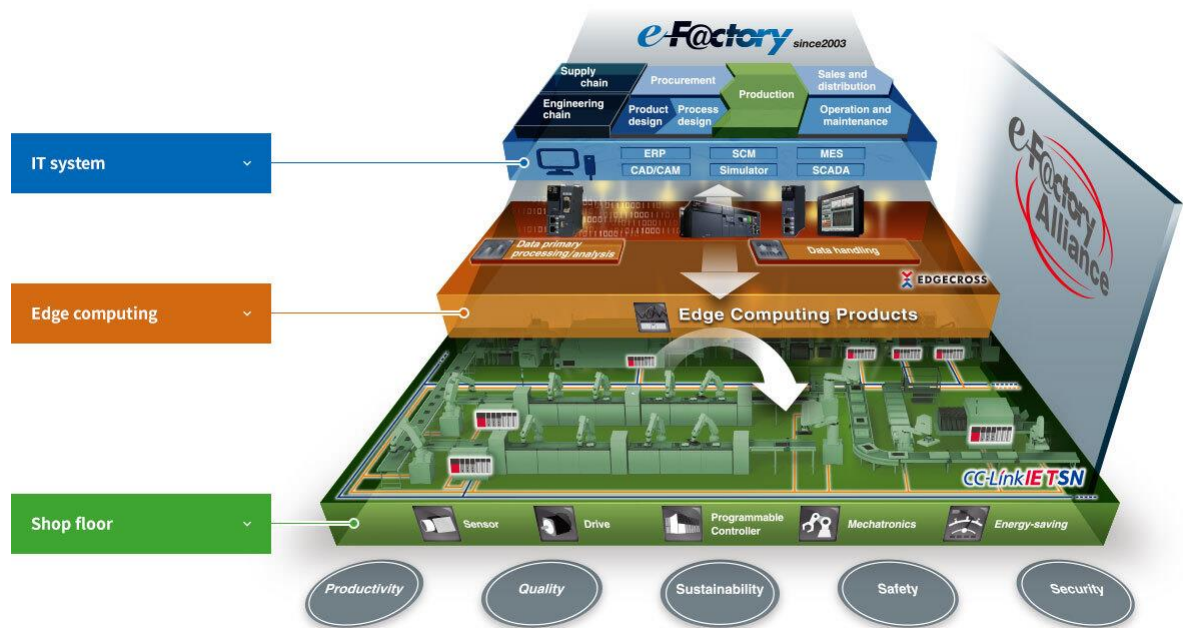
Nguồn trích dẫn

Cẩm Nang Sản Xuất Thông Minh: Lộ Trình Chiến Lược Từ Tự Động Hóa Đến Dark Factory Và Tích Hợp Quản Trị Hiệu Suất

Phần I: Nền Tảng Của Cuộc Cách Mạng Sản Xuất

Chương 1: Tái định nghĩa Sản xuất trong Kỷ nguyên Công nghiệp 4.0

Trong bối cảnh cạnh tranh toàn cầu ngày càng gay gắt, ngành sản xuất đang đứng trước một cuộc chuyển mình mang tính cách mạng. Sự hội tụ của thế giới vật lý và thế giới số đã khai sinh ra một kỷ nguyên mới, được định danh là Công nghiệp 4.0. Đây không đơn thuần là một bản nâng cấp công nghệ, mà là một cuộc cách mạng toàn diện, thay đổi căn bản cách thức các doanh nghiệp vận hành, phát triển và cạnh tranh. Cẩm nang này sẽ cung cấp một lộ trình chiến lược, giúp các nhà lãnh đạo doanh nghiệp tại Việt Nam không chỉ thấu hiểu mà còn có thể dẫn dắt quá trình chuyển đổi sang mô hình sản xuất thông minh một cách hiệu quả và bền vững.



1.1. Phân biệt các khái niệm cốt lõi

Để xây dựng một chiến lược chuyển đổi thành công, việc đầu tiên và quan trọng nhất là phải nắm vững và phân biệt rõ ràng các khái niệm nền tảng. Sự nhầm lẫn giữa các thuật ngữ này thường dẫn đến việc đầu tư sai hướng, tập trung vào công cụ thay vì mục tiêu chiến lược.

Công nghiệp 4.0 (Industry 4.0)

Công nghiệp 4.0, khởi nguồn từ Đức, đề cập đến một giai đoạn mới trong cuộc Cách mạng Công nghiệp, nơi các công nghệ số tiên tiến được tích hợp sâu rộng vào mọi khía cạnh của sản xuất và chuỗi cung ứng. Trọng tâm của nó là sự kết nối, tự động hóa (automation), học máy (machine learning) và dữ liệu thời gian thực (real-time). Công nghiệp 4.0 không phải là một công nghệ đơn lẻ mà là một **tâm nhìn chiến lược, một khuôn khổ công nghệ** tạo ra một **hệ sinh thái được kết nối toàn diện**, từ nhà cung cấp, nhà máy, đến khách hàng. Quá trình chuyển đổi sang Công nghiệp 4.0 là một hành trình gồm nhiều giai đoạn, đòi hỏi thời gian và sự đầu tư bài bản, không thể thực hiện trong một sớm một chiều.

Sản xuất thông minh (Smart Manufacturing)

Nếu Công nghiệp 4.0 là tầm nhìn, thì Sản xuất thông minh chính là **phương pháp luận và quy trình** để hiện thực hóa tầm nhìn đó. Đây là một hệ thống sản xuất được tích hợp đầy đủ, có khả năng thích ứng linh hoạt với những thay đổi của chuỗi cung ứng và nhu cầu của khách hàng theo thời gian thực.

Phạm vi của sản xuất thông minh bao trùm toàn bộ chuỗi giá trị, từ khâu thiết kế sản phẩm, mua sắm nguyên vật liệu, vận hành sản xuất, quản lý chất lượng, cho đến phân phối và dịch vụ hậu mãi. Mục tiêu cốt lõi của sản xuất thông minh là giải quyết ba bài toán lớn: tối ưu hóa toàn bộ quy trình sản xuất, đảm bảo sản xuất bền vững, và phát triển một chuỗi cung ứng nhanh nhẹn, linh hoạt.



Nhà máy thông minh (Smart Factory)

Nhà máy thông minh là **kết quả vật lý**, là "thực thể" nơi các nguyên tắc và quy trình của sản xuất thông minh được triển khai và vận hành. Đây là một mô hình sản xuất hiện đại, được số hóa và kết nối ở mức độ cao, hoạt động dựa trên sự kết hợp của nhiều công nghệ tiên tiến như Trí tuệ nhân tạo (AI), Robot công nghiệp, Dữ liệu lớn (Big Data) và Internet vạn vật công nghiệp (IIoT). Trong một nhà máy thông minh, các thiết bị và hệ thống sản xuất được kết nối với nhau, cho phép chúng thu thập, chia sẻ và phân tích dữ liệu theo thời gian thực để tự tối ưu hóa hiệu suất.

Sự phân cấp này có ý nghĩa chiến lược vô cùng quan trọng. Nhiều doanh nghiệp mắc sai lầm khi cho rằng việc mua sắm robot và tự động hóa một vài công đoạn đồng nghĩa với việc họ đã có "nhà máy thông minh". Tuy nhiên, nếu không có một chiến lược sản xuất thông minh bao trùm (tích hợp dữ liệu, tái cấu trúc quy trình) và một tầm nhìn Công nghiệp 4.0 (kết nối toàn bộ chuỗi cung ứng), những robot đó chỉ là những cỗ máy tự động hóa đơn lẻ, không phải là một phần của một hệ thống thông minh, có khả năng học hỏi và thích ứng. Sự thất bại trong nhiều dự án chuyển đổi số bắt nguồn từ việc nhầm lẫn giữa công cụ (nhà máy thông minh) và chiến lược (sản xuất thông minh).

Bảng 1: So sánh các mô hình nhà máy (Truyền thống vs. Thông minh vs. Dark Factory)

Tiêu chí	Nhà máy Truyền thống	Nhà máy Thông minh (Smart Factory)	Nhà máy Tối (Dark Factory)
Mức độ Tự động hóa	Thấp - Trung bình. Phụ thuộc nhiều vào con người và máy móc bán tự động.	Cao. Tích hợp robot, IIoT, AI. Con người và máy móc hợp tác.	Toàn phần. Robot và AI vận hành gần như toàn bộ quy trình.
Vai trò Con người	Lao động thủ công, vận hành trực tiếp máy móc.	Giám sát, phân tích dữ liệu, ra quyết định phức tạp, hợp tác với robot.	Giám sát từ xa, lập kế hoạch chiến lược, bảo trì và xử lý sự cố phức tạp.
Sử dụng Dữ liệu	Thủ công, rời rạc, chủ yếu để báo cáo sau khi sự việc đã xảy ra.	Thu thập và phân tích dữ liệu thời gian thực để tối ưu hóa và dự đoán.	Dữ liệu là trung tâm, hệ thống tự ra quyết định dựa trên phân tích AI.
Mức độ Linh hoạt	Thấp. Khó thay đổi sản phẩm và quy trình.	Cao. Dễ dàng thích ứng với sự thay đổi của thị trường và sản phẩm mới.	Rất cao trong phạm vi được lập trình, nhưng có thể kém linh hoạt với các thay đổi ngoài dự kiến.
Chi phí Vận hành	Cao do chi phí nhân công, lãng phí nguyên vật liệu và năng lượng.	Giảm đáng kể nhờ tối ưu hóa quy trình, năng lượng và bảo trì dự đoán.	Rất thấp. Giảm thiểu chi phí nhân công, chiếu sáng, điều hòa không khí.
Chi phí Đầu tư	Thấp.	Cao. Yêu cầu đầu tư vào công nghệ, hạ tầng và đào tạo.	Rất cao. Đòi hỏi đầu tư lớn vào công nghệ tự động hóa và AI tiên tiến nhất.

1.2. Lợi ích chiến lược của Sản xuất thông minh

Việc áp dụng sản xuất thông minh không chỉ là một khoản đầu tư vào công nghệ mà là một cuộc cách mạng hóa cách toàn bộ doanh nghiệp vận hành và phát triển. Các lợi ích mà nó mang lại vượt xa việc cắt giảm chi phí đơn thuần, tạo ra những lợi thế cạnh tranh bền vững và sâu sắc.

Ban đầu, các lợi ích thường tập trung vào việc cải thiện hiệu quả hoạt động. Sản xuất thông minh cho phép các nhà quản lý kiểm soát và thấu hiểu mọi khía cạnh của hoạt động sản xuất, sử dụng dữ liệu tức thời để tăng năng suất, cải thiện quy trình và thúc đẩy tăng trưởng. Bằng cách tự động hóa các công đoạn mà không cần sự can thiệp của con người, doanh nghiệp có thể giảm đáng kể số lượng sai hỏng, nâng cao chất lượng sản phẩm và tối ưu hóa chi phí sản xuất.

Tuy nhiên, giá trị chiến lược thực sự của sản xuất thông minh nằm ở khả năng tạo ra những **giá trị mới**. Khả năng kết nối và phân tích dữ liệu cho phép doanh nghiệp dự đoán nhu cầu của người tiêu dùng trong tương lai, từ đó có kế hoạch sản xuất cụ thể để đạt hiệu quả cao nhất. Hơn nữa, sự linh hoạt của các hệ thống thông minh cho phép doanh nghiệp cung cấp sản phẩm và dịch vụ ra thị trường nhanh hơn, rẻ hơn và với chất lượng tốt hơn, tạo ra một lợi thế cạnh tranh quyết định so với các đối thủ kém hiệu quả hơn.

Sự dịch chuyển chiến lược này từ **"tối ưu hóa chi phí"** sang **"tạo ra giá trị mới"** là điểm khác

biệt cốt lõi. Một nhà máy thông minh không chỉ sản xuất sản phẩm hiệu quả hơn mà còn có khả năng tạo ra các mô hình kinh doanh hoàn toàn mới. Ví dụ, khả năng sản xuất linh hoạt có thể hiện thực hóa mô hình "**sản xuất theo yêu cầu hàng loạt**" (**mass customization**), nơi mỗi sản phẩm được tùy chỉnh theo ý muốn của khách hàng nhưng với chi phí của sản xuất hàng loạt. Hoặc, dữ liệu thu thập từ sản phẩm trong quá trình sử dụng có thể tạo ra các dịch vụ mới, như "**sản phẩm dưới dạng dịch vụ**" (**Product-as-a-Service**), mở ra những nguồn doanh thu bền vững.

Chương 2: Các Công Nghệ Trụ Cột của Nhà Máy Thông Minh

Sự thành công của một nhà máy thông minh không đến từ việc triển khai một công nghệ duy nhất, mà từ sự tương tác cộng hưởng của một hệ sinh thái công nghệ phức tạp. Các công nghệ này có thể được phân thành bốn lớp chính: **Kết nối, Trí tuệ, Tương tác & Mô phỏng, và Thực thi**. Việc hiểu rõ vai trò và mối quan hệ của từng lớp là điều kiện tiên quyết để xây dựng một kiến trúc công nghệ vững chắc và hiệu quả.

2.1. Lớp Kết nối (Connectivity)

Đây là lớp nền tảng, đóng vai trò là hệ thần kinh của nhà máy, đảm bảo luồng dữ liệu được lưu thông một cách thông suốt và tức thời.

- **Internet vạn vật công nghiệp (IIoT - Industrial Internet of Things):** IIoT là công nghệ kết nối máy móc, thiết bị, robot và các cảm biến với Internet, cho phép thu thập và trao đổi dữ liệu theo thời gian thực. Đây được coi là yếu tố then chốt, tạo tiền đề cho việc xây dựng nhà máy thông minh thành công. Dữ liệu từ IIoT cung cấp cái nhìn chi tiết về tình trạng hoạt động của từng tài sản (Assets) trong nhà máy.
- **Công nghệ 5G:** Nếu IIoT tạo ra dữ liệu, thì 5G là "siêu xa lộ" để truyền tải dữ liệu đó. Với tốc độ dự kiến nhanh hơn 4G đến 100 lần, độ trễ cực thấp (dưới 1 mili giây) và khả năng hỗ trợ kết nối hàng triệu thiết bị trong một khu vực nhỏ, 5G trở thành chất xúc tác quan trọng cho các ứng dụng sản xuất đòi hỏi độ chính xác và phản hồi tức thời như điều khiển robot tự động, giám sát quy trình từ xa và các ứng dụng thực tế tăng cường (AR).

2.2. Lớp Trí tuệ (Intelligence)

Lớp này đóng vai trò là bộ não của nhà máy, biến dữ liệu thô (data) từ lớp kết nối thành những thông tin chi tiết có giá trị (insights) và các quyết định thông minh (smart decisions).

- **Trí tuệ nhân tạo (AI) và Học máy (Machine Learning):** AI và ML là công cụ để phân tích khối lượng dữ liệu khổng lồ (big data) thu thập từ các thiết bị IIoT. Chúng có khả năng xác định các mẫu hình ẩn (hidden patterns), dự đoán các kết quả trong tương lai (ví dụ như thời điểm một cỗ máy có thể hỏng hóc) và tự động tối ưu hóa các quy trình sản xuất. AI còn có thể được ứng dụng trong giai đoạn thiết kế (design) để đề xuất các phương án tối ưu, phù hợp với các điều kiện sản xuất thực tế, giúp giảm thiểu lỗi ngay từ khâu đầu tiên.
- **Phân tích Dữ liệu lớn (Big Data Analytics):** Công nghệ này cho phép xử lý và phân tích các tập dữ liệu cực lớn và phức tạp từ nhiều nguồn khác nhau (sản xuất, chuỗi cung ứng, khách hàng) để khám phá các mối tương quan, xu hướng thị trường và các cơ hội cải tiến mà các phương pháp truyền thống không thể phát hiện được.

2.3. Lớp Tương tác và Mô phỏng (Interaction & Simulation)

Lớp này tạo ra một cầu nối giữa thế giới thực (physical) và thế giới số (cyber), cho phép con người tương tác hiệu quả hơn với hệ thống và cho phép thử nghiệm các kịch bản một cách an toàn.

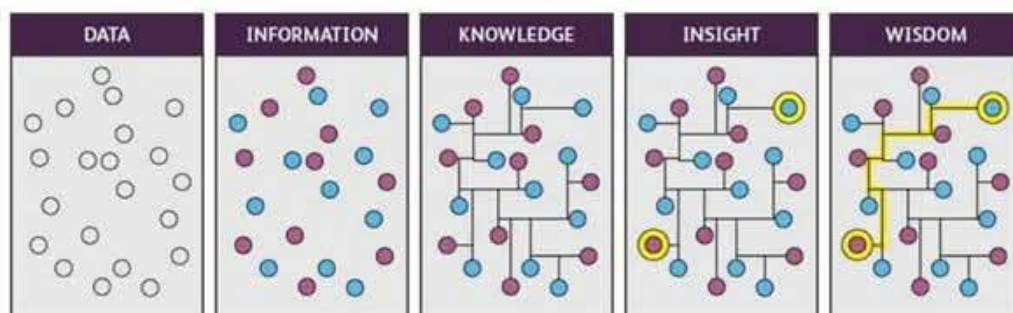
- **Bản sao kỹ thuật số (Digital Twin):** Đây là công nghệ tạo ra một bản sao kỹ thuật số hoàn chỉnh của một tài sản vật lý (một cỗ máy, một dây chuyền, hoặc toàn bộ nhà máy). Bản sao này được cập nhật liên tục với dữ liệu thời gian thực từ các cảm biến IIoT. Digital Twin cho phép các kỹ sư thực hiện mô phỏng, thử nghiệm các thay đổi quy trình, và tối ưu hóa hoạt động trong môi trường ảo trước khi áp dụng vào thế giới thực, giúp giảm thiểu rủi ro, chi phí và thời gian ngừng hoạt động.
- **Điện toán Đám mây (Cloud Computing) và Điện toán Biên (Edge Computing):** Đây là hai kiến trúc xử lý dữ liệu bổ trợ cho nhau. **Cloud** cung cấp khả năng lưu trữ và xử lý dữ liệu quy mô lớn, cho phép truy cập thông tin từ bất kỳ đâu. Tuy nhiên, việc gửi tất cả dữ liệu lên đám mây có thể gây ra độ trễ. **Edge** giải quyết vấn đề này bằng cách xử lý dữ liệu ngay tại nguồn phát sinh (ví dụ: trên một cổng kết nối gần máy móc). Điều này cực kỳ quan trọng đối với các ứng dụng yêu cầu phản hồi tức thời như kiểm soát an toàn robot hoặc kiểm tra chất lượng sản phẩm tốc độ cao, đồng thời giúp tăng cường bảo mật bằng cách giữ lại dữ liệu nhạy cảm tại chỗ. Một **kiến trúc lai (Hybrid)** kết hợp cả hai đang trở thành xu hướng chủ đạo.
- **Thực tế tăng cường (AR) và Thực tế ảo (VR):** AR cho phép phủ một lớp thông tin kỹ thuật số (như hướng dẫn, sơ đồ, dữ liệu vận hành) lên tầm nhìn của người công nhân về thế giới thực thông qua các thiết bị như kính thông minh. Điều này giúp hợp lý hóa các quy trình lắp ráp, kiểm tra chất lượng và bảo trì, tăng hiệu quả và giảm sai sót. VR tạo ra một môi trường hoàn toàn ảo, được sử dụng chủ yếu cho mục đích đào tạo kỹ năng vận hành và bảo trì máy móc phức tạp một cách an toàn và hiệu quả.

2.4. Lớp Thực thi (Execution)

Đây là lớp "**cơ bắp**" của nhà máy, trực tiếp thực hiện các hoạt động sản xuất dựa trên các chỉ thị từ các lớp trên.

- **Robot và Tự động hóa:** Robot công nghiệp và các hệ thống tự động (như xe tự hành AGV) thực hiện các nhiệm vụ lặp đi lặp lại, nặng nhọc hoặc nguy hiểm với độ chính xác (micromet), tốc độ và tính nhất quán cao, giúp tăng năng suất và giảm lỗi do con người.
- **Sản xuất bồi đắp (In 3D - Additive Manufacturing):** Công nghệ này tạo ra các vật thể ba chiều bằng cách đắp từng lớp vật liệu. In 3D đặc biệt hữu ích để tạo mẫu nhanh (rapid prototyping), sản xuất các bộ phận có hình dạng phức tạp, hoặc sản xuất các lô hàng nhỏ được tùy chỉnh theo yêu cầu, giúp giảm thiểu chất thải và chi phí dụng cụ.

Kiến trúc công nghệ của nhà máy thông minh là một hệ sinh thái phức tạp, nơi giá trị được tạo ra từ sự tương tác cộng hưởng giữa các thành phần trong hệ sinh thái. IIoT thu thập dữ liệu, 5G truyền tải, Cloud/Edge xử lý, AI phân tích để tạo ra giá trị thấu hiểu (insight). Insight này sau đó được Digital Twin mô phỏng để tìm ra phương án tối ưu, và cuối cùng được Robot thực thi hoặc AR hướng dẫn con người thực thi. Doanh nghiệp cần phải có một chiến lược công nghệ tổng thể, xem xét sự tích hợp chặt chẽ giữa các lớp này thay vì đầu tư vào các công nghệ riêng lẻ.



Source: Drawn by David Somerville, based on a two-panel version by Hugh McLeod

Phần II: Lộ Trình Chiến Lược Xây Dựng Nhà Máy Thông Minh

Chuyển đổi sang nhà máy thông minh là một hành trình chiến lược dài hạn, đòi hỏi một lộ trình rõ ràng và cách tiếp cận theo từng giai đoạn. Việc cố gắng thực hiện một cuộc "cách mạng" toàn diện ngay từ đầu (Big Bang) thường mang lại rủi ro tài chính và văn hóa rất lớn, đặc biệt đối với các doanh nghiệp vừa và nhỏ. Thay vào đó, một cách tiếp cận tuần tự, bắt đầu từ những bước nhỏ, chứng minh giá trị và sau đó nhân rộng hơn, sẽ đảm bảo tỷ lệ thành công cao hơn.

Chương 3: Các Giai Đoạn Chuyển Đổi - Một Lộ Trình Thực Thi

Một lộ trình triển khai hiệu quả cần kết hợp giữa các bước thực thi cụ thể, mô hình đánh giá mức độ trưởng thành và kiến trúc công nghệ theo tầng lớp.

3.1. Lộ trình 7 bước triển khai

Đây là một khuôn khổ có hệ thống giúp doanh nghiệp điều hướng quá trình chuyển đổi một cách có cấu trúc, đảm bảo không bỏ sót các yếu tố quan trọng.

- Bước 1: Đánh giá hiện trạng (Current State Analysis):** Giai đoạn này tập trung vào việc hiểu rõ điểm xuất phát. Doanh nghiệp cần tiến hành một cuộc kiểm toán toàn diện về quy trình sản xuất, tình trạng máy móc thiết bị, hạ tầng công nghệ, và quan trọng nhất là năng lực và kỹ năng của đội ngũ nhân sự hiện tại.
- Bước 2: Lập kế hoạch triển khai (Implementation Planning):** Dựa trên kết quả đánh giá, doanh nghiệp cần xây dựng một lộ trình chuyển đổi rõ ràng, từng bước. Kế hoạch này phải bao gồm việc xác định các mục tiêu kinh doanh cụ thể, tính toán lợi tức đầu tư (ROI) dự kiến, và xây dựng một kế hoạch tài chính chi tiết. Việc lựa chọn các nền tảng công nghệ và nhà cung cấp phù hợp cũng được quyết định trong giai đoạn này.
- Bước 3: Chuyển đổi số (Digitalization):** Đây là bước nền tảng, tập trung vào việc số hóa các quy trình và dữ liệu cơ bản. Các hoạt động có thể bao gồm việc thay thế các giấy tờ thủ công bằng hệ thống phần mềm, kết nối các máy móc cơ bản để thu thập dữ liệu sản xuất, và xây dựng một cơ sở dữ liệu tập trung.
- Bước 4: Tự động hóa và Tối ưu hóa (Automation & Optimization):** Sau khi có nền tảng số, doanh nghiệp bắt đầu triển khai các giải pháp tự động hóa như robot, xe tự hành (AGV) để thực hiện các công việc lặp đi lặp lại và tối ưu hóa các quy trình đã được số hóa.
- Bước 5: Phân tích dữ liệu và ra quyết định (Data Analytics & Decision Making):** Ở giai đoạn này, dữ liệu thu thập được không chỉ dùng để giám sát mà còn được đưa vào các nền tảng phân tích tiên tiến. Doanh nghiệp bắt đầu áp dụng các mô hình AI/ML để dự báo, tìm ra nguyên nhân gốc rễ

của các vấn đề và hỗ trợ ban lãnh đạo ra quyết định dựa trên dữ liệu.

6. **Bước 6: Đào tạo nhân viên (Employee Training):** Con người là yếu tố cốt lõi trong suốt quá trình. Doanh nghiệp phải đầu tư mạnh mẽ vào việc đào tạo lại (reskilling) và nâng cao kỹ năng (upskilling) cho đội ngũ nhân sự, giúp họ làm chủ công nghệ mới và chuyển đổi từ vai trò lao động thủ công sang giám sát, phân tích và giải quyết vấn đề.
7. **Bước 7: Đánh giá và cải tiến (Evaluation & Improvement):** Chuyển đổi thông minh là một vòng lặp không có điểm kết thúc. Doanh nghiệp cần liên tục đánh giá hiệu quả của các giải pháp đã triển khai, so sánh với các mục tiêu đã đặt ra và tìm kiếm các cơ hội cải tiến mới, tạo ra một văn hóa cải tiến liên tục.

3.2. Mô hình 4 cấp độ trưởng thành của Nhà máy thông minh

Mô hình này giúp doanh nghiệp xác định vị trí của mình trên hành trình chuyển đổi và đặt ra các mục tiêu rõ ràng cho giai đoạn tiếp theo.

- **Cấp độ 1: Dữ liệu cơ bản sẵn có (Basic Data Availability):** Ở cấp độ này, các máy móc và dây chuyền sản xuất đã được kết nối. Dữ liệu cơ bản như số lượng sản phẩm, thời gian hoạt động, thời gian dừng máy được thu thập, thường là thông qua các hệ thống giám sát, điều khiển và thu thập dữ liệu (SCADA) hoặc hệ thống điều hành sản xuất (MES). Mục tiêu chính là có được sự minh bạch về những gì đang xảy ra trên sàn sản xuất.
- **Cấp độ 2: Phân tích dữ liệu chủ động (Proactive Data Analysis):** Doanh nghiệp bắt đầu sử dụng các công cụ phân tích để hiểu sâu hơn về dữ liệu đã thu thập. Thay vì chỉ biết "**điều gì đã xảy ra**", họ có thể phân tích để tìm ra "**tại sao nó xảy ra**". Ví dụ, phân tích nguyên nhân gốc rễ của các lần dừng máy thường xuyên.
- **Cấp độ 3: Dữ liệu hoạt động (Operational Data):** Đây là một bước tiến lớn, nơi dữ liệu được sử dụng để dự đoán tương lai. Các mô hình AI/ML được áp dụng để dự báo "**điều gì sẽ xảy ra**". Một ứng dụng điển hình là **bảo trì dự đoán** (predictive maintenance), hệ thống cảnh báo một bộ phận sắp hỏng hóc để có thể lên kế hoạch sửa chữa trước khi sự cố xảy ra.
- **Cấp độ 4: Dữ liệu hướng hành động (Action-Oriented Data):** Đây là cấp độ cao nhất của nhà máy thông minh. Hệ thống không chỉ dự đoán mà còn có khả năng tự đưa ra quyết định và thực hiện hành động để tối ưu hóa quy trình. Ví dụ, hệ thống có thể tự động điều chỉnh thông số của một máy để duy trì chất lượng sản phẩm khi phát hiện sự thay đổi trong nguyên vật liệu đầu vào.

3.3. Kiến trúc 3 tầng công nghệ trong thực thi

Để hiện thực hóa lộ trình trên, việc triển khai công nghệ cần được tiếp cận theo một kiến trúc 3 tầng, từ dưới lên.

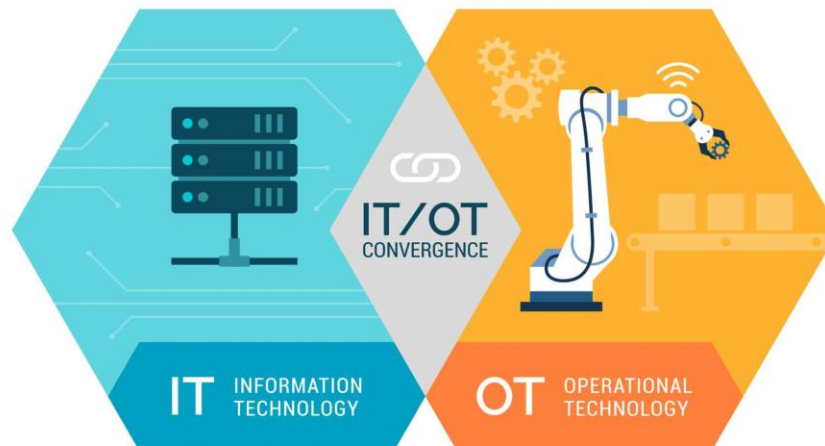
- **Tầng 1 - Kết nối (Connectivity Layer):** Đây là tầng nền móng, tập trung vào việc xây dựng hạ tầng vật lý và kết nối. Các hoạt động bao gồm lắp đặt mạng công nghiệp (Industrial Ethernet, WiFi, 5G), trang bị cảm biến cho các máy móc cũ, và kết nối các thiết bị để thu thập dữ liệu cơ bản như nhiệt độ, độ rung, số lượng sản phẩm. An ninh mạng phải được thiết lập ngay từ tầng này.
- **Tầng 2 - Tích hợp (Integration Layer):** Tầng này tập trung vào việc tạo ra một luồng thông tin thông suốt giữa sàn sản xuất và các hệ thống quản lý của doanh nghiệp. Hoạt động chính là triển khai Hệ thống Điều hành Sản xuất (MES - Manufacturing Execution System) để theo dõi sản xuất theo thời gian thực, và quan trọng hơn là tích hợp MES với Hệ thống Hoạch định Nguồn lực Doanh nghiệp (ERP - Enterprise Resource Planning).

- **Tầng 3 - Trí tuệ (Intelligence Layer):** Đây là tầng cao nhất, nơi dữ liệu được biến thành giá trị. Các hoạt động bao gồm xây dựng nền tảng phân tích dữ liệu, áp dụng các mô hình AI/ML để thực hiện các phân tích dự đoán, tối ưu hóa lịch trình sản xuất, kiểm soát chất lượng bằng thị giác máy tính, và cung cấp các công cụ trực quan hóa dữ liệu (dashboard) để hỗ trợ ra quyết định.

Cách tiếp cận theo từng giai đoạn này mang lại nhiều lợi ích. Nó cho phép doanh nghiệp bắt đầu với các dự án thí điểm (pilot) có quy mô nhỏ, tập trung vào một hoặc hai máy móc quan trọng để chứng minh giá trị và lợi tức đầu tư (ROI) một cách nhanh chóng. Thành công từ các dự án nhỏ này sẽ tạo ra động lực, xây dựng niềm tin trong tổ chức và cung cấp cơ sở vững chắc để thuyết phục ban lãnh đạo phê duyệt các khoản đầu tư lớn hơn cho các giai đoạn tiếp theo. Quan trọng hơn, nó giảm thiểu rủi ro về tài chính và giúp văn hóa doanh nghiệp có thời gian để thích ứng dần với những thay đổi.

Chương 4: Tích Hợp Hệ Thống: Hợp Nhất Công Nghệ Thông Tin (IT – Information Technology) và Công Nghệ Vận Hành (OT – Operational Technology)

Trái tim của một nhà máy thông minh không nằm ở một công nghệ đơn lẻ nào, mà nằm ở sự hội tụ và tích hợp liền mạch giữa hai thế giới vốn tách biệt: Công nghệ Thông tin (IT) và Công nghệ Vận hành (OT). Sự hợp nhất này tạo ra một hệ thần kinh trung ương, cho phép dữ liệu lưu thông không giới hạn từ sàn sản xuất (shop floor) đến phòng họp của ban lãnh đạo và ngược lại, phá vỡ các "ô đảo" thông tin và cho phép tối ưu hóa toàn diện.



4.1. Khái niệm IT và OT

- **Công nghệ Thông tin (IT - Information Technology):** Lĩnh vực IT bao gồm tất cả các hệ thống được sử dụng để quản lý dữ liệu (data) và thông tin (information) trong doanh nghiệp. Các hệ thống này thường tập trung vào các quy trình kinh doanh như hoạch định nguồn lực (ERP), quản lý quan hệ khách hàng (CRM), quản lý chuỗi cung ứng (SCM), cũng như các hạ tầng mạng văn phòng, máy chủ và bảo mật dữ liệu.
- **Công nghệ Vận hành (OT - Operational Technology):** Lĩnh vực OT bao gồm phần cứng (hardware) và phần mềm (software) được sử dụng để giám sát và điều khiển trực tiếp các thiết bị vật lý trong môi trường công nghiệp. Các thành phần tiêu biểu của OT bao gồm Bộ điều khiển Logic Khả trình (PLC), Hệ thống Giám sát Điều khiển và Thu thập Dữ liệu (SCADA), Giao diện Người-Máy (HMI), Robot công nghiệp và các hệ thống điều khiển phân tán (DCS).

Trong nhà máy truyền thống, hai hệ thống này hoạt động độc lập. IT quản lý các quy trình kinh

doanh, trong khi OT quản lý các quy trình vật lý. Dữ liệu từ OT nếu có được chuyển cho IT thường thông qua các báo cáo thủ công, có độ trễ và không đầy đủ.

4.2. Sự hội tụ IT/OT

Nhà máy thông minh đòi hỏi sự phá vỡ bức tường ngăn cách này. Sự hội tụ IT/OT là quá trình tích hợp chặt chẽ hai hệ thống, cho phép dữ liệu từ các cảm biến và máy móc trên sản xuất (OT) được truyền tải một cách tự động và theo thời gian thực đến các hệ thống phân tích và hoạch định của doanh nghiệp (IT). Ngược lại, các quyết định và kế hoạch từ hệ thống IT có thể được truyền trực tiếp xuống hệ thống OT để điều chỉnh hoạt động sản xuất một cách linh hoạt.

Sự hội tụ này tạo ra một “**vòng lặp phản hồi thông minh**”. Nó cho phép nhà máy không chỉ phân tích dữ liệu mà còn có khả năng học hỏi, thích nghi, tự sửa lỗi và tự tối ưu hóa, từ đó trở nên linh hoạt, năng suất và an toàn hơn đáng kể. Ví dụ, một hệ thống ERP (IT) có thể tự động điều chỉnh kế hoạch sản xuất khi nhận được dữ liệu từ hệ thống MES (OT) báo cáo về một sự cố máy móc đột xuất. Hoặc, một thuật toán AI (IT) phân tích dữ liệu về chất lượng sản phẩm và tự động gửi lệnh điều chỉnh thông số vận hành xuống một máy PLC (OT) để ngăn ngừa lỗi.

4.3. Thách thức và giải pháp

Quá trình hội tụ IT/OT không phải là không có thách thức, đòi hỏi sự chuẩn bị kỹ lưỡng về cả công nghệ và tổ chức.

• Thách thức:

- **An ninh mạng:** Các hệ thống OT trước đây thường được thiết kế để hoạt động trong một môi trường cô lập (“air-gapped”). Việc kết nối chúng với mạng IT và Internet tạo ra những lỗ hổng bảo mật nghiêm trọng, có thể bị tin tặc khai thác để phá hoại hoạt động sản xuất.
- **Giao thức và Tiêu chuẩn:** IT và OT sử dụng các giao thức truyền thông và tiêu chuẩn dữ liệu rất khác nhau, gây khó khăn cho việc tích hợp hệ thống.
- **Văn hóa và Kỹ năng:** Đội ngũ IT thường tập trung vào tính bảo mật, toàn vẹn dữ liệu và tính sẵn sàng của hệ thống, trong khi đội ngũ OT ưu tiên tính ổn định, thời gian thực, an toàn và hoạt động liên tục của máy móc. Sự khác biệt về văn hóa, ngôn ngữ và bộ kỹ năng này có thể tạo ra xung đột và cản trở sự hợp tác.

• Giải pháp:

- **An ninh mạng theo chiều sâu (Defense-in-Depth):** Xây dựng một kiến trúc bảo mật nhiều lớp, bao gồm tường lửa công nghiệp, phân đoạn mạng, kiểm soát truy cập và giám sát liên tục để bảo vệ các tài sản OT.
- **Sử dụng Nền tảng Tích hợp và API mở:** Thay vì kết nối điểm-điểm, doanh nghiệp nên sử dụng các nền tảng trung gian (Middleware) hoặc các Giao diện Lập trình Ứng dụng (API) mở để tạo điều kiện cho việc trao đổi dữ liệu giữa các hệ thống từ nhiều nhà cung cấp khác nhau.
- **Tổ chức và Con người:** Thành lập các nhóm làm việc liên chức năng (cross-functional teams) bao gồm cả chuyên gia IT và OT để cùng nhau thiết kế và triển khai các dự án. Đầu tư vào đào tạo chéo để nhân viên IT hiểu về môi trường sản xuất và nhân viên OT hiểu về các nguyên tắc mạng và bảo mật.

Nếu không có sự hội tụ IT/OT, dữ liệu từ sản xuất sẽ mãi bị mắc kẹt trong các “ốc đảo” riêng lẻ, và các quyết định kinh doanh sẽ luôn thiếu đi thông tin thời gian thực quan trọng. Do đó, việc xây dựng

cầu nối vững chắc giữa IT và OT chính là nền tảng cốt lõi để hiện thực hóa toàn bộ tiềm năng của nhà máy thông minh.

Phần III: Đỉnh Cao Của Tự Động Hóa: Mô Hình Nhà Máy "Dark Factory"

Khi hành trình sản xuất thông minh đạt đến mức độ trưởng thành cao nhất, một khái niệm mang tính đột phá xuất hiện: "Dark Factory" hay Nhà máy Tối. Đây là biểu tượng của mức độ tự động hóa gần như tuyệt đối, nơi các quy trình sản xuất diễn ra mà không cần đến sự hiện diện thường xuyên của con người, thậm chí không cần cả ánh sáng (lights-out).

Chương 5: Giải Mã Khái Niệm "Sản Xuất Không Cần Ánh Sáng"

5.1. Định nghĩa và Nguyên tắc hoạt động

"Dark Factory" là thuật ngữ chỉ các nhà máy sản xuất hoàn toàn tự động, nơi mà hầu như không cần sự can thiệp của con người trong quá trình vận hành trực tiếp trên dây chuyền. Thuật ngữ "tối" mang hai ý nghĩa:

- **Nghĩa đen:** Do không có sự hiện diện thường xuyên của con người, nhà máy có thể hoạt động trong môi trường không có hoặc có rất ít ánh sáng, cũng như không cần hệ thống sưởi ấm hay điều hòa không khí (HVAC) cho con người. Điều này giúp tiết kiệm một lượng lớn chi phí năng lượng.
- **Nghĩa bóng:** Quan trọng hơn, "tối" ám chỉ sự vắng mặt của con người trên sàn sản xuất, nhấn mạnh mức độ tự động hóa toàn diện, nơi máy móc thay thế gần như hoàn toàn lao động chân tay.

Nguyên tắc hoạt động của một Dark Factory dựa trên một hệ thống tích hợp phức tạp, nơi các thiết bị tự động, phần mềm điều khiển và hệ thống truyền thông công nghiệp phối hợp chặt chẽ với nhau. Cốt lõi của nó bao gồm các thành phần như robot công nghiệp, xe tự hành (AGV), hệ thống thị giác máy, cùng với các hệ thống điều khiển và giám sát như PLC, SCADA, HMI, IPC và DCS, tất cả được điều phối bởi các thuật toán Trí tuệ nhân tạo (AI) và dữ liệu từ mạng lưới cảm biến IIoT.

5.2. Lợi ích và Thách thức

Mô hình Dark Factory mang lại những lợi ích vượt trội nhưng cũng đi kèm với những thách thức và rào cản đáng kể.

- **Lợi ích:**
 - **Năng suất cực đại:** Nhà máy có thể hoạt động liên tục 24/7 không ngừng nghỉ, giảm thiểu thời gian chết và tối đa hóa sản lượng.
 - **Giảm chi phí vận hành:** Chi phí lao động trực tiếp giảm mạnh. Chi phí năng lượng (chiếu sáng, HVAC) cũng được cắt giảm đáng kể.
 - **Chất lượng và tính nhất quán vượt trội:** Robot và máy móc thực hiện các nhiệm vụ với độ chính xác và khả năng lặp lại gần như tuyệt đối, loại bỏ các sai sót do con người gây ra.
 - **Cải thiện an toàn lao động:** Loại bỏ con người khỏi các môi trường làm việc nguy hiểm, độc hại hoặc các công việc nặng nhọc, lặp đi lặp lại.
- **Thách thức:**
 - **Chi phí đầu tư ban đầu khổng lồ:** Việc trang bị toàn bộ nhà máy bằng robot, hệ thống tự động và công nghệ tiên tiến đòi hỏi một khoản vốn đầu tư cực lớn, là rào cản chính đối với hầu hết các doanh nghiệp.
 - **Yêu cầu kỹ năng chuyên môn rất cao:** Mặc dù không cần công nhân vận hành trực tiếp,

Dark Factory lại đòi hỏi một đội ngũ chuyên gia có trình độ rất cao để thiết kế, lập trình, cài đặt, giám sát và bảo trì các hệ thống phức tạp này.

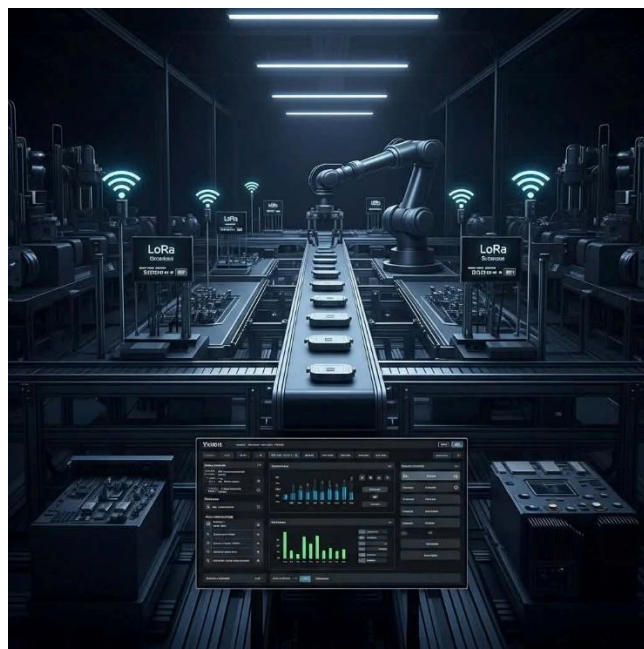
- **Rủi ro về an ninh mạng:** Sự phụ thuộc hoàn toàn vào hệ thống mạng và phần mềm khiến nhà máy trở thành mục tiêu hấp dẫn cho các cuộc tấn công mạng, có thể gây ra thiệt hại nghiêm trọng.
- **Tác động xã hội đến lực lượng lao động:** Mô hình này có thể dẫn đến việc thay thế một lượng lớn lao động phổ thông, gây ra những lo ngại về việc làm và đòi hỏi sự tái đào tạo lực lượng lao động trên quy mô lớn (Reskilling & Upskilling Workforce at Scale).

5.3. Vai trò của con người không biến mất hoàn toàn

Cần phải nhấn mạnh rằng "nhà máy tối" không có nghĩa là hoàn toàn không có bóng dáng con người. Thay vào đó, vai trò của con người được dịch chuyển từ "bên trong" dây chuyền sản xuất ra "bên ngoài" và lên một cấp độ cao hơn. Con người vẫn đóng vai trò cực kỳ quan trọng trong các hoạt động như :

- **Thiết kế, lập trình và cài đặt hệ thống;**
- **Giám sát hoạt động từ xa** thông qua các phòng điều khiển trung tâm;
- **Thực hiện bảo trì, bảo dưỡng và sửa chữa** các máy móc, thiết bị phức tạp;
- **Giải quyết các sự cố bất thường** mà hệ thống tự động không thể xử lý;
- **Lập kế hoạch và quản lý chiến lược sản xuất tổng thể.**

Dark Factory là một trạng thái tối ưu hóa cực đoan, không phải là mục tiêu phù hợp cho mọi ngành công nghiệp. Mô hình này phát huy hiệu quả cao nhất đối với các ngành sản xuất hàng loạt các sản phẩm có tính tiêu chuẩn hóa cao, quy trình lặp đi lặp lại và ít thay đổi, như sản xuất linh kiện điện tử, vi mạch, ô tô, hoặc logistics tự động. Đối với các ngành đòi hỏi sự tùy biến cao, sự khéo léo tinh vi của bàn tay con người, hoặc các lô sản xuất nhỏ và đa dạng, một mô hình "nhà máy mờ" (Dim Factory) – nơi con người và robot (đặc biệt là Cobot - robot cộng tác) làm việc cùng nhau – có thể là một lựa chọn thực tế và tối ưu hơn.



Chương 6: Các Nghiên Cứu Điển Hình Toàn Cầu

Việc phân tích các trường hợp thành công trên thế giới cung cấp những bài học quý giá và minh họa hai con đường chiến lược khác nhau để đạt đến đỉnh cao của tự động hóa: con đường "thông minh hóa" (Smart Factory) và con đường "tự động hóa hoàn toàn" (Dark Factory).

6.1. Siemens Amberg (Đức): Con đường "Thông minh hóa"

Nhà máy Điện tử Amberg (EWA) của Siemens được công nhận rộng rãi là một trong những nhà máy thông minh tiên tiến nhất thế giới, một "ngọn hải đăng" của Công nghiệp 4.0. Nhà máy này chuyên sản xuất các bộ điều khiển logic khả trình (PLC) SIMATIC và các thiết bị tự động hóa công nghiệp khác.

Thành công của Amberg không chỉ đến từ mức độ tự động hóa cao mà chủ yếu đến từ việc tích hợp sâu sắc thế giới số và thế giới thực, nơi con người và máy móc hợp tác trong một hệ thống siêu kết nối, dựa trên dữ liệu để đạt được sự linh hoạt và chất lượng tối đa.

- **Ứng dụng Bản sao kỹ thuật số (Digital Twin):** Siemens Amberg sử dụng toàn diện công nghệ Bản sao Kỹ thuật số. Toàn bộ dây chuyền sản xuất được mô phỏng và tối ưu hóa trong môi trường ảo trước khi bất kỳ thay đổi nào được thực hiện trên thực tế. Ví dụ, các kỹ sư đã sử dụng Digital Twin để phân tích và phát hiện ra rằng chu kỳ sản xuất 11 giây bị ảnh hưởng bởi các module máy móc không hoạt động tối ưu. Họ đã thay thế các module này trong bản sao kỹ thuật số, tìm ra cấu hình hiệu quả nhất và sau đó mới triển khai trên dây chuyền thật, giúp giảm đáng kể rủi ro và thời gian thử nghiệm.
- **Ứng dụng Điện toán biên (Edge Computing) và Trí tuệ Nhân tạo (AI):** Tại dây chuyền play để tách các bảng mạch in (PCB), Siemens đã triển khai một giải pháp kết hợp giữa Điện toán Biên và AI để thực hiện bảo trì dự đoán. Dữ liệu về tốc độ quay và dòng điện của trục play được thu thập và phân tích ngay tại máy bởi một thuật toán AI chạy trên thiết bị Edge. Hệ thống này có khả năng dự đoán các sự cố tiềm ẩn do bụi play gây ra trước từ 12 đến 36 giờ, cho phép các kỹ sư vận hành lên kế hoạch bảo trì chủ động, tránh được các lần dừng máy đột xuất tốn kém.
- **Kết quả ấn tượng:** Nhờ sự tích hợp công nghệ này, nhà máy Amberg có thể quản lý một danh mục sản phẩm cực kỳ phức tạp với khoảng 1,200 loại khác nhau và thực hiện tới 350 lần thay đổi dây chuyền sản xuất mỗi ngày, trong khi vẫn duy trì tỷ lệ chất lượng gần như hoàn hảo.

Siemens Amberg đại diện cho con đường "thông minh hóa", nơi công nghệ được sử dụng để trao quyền cho con người, giúp họ đưa ra quyết định tốt hơn và quản lý các quy trình phức tạp một cách hiệu quả.

6.2. FANUC (Nhật Bản): Con đường "Tự động hóa hoàn toàn"



FANUC, một trong những nhà sản xuất robot công nghiệp hàng đầu thế giới, là một ví dụ kinh điển về mô hình Dark Factory, vận hành theo triết lý này từ năm 2001. Nhà máy của FANUC tại Oshino, Nhật Bản, đại diện cho con đường "tự động hóa hoàn toàn", nơi con người được loại bỏ khỏi quy trình sản xuất trực tiếp để đạt được năng suất và hiệu quả chi phí ở mức cực đại.

- **Robot sản xuất Robot:** Điểm đặc biệt nhất của nhà máy FANUC là việc sử dụng chính các robot của mình để lắp ráp ra các thế hệ robot mới. Dây chuyền sản xuất hoạt động gần như không có sự can thiệp của con người.
- **Hoạt động không giám sát kéo dài:** Nhà máy có khả năng hoạt động tự động 24/7 và có thể chạy không cần giám sát trong thời gian lên đến 30 ngày liên tục. Năng suất của nhà máy đạt khoảng 50 robot mỗi ca 24 giờ.
- **Tối ưu hóa chi phí năng lượng triệt để:** Đúng với tên gọi "Dark Factory", nhà máy FANUC không chỉ tắt đèn mà còn tắt cả hệ thống điều hòa không khí và sưởi ấm, vì robot không yêu cầu những điều kiện này. Điều này giúp tối đa hóa việc tiết kiệm năng lượng và giảm chi phí vận hành.

FANUC là minh chứng cho thấy mô hình Dark Factory hoàn toàn khả thi và mang lại hiệu quả kinh tế to lớn trong một môi trường sản xuất được kiểm soát chặt chẽ, với các sản phẩm và quy trình được tiêu chuẩn hóa cao.

Việc lựa chọn giữa con đường "thông minh hóa" của Siemens hay "tự động hóa hoàn toàn" của FANUC phụ thuộc sâu sắc vào chiến lược sản phẩm, thị trường và mô hình kinh doanh của mỗi doanh nghiệp.

Phần IV: Quản Trị Hiệu Suất và Cải Tiến Liên Tục

Việc triển khai các công nghệ tiên tiến của nhà máy thông minh chỉ là một nửa của câu chuyện. Để thực sự gặt hái thành quả và duy trì lợi thế cạnh tranh, doanh nghiệp cần một hệ thống quản trị hiệu suất vững chắc, cho phép đo lường, kiểm soát và cải tiến liên tục. Các triết lý đã được chứng minh qua thời gian như Lean Manufacturing, Six Sigma và chỉ số OEE không hề lỗi thời trong kỷ nguyên số; ngược lại, chúng còn trở nên mạnh mẽ hơn bao giờ hết khi được kết hợp với sức mạnh của dữ liệu và tự động hóa.



Chương 7: Triết Lý Lean Manufacturing trong Bối Cảnh Thời Đại Số

Lean Manufacturing (Sản xuất Tinh gọn), khởi nguồn từ Hệ thống Sản xuất Toyota, là một triết lý tập trung vào việc tối đa hóa giá trị cho khách hàng bằng cách loại bỏ một cách có hệ thống các lãng phí (Muda) trong quy trình sản xuất. Công nghiệp 4.0 và nhà máy thông minh không thay thế triết lý này, mà cung cấp những công cụ mạnh mẽ để thực thi nó ở một cấp độ sâu sắc và hiệu quả hơn. Lean cung cấp *triết lý "tại sao"* (loại bỏ lãng phí), trong khi Công nghiệp 4.0 cung cấp *công cụ "làm thế nào"* (IIoT, AI, Big Data).

7.1. Tái diễn giải 7 lãng phí (Muda) trong môi trường tự động hóa

Các lãng phí truyền thống của Lean cần được nhìn nhận lại dưới lăng kính của nhà máy thông minh, nơi lãng phí không chỉ tồn tại ở dạng vật lý mà còn ở dạng kỹ thuật số.

Bảng 2: Tái diễn giải 7 Lãng phí của Lean trong Môi trường Nhà máy thông minh

Lãng phí Lean Truyền thống	Mô tả trong Môi trường Vật lý	Diễn giải trong Môi trường Số/Tự động hóa
1. Sản xuất thừa (Overproduction)	Sản xuất nhiều hơn hoặc sớm hơn nhu cầu của khách hàng, gây tồn kho.	Dự báo sai lệch: Các thuật toán AI dự báo nhu cầu không chính xác dẫn đến kế hoạch sản xuất sai. Sản xuất "để phòng": Tự động sản xuất thừa để bù đắp cho các quy trình không ổn định phía sau.
2. Chờ đợi (Waiting)	Công nhân hoặc máy móc chờ đợi nguyên vật liệu, chỉ thị, hoặc công đoạn trước hoàn thành.	Độ trễ mạng/tính toán: Robot chờ lệnh từ hệ thống trung tâm do độ trễ mạng. Thuật toán chờ dữ liệu được xử lý trên cloud. Dữ liệu không đồng bộ: Hệ thống IT và OT không đồng bộ, gây ra thời gian chờ giữa các quyết định và hành động.
3. Vận chuyển (Transportation)	Di chuyển không cần thiết nguyên vật liệu, bán thành phẩm giữa các công đoạn.	Luồng dữ liệu không hiệu quả: Dữ liệu được gửi qua nhiều hệ thống trung gian không cần thiết. Bố trí robot/AGV không tối ưu: Xe tự hành (AGV) di chuyển theo các tuyến đường dài hoặc chông chéo do lập trình kém.
4. Tồn kho (Inventory)	Tồn kho nguyên vật liệu, bán thành phẩm, thành phẩm vượt mức cần thiết, che giấu các vấn đề khác.	Tồn kho dữ liệu (Data Inventory): Thu thập hàng terabyte dữ liệu nhưng không được phân tích và sử dụng để ra quyết định. Hàng đợi kỹ thuật số (Digital Queues): Các lệnh sản xuất hoặc yêu cầu xử lý bị ùn ứ trong hệ thống phần mềm.
5. Thao tác thừa (Motion)	Các chuyển động không cần thiết của công nhân (cúi, vói, đi lại) không tạo ra giá trị.	Chuyển động robot không tối ưu: Cánh tay robot di chuyển theo một quỹ đạo dài hơn mức cần thiết. Giao diện người-máy (HMI) phức tạp: Người giám sát phải thực hiện nhiều thao tác click chuột không cần thiết để truy cập thông tin.
6. Gia công thừa (Over-processing)	Thực hiện các công đoạn hoặc thêm các tính năng không được khách hàng yêu cầu.	Phân tích dữ liệu quá mức: Chạy các thuật toán phức tạp trên những dữ liệu không mang lại giá trị kinh doanh. Kiểm tra chất lượng dư thừa: Hệ thống thị giác máy kiểm tra lại những đặc tính đã

Lãng phí Lean Truyền thống	Mô tả trong Môi trường Vật lý	Diễn giải trong Môi trường Số/Tự động hóa
	yêu cầu hoặc đánh giá cao.	được đảm bảo bởi quy trình trước đó.
7. Sai lỗi (Defects)	Sản phẩm không đạt yêu cầu chất lượng, cần sửa chữa hoặc loại bỏ, gây tốn kém chi phí.	Lỗi thuật toán: Mô hình AI đưa ra quyết định sai, dẫn đến sản phẩm lỗi. Dữ liệu sai (Bad Data): Cảm biến bị lỗi cung cấp dữ liệu không chính xác, khiến hệ thống điều khiển đưa ra hành động sai. Lỗi hồng an ninh mạng: Gây ra sự gián đoạn hoặc sai lệch trong quy trình.

7.2. Sơ đồ chuỗi giá trị 4.0 (Value Stream Mapping 4.0)

Sơ đồ chuỗi giá trị (VSM) là một công cụ cốt lõi của Lean để trực quan hóa luồng vật chất và thông tin, từ đó xác định các hoạt động tạo ra giá trị và các hoạt động gây lãng phí. Trong nhà máy thông minh, VSM cần được nâng cấp thành VSM 4.0.

VSM 4.0 không chỉ vẽ lại **luồng vật chất** mà còn tích hợp sâu sắc **luồng dữ liệu số** vào sơ đồ. Nó giúp trực quan hóa các điểm nghẽn kỹ thuật số như độ trễ mạng, thời gian xử lý dữ liệu của máy chủ, hay thời gian chờ đợi do các hệ thống phần mềm không được tích hợp với nhau. Bằng cách này, VSM 4.0 cho phép doanh nghiệp phân tích và tối ưu hóa toàn diện cả chuỗi giá trị vật lý và chuỗi giá trị số, một yếu tố cực kỳ quan trọng trong môi trường sản xuất kết nối cao.

7.3. Kaizen và 5S trong môi trường công nghệ cao

- Kaizen (Cải tiến liên tục):** Triết lý Kaizen vẫn là nền tảng văn hóa của một nhà máy hiệu quả. Tuy nhiên, trong nhà máy thông minh, nguồn gốc của các ý tưởng cải tiến (Kaizen events) được mở rộng. Bên cạnh sự quan sát và sáng kiến của con người, hệ thống AI có thể tự động phân tích dữ liệu và đề xuất các khu vực cần cải tiến. Ví dụ, AI có thể phát hiện một mối tương quan nhỏ giữa sự thay đổi nhiệt độ và tỷ lệ lỗi sản phẩm mà con người khó có thể nhận ra, từ đó khởi xướng một dự án Kaizen để tối ưu hóa hệ thống làm mát.
- 5S (Sàng lọc, Sắp xếp, Sạch sẽ, Săn sóc, Sẵn sàng):** Các nguyên tắc 5S vẫn giữ nguyên giá trị để duy trì một môi trường làm việc có tổ chức, trực quan và an toàn cho cả con người và máy móc. Một khu vực làm việc sạch sẽ, ngăn nắp không chỉ giúp con người làm việc hiệu quả hơn mà còn giúp các hệ thống tự động như xe AGV và robot thị giác máy hoạt động chính xác, tránh được các vật cản và lỗi nhận dạng.

Chương 8: Độ Chính Xác Dựa Trên Dữ Liệu với Six Sigma

Nếu **Lean** tập trung vào **tốc độ và dòng chảy** bằng cách loại bỏ lãng phí, thì **Six Sigma** tập trung vào **chất lượng và độ chính xác** bằng cách giảm thiểu sự biến thiên (variation) trong quy trình. Trong một môi trường sản xuất phức tạp và tự động hóa cao, việc kiểm soát sự biến thiên để đạt được chất lượng đồng nhất là một yêu cầu sống còn. Nhà máy thông minh, với khả năng thu thập và phân tích dữ liệu vô song, chính là môi trường lý tưởng để triển khai Six Sigma.

8.1. Nguyên tắc cốt lõi của Six Sigma

Six Sigma là một phương pháp quản lý chất lượng dựa trên dữ liệu, có hệ thống, nhằm mục tiêu đạt được sự hoàn hảo trong quy trình. Tiền đề cơ bản của nó là sự biến thiên trong quy trình sẽ dẫn đến sai lỗi, và sai lỗi sẽ dẫn đến sự không hài lòng của khách hàng.

- Mục tiêu:** Mục tiêu cuối cùng của Six Sigma là đạt đến một mức chất lượng mà ở đó chỉ có **3.4 lỗi trên một triệu cơ hội** (DPMO - Defects Per Million Opportunities). Tỷ lệ này tương đương với mức độ hoàn hảo là 99.99966%.
- Tập trung vào dữ liệu:** Mọi quyết định trong Six Sigma đều phải dựa trên phân tích thống kê và dữ liệu thực tế, thay vì dựa trên kinh nghiệm hay cảm tính.

8.2. Chu trình cải tiến DMAIC

DMAIC là phương pháp cốt lõi, có cấu trúc của Six Sigma được sử dụng để giải quyết và cải thiện các quy trình hiện có. Nó bao gồm 5 giai đoạn:

Bảng 3: Chi tiết chu trình cải tiến DMAIC trong Six Sigma

Giai đoạn	Mục tiêu	Hoạt động chính	Công cụ thường dùng	Ứng dụng trong Nhà máy thông minh
D - Define (Xác định)	Xác định rõ vấn đề, mục tiêu dự án, và các yêu cầu của khách hàng (CTQ - Critical to Quality).	Xây dựng điều lệ dự án (Project Charter), xác định các bên liên quan, lập sơ đồ quy trình cấp cao (SIPOC).	Project Charter, Sơ đồ SIPOC, Voice of the Customer (VOC).	Tự động thu thập phản hồi khách hàng từ nhiều kênh số. Sử dụng dữ liệu vận hành để xác định các vấn đề ưu tiên có tác động lớn nhất.
M - Measure (Đo lường)	Thu thập dữ liệu để định lượng hiệu suất hiện tại của quy trình và xác định mức độ của vấn đề.	Xác định các chỉ số cần đo, xây dựng kế hoạch thu thập dữ liệu, đo lường năng lực quy trình hiện tại (process capability).	Kế hoạch thu thập dữ liệu, Biểu đồ kiểm soát (Control Chart), Phân tích hệ thống đo lường (MSA).	Tự động hóa hoàn toàn: Sử dụng cảm biến IIoT để thu thập dữ liệu chính xác, liên tục và theo thời gian thực, loại bỏ sai sót và chi phí của việc thu thập thủ công.
A - Analyze (Phân tích)	Phân tích dữ liệu đã thu thập để xác định nguyên nhân gốc rễ của vấn đề và sự biến thiên.	Sử dụng các công cụ thống kê để kiểm định giả thuyết, xác định các yếu tố đầu vào (X's) có ảnh hưởng lớn nhất đến đầu ra (Y).	Biểu đồ nhân quả (Ishikawa), 5 Whys, Phân tích phương sai (ANOVA), Phân tích hồi quy.	Phân tích nâng cao: Sử dụng các thuật toán AI/ML để phân tích các bộ dữ liệu lớn và phức tạp, tìm ra các mối tương quan ẩn mà các phương pháp thống kê truyền thống có thể bỏ sót.
I - Improve (Cải tiến)	Phát triển, thử nghiệm và triển khai các giải pháp để loại bỏ nguyên nhân gốc rễ và cải thiện quy trình.	Brainstorm các giải pháp, sử dụng Thiết kế Thử nghiệm (DOE) để tìm ra các thiết lập tối ưu, triển khai thí điểm (pilot) giải pháp.	Thiết kế Thử nghiệm (DOE), Kaizen, Poka-Yoke (Chống lỗi sai).	Mô phỏng và Tối ưu hóa: Sử dụng Digital Twin để mô phỏng và kiểm tra hiệu quả của các giải pháp cải tiến trong môi trường ảo trước khi triển khai thực tế, giảm thiểu rủi ro và chi phí.
C - Control	Thiết lập các cơ chế	Xây dựng kế	Kế hoạch kiểm	Giám sát tự động: Triển

Giai đoạn	Mục tiêu	Hoạt động chính	Công cụ thường dùng	Ứng dụng trong Nhà máy thông minh
(Kiểm soát)	giám sát để đảm bảo các cải tiến được duy trì bền vững và quy trình không quay trở lại trạng thái cũ.	hoạch kiểm soát, chuẩn hóa quy trình mới, triển khai các biểu đồ kiểm soát quy trình thống kê (SPC).	soát (Control Plan), Biểu đồ SPC, Chuẩn hóa quy trình.	khai các biểu đồ SPC tự động. Hệ thống sẽ ngay lập tức cảnh báo khi quy trình có dấu hiệu lệch khỏi chuẩn, cho phép can thiệp kịp thời.

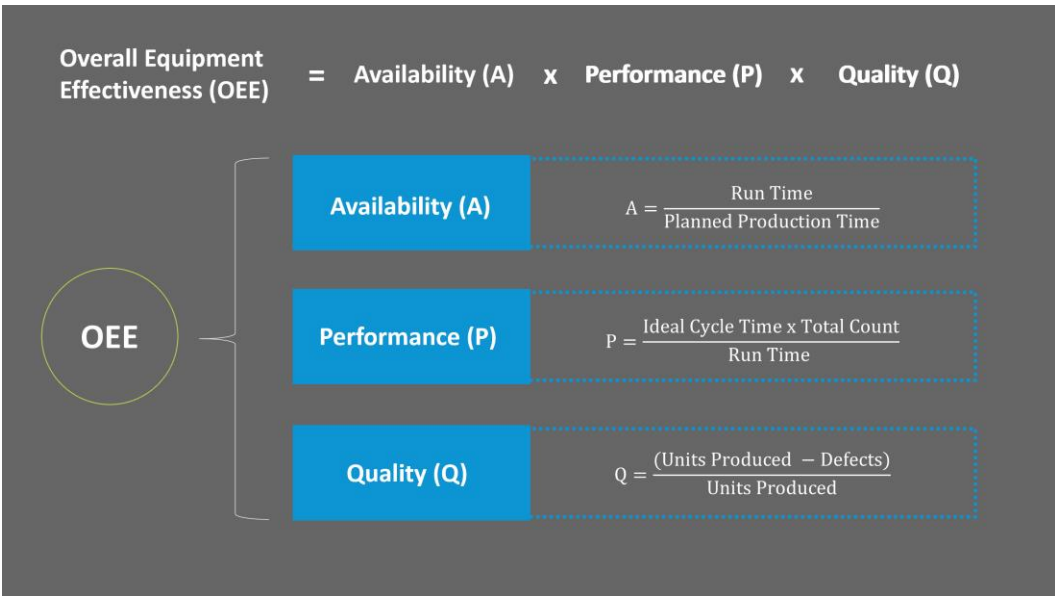
8.3. Lean Six Sigma

Lean Six Sigma là sự kết hợp sức mạnh của cả hai phương pháp: Lean tập trung vào việc tăng tốc độ quy trình bằng cách loại bỏ lãng phí, trong khi Six Sigma tập trung vào việc cải thiện chất lượng bằng cách giảm sự biến thiên. Sự kết hợp này tạo ra một phương pháp cải tiến toàn diện, giúp doanh nghiệp đạt được cả hiệu quả và chất lượng ở mức cao nhất.

Một trong những thách thức lớn nhất và tốn kém nhất của các dự án Six Sigma truyền thống chính là giai đoạn "Measure" (Đo lường). Việc thu thập dữ liệu một cách thủ công không chỉ tốn thời gian, công sức mà còn tiềm ẩn nhiều sai sót, ảnh hưởng đến tính chính xác của toàn bộ quá trình phân tích. Nhà máy thông minh đã giải quyết triệt để vấn đề này. Với hệ thống cảm biến IIoT và cơ sở hạ tầng kết nối, việc thu thập dữ liệu chính xác, đầy đủ và liên tục được thực hiện một cách tự động. Điều này không chỉ làm giảm đáng kể rào cản khi bắt đầu một dự án Six Sigma mà còn nâng cao độ tin cậy của kết quả, giúp các doanh nghiệp đạt được các mục tiêu chất lượng một cách nhanh chóng và bền vững hơn.

Chương 9: OEE - Thước Đo Vàng Cho Hiệu Suất Thiết Bị Toàn Diện

Trong khi Lean và Six Sigma cung cấp các triết lý và phương pháp cải tiến quy trình, thì Hiệu quả Thiết bị Toàn thể (OEE - Overall Equipment Effectiveness) là một chỉ số cụ thể, một "thước đo sức khỏe" quan trọng, được công nhận rộng rãi như một tiêu chuẩn vàng để đánh giá và định lượng hiệu quả hoạt động của máy móc và dây chuyền sản xuất. Trong nhà máy thông minh, OEE được nâng tầm từ một chỉ số báo cáo định kỳ thành một công cụ chẩn đoán và tối ưu hóa theo thời gian thực.



9.1. Định nghĩa và Công thức tính OEE

OEE đo lường tỷ lệ phần trăm thời gian sản xuất thực sự hiệu quả. Một chỉ số OEE 100% có nghĩa là thiết bị đó chỉ sản xuất ra các sản phẩm tốt (chất lượng 100%), với tốc độ nhanh nhất có thể (hiệu suất 100%), và không có thời gian dừng máy (mức độ sẵn sàng 100%).

Công thức tính OEE là tích của ba yếu tố thành phần : $OEE = Availability (A) \times Performance (P) \times Quality (Q)$

- **Availability (A) - Mức độ Sẵn sàng:** Yếu tố này đo lường tổn thất do thời gian dừng máy, bao gồm cả dừng máy có kế hoạch (ví dụ: chuyển đổi sản phẩm) và không có kế hoạch (ví dụ: hỏng hóc, thiếu nguyên vật liệu). $A = \frac{\text{Thời gian chạy thực tế}}{\text{Thời gian sản xuất dự kiến}}$
- **Performance (P) - Hiệu suất:** Yếu tố này đo lường tổn thất do máy chạy chậm hơn tốc độ thiết kế hoặc tốc độ chu kỳ lý tưởng. Các nguyên nhân có thể bao gồm máy móc hao mòn, nguyên vật liệu kém chất lượng, hoặc vận hành không đúng cách. $P = \frac{(\text{Tổng số sản phẩm} \times \text{Thời gian chu kỳ lý tưởng})}{\text{Thời gian chạy thực tế}}$
- **Quality (Q) - Chất lượng:** Yếu tố này đo lường tổn thất do sản xuất ra các sản phẩm không đạt yêu cầu chất lượng, bao gồm cả sản phẩm phế liệu và sản phẩm cần làm lại. $Q = \frac{\text{Số lượng sản phẩm đạt chất lượng}}{\text{Tổng số sản phẩm được sản xuất}}$

9.2. Tiêu chuẩn (Benchmark) và Ý nghĩa

Chỉ số OEE không chỉ là một con số, mà còn là một công cụ phân loại giúp doanh nghiệp hiểu rõ vị thế của mình và xác định các cơ hội cải tiến.

- **OEE 100% - Sản xuất hoàn hảo:** Đây là mức lý tưởng tuyệt đối, gần như không thể đạt được trong thực tế nhưng đóng vai trò là "đích đến" để các doanh nghiệp phấn đấu.
- **OEE 85% - Đẳng cấp thế giới (World Class):** Đây là mục tiêu mà các nhà sản xuất hàng đầu thế giới hướng tới. Đạt được mức này cho thấy doanh nghiệp đã kiểm soát quy trình rất tốt, với thời gian dừng máy rất ít, tốc độ đạt chuẩn và tỷ lệ lỗi cực thấp. Các doanh nghiệp này thường đã triển khai mạnh mẽ các phương pháp quản lý như Lean, TPM (Bảo trì Năng suất Toàn diện) và tự động hóa.
- **OEE 60% - Mức phổ biến:** Đây là mức mà nhiều doanh nghiệp sản xuất hiện nay đang đạt được. Nó cho thấy quy trình đã có sự kiểm soát nhất định nhưng vẫn còn rất nhiều tiềm năng để cải thiện, đặc biệt là trong việc giảm thời gian dừng máy và nâng cao tốc độ sản xuất.
- **OEE 40% - Mức khởi đầu:** Mức này cho thấy quy trình sản xuất còn nhiều lãng phí, thời gian dừng máy dài và chất lượng không ổn định. Tuy nhiên, đây cũng là mức có tiềm năng cải thiện lớn và nhanh chóng nhất thông qua các biện pháp cơ bản.

9.3. Chiến lược cải thiện OEE trong nhà máy thông minh

Nhà máy thông minh cung cấp những công cụ đột phá để theo dõi và cải thiện OEE một cách liên tục và tự động.

- **Tính toán OEE tự động và thời gian thực:** Thay vì ghi chép thủ công và tính toán vào cuối ca, hệ thống IIoT và MES có thể tự động thu thập dữ liệu từ máy móc và tính toán OEE theo thời gian thực. Bảng điều khiển (dashboard) trực quan sẽ hiển thị chỉ số OEE của từng máy, từng dây chuyền, giúp người quản lý nắm bắt tình hình ngay lập tức.

- **Cải thiện Availability:** Sử dụng các thuật toán AI và học máy để phân tích dữ liệu từ cảm biến (độ rung, nhiệt độ), hệ thống có thể triển khai bảo trì dự đoán, cảnh báo sớm các nguy cơ hỏng hóc để tăng mức độ sẵn sàng của thiết bị.
- **Cải thiện Performance:** Phân tích dữ liệu lớn có thể giúp tìm ra các nguyên nhân gốc rễ tiềm ẩn gây ra việc máy chạy chậm, ví dụ như mối tương quan giữa một loại nguyên vật liệu cụ thể với việc giảm tốc độ sản xuất.
- **Cải thiện Quality:** Hệ thống thị giác máy (machine vision) tích hợp AI có thể tự động kiểm tra 100% sản phẩm trên dây chuyền với tốc độ cao, phát hiện các lỗi nhỏ nhất mà mắt người có thể bỏ qua, từ đó cải thiện đáng kể tỷ lệ chất lượng.

Trong nhà máy truyền thống, OEE là một chỉ số báo cáo mang tính "nhìn lại". Người quản lý xem xét con số OEE của ngày hôm qua để tìm hiểu chuyện gì đã xảy ra. Trong nhà máy thông minh, OEE trở thành một hệ thống chẩn đoán sức khỏe theo thời gian thực. Khi chỉ số OEE (hoặc một trong các thành phần A, P, Q) đột ngột giảm, hệ thống có thể ngay lập tức đối chiếu với hàng loạt dữ liệu khác từ các cảm biến và đưa ra chẩn đoán ban đầu, ví dụ: "Chỉ số Performance giảm 10% trên máy X, đồng thời ghi nhận nhiệt độ động cơ Y tăng cao bất thường". Điều này cho phép đội ngũ kỹ thuật can thiệp gần như tức thời, chuyển từ hành động khắc phục (reactive) sang hành động chủ động (proactive), giảm thiểu thiệt hại và tối đa hóa hiệu suất.

Phần V: Triển Khai Thực Tiễn và Tầm Nhìn Tương Lai

Việc nắm vững lý thuyết, công nghệ và các phương pháp quản trị là điều kiện cần, nhưng để chuyển đổi thành công, doanh nghiệp phải hiểu rõ bối cảnh thực tiễn tại Việt Nam, đồng thời chuẩn bị cho những tác động sâu rộng đến chuỗi cung ứng và nguồn nhân lực. Hơn nữa, việc đón đầu các xu hướng tương lai sẽ giúp doanh nghiệp không chỉ thích ứng mà còn dẫn đầu trong cuộc cách mạng sản xuất.

Chương 10: Bối Cảnh tại Việt Nam: Cơ Hội và Thách Thức

Trong những năm gần đây, Việt Nam đã vươn lên trở thành một "công xưởng lớn" của thế giới, thu hút nhiều tập đoàn đa quốc gia và hình thành một môi trường kinh doanh năng động. Tuy nhiên, nền công nghiệp trong nước vẫn còn nhiều hạn chế, phụ thuộc tương đối nhiều vào các công ty nước ngoài và công nghệ nhập khẩu. Trong bối cảnh đó, sản xuất thông minh được xem là "động lực" cốt lõi để thúc đẩy sự phát triển, nâng cao năng suất và năng lực cạnh tranh của nền sản xuất Việt Nam.

10.1. Thực trạng và Tiềm năng

Hiện nay, khái niệm sản xuất thông minh và Công nghiệp 4.0 vẫn còn khá mới mẻ đối với nhiều doanh nghiệp Việt Nam, đòi hỏi phải có những cơ chế, chính sách hỗ trợ và khuyến khích từ chính phủ để thúc đẩy quá trình này. Mặc dù vậy, tiềm năng là rất lớn. Việc nắm bắt cơ hội để phát triển và làm chủ các quy trình quản lý sản xuất thông minh sẽ giúp các doanh nghiệp Việt Nam tăng đáng kể năng suất lao động và chất lượng sản phẩm, từ đó tham gia sâu hơn vào chuỗi cung ứng toàn cầu.

10.2. Các rào cản chính

Quá trình chuyển đổi sang nhà máy thông minh tại Việt Nam đang đối mặt với nhiều thách thức đáng kể, đặc biệt là đối với các doanh nghiệp vừa và nhỏ (SME) :

- **Chi phí đầu tư ban đầu lớn:** Đây là rào cản lớn nhất. Việc đầu tư vào robot, hệ thống tự động hóa, phần mềm và hạ tầng công nghệ đòi hỏi nguồn vốn đáng kể.

- **Thiếu hụt nguồn nhân lực chất lượng cao:** Việt Nam đang thiếu hụt đội ngũ kỹ sư, chuyên gia có trình độ chuyên môn cao về AI, IoT, robot học, và phân tích dữ liệu để có thể thiết kế, triển khai và vận hành các hệ thống phức tạp.
- **Hạ tầng công nghệ thông tin chưa đồng bộ:** Việc triển khai nhà máy thông minh đòi hỏi một hạ tầng mạng internet tốc độ cao, ổn định và an toàn, điều này vẫn còn là một thách thức ở nhiều khu vực.
- **Rủi ro về an ninh mạng:** Khi các hệ thống sản xuất được kết nối với Internet, nguy cơ bị tấn công mạng và rò rỉ dữ liệu nhạy cảm tăng lên đáng kể.
- **Văn hóa doanh nghiệp và sự thích ứng của lực lượng lao động:** Việc thay đổi từ tư duy sản xuất truyền thống sang tư duy dựa trên dữ liệu và công nghệ đòi hỏi một sự thay đổi lớn về văn hóa tổ chức và sự sẵn sàng học hỏi, thích ứng của người lao động.

10.3. Các ví dụ tiên phong

Bất chấp những thách thức, đã có những doanh nghiệp tiên phong tại Việt Nam mạnh dạn đầu tư và gặt hái thành công ban đầu, đóng vai trò là những hình mẫu truyền cảm hứng.

- **Vinfast:** Hãng sản xuất ô tô của Việt Nam đã tạo nên một kỳ tích khi hợp tác với Siemens để xây dựng một tổ hợp nhà máy sản xuất ô tô kỹ thuật số hoàn toàn tại Hải Phòng chỉ trong vòng 21 tháng, nhanh hơn 50% so với các dự án tương tự trên thế giới. Vinfast đã triển khai toàn diện danh mục giải pháp Siemens Xcelerator, kết hợp Phần mềm Quản lý Vòng đời Sản phẩm (PLM) và Hệ thống Quản lý Vận hành Sản xuất (MOM). Cốt lõi của nhà máy là công nghệ **Digital Twin**, cho phép Vinfast tạo ra các bản sao kỹ thuật số của cả sản phẩm và quy trình sản xuất. Điều này giúp họ mô phỏng, thử nghiệm và tối ưu hóa mọi thứ trong môi trường ảo trước khi đưa vào sản xuất thực tế, giúp tăng tốc độ phát triển, đảm bảo chất lượng theo tiêu chuẩn toàn cầu và tạo ra một nhà máy có khả năng mở rộng linh hoạt trong tương lai.
- **Samsung Việt Nam:** Không chỉ là một nhà đầu tư lớn với các nhà máy hiện đại, Samsung còn đóng vai trò tích cực trong việc thúc đẩy hệ sinh thái sản xuất thông minh tại Việt Nam. Nhận thấy tầm quan trọng của việc nâng cao năng lực cho các doanh nghiệp phụ trợ trong nước, Samsung đã hợp tác với Bộ Công Thương triển khai dự án "Hỗ trợ phát triển nhà máy thông minh" từ năm 2022. Dự án này đặt mục tiêu đào tạo 100 chuyên gia Việt Nam và cung cấp tư vấn hỗ trợ cho 50 doanh nghiệp để áp dụng các mô hình nhà máy thông minh. Thông qua chương trình, các chuyên gia từ Samsung Hàn Quốc trực tiếp hướng dẫn tại nhà máy của các doanh nghiệp Việt Nam, giúp họ số hóa dữ liệu, cải thiện hệ thống quản lý và nâng cao năng lực cạnh tranh để có thể tham gia vào chuỗi cung ứng toàn cầu.

Những ví dụ này cho thấy một mô hình phát triển hiệu quả cho Việt Nam: mô hình "Đại bàng dẫn dắt". Các doanh nghiệp lớn, cả trong nước như Vinfast và FDI như Samsung, không chỉ là những điển hình thành công mà còn đóng vai trò là hạt nhân, tạo ra nhu cầu, lan tỏa công nghệ, kiến thức và kinh nghiệm cho hàng loạt các doanh nghiệp phụ trợ trong nước. Sáng kiến của Samsung là một minh chứng rõ ràng về cách một tập đoàn đa quốc gia có thể góp phần nâng cao năng lực của cả một hệ sinh thái công nghiệp địa phương, tạo ra lợi ích chung cho cả hai bên.

Chương 11: Tác Động Đến Chuỗi Cung Ứng và Lực Lượng Lao Động

Sự trỗi dậy của nhà máy thông minh tạo ra những tác động sâu rộng, vượt ra ngoài phạm vi của nhà xưởng, định hình lại toàn bộ chuỗi cung ứng và đặt ra những yêu cầu mới đối với lực lượng lao động.

11.1. Chuỗi cung ứng 4.0

Nhà máy thông minh là trung tâm của một chuỗi cung ứng thể hệ mới – Chuỗi cung ứng 4.0, được đặc trưng bởi tính kết nối, thông minh, linh hoạt và khả năng dự báo.

- **Linh hoạt và Đáp ứng nhanh:** Công nghệ sản xuất thông minh giúp loại bỏ các quy trình phản ứng chậm chạp, chuyển đổi việc quản lý chuỗi cung ứng sang một chế độ linh hoạt và đáp ứng nhanh hơn. Dữ liệu thời gian thực từ sản xuất và bán hàng cho phép toàn bộ chuỗi cung ứng nhanh chóng thích ứng với những biến động của nhu cầu thị trường.
- **Tối ưu hóa Tồn kho và Dự báo:** Bằng cách kết nối dữ liệu sản xuất với dữ liệu từ nhà cung cấp và khách hàng, doanh nghiệp có thể thực hiện quản lý hàng tồn kho một cách chính xác (just-in-time), dự báo nhu cầu chính xác hơn và rút ngắn đáng kể thời gian đưa sản phẩm ra thị trường. Điều này giúp giảm lãng phí do tồn kho dư thừa và cải thiện dòng tiền.
- **Minh bạch và Khả năng truy xuất:** Hệ thống dữ liệu được kết nối trên toàn chuỗi cung ứng mang lại sự minh bạch cao độ. Doanh nghiệp có thể theo dõi một sản phẩm từ nguồn gốc nguyên vật liệu cho đến khi đến tay người tiêu dùng cuối cùng, điều này rất quan trọng đối với việc quản lý chất lượng, thu hồi sản phẩm và đáp ứng các yêu cầu về tính bền vững.

11.2. Sự chuyển dịch vai trò của người lao động

Tự động hóa và trí tuệ nhân tạo trong nhà máy thông minh không hoàn toàn loại bỏ con người, mà thay vào đó, nó tạo ra một cuộc chuyển dịch sâu sắc về vai trò và yêu cầu kỹ năng của lực lượng lao động.

- **Giảm thiểu công việc thủ công, tăng cường vai trò trí tuệ:** Robot và máy móc sẽ đảm nhận các công việc lặp đi lặp lại, nặng nhọc hoặc nguy hiểm, giúp người lao động tránh khỏi các rủi ro về sức khỏe và an toàn. Vai trò của con người sẽ chuyển từ lao động chân tay sang các công việc đòi hỏi kỹ năng cao hơn như giám sát hệ thống, phân tích dữ liệu, giải quyết các vấn đề phức tạp và ra quyết định chiến lược.
- **Tạo ra các cơ hội việc làm mới:** Sự phát triển của nhà máy thông minh tạo ra nhu cầu lớn đối với các vị trí công việc mới như chuyên gia về robot học, kỹ sư dữ liệu, chuyên gia AI, chuyên gia an ninh mạng OT, và kỹ sư bảo trì dự đoán.
- **Yêu cầu cấp thiết về đào tạo lại và nâng cao kỹ năng:** Sự thay đổi này tạo ra một "khoảng trống kỹ năng" (skills gap) lớn. Lực lượng lao động hiện tại cần được đào tạo lại (reskilling) và nâng cao kỹ năng (upskilling) để có thể đáp ứng yêu cầu của các công việc mới. Các kỹ năng mềm như tư duy phân biện, giải quyết vấn đề phức tạp, và khả năng phân tích sẽ trở nên quan trọng hơn bao giờ hết.

Đối với các nhà hoạch định chính sách và lãnh đạo doanh nghiệp, "khoảng trống kỹ năng" có thể là một thách thức chiến lược lớn hơn cả vốn đầu tư. Một doanh nghiệp có thể huy động vốn để mua công nghệ, nhưng không thể "mua" được một đội ngũ nhân sự có năng lực để vận hành công nghệ đó một cách hiệu quả ngay lập tức. Sự thiếu hụt nhân lực chất lượng cao sẽ làm chậm quá trình chuyển đổi và làm giảm hiệu quả của các khoản đầu tư công nghệ. Do đó, bất kỳ chiến lược chuyển đổi sang nhà máy thông minh nào, dù ở cấp độ quốc gia hay doanh nghiệp, đều phải bắt đầu bằng một chiến lược phát triển con người toàn diện và dài hạn.

Chương 12: Xu Hướng Tương Lai của Ngành Sản Xuất (sau 2025)

Ngành sản xuất thông minh đang tiếp tục phát triển với tốc độ chóng mặt. Nhìn về tương lai sau năm 2025, một số xu hướng chủ đạo sẽ định hình thể hệ nhà máy tiếp theo, hướng tới một mô hình không chỉ thông minh mà còn tự chủ và bền vững.



12.1. Sản xuất bền vững và Kinh tế tuần hoàn

Áp lực từ người tiêu dùng, các nhà đầu tư và quy định của chính phủ về các vấn đề môi trường, xã hội và quản trị (ESG) ngày càng tăng. Nhà máy thông minh đóng vai trò trung tâm trong việc giải quyết các thách thức này.

- Tối ưu hóa tài nguyên:** Bằng cách sử dụng dữ liệu chi tiết từ các cảm biến, nhà máy thông minh có thể tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng, nước và nguyên vật liệu một cách chính xác, giảm thiểu chất thải và lượng khí thải carbon.
- Thúc đẩy Kinh tế tuần hoàn:** Khả năng theo dõi và truy xuất nguồn gốc sản phẩm trong suốt vòng đời của nó cho phép thực hiện các mô hình kinh tế tuần hoàn hiệu quả hơn, như thiết kế sản phẩm để dễ dàng tái chế, thu hồi và tái sử dụng các thành phần.

12.2. Cá nhân hóa hàng loạt (Mass Customization)

Người tiêu dùng ngày nay mong muốn những sản phẩm độc đáo, thể hiện cá tính của riêng họ. Nhà máy thông minh, với sự linh hoạt của các dây chuyền sản xuất robot và hệ thống điều khiển bằng phần mềm, sẽ hiện thực hóa giấc mơ "*cá nhân hóa hàng loạt*". Các doanh nghiệp có thể sản xuất các sản phẩm được tùy chỉnh theo yêu cầu của từng khách hàng với chi phí và tốc độ gần như tương đương với sản xuất hàng loạt truyền thống.

12.3. Trí tuệ nhân tạo tạo sinh (Generative AI)

Đây là một trong những xu hướng công nghệ đột phá nhất, hứa hẹn sẽ thay đổi cuộc chơi trong ngành sản xuất. Nếu AI truyền thống giỏi trong việc phân tích dữ liệu hiện có, thì Generative AI có khả năng *tạo ra* những nội dung hoàn toàn mới. Trong sản xuất, các ứng dụng tiềm năng bao gồm:

- Thiết kế sản phẩm tự động:** AI có thể tự tạo ra hàng nghìn phương án thiết kế sản phẩm dựa trên một tập hợp các yêu cầu đầu vào (ví dụ: vật liệu, chi phí, độ bền), giúp các kỹ sư nhanh chóng tìm ra thiết kế tối ưu.
- Tối ưu hóa bố trí nhà xưởng:** Generative AI có thể đề xuất các cách bố trí dây chuyền sản xuất và nhà xưởng hiệu quả nhất để giảm thiểu quãng đường di chuyển và tối đa hóa thông lượng.
- Tự động lập trình:** AI có thể tự động viết mã lệnh cho robot hoặc PLC để thực hiện các tác vụ

mới, giảm đáng kể thời gian và công sức lập trình.

12.4. Trí tuệ nhân tạo tác tử (Agentic AI)

Nếu Generative AI giúp “tạo ra” thiết kế, ý tưởng và mã lệnh mới, thì Agentic AI tiến thêm một bước: nó có khả năng tự hành động, phối hợp và ra quyết định trong môi trường phức tạp. Đặc trưng của Agentic AI:

- **Tự chủ (Autonomy):** có thể theo dõi mục tiêu, tự lên kế hoạch, và tự hành động mà không cần giám sát liên tục.
- **Khả năng phối hợp (Collaboration):** nhiều tác tử AI có thể cộng tác như một “đội kỹ sư ảo”.
- **Thích ứng (Adaptability):** học từ phản hồi của môi trường để điều chỉnh chiến lược hành động.

Các xu hướng này đang hội tụ về một tầm nhìn chung cho tương lai của ngành sản xuất: một nhà máy không chỉ **thông minh** (có khả năng phân tích và tối ưu hóa) mà còn **tự chủ** (có khả năng tự thiết kế, tự cấu hình lại và tự vận hành) và hoạt động trong một vòng lặp **bền vững** với môi trường. Đây có thể là bước chuyển tiếp từ Công nghiệp 4.0 sang một giai đoạn mới, thường được gọi là Công nghiệp 5.0, nơi sự hợp tác hài hòa giữa con người và máy móc thông minh được đặt lên hàng đầu, không chỉ để tối đa hóa hiệu quả kinh tế mà còn để giải quyết các thách thức lớn về xã hội và môi trường.

Kết Luận và Khuyến Nghị Chiến Lược

Cuộc cách mạng sản xuất thông minh không còn là một viễn cảnh tương lai mà đã là một thực tại tất yếu, định hình lại bản đồ cạnh tranh toàn cầu. Đối với các doanh nghiệp sản xuất tại Việt Nam, đây vừa là một thách thức lớn, vừa là một cơ hội lịch sử để thực hiện một bước nhảy vọt về năng lực và vị thế.

Báo cáo này đã trình bày một tầm nhìn toàn diện, đi từ những khái niệm nền tảng của Công nghiệp 4.0, phân tích các công nghệ trụ cột, vạch ra một lộ trình chuyển đổi chi tiết, khám phá đỉnh cao tự động hóa với mô hình Dark Factory, và quan trọng nhất là tích hợp các hệ thống quản trị hiệu suất kinh điển như Lean, Six Sigma và OEE vào bối cảnh thời đại số.

Từ những phân tích chuyên sâu, có thể rút ra một số kết luận và khuyến nghị chiến lược sau cho các nhà lãnh đạo doanh nghiệp tại Việt Nam:

1. **Tư duy lại chiến lược, không chỉ đầu tư công nghệ:** Chuyển đổi sang sản xuất thông minh là một cuộc cách mạng về chiến lược và quy trình, không đơn thuần là một dự án nâng cấp công nghệ. Doanh nghiệp cần bắt đầu bằng việc xác định rõ mục tiêu kinh doanh, sau đó mới lựa chọn công nghệ phù hợp để hiện thực hóa mục tiêu đó. Việc nhầm lẫn giữa công cụ và chiến lược là con đường ngắn nhất dẫn đến thất bại.
2. **Bắt đầu nhỏ, chứng minh giá trị, và nhân rộng:** Thay vì một kế hoạch đầu tư "khủng" và rủi ro, hãy bắt đầu với các dự án thí điểm (pilot) có quy mô nhỏ, tập trung giải quyết một vấn đề cụ thể và có khả năng mang lại lợi tức đầu tư (ROI) rõ ràng. Thành công của các dự án này sẽ là bằng chứng thuyết phục nhất để xây dựng niềm tin và tạo đà cho các bước chuyển đổi lớn hơn.
3. **Đặt con người vào trung tâm của quá trình chuyển đổi:** "Khoảng trống kỹ năng" là thách thức chiến lược lớn nhất. Đầu tư vào công nghệ phải đi đôi, thậm chí đi sau, việc đầu tư vào con người. Xây dựng một lộ trình đào tạo lại (reskilling) và nâng cao kỹ năng (upskilling) cho đội ngũ hiện tại, đồng thời hợp tác với các cơ sở giáo dục để xây dựng nguồn nhân lực tương lai là yếu tố sống còn.
4. **Tích hợp IT và OT là ưu tiên hàng đầu:** Phá vỡ các "ốc đảo" thông tin bằng cách hợp nhất hệ thống Công nghệ Thông tin (IT) và Công nghệ Vận hành (OT) là nền tảng cốt lõi của nhà máy thông minh.

minh. Hãy xây dựng các nhóm làm việc liên chức năng và một kiến trúc dữ liệu mở để đảm bảo dòng chảy thông tin thông suốt từ sản xuất đến ban lãnh đạo.

5. **Tận dụng sức mạnh của các phương pháp quản trị kinh điển:** Đừng loại bỏ các triết lý Lean và Six Sigma. Thay vào đó, hãy "số hóa" chúng. Sử dụng sức mạnh của IIoT, AI và Big Data để khuếch đại hiệu quả của việc loại bỏ lãng phí và giảm thiểu biến thiên, đưa các phương pháp này lên một tầm cao mới. OEE phải trở thành một công cụ chẩn đoán thời gian thực, không chỉ là một chỉ số báo cáo.

Hành trình chuyển đổi sang sản xuất thông minh là một chặng đường dài và đầy thách thức, nhưng phần thưởng dành cho những người tiên phong sẽ vô cùng xứng đáng. Đó là khả năng cạnh tranh bền vững, sự linh hoạt để đối phó với mọi biến động của thị trường, và cơ hội để định hình tương lai của ngành sản xuất Việt Nam trên trường quốc tế.

Nguồn trích dẫn

1. Công nghiệp 4.0 là gì? | Industrial Internet of Things | Epicor Vietnam, <https://www.epicor.com/vi-vn/resources/articles/what-is-industry-4-0/>
2. Sản xuất thông minh gắn chặt với “công nghiệp 4.0”, <https://tapchixaydung.vn/san-xuat-thong-minh-gan-chat-voi-cong-nghiep-40-20201224000013016.html>
3. Hệ thống sản xuất thông minh trong thời đại công nghiệp 4.0 - Baodongkhoi.vn, <https://baodongkhoi.vn/he-thong-san-xuat-thong-minh-trong-thoi-dai-cong-nghiep-4-0-02062023-a115425.html>
4. Sản xuất thông minh là gì? 7 Nguyên tắc trong Smart Manufacturing - ITG Technology, <https://itgtechnology.vn/7-nguyen-tac-trong-san-xuat-thong-minh/>
5. Sản xuất thông minh: Xu hướng tăng năng suất chất lượng trong kỷ nguyên 4.0, <https://intechvietnam.com/tin-tuc/tin-cong-nghe/san-xuat-thong-minh-xu-huong-tang-nang-suat-chat-luong-trong-ky-nguyen-4-0-797/>
6. Mô hình nhà máy thông minh là gì? Cách triển khai hiệu quả? - A.I Tech, <https://aitech.com.vn/nha-may-thong-minh/>
7. Nhà máy thông minh - Bước tiến vượt bậc cho ngành công nghiệp sản xuất, <https://cmcconsulting.vn/nha-may-thong-minh-buoc-tien-vuot-bac-cho-nganh-cong-nghiep-san-xuat>
8. 5 ĐẶC TRƯNG CHÍNH TẠO NÊN SỰ KHÁC BIỆT CỦA NHÀ MÁY THÔNG MINH, <https://auto-tech.vn/vi/5-dac-trung-chinh-tao-nen-su-khac-biet-cua-nha-may-thong-minh/>
9. Công nghệ 5G - Nhân tố thúc đẩy sự chuyển đổi của nhà máy thông minh, <https://robotcongnghiep.com.vn/cong-nghe-5g-nhan-to-thuc-day-su-chuyen-doi-cua-nha-may-thong-minh>
10. Dark Factory là gì? Giải mã mô hình Nhà máy “tối” trong kỷ nguyên 4.0 - seeact.vn, <https://seeact.vn/dark-factory-la-gi/>
11. Smart Factory: Xây Dựng Nhà Máy Thông Minh Từ A-Z cho Doanh ..., <https://tmctech.vn/blog/smart-factory-xay-dung-nha-may-thong-minh-tu-a-z-cho-doanh-nghiep-sme-blog-06>
12. Nhà máy thông minh - Xu hướng chuyển đổi của các doanh nghiệp sản xuất - FPT Digital,

<https://digital.fpt.com/dxarticles/nha-may-thong-minh.html>

13. Nhà máy thông minh và chiến lược chuyển mình của doanh nghiệp - Intech Group, <https://intech-group.vn/nha-may-thong-minh-va-chien-luoc-chuyen-minh-cua-doanh-nghiep-bv192.htm>

14. IoT trong Sản Xuất: Cách Nhà Máy SME Xây Dựng Hệ Thống Giám Sát Thông Minh, <https://tmctech.vn/blog/iot-trong-san-xuat-cach-nha-may-sme-xay-dung-he-thong-giam-sat-thong-minh-blog-02>

15. Nhà máy tối (Dark Factory) là gì? Dark Factory khác gì với nhà máy truyền thống?, <https://temas.vn/blog/nha-may-toi-la-gi-co-gi-khac-voi-nha-may-truyen-thong>

16. OnTrak Smart Factory – Roadmap - ONTRAK REALTIME LOCATION SYSTEM, <http://ontrak.vn/ontrak-smart-factory-roadmap/>

17. Nhà máy tối (Dark Factory) là gì? Tác động với doanh nghiệp và ..., <https://ocd.vn/nha-may-toi-dark-factory-la-gi-tac-dong-voi-doanh-nghiep-va-nguoi-lao-dong/>

18. THE IMPULSE - Siemens, <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/topic-areas/digital-enterprise/dex/dex-locations/the-impulse-amberg.html>

19. Decarbonize Amberg - Siemens Global, <https://www.siemens.com/global/en/company/stories/research-technologies/energytransition/decarbonize-amberg.html>

20. Siemens' Industry 4.0 Factory in Amberg | Download Scientific Diagram - ResearchGate, https://www.researchgate.net/figure/Siemens-Industry-40-Factory-in-Amberg_fig4_382091719

21. Future technologies are contributing to the success of the Siemens ..., <https://www.siemens.com/global/en/company/stories/industry/electronics-digitalenterprise-futuretechnologies.html>

22. Lights out (manufacturing) - Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Lights_out_\(manufacturing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Lights_out_(manufacturing))

23. What is Lights Out Manufacturing? Exploring Full Automation - Machine Metrics, <https://www.machinemetrics.com/blog/lights-out-manufacturing>

24. Lights-out manufacturing in 2025: Fully automated factories & dark factory trends, <https://standardbots.com/blog/lights-out-manufacturing>

25. Tìm hiểu mô hình Lean Six Sigma – Mô hình cải tiến năng suất chất lượng - KNA Cert, <https://knacert.com.vn/blogs/tin-tuc/tim-hieu-mo-hinh-lean-six-sigma-mo-hinh-cai-tien-nang-suat-chat-luong>

26. Lean Manufacturing là gì? Các công cụ hỗ trợ sản xuất tinh gọn - ITG Technology, <https://itgtechnology.vn/lean-manufacturing-la-gi-tong-quan-ve-mo-hinh-he-thong-san-xuat-tinh-gon/>

27. Sản xuất tinh gọn (Lean Manufacturing) là gì? 5 nguyên tắc, <https://pms.edu.vn/lean-manufacturing-la-gi/>

28. Value Stream Mapping (VSM) - SmartDraw, <https://www.smartdraw.com/value-stream-map/>

29. Value Stream Mapping – Smart Factory Glossary - MPDV, <https://www.mpdv.com/en/industry-4-0/smart-factory-glossary/value-stream-mapping>

30. VSM Value Stream Mapping I4.0+ - HiveMQ, <https://www.hivemq.com/sb-assets/f/243938/x/477925b7cb/planning-and-tracking-your-digital-transformation-with-value-stream->

[mapping.pdf](#)

31. 7 công cụ của sản xuất tinh gọn Lean Manufacturing - Q Systems, <https://qsystemsco.com/cong-cu-cua-san-xuat-tinh-gon-lean-manufacturing.html>
32. Các công cụ của sản xuất tinh gọn lean manufacturing | DOCX - SlideShare, <https://www.slideshare.net/slideshow/cc-cng-c-ca-sn-xut-tinh-gn-lean-manufacturing/54816914>
33. Chuẩn hoá quy trình và bố trí nhà xưởng: 5S, Kaizen, Lean production - TƯ VẤN DU & LAW, <https://edulaw.vn/chuan-hoa-quy-trinh-va-bo-tri-nha-xuong-5s-kaizen-lean-production>
34. Phương pháp 5S là gì trong sản xuất? - Công Ty TNHH Chứng Nhận KNA, <https://knacert.com.vn/blogs/tin-tuc/phuong-phap-5s-la-gi-trong-san-xuat>
35. Streamline with Six Sigma: Boosting Manufacturing in the Industry - Praxie, <https://praxie.com/six-sigma-in-manufacturing-industry/> 36. A Complete Step-by-Step Guide - The Council for Six Sigma Certification, <https://www.sixsigmacouncil.org/wp-content/uploads/2018/08/Six-Sigma-A-Complete-Step-by-Step-Guide.pdf>
37. Six Sigma là gì? Phương pháp quản lý chất lượng hiệu quả - Base, <https://base.vn/blog/six-sigma/>
38. Six Sigma là gì? Những điều cần biết về 6 Sigma, <https://www.pace.edu.vn/tin-kho-tri-thuc/six-sigma-la-gi>
39. All About Six Sigma PPM (Parts per Million) for Defect Reduction - SixSigma.us, <https://www.6sigma.us/process-improvement/six-sigma-ppm-defect-reduction/>
40. Six Sigma là gì? Mô hình Lean Six Sigma - Vinacontrol CE, <https://vncc.vn/six-sigma-la-gi>
41. chatluongxetnghiem.com, <https://chatluongxetnghiem.com/mo-hinh-cai-tien-6-sigma-theo-cac-buoc-dmaic/#:~:text=6%20Sigma%20ti%E1%BA%BFp%20c%E1%BA%ADn%20theo,%2C%20g%E1%B%8Di%20t%E1%BA%AFt%20l%C3%A0%20DMAIC.>
42. Phương pháp DMAIC - Đây là bước quan trọng nhất? - ITG Technology, <https://itgtechnology.vn/phuong-phap-dmaic/> 43. Phương pháp DMAIC là gì? Các bước thực hiện DMAIC hiệu quả, <https://amis.misa.vn/143143/dmaic-la-gi/>
44. Nâng cao hiệu quả cải tiến quy trình sản xuất với Lean Six Sigma - VTI Solutions, <https://vti-solutions.vn/nang-cao-hieu-qua-cai-tien-quy-trinh-san-xuat-voi-lean-six-sigma/>
45. What is Lean Six Sigma? - ASQ, <https://asq.org/quality-resources/six-sigma>
46. OEE là gì? Cách tính OEE và 7 giải pháp cải thiện chỉ số OEE, <https://vti-solutions.vn/oe-la-gi-chi-so-oe-trong-san-xuat/> 47. OEE là gì? Cách khai thác OEE nhằm tối ưu hóa hiệu suất thiết bị - Viindoo, <https://viindoo.com/vi/blog/giai-phap-viindoo-4/oe-2094>
48. OEE là gì? Cách tính OEE trong sản xuất - IRTC, <https://irtc.edu.vn/1219-oe-la-gi/tin-tuc.htm>
49. Sản xuất thông minh trong cách mạng 4.0 | Khoa học và Đời sống - YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=LeX3ffU4shk>
50. VinFast – A fully digital automotive factory - Siemens Xcelerator Global, <https://xcelerator.siemens.com/global/en/industries/automotive-manufacturing/references/vinfast.html>
51. How does VinFast manage its supply chain and manufacturing? - Aithor, <https://aithor.com/essay-examples/how-does-vinfast-manage-its-supply-chain-and-manufacturing>

52. Smart Factories – A Strategic Shift to Elevate Vietnam's Supporting Industries,
<https://www.tmasolutions.com/news/smart-factories-a-strategic-shift-to-elevate-vietnams-supporting-industries>
53. Samsung Vietnam supports smart factory development - Bộ Công Thương,
<https://moit.gov.vn/en/news/industry-and-trade/samsung-vietnam-supports-smart-factory-development.html>
54. Samsung Vietnam supports 12 businesses to develop smart factories,
<https://vietnamnews.vn/economy/1582978/samsung-vietnam-supports-12-businesses-to-develop-smart-factories.html>
55. Ministry, Samsung launch smart factory development project in northern region,
<https://en.vietnamplus.vn/ministry-samsung-launch-smart-factory-development-project-in-northern-region-post255703.vnp>
56. Sản xuất thông minh: Xu hướng tăng năng suất , chất lượng, hiệu quả hoạt động của doanh nghiệp trong bối cảnh cách mạng công nghiệp 4.0 - Giám định, <https://isocert.org.vn/san-xuat-thong-minh-xu-huong-tang-nang-suat-chat-luong-hieu-qua-hoat-dong-cua-doanh-nghiep-trong-boi-can-cach-mang-cong-nghiep-40>
57. Những lợi ích khi áp dụng mô hình nhà máy thông minh, <https://tpa-fas.com.vn/Tin/nhung-loi-ich-khi-ap-dung-mo-hinh-nha-may-thong-minh>
58. Lực lượng lao động "thông minh" trong tương lai - Con người đã sẵn sàng "hợp tác" với AI?,
<https://htsc.vn/luc-luong-lao-dong-thong-minh-trong-tuong-lai-con-nguoi-da-san-sang-hop-tac-voi-ai/>
59. 2025 Manufacturing Industry Outlook | Deloitte Insights,
<https://www.deloitte.com/us/en/insights/industry/manufacturing-industrial-products/manufacturing-industry-outlook.html>