

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ NHÀ MÁY THÔNG MINH VÀ QUẢN TRỊ VẬN HÀNH NỀN TẢNG IOT

M.Econ. Đặng Thiện Tâm

ĐỊNH HƯỚNG CHƯƠNG 1

Chương này cung cấp nền tảng nhập môn cho toàn bộ học phần *Nhà máy thông minh và Quản trị vận hành*. Trọng tâm không dừng ở việc liệt kê các công nghệ của Cách mạng Công nghiệp lần thứ tư, mà nhằm xây dựng cho người học một khung tư duy quản trị: **nhà máy thông minh không phải là một tập hợp thiết bị hiện đại, mà là một trạng thái năng lực của tổ chức**, trong đó dữ liệu vận hành được thu thập, kết nối, diễn giải và chuyển hóa thành quyết định nhanh hơn, chính xác hơn và ở cấp độ phi tập trung hơn so với nhà máy truyền thống.

Chương được tổ chức theo một logic sáu bước. **Bối cảnh** giải thích vì sao mô hình này xuất hiện, thông qua bốn áp lực cấu trúc và giới hạn của tự động hóa cơ khí. **Khái niệm** làm rõ nhà máy thông minh là gì và không phải là gì, bằng cách định vị nó cùng nhà máy tự động và nhà máy số trên hai trục năng lực. **Nền tảng đo lường** xác lập hệ thống chỉ số làm ngôn ngữ chung giữa kỹ thuật và quản trị. **Kiến trúc kỹ thuật** trình bày cấu trúc bốn lớp của hệ thống kết nối cùng các chuẩn tham chiếu. **Quản trị dữ liệu** nêu điều kiện để dữ liệu đáng tin cậy. Cuối cùng, **công cụ chẩn đoán và lộ trình** cho phép định vị một nhà máy cụ thể và thiết kế bước đi tiếp theo.

So với các tài liệu cùng chủ đề, phiên bản này bổ sung **bốn quy trình chuẩn hóa kèm sơ đồ** gồm quy trình tám bước chuyển từ chỉ số vận hành sang sáng kiến số hóa, quy trình sáu bước thẩm định một đề xuất điểm đo, quy trình sáu bước quản trị dữ liệu vận hành và lộ trình ba giai đoạn triển khai. Phiên bản này cũng bổ sung **năm công cụ định lượng** giúp chuyển các luận điểm từ mô tả sang tính toán: biểu đồ phân rã tổn thất theo ba thành phần hiệu suất thiết bị, quan hệ giữa độ trễ phản hồi và tổn thất tích lũy, so sánh chi phí hai kiểu kiến trúc tích hợp, hồ sơ tự đánh giá tám chiều có đối sánh ngành, và phân tích độ nhạy của luận chứng kinh tế.

Xuyên suốt chương, **ba nguyên tắc quản trị** được nhấn mạnh và sẽ trở lại trong tất cả các chương sau. *Nguyên tắc chỉ số*: mọi khoản đầu tư số hóa phải quy chiếu được về một chỉ số vận hành cụ thể mà nó cải thiện, nếu không thì đó là chi phí chứ không phải đầu tư. *Nguyên tắc chiến lược đi trước công nghệ*: công nghệ là phương tiện thực hiện mục tiêu cạnh tranh

vận hành, không phải mục tiêu tự thân. *Nguyên tắc con người trong vòng lặp*: mức độ tự động hóa quyết định không loại bỏ trách nhiệm giải trình của nhà quản trị.

Các khái niệm được giới thiệu ở đây, bao gồm hệ thống thực ảo, chuỗi giá trị dữ liệu, khả năng tương tác, mức độ trưởng thành số và hiệu suất thiết bị tổng thể, sẽ được sử dụng liên tục khi phân tích các trụ cột công nghệ ở Chương 2, khung quản trị nhu cầu và chuỗi cung ứng ở Chương 3, trí tuệ nhân tạo trong sản xuất ở Chương 4 và lộ trình triển khai ở Chương 5. Việc nắm vững Chương 1 vì vậy là điều kiện cần để tiếp cận các chương sau một cách hệ thống.

MỤC TIÊU HỌC TẬP CỦA CHƯƠNG 1

Sau khi học xong chương này, người học có thể:

1. **Vận dụng** được ba nguyên tắc quản trị nền tảng để thẩm định sơ bộ một đề xuất đầu tư số hóa.
2. **Phân biệt** được bốn cuộc cách mạng công nghiệp theo nguyên lý tổ chức sản xuất và **giải thích** được ba định hướng giá trị bổ sung của Công nghiệp 5.0.
3. **Định nghĩa** được nhà máy thông minh theo hướng năng lực và **định vị** được ba khái niệm dễ nhầm lẫn trên hai trục là mức liên thông dữ liệu và mức tự chủ của quyết định.
4. **Nhận diện** được năm đặc trưng quan sát được của nhà máy thông minh và nêu được bằng chứng thực địa tương ứng cho từng đặc trưng.
5. **Giải thích** được vòng lặp cảm nhận, phân tích và hành động cùng ba thuộc tính quyết định chất lượng của vòng lặp đó.
6. **Vận dụng** được hệ thống chỉ số vận hành nền tảng để chẩn đoán tồn thất của một dây chuyền và **tính toán** được hiệu suất thiết bị tổng thể cùng phân rã của nó.
7. **Lượng hóa** được tác động của độ trễ vòng phản hồi lên quy mô tồn thất và **rút ra** hàm ý đầu tư.
8. **Thực hiện** được quy trình tám bước chuyển từ chỉ số vận hành sang sáng kiến số hóa.
9. **Mô tả** được kiến trúc bốn lớp của hệ thống kết nối công nghiệp và **định vị** được các thành phần công nghệ theo chuẩn ISA 95, IEC 62264 và mô hình RAMI 4.0.
10. **So sánh** được chi phí của hai kiểu kiến trúc tích hợp và **giải thích** được căn cứ định lượng của xu hướng làm phẳng.
11. **Phân tích** được chuỗi giá trị dữ liệu sáu bước và **áp dụng** được quy trình sáu bước thẩm định một đề xuất điểm đo.

12. **Đánh giá** được chất lượng dữ liệu theo sáu chiều và **thực hiện** được quy trình sáu bước quản trị dữ liệu vận hành.
13. **Sử dụng** được một mô hình trưởng thành số để định vị một nhà máy cụ thể và **đánh giá phê phán** được giới hạn của việc chấm điểm trưởng thành.
14. **Xây dựng** được luận chứng kinh tế sơ bộ cho một sáng kiến số hóa, **phân tích** được độ nhạy của luận chứng đó và **nhận diện** được các chi phí thường bị đánh giá thấp.
15. **Liên hệ** được bối cảnh công nghiệp Việt Nam và **phân tích** được yêu cầu dữ liệu phát sinh từ áp lực pháp lý của thị trường xuất khẩu.

Chương 1 đáp ứng trực tiếp CLO.1 và đặt nền cho CLO.2 cùng CLO.3.

Bảng 1.1. Một số thuật ngữ nền tảng của học phần

Thuật ngữ tiếng Việt	Thuật ngữ tiếng Anh	Ý nghĩa ngắn gọn
Nhà máy thông minh	Smart factory	Cơ sở sản xuất đạt mức tích hợp dữ liệu đủ cao để tự tổ chức, tự tối ưu và tự điều chỉnh một phần quá trình vận hành.
Hệ thống thực ảo	Cyber Physical System	Thực thể vật lý được gắn cảm biến, có bản sao số và có vòng phản hồi dữ liệu để tự điều chỉnh.
Internet vạn vật công nghiệp	Industrial Internet of Things	Hạ tầng kết nối thiết bị, máy móc và hệ thống trong môi trường sản xuất nhằm trao đổi dữ liệu thời gian thực.
Bản sao số	Digital twin	Mô hình số động của một sản phẩm, quy trình hoặc hệ thống, được cập nhật liên tục bằng dữ liệu thực.
Khả năng tương tác	Interoperability	Năng lực của các hệ thống khác nhau trao đổi và hiểu đúng dữ liệu của nhau mà không cần can thiệp thủ công.
Mức độ trưởng thành số	Digital maturity	Vị trí của tổ chức trên một thang năng lực số đã được chuẩn hóa, dùng để chẩn đoán và lập lộ trình.

Thuật ngữ tiếng Việt	Thuật ngữ tiếng Anh	Ý nghĩa ngắn gọn
Hiệu suất thiết bị tổng thể	Overall Equipment Effectiveness	Chỉ số hợp nhất ba nhóm tổn thất của thiết bị gồm dừng máy, tốc độ và chất lượng.
Chuỗi giá trị dữ liệu	Data value chain	Chuỗi sáu bước biến dữ liệu thô thành hành động cải thiện kết quả vận hành.
Quản trị vận hành số	Digital operations management	Việc điều hành hệ thống sản xuất dựa trên dữ liệu thời gian thực thay vì dựa trên báo cáo hồi cố.
Vòng phản hồi kiểm soát	Control feedback loop	Cơ chế đưa thông tin về kết quả thực tế quay lại đầu vào để điều chỉnh quá trình.
Tổng chi phí sở hữu	Total cost of ownership	Toàn bộ chi phí trong vòng đời của một hệ thống, gồm cả đầu tư ban đầu lẫn chi phí vận hành và thay đổi tổ chức.
Ngưỡng hủy dự án	Kill criteria	Mức kết quả tối thiểu được xác định trước, nếu không đạt sau một thời hạn xác định thì dự án phải dừng.

1.1. Dẫn nhập: bốn áp lực và ba nguyên tắc

1.1.1. Bốn áp lực cấu trúc đặt lên hoạt động sản xuất

Trong hai thập niên đầu thế kỷ XXI, hoạt động sản xuất công nghiệp chịu tác động đồng thời của bốn áp lực có tính cấu trúc, tức là những áp lực không mất đi khi chu kỳ kinh tế thay đổi.

BỐN ÁP LỰC CẤU TRÚC VÀ GIỚI HẠN CỦA TỰ ĐỘNG HÓA CƠ KHÍ



Hình 1.1. Bốn áp lực cấu trúc và giới hạn của tự động hóa cơ khí

Nguồn: Tác giả xây dựng.

Điểm quan trọng cần rút ra từ Hình 1.1 là **không một áp lực nào trong số đó có thể được hóa giải bằng cách tăng cường tự động hóa cơ khí đơn thuần**. Tự động hóa cứng làm tăng năng suất trong điều kiện sản phẩm ổn định, nhưng lại làm giảm tính linh hoạt, vốn chính là năng lực mà môi trường cạnh tranh hiện nay đòi hỏi.

Điểm đột phá của mô hình nhà máy thông minh nằm ở chỗ nó không tối ưu hóa từng thiết bị riêng lẻ, mà tối ưu hóa **dòng thông tin** chạy xuyên suốt nhà máy: từ cảm biến trên máy, qua hệ thống điều hành sản xuất, tới hệ thống hoạch định nguồn lực doanh nghiệp và ngược trở lại thành lệnh điều khiển. Khi dòng thông tin này đủ nhanh, đủ chính xác và đủ liền mạch, nhà máy có thể phản ứng với biến động thay vì chỉ chịu đựng biến động.

1.1.2. Vì sao cần nghiên cứu dưới góc độ quản trị

Việc nghiên cứu nhà máy thông minh dưới góc độ quản trị, chứ không chỉ dưới góc độ kỹ thuật, là cần thiết vì ba lý do.

Thứ nhất, phần lớn thất bại của các dự án chuyển đổi số trong sản xuất không xuất phát từ giới hạn công nghệ mà từ sai lầm quản trị: chọn sai bài toán, thiếu quyền sở hữu dự án, dữ liệu nền kém chất lượng, hoặc không thể nhân rộng từ thí điểm ra toàn nhà máy.

Thứ hai, mọi công nghệ đều có điều kiện áp dụng và ngưỡng hiệu quả, nên nhà quản trị cần năng lực phân biệt công nghệ tạo ra giá trị vận hành thực với công nghệ chỉ tạo ra hiệu ứng truyền thông.

Thứ ba, giá trị của dữ liệu chỉ được hiện thực hóa khi nó dẫn tới một hành động làm thay đổi kết quả vận hành. Nếu không có ai chịu trách nhiệm hành động dựa trên dữ liệu thì bảng điều khiển đắt tiền nhất cũng chỉ là một thiết bị trang trí.

1.1.3. Ba nguyên tắc quản trị dùng thống nhất trong toàn học phần

Ba lý do trên được kết tinh thành ba nguyên tắc làm việc. Người học cần coi đây là công cụ chứ không phải khẩu hiệu: mỗi khi gặp một đề xuất đầu tư trong thực tế, ba câu hỏi kiểm tra dưới đây phải được trả lời trước khi bàn tới giá.

BA NGUYÊN TẮC QUẢN TRỊ ĐƯỢC DÙNG XUYỀN SUỐT HỌC PHẦN



Hình 1.2. Ba nguyên tắc quản trị được dùng xuyên suốt học phần

Nguồn: Tác giả xây dựng.

Nguyên tắc thứ ba đáng được giải thích thêm, vì nó thường bị hiểu nhầm thành sự dè dặt với công nghệ. Thực chất nguyên tắc này nói rằng **việc ủy quyền quyết định cho hệ thống không đồng nghĩa với việc chuyển giao trách nhiệm giải trình**. Khi một thuật toán điều độ gây giao hàng trễ, người chịu trách nhiệm vẫn là người đã phê duyệt phạm vi ủy quyền cho thuật toán đó. Đây cũng chính là lý do khung pháp lý về trí tuệ nhân tạo đưa yêu cầu giám sát của con người thành nghĩa vụ chứ không phải khuyến nghị, nội dung sẽ được bàn ở mục 1.9.2.

1.2. Bối cảnh: từ Công nghiệp 1.0 đến Công nghiệp 5.0

1.2.1. Bốn cuộc cách mạng công nghiệp

Điều phân biệt bốn cuộc cách mạng công nghiệp không phải là một phát minh đơn lẻ, mà là **nguyên lý tổ chức sản xuất** mà phát minh đó cho phép.

DÒNG THỜI GIAN CÁC THỂ HỆ CÔNG NGHIỆP VÀ NGƯỠNG CHUYỂN SANG CÔNG NGHIỆP 5.0



Hình 1.3. Dòng thời gian các thể hệ công nghiệp và ngưỡng chuyển sang Công nghiệp 5.0

Nguồn: Tác giả biên soạn theo Kagermann, Wahlster và Helbig (2013) cùng Ủy ban châu Âu (2021).

Bảng 1.2. Đặc trưng phân biệt bốn cuộc cách mạng công nghiệp

Tiêu chí	Công nghiệp 1.0	Công nghiệp 2.0	Công nghiệp 3.0	Công nghiệp 4.0
Nguồn năng lượng và công nghệ dẫn dắt	Hơi nước và cơ khí hóa	Điện năng và động cơ đốt trong	Điện tử, máy tính và bộ điều khiển khả trình	Kết nối dữ liệu và hệ thống thực ảo
Nguyên lý tổ chức sản xuất	Thay sức cơ bắp bằng sức máy	Chia nhỏ lao động và tổ chức dây chuyền liên tục	Chương trình hóa các thao tác lặp lại	Phủ một lớp thông tin lên toàn bộ hệ thống vật lý
Đơn vị tối ưu hóa	Máy đơn lẻ	Dây chuyền	Trạm và tế bào sản xuất	Toàn hệ thống và mạng lưới giá trị
Vai trò của con người	Vận hành máy trực tiếp	Thực hiện thao tác chuyên môn hóa hẹp	Lập trình và giám sát thiết bị	Ra quyết định dựa trên dữ liệu và xử lý ngoại lệ

Tiêu chí	Công nghiệp 1.0	Công nghiệp 2.0	Công nghiệp 3.0	Công nghiệp 4.0
Giới hạn cơ bản	Phụ thuộc nguồn động lực tập trung	Cứng nhắc khi đổi sản phẩm	Các đảo tự động hóa không liên thông dữ liệu	Phụ thuộc chất lượng dữ liệu và năng lực tổ chức

1.2.2. Ngưỡng chuyển sang Công nghiệp 5.0

Khái niệm Công nghiệp 5.0 được Ủy ban châu Âu đưa ra từ năm 2021 và cần được hiểu chính xác để tránh hai ngộ nhận phổ biến. **Ngộ nhận thứ nhất** là coi Công nghiệp 5.0 như một thế hệ công nghệ mới thay thế Công nghiệp 4.0. **Ngộ nhận thứ hai** là coi nó như một khẩu hiệu truyền thông không có nội dung vận hành.

Trên thực tế, Công nghiệp 5.0 **không thay thế mà bổ sung** cho Công nghiệp 4.0 ba định hướng giá trị. *Lấy con người làm trung tâm* nghĩa là công nghệ phục vụ việc mở rộng năng lực của người lao động thay vì chỉ thay thế họ. *Bền vững* nghĩa là hiệu quả tài nguyên và giảm phát thải trở thành mục tiêu thiết kế chứ không phải ràng buộc tuân thủ. *Khả năng chống chịu* nghĩa là hệ thống sản xuất phải duy trì được hoạt động và phục hồi nhanh sau gián đoạn.

Điểm cần nhấn mạnh là ngưỡng chuyển sang Công nghiệp 5.0 **không phải là ngưỡng công nghệ mà là ngưỡng về định hướng giá trị**. Một nhà máy có thể có toàn bộ công nghệ của Công nghiệp 4.0 nhưng vẫn thiết kế công việc theo hướng làm nghèo nội dung lao động, và khi đó nó chưa bước vào Công nghiệp 5.0.

Bảng 1.3. So sánh trọng tâm của Công nghiệp 4.0 và Công nghiệp 5.0

Tiêu chí	Công nghiệp 4.0	Công nghiệp 5.0
Câu hỏi trung tâm	Làm thế nào để hệ thống sản xuất hiệu quả và linh hoạt hơn	Hệ thống sản xuất phục vụ ai và với cái giá nào cho con người cùng môi trường
Vai trò của con người	Được hỗ trợ bởi hệ thống thông minh	Là trung tâm thiết kế; công nghệ mở rộng năng lực con người
Cách nhìn về tính bền vững	Kết quả phụ của việc tối ưu hóa hiệu quả	Mục tiêu thiết kế độc lập, có chỉ số riêng
Cách nhìn về gián đoạn	Rủi ro cần giảm thiểu	Điều kiện thường trực cần thiết kế để chống chịu

Tiêu chí	Công nghiệp 4.0	Công nghiệp 5.0
Thước đo thành công	Năng suất, chi phí, thời gian giao hàng	Bổ sung phúc lợi người lao động, dấu chân môi trường và khả năng phục hồi
Quan hệ với thế hệ trước	Là nền tảng	Không thay thế mà bổ sung định hướng giá trị

1.3. Khái niệm nhà máy thông minh

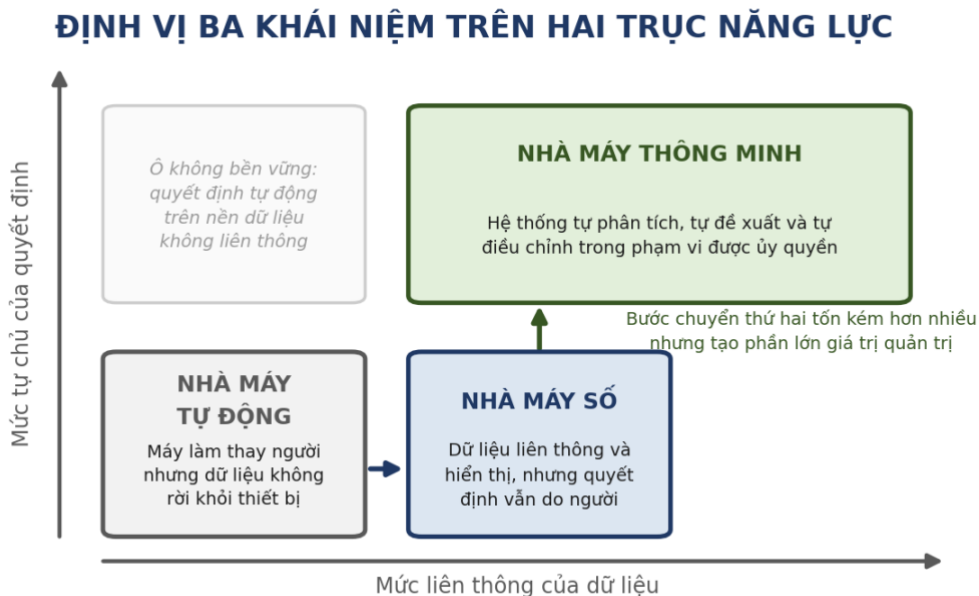
1.3.1. Định nghĩa theo hướng năng lực

Trong tài liệu học thuật, nhà máy thông minh được định nghĩa theo **hướng năng lực** chứ không theo danh mục công nghệ. Định nghĩa được sử dụng trong giáo trình này như sau: *nhà máy thông minh là cơ sở sản xuất trong đó dữ liệu vận hành được thu thập, liên thông và phân tích theo thời gian thực, nhằm tổ chức, giám sát và tối ưu hóa liên tục quá trình sản xuất, với mức độ tự chủ ngày càng cao trong phạm vi được con người ủy quyền.*

Cách định nghĩa này có ba hàm ý quản trị trực tiếp. *Thứ nhất*, nó cho phép đánh giá một nhà máy mà không cần kiểm kê thiết bị: chỉ cần trả lời được dữ liệu đi từ đâu tới đâu, mất bao lâu, và dẫn tới quyết định nào. *Thứ hai*, nó cho thấy nhà máy thông minh là một *thang liên tục* chứ không phải trạng thái có hoặc không. *Thứ ba*, nó đặt phạm vi ủy quyền của con người vào trong chính định nghĩa, phù hợp với nguyên tắc thứ ba ở Hình 1.2.

1.3.2. Định vị ba khái niệm dễ nhầm lẫn

Ba thuật ngữ nhà máy tự động, nhà máy số và nhà máy thông minh thường bị dùng thay thế cho nhau. Cách phân định rõ ràng nhất là định vị chúng trên hai trục: **mức liên thông của dữ liệu** và **mức tự chủ của quyết định**.



Hình 1.4. Định vị ba khái niệm trên hai trục năng lực

Nguồn: Tác giả xây dựng.

Bảng 1.4. Phân biệt nhà máy tự động, nhà máy số và nhà máy thông minh

Tiêu chí	Nhà máy tự động	Nhà máy số	Nhà máy thông minh
Đặc trưng cốt lõi	Máy thực hiện thao tác thay con người	Dữ liệu được số hóa, liên thông và hiển thị	Hệ thống tự phân tích, tự đề xuất và tự điều chỉnh trong phạm vi ủy quyền
Câu hỏi trả lời được	Máy đang chạy hay đang dừng	Chuyện gì đã xảy ra và vì sao	Điều gì sẽ xảy ra và nên làm gì
Chỉ dấu nhận biết tại hiện trường	Robot, băng tải, máy điều khiển số	Bản vẽ ba chiều, mô phỏng, bảng điều khiển báo cáo	Cảnh báo dự báo, tự động điều độ lại, tối ưu tham số theo dữ liệu
Rủi ro điển hình	Cứng nhắc khi đổi sản phẩm	Đảo dữ liệu và bảng điều khiển không ai dùng	Phụ thuộc chất lượng dữ liệu và mô hình; khó giải thích quyết định
Chi phí biên để nâng cấp lên mức kế tiếp	Chủ yếu là chi phí thiết bị	Chi phí tích hợp và chuẩn hóa dữ liệu	Chi phí thay đổi tổ chức và xây dựng năng lực phân tích

VÍ DỤ PHÂN ĐỊNH KHÁI NIỆM

Một xưởng may đầu tư 40 máy may điện tử lập trình được, năng suất tăng 18 phần trăm. Dữ liệu sản lượng vẫn do tổ trưởng ghi vào bảng giấy cuối ca rồi nhập vào bảng tính ngày hôm sau. **Đây là nhà máy tự động hóa từng phần, chưa phải nhà máy số.**

Nếu xưởng gắn bộ đếm điện tử truyền dữ liệu sản lượng theo giờ về một bảng điều khiển tập trung, cho phép quản đốc thấy chuyện nào chậm ngay trong ca, thì **đó là nhà máy số.**

Nếu hệ thống tự phát hiện chuyện 3 chậm nhịp so với kế hoạch, tự tính lại phân bổ công đoạn và đề xuất chuyển hai công nhân từ chuyền 5 sang, kèm ước tính tác động lên thời gian giao hàng, thì **khi đó mới xuất hiện đặc trưng của nhà máy thông minh.**

Lưu ý rằng bước chuyển thứ hai tốn kém hơn nhiều so với bước chuyển thứ nhất, nhưng tạo ra phần lớn giá trị quản trị. Đây chính là điều mà Hình 1.4 thể hiện bằng độ dài của hai mũi tên.

1.3.3. Năm đặc trưng nhận diện

Để chuyển từ định nghĩa trừu tượng sang công cụ chẩn đoán thực địa, giáo trình sử dụng bộ năm đặc trưng nhận diện. Điểm sơ phạm quan trọng là mỗi đặc trưng phải gắn với một **bảng chứng quan sát được**, và đây chính là kỹ năng mà sinh viên cần rèn luyện khi thực hiện dự án khảo sát nhà máy.

Bảng 1.5. Năm đặc trưng nhận diện nhà máy thông minh và bảng chứng quan sát

Đặc trưng	Nội hàm	Bảng chứng quan sát được tại hiện trường
Kết nối	Thiết bị, hệ thống và con người trao đổi dữ liệu liên tục, xuyên suốt các cấp	Máy có kết nối mạng; dữ liệu dừng máy tự động vào hệ thống chứ không ghi tay; hệ thống điều hành sản xuất nhận lệnh từ hệ thống hoạch định
Minh bạch	Trạng thái hiện tại của quá trình sản xuất hiển thị theo thời gian thực và ai cần cũng truy cập được	Bảng theo dõi tiến độ theo giờ; truy vết được lô sản phẩm; tồn kho hệ thống khớp tồn kho thực tế khi kiểm kê
Tối ưu	Hệ thống liên tục tìm phương án tốt hơn theo mục tiêu và ràng buộc đã xác định	Điều độ được tính lại tự động khi có sự cố; thông số quá trình tự hiệu chỉnh theo dữ liệu chất lượng
Chủ động và tiên liệu	Hệ thống dự báo sự cố và can thiệp trước khi hậu quả xảy ra	Cảnh báo bảo trì trước khi hỏng hóc; cảnh báo lệch chất lượng trước khi vượt giới hạn kiểm soát
Linh hoạt	Cấu hình lại nhanh để đáp ứng thay đổi về sản phẩm, sản lượng và nhu cầu	Thời gian chuyển đổi mẫu ngắn; dây chuyền mô đun; cùng một dây chuyền chạy nhiều mã hàng trong một ca

1.3.4. Nhà máy thông minh nhìn từ lý thuyết hệ thống thực ảo

Về mặt lý thuyết, nhà máy thông minh có thể được mô tả như một tập hợp các hệ thống thực ảo lồng ghép, mỗi hệ thống vận hành theo vòng lặp ba bước gồm cảm nhận, phân tích và hành động.

VÒNG LẶP CẢM NHẬN, PHÂN TÍCH VÀ HÀNH ĐỘNG CỦA HỆ THỐNG THỰC ẢO



Hình 1.5. Vòng lặp cảm nhận, phân tích và hành động của hệ thống thực ảo trong nhà máy

Nguồn: Tác giả xây dựng trên cơ sở khái niệm hệ thống thực ảo của Tao, Qi, Wang và Nee (2019).

Ba thuộc tính nêu ở phần dưới của Hình 1.5 chính là **cơ sở khái niệm của các mô hình trưởng thành số** sẽ được trình bày ở mục 1.7. Độ trễ tương ứng với năng lực nhìn thấy và minh bạch; độ phù tương ứng với phạm vi số hóa; còn mức tự chủ tương ứng với năng lực dự báo và tự thích ứng. Nói cách khác, thang trưởng thành không phải là một quy ước tùy tiện mà là hệ quả của cấu trúc vòng lặp này.

1.4. Nền tảng quản trị vận hành trong bối cảnh số

1.4.1. Hệ thống sản xuất và điểm can thiệp của số hóa

Mọi hệ thống sản xuất đều có thể mô tả bằng cấu trúc đầu vào, chuyển hóa và đầu ra, cùng với một vòng phản hồi kiểm soát.

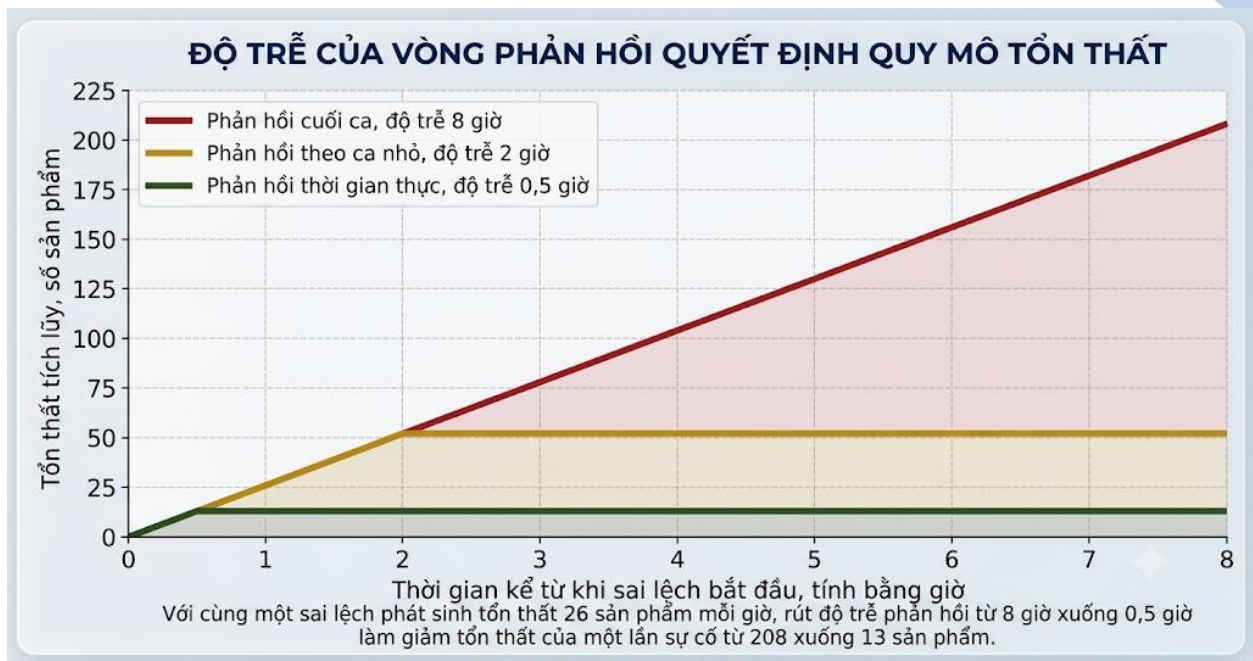


Hình 1.6. Mô hình hệ thống sản xuất và vòng phản hồi kiểm soát

Nguồn: Tác giả phát triển từ mô hình chuyển hóa của Slack và Brandon Jones (2019).

Điểm mà số hóa can thiệp mạnh nhất không phải ở đầu vào hay đầu ra, mà ở **vòng phản hồi kiểm soát**. Sự rút ngắn độ trễ phản hồi không đơn thuần là cải tiến về tốc độ báo cáo, mà làm thay đổi bản chất của quyết định: khi độ trễ phản hồi ngắn hơn thời gian tồn tại của sai lệch, nhà quản trị chuyển từ việc *giải thích* tổn thất đã xảy ra sang việc *ngăn* tổn thất phát sinh.

L luận điểm này có thể được lượng hóa thay vì chỉ phát biểu định tính, và đó là nội dung của Hình 1.7.



Hình 1.7. Độ trễ của vòng phản hồi quyết định quy mô tổn thất

Nguồn: Tác giả tính toán và biên vẽ theo giả định nêu trong hình.

Hình 1.7 giải thích vì sao đầu tư vào rút ngắn độ trễ phản hồi thường có tỷ suất hoàn vốn cao hơn nhiều so với đầu tư vào nâng cao độ chính xác của phép đo. Với cùng một sai lệch, mỗi giờ rút ngắn được đều chuyển thẳng thành sản phẩm không bị mất. Cần lưu ý rằng lợi ích này **chỉ hiện thực hóa khi có người hoặc hệ thống thực sự hành động** trong khoảng thời gian đã rút ngắn; nếu cảnh báo tới sau năm phút nhưng phải chờ tới cuối ca mới có người xử lý thì độ trễ thực tế vẫn là tám giờ.

1.4.2. Năm mục tiêu cạnh tranh và lý thuyết đánh đổi

Lý thuyết quản trị vận hành cổ điển xác định bốn mục tiêu cạnh tranh gồm chi phí, chất lượng, thời gian giao hàng và tính linh hoạt. Trong bối cảnh hiện nay, mục tiêu thứ năm là **tính bền vững** đã trở thành một mục tiêu độc lập chứ không còn là ràng buộc tuân thủ.

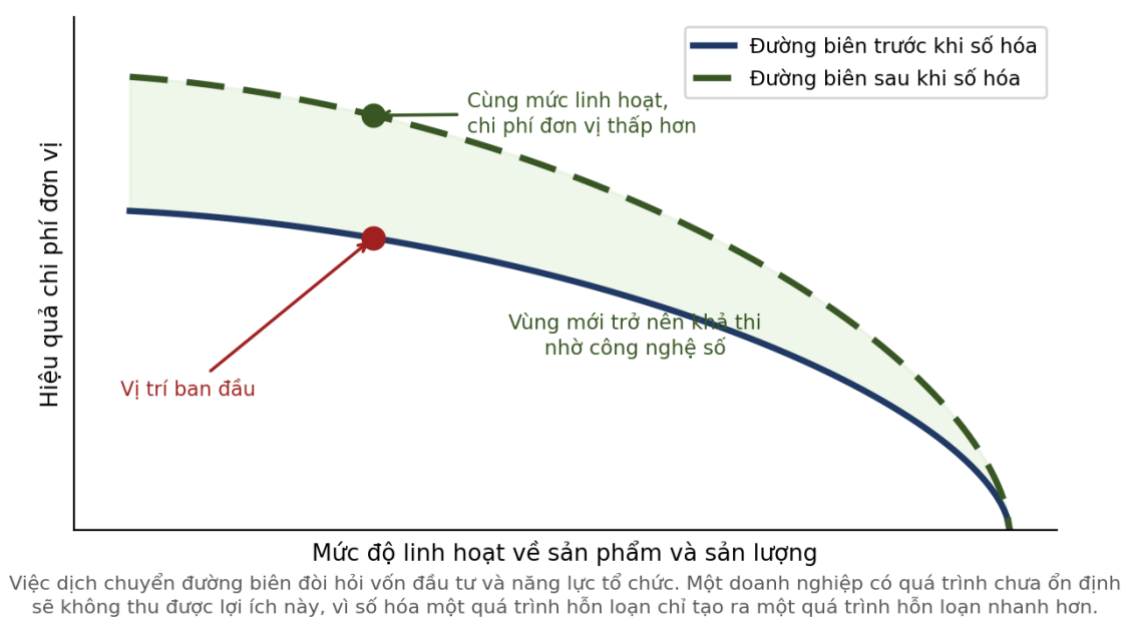
Bảng 1.6. Năm mục tiêu cạnh tranh vận hành và tác động của số hóa

Mục tiêu	Nội dung	Cơ chế tác động của công nghệ số	Chỉ số đại diện
Chi phí	Chi phí đơn vị sản phẩm	Giảm tổn thất thiết bị, giảm phế phẩm, tối ưu năng lượng và tồn kho	Chi phí đơn vị, hiệu suất thiết bị tổng thể, chi phí năng lượng trên đơn vị
Chất lượng	Mức độ phù hợp và mức độ ổn định	Kiểm tra tự động, kiểm soát quá trình bằng thống kê thời	Tỷ lệ đạt lần đầu, tỷ lệ lỗi phần triệu, chi phí chất lượng kém

Mục tiêu	Nội dung	Cơ chế tác động của công nghệ số	Chỉ số đại diện
		gian thực, truy vết nguyên nhân gốc	
Thời gian giao hàng	Nhanh và đúng hạn	Rút ngắn thời gian chờ nhờ minh bạch tiến độ và điều độ động	Thời gian chờ, tỷ lệ giao hàng đúng hạn
Tính linh hoạt	Đổi mẫu và đổi sản lượng nhanh	Chuyển đổi nhanh, dây chuyền mô đun, cấu hình lại bằng phần mềm	Thời gian chuyển đổi, số mã hàng chạy được trong một ca
Tính bền vững	Hiệu quả tài nguyên và mức phát thải	Đo lường phát thải theo sản phẩm, tối ưu tiêu hao, hộ chiếu sản phẩm số	Năng lượng trên đơn vị, phát thải trên đơn vị, tỷ lệ tái chế

Luận điểm kinh điển của Skinner (1969) cho rằng một cơ sở sản xuất không thể xuất sắc đồng thời trên mọi mục tiêu: theo đuổi chi phí thấp thường phải hy sinh tính linh hoạt, còn theo đuổi giao hàng nhanh thường phải tăng tồn kho. Đây là *lý thuyết đánh đổi*. Ferdows và De Meyer (1990) sau đó đề xuất *mô hình nón cát*, theo đó các năng lực được xây dựng theo trình tự tích lũy chứ không hoàn toàn loại trừ nhau.

CÔNG NGHỆ SỐ DỊCH CHUYỂN ĐƯỜNG BIÊN CHỨ KHÔNG XÓA BỎ ĐÁNH ĐỔI



Hình 1.8. Công nghệ số dịch chuyển đường biên hiệu quả chứ không xóa bỏ đánh đổi

Nguồn: Tác giả xây dựng trên cơ sở lý thuyết đánh đổi của Skinner (1969) và mô hình nón cát của Ferdows và De Meyer (1990).

Cần cảnh giác với hai kết luận sai khi đọc Hình 1.8. *Thứ nhất*, không phải mọi đánh đổi đều được nói lỏng: đánh đổi giữa hiệu quả và khả năng chống chịu vẫn tồn tại và thậm chí trở nên gay gắt hơn khi mạng lưới cung ứng được tối ưu hóa chặt hơn. *Thứ hai*, việc dịch chuyển đường biên đòi hỏi vốn đầu tư và năng lực tổ chức; một doanh nghiệp có quá trình chưa ổn định sẽ không thu được lợi ích này, bởi **số hóa một quá trình hỗn loạn chỉ tạo ra một quá trình hỗn loạn được ghi nhận nhanh hơn.**

1.4.3. Hệ thống chỉ số vận hành nền tảng

Hệ thống chỉ số là **ngôn ngữ chung** giữa kỹ thuật và quản trị. Nguyên tắc xuyên suốt học phần được phát biểu như sau: mọi dự án số hóa phải quy chiếu được về ít nhất một chỉ số vận hành cụ thể mà nó cải thiện, kèm mức cải thiện mục tiêu và cơ chế nhân quả giải thích vì sao nó cải thiện.

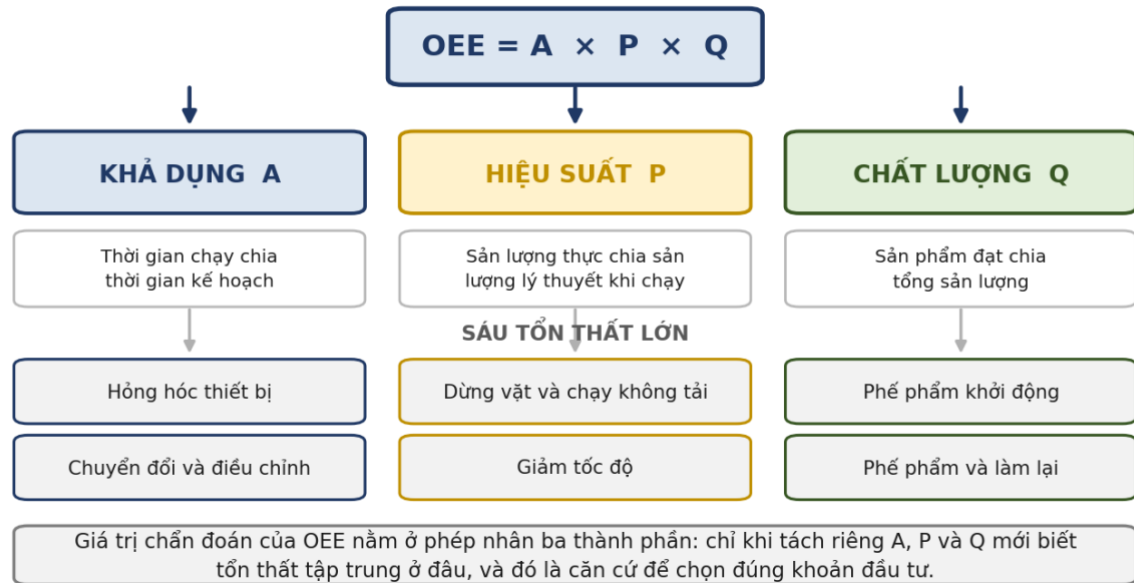
Bảng 1.7. Hệ thống chỉ số vận hành nền tảng

Chỉ số	Công thức hoặc định nghĩa	Câu hỏi quản trị trả lời được	Cạm bẫy thường gặp
Hiệu suất thiết bị tổng thể	Tích của khả dụng, hiệu suất và chất lượng	Thiết bị mất bao nhiêu năng lực và mất ở đâu	So sánh giữa các nhà máy có định nghĩa thời gian kế hoạch khác nhau
Khả dụng	Thời gian chạy chia thời gian kế hoạch	Tổn thất do dừng máy lớn đến đâu	Loại các lần dừng ngắn khỏi thống kê làm chỉ số đẹp một cách giả tạo
Hiệu suất	Sản lượng thực tế chia sản lượng lý thuyết trong thời gian chạy	Máy chạy chậm hơn thiết kế bao nhiêu	Đặt nhịp lý thuyết thấp hơn năng lực thiết kế của máy
Chất lượng	Sản phẩm đạt chia tổng sản lượng	Bao nhiêu năng lực bị tiêu hao cho phế phẩm	Bỏ qua sản phẩm phải làm lại, chỉ tính phế phẩm loại bỏ
Thời gian chu kỳ	Thời gian để hoàn thành một đơn vị tại một công đoạn	Công đoạn nào là nút thắt cổ chai	Nhầm lẫn với thời gian chờ của cả đơn hàng

Chỉ số	Công thức hoặc định nghĩa	Câu hỏi quản trị trả lời được	Cạm bẫy thường gặp
Thời gian chờ	Thời gian từ khi nhận yêu cầu đến khi giao hàng	Doanh nghiệp phản ứng nhanh đến đâu	Chỉ đo phần sản xuất, bỏ phần chờ giữa các công đoạn
Sản phẩm dở dang	Lượng công việc đang nằm trong hệ thống	Vốn đang bị giam ở đâu	Coi mức dở dang cao là dấu hiệu bận rộn tích cực
Tỷ lệ giao hàng đúng hạn	Số đơn giao đúng hạn chia tổng số đơn	Cam kết với khách hàng có đáng tin không	Tính theo ngày xuất kho thay vì ngày khách nhận hàng
Tỷ lệ đạt lần đầu	Sản phẩm đạt ngay lần đầu chia tổng sản phẩm đưa vào	Quá trình có ổn định không	Tính sau khi đã sửa chữa, làm mất ý nghĩa chẩn đoán
Chi phí chất lượng kém	Tổng chi phí phòng ngừa, đánh giá, sai hỏng nội bộ và sai hỏng bên ngoài	Chất lượng kém đang lấy đi bao nhiêu lợi nhuận	Chỉ tính giá trị phế liệu, bỏ qua các chi phí ẩn

Một quan hệ định lượng quan trọng liên kết ba chỉ số dòng chảy là **định luật Little**: lượng sản phẩm dở dang bằng tích của nhịp đầu ra với thời gian chờ. Định luật này đúng với mọi hệ thống ổn định, không phụ thuộc vào phân phối xác suất, và mang một hàm ý sắc bén: *nếu không thay đổi nhịp đầu ra, muốn rút ngắn thời gian chờ thì bắt buộc phải giảm sản phẩm dở dang*. Đây là cơ sở lý thuyết của nguyên lý kéo trong sản xuất tinh gọn, và sẽ được khai triển sâu hơn ở Chương 3.

CẤU TRÚC PHÂN RÃ OEE VÀ ÁNH XẠ TỚI SÁU TỔN THẤT LỚN CỦA THIẾT BỊ



Hình 1.9. Cấu trúc phân rã hiệu suất thiết bị tổng thể và ánh xạ tới sáu tổn thất lớn

Nguồn: Tác giả biên soạn theo khung sáu tổn thất lớn của Nakajima (1988).

Bảng 1.8. Sáu tổn thất lớn của thiết bị và dữ liệu cần thu thập

Thành phần	Tổn thất	Biểu hiện	Dữ liệu cần thu thập
Khả dụng	Hỏng hóc thiết bị	Dừng máy ngoài kế hoạch kéo dài	Thời điểm và thời lượng dừng, mã nguyên nhân
Khả dụng	Chuyển đổi và điều chỉnh	Thời gian đổi khuôn, cân chỉnh, chạy thử	Thời gian chuyển đổi theo từng cặp mã hàng
Hiệu suất	Dừng vật và chạy không tải	Kẹt phôi, chờ vật tư, dừng dưới vài phút	Sự kiện dừng ngắn được ghi nhận tự động
Hiệu suất	Giảm tốc độ	Máy chạy chậm hơn nhịp thiết kế	Nhịp thực tế so với nhịp lý thuyết theo chu kỳ
Chất lượng	Phế phẩm khởi động	Sản phẩm hỏng trong giai đoạn ổn định máy	Sản lượng và tỷ lệ lỗi theo thời gian đầu ca
Chất lượng	Phế phẩm và làm lại trong quá trình	Sản phẩm không đạt trong sản xuất ổn định	Số lượng lỗi theo mã lỗi và theo công đoạn

VÍ DỤ TÍNH TOÁN VÀ CHẨN ĐOÁN TỔN THẤT THIẾT BỊ

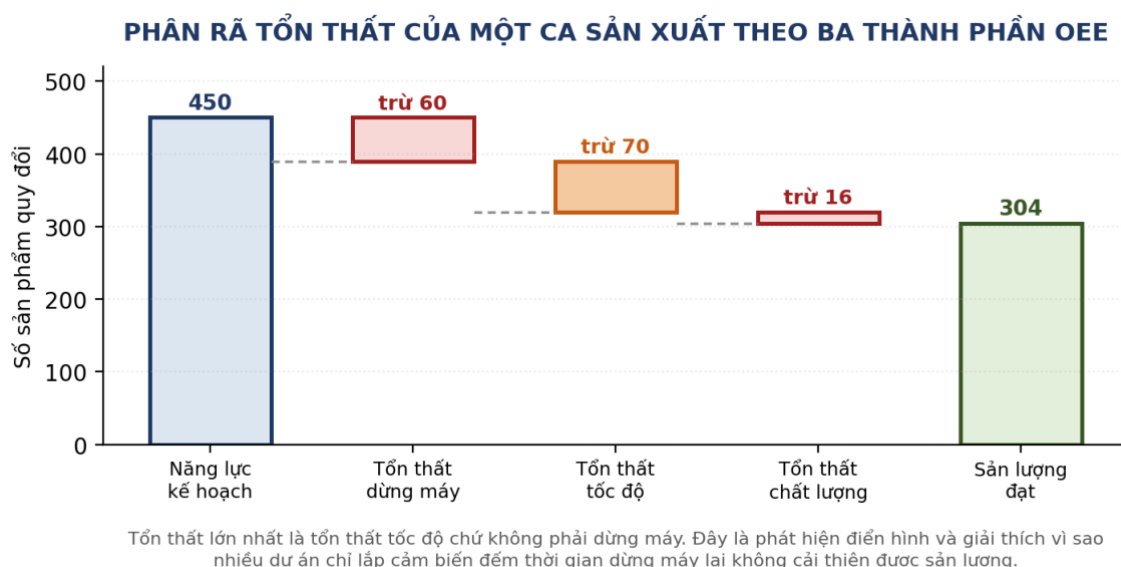
Dữ liệu ca sản xuất. Ca làm việc 8 giờ tương đương 480 phút, nghỉ giữa ca theo kế hoạch 30 phút, do đó thời gian kế hoạch là 450 phút. Dừng máy không kế hoạch 60 phút, do đó thời gian chạy là 390 phút. Nhịp lý thuyết 1 sản phẩm mỗi phút. Sản lượng thực tế 320 sản phẩm, trong đó 16 sản phẩm lỗi.

Tính toán. Khả dụng bằng 390 chia 450, tức **86,67 phần trăm**. Hiệu suất bằng 320 chia cho tích của 390 với 1, tức **82,05 phần trăm**. Chất lượng bằng 304 chia 320, tức **95,00 phần trăm**. Hiệu suất thiết bị tổng thể bằng tích của ba số trên, xấp xỉ **67,6 phần trăm**.

Chẩn đoán. Quy đổi tổn thất về đơn vị sản phẩm cho thấy tổn thất dừng máy là 60 sản phẩm, tổn thất tốc độ là 70 sản phẩm và tổn thất chất lượng là 16 sản phẩm.

Tổn thất lớn nhất là tổn thất tốc độ chứ không phải dừng máy. Đây là phát hiện điển hình và cũng là lý do vì sao nhiều dự án lắp cảm biến chỉ để đếm thời gian dừng máy lại không cải thiện được sản lượng: chúng đo đúng thứ dễ đo nhưng không phải thứ gây tổn thất lớn nhất.

Diễn giải quản trị. Với cùng một ngân sách, khoản đầu tư nên hướng vào việc ghi nhận nhịp máy theo chu kỳ và phân tích nguyên nhân giảm tốc, thay vì mở rộng hệ thống ghi nhận dừng máy. Chuẩn đối sánh tham chiếu là mức hiệu suất thiết bị tổng thể 85 phần trăm, tương ứng khả dụng khoảng 90 phần trăm, hiệu suất khoảng 95 phần trăm và chất lượng khoảng 99,9 phần trăm, được xem là mức xuất sắc trong sản xuất rời rạc.



Hình 1.10. Phân rã tổn thất của một ca sản xuất theo ba thành phần

Nguồn: Tác giả tính toán và biên vẽ theo số liệu của ví dụ trên.

1.4.4. Quy trình chuyển từ chỉ số vận hành sang sáng kiến số hóa

Một trong những khác biệt lớn nhất giữa doanh nghiệp thành công và doanh nghiệp thất bại trong chuyển đổi số không nằm ở công nghệ được chọn, mà nằm ở **trình tự tư duy** dẫn tới lựa chọn đó. Doanh nghiệp thất bại thường bắt đầu từ công nghệ rồi đi tìm chỗ ứng dụng. Doanh nghiệp thành công bắt đầu từ tổn thất vận hành rồi đi tìm công nghệ phù hợp.

QUY TRÌNH TÁM BƯỚC CHUYỂN TỪ CHỈ SỐ VẬN HÀNH SANG SÁNG KIẾN SỐ HÓA



Hình 1.11. Quy trình tám bước chuyển từ chỉ số vận hành sang sáng kiến số hóa

Nguồn: Tác giả xây dựng, tích hợp nguyên lý phân rã tồn thất của Nakajima (1988) và khung lựa chọn trường hợp sử dụng của Budde, Hänggi, Friedli và Rüedy (2023).

Bảng 1.9. Đầu ra bắt buộc và tiêu chí kiểm tra của từng bước

Bước	Đầu ra bắt buộc	Câu hỏi kiểm tra trước khi chuyển sang bước sau
1. Xác định mục tiêu cạnh tranh	Một mục tiêu trong năm mục tiêu của Bảng 1.6	Mục tiêu này có gắn với cam kết với khách hàng hoặc với áp lực pháp lý không?
2. Chọn chỉ số và đo mức hiện tại	Giá trị chỉ số và chuẩn đối sánh tham chiếu	Định nghĩa chỉ số đã được thống nhất giữa các bộ phận chưa?
3. Phân rã chỉ số	Bảng phân bổ tồn thất theo từng cấu phần	Tồn thất lớn nhất có chiếm ít nhất 40 phần trăm tổng tồn thất không?

Bước	Đầu ra bắt buộc	Câu hỏi kiểm tra trước khi chuyển sang bước sau
4. Truy nguyên nhân gốc	Danh sách nguyên nhân kèm bằng chứng dữ liệu	Nguyên nhân đã được kiểm chứng bằng dữ liệu hay mới chỉ là giả thuyết?
5. Xác định dữ liệu còn thiếu	Danh mục điểm đo cần bổ sung	Từng điểm đo có vượt qua quy trình thẩm định ở Hình 1.15 không?
6. Thiết kế can thiệp	Gói giải pháp gồm công nghệ, quy trình và người chịu trách nhiệm	Ai sẽ hành động khi cảnh báo xuất hiện và trong thời hạn bao lâu?
7. Lập luận chứng kinh tế	Giá trị hiện tại ròng, thời gian hoàn vốn và ngưỡng hủy dự án	Mức cải thiện tối thiểu để dự án hòa vốn là bao nhiêu?
8. Thí điểm và nhân rộng	Kết quả đo trước và sau, quyết định nhân rộng	Kết quả thí điểm có tách được khỏi hiệu ứng chú ý không?

ĐIỂM CẦN NHỚ

Chỉ số không phải là mục tiêu mà là công cụ chẩn đoán. Một dự án số hóa được thiết kế tốt luôn trả lời được ba câu hỏi theo đúng trình tự: chỉ số nào đang kém so với chuẩn; tổn thất tập trung ở đâu trong cấu trúc phân rã của chỉ số đó; và dữ liệu nào cần thu thập để can thiệp đúng vào tổn thất lớn nhất.

Đảo ngược trình tự này, tức bắt đầu từ công nghệ rồi đi tìm chỗ ứng dụng, là nguyên nhân phổ biến nhất của thất bại đầu tư. Câu hỏi kiểm tra ở bước 8 cũng đáng lưu ý: kết quả thí điểm thường tốt hơn thực tế vì chính sự chú ý của lãnh đạo trong giai đoạn thí điểm đã cải thiện kết quả, độc lập với công nghệ được lắp đặt.

1.5. Nền tảng kết nối công nghiệp và kiến trúc hệ thống nhà máy

1.5.1. Kiến trúc bốn lớp và điểm nghẽn của từng lớp

Internet vạn vật công nghiệp là hạ tầng kỹ thuật hiện thực hóa đặc trưng kết nối của nhà máy thông minh. Về mặt kiến trúc, hệ thống được mô tả bằng bốn lớp chức năng xếp chồng, trong đó **mỗi lớp có thể trở thành điểm nghẽn độc lập**.



Hình 1.12. Kiến trúc bốn lớp của hệ thống IoT công nghiệp và điểm nghẽn của từng lớp

Nguồn: Tác giả tổng hợp từ Deshpande, Sarkar, Dave và Dave (2024) cùng khung kiến trúc tham chiếu công nghiệp hiện hành.

Trong bốn lớp trên, lớp gây ngộ nhận nhiều nhất là lớp cảm nhận. Doanh nghiệp thường cho rằng khó khăn nằm ở chi phí cảm biến, trong khi thực tế chi phí phần cứng chỉ chiếm tỷ trọng nhỏ trong tổng chi phí dự án. Vấn đề này sẽ được lượng hóa ở mục 1.8.2.

1.5.2. Giao thức, khả năng tương tác và ngữ nghĩa dữ liệu

Hai giao thức phổ biến nhất trong môi trường nhà máy có logic khác nhau và bổ sung cho nhau. **MQTT** hoạt động theo mô hình xuất bản và đăng ký thông qua một máy chủ trung gian, rất nhẹ, phù hợp với số lượng lớn thiết bị và đường truyền không ổn định. **OPC UA** là chuẩn kiến trúc thống nhất hướng dịch vụ, mạnh ở khả năng mô tả *ngữ nghĩa* của dữ liệu, tức là không chỉ truyền con số 78,5 mà truyền kèm thông tin rằng đó là nhiệt độ khuôn của máy ép số 3, đơn vị độ C, độ tin cậy tốt và thời điểm đo cụ thể.

Sự phân biệt giữa *truyền dữ liệu* và *truyền ngữ nghĩa dữ liệu* là điểm mấu chốt của khả năng tương tác. Một nhà máy có thể kết nối được toàn bộ thiết bị mà vẫn không tương tác được, nếu mỗi hệ thống gọi cùng một đại lượng bằng một tên khác nhau. Đây là lý do các sáng kiến chuẩn hóa mô hình tài sản số, tiêu biểu là vỏ quản trị tài sản trong hệ sinh thái Plattform Industrie 4.0, trở thành trọng tâm của giai đoạn phát triển hiện nay.

Bảng 1.10. So sánh điện toán biên, điện toán sương mù và điện toán đám mây

Tiêu chí	Điện toán biên	Điện toán sương mù	Điện toán đám mây
Vị trí xử lý	Tại thiết bị hoặc sát thiết bị	Tại cổng kết nối hoặc máy chủ trong nhà máy	Trung tâm dữ liệu bên ngoài
Độ trễ điển hình	Mili giây	Mili giây đến giây	Trăm mili giây đến giây
Phù hợp với	Điều khiển thời gian thực, phát hiện bất thường tức thời, chức năng an toàn	Tổng hợp dữ liệu cấp nhà máy, giám sát dây chuyền	Huấn luyện mô hình, phân tích lịch sử dài hạn, so sánh nhiều nhà máy
Ưu điểm	Không phụ thuộc đường truyền; giảm băng thông; dữ liệu nhạy cảm không rời nhà máy	Cân bằng giữa độ trễ và năng lực tính toán	Khả năng mở rộng gần như không giới hạn; chi phí đầu tư ban đầu thấp
Hạn chế	Năng lực tính toán và lưu trữ hạn chế; khó quản lý khi số điểm biên lớn	Phát sinh chi phí hạ tầng tại chỗ	Phụ thuộc kết nối; chi phí vận hành tăng theo lưu lượng; vấn đề chủ quyền dữ liệu

1.5.3. Tháp tự động hóa và xu hướng làm phẳng

Chuẩn ISA 95, được quốc tế hóa thành IEC 62264, mô tả quan hệ giữa hệ thống doanh nghiệp và hệ thống điều khiển thông qua mô hình phân cấp năm cấp. Đây là khung tham chiếu bắt buộc phải nắm khi thảo luận bất kỳ kiến trúc hệ thống nhà máy nào.

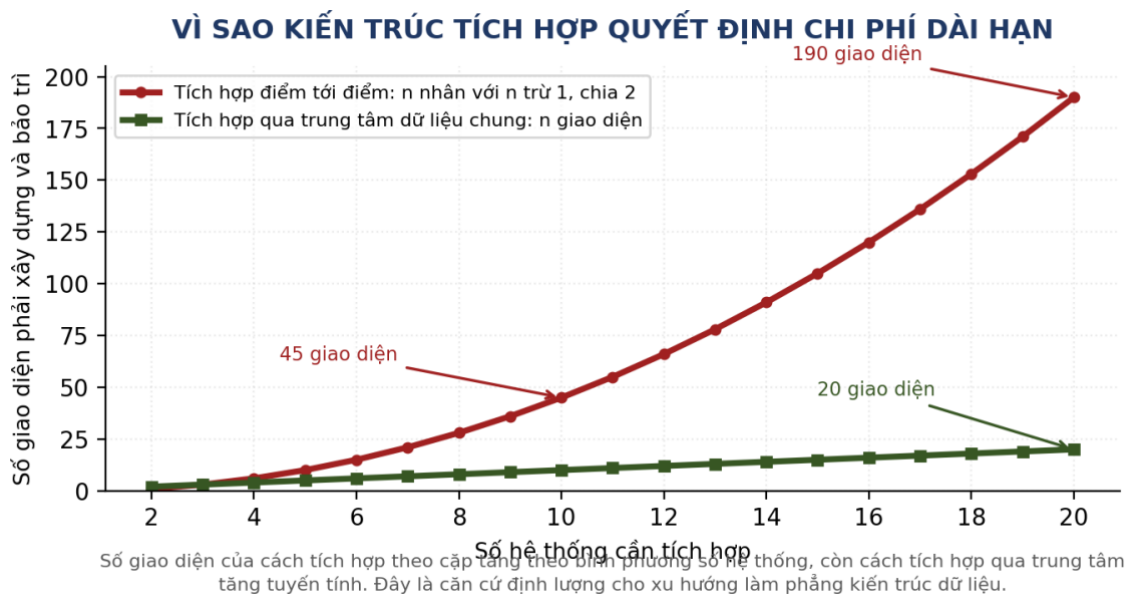
THÁP TỰ ĐỘNG HÓA NĂM CẤP VÀ XU HƯỚNG LÀM PHẪNG KIẾN TRÚC DỮ LIỆU



Hình 1.13. Tháp tự động hóa năm cấp và xu hướng làm phẳng kiến trúc dữ liệu

Nguồn: Tác giả xây dựng trên cơ sở IEC 62264 và thực tiễn kiến trúc dữ liệu công nghiệp hiện hành.

Mô hình tháp có ưu điểm lớn về an toàn và về sự rõ ràng của trách nhiệm, nhưng có một nhược điểm cấu trúc: dữ liệu phải đi tuần tự qua từng cấp, mỗi lần chuyển cấp lại phải chuyển đổi định dạng, dẫn tới độ trễ và mất mát ngữ cảnh. Nhược điểm này có thể được lượng hóa, và đó là nội dung của Hình 1.14.



Hình 1.14. Số giao diện phải bảo trì theo hai kiểu kiến trúc tích hợp

Nguồn: Tác giả tính toán và biên vẽ.

Với 10 hệ thống, cách tích hợp theo cặp đòi hỏi 45 giao diện, trong khi cách tích hợp qua một trung tâm dữ liệu chung chỉ cần 10. Với 20 hệ thống, con số lần lượt là 190 và 20. Vì mỗi giao diện đều phải được xây dựng, kiểm thử, tài liệu hóa và bảo trì qua mọi lần nâng cấp phiên bản, **chi phí dài hạn của hai kiến trúc chênh lệch theo cấp số**, và đây là căn cứ định lượng cho xu hướng làm phẳng.

Xu hướng làm phẳng dựa trên hai yếu tố kỹ thuật. Yếu tố thứ nhất là điện toán biên, cho phép xử lý dữ liệu ngay tại hiện trường. Yếu tố thứ hai là kiến trúc hướng dữ liệu kiểu *không gian tên thống nhất*, trong đó mọi hệ thống đều xuất bản dữ liệu vào một không gian tên chung theo cấu trúc phân cấp thống nhất, và bất kỳ hệ thống nào cần dữ liệu thì đăng ký nhận từ đó thay vì kết nối trực tiếp với nguồn.

Cần lưu ý một điểm quan trọng về phương pháp: làm phẳng kiến trúc dữ liệu **không** có nghĩa là xóa bỏ phân cấp điều khiển. Các chức năng an toàn và điều khiển thời gian thực vẫn phải tuân thủ phân cấp nghiêm ngặt vì lý do an toàn cho con người và thiết bị.

1.5.4. Mô hình kiến trúc tham chiếu RAMI 4.0

RAMI 4.0, được chuẩn hóa trong DIN SPEC 91345, là công cụ định vị **bất kỳ** thành phần công nghệ nào trong hệ sinh thái Công nghiệp 4.0 thông qua ba trục.

BA TRỤC CỦA MÔ HÌNH KIẾN TRÚC THAM CHIẾU RAMI 4.0



Hình 1.15. Ba trục của mô hình kiến trúc tham chiếu RAMI 4.0

Nguồn: Tác giả biên vẽ theo Plattform Industrie 4.0, DIN SPEC 91345, có tham chiếu IEC 62890 và IEC 62264.

Giá trị quản trị của RAMI 4.0 không nằm ở tính chính xác kỹ thuật, mà ở chỗ nó **buộc người ra quyết định phải trả lời ba câu hỏi trên trước khi phê duyệt đầu tư**. Trong thực tế, phần lớn

các đề xuất công nghệ thất bại khi bị đặt vào RAMI 4.0 đều mắc cùng một lỗi: giải pháp chỉ phủ một điểm hẹp trên cả ba trục nhưng được trình bày như một giải pháp toàn diện cho nhà máy.

1.5.5. Chuỗi giá trị dữ liệu và bài toán cảm biến hóa

Dữ liệu chỉ tạo ra giá trị khi đi hết một chuỗi sáu bước. Chuỗi này có tính chất của một dây chuyền nối tiếp: **giá trị đầu ra bị giới hạn bởi mắt xích yếu nhất chứ không phải bởi mắt xích mạnh nhất.**

CHUỖI GIÁ TRỊ DỮ LIỆU SÁU BƯỚC VÀ NGUYÊN TẮC MẮT XÍCH YẾU NHẤT



Chuỗi này có tính chất của một dây chuyền nối tiếp: giá trị đầu ra bị giới hạn bởi mắt xích yếu nhất. Mô hình học máy tinh vi ở bước 5 trên nền dữ liệu chưa chuẩn hóa ở bước 4 cho kết quả không đáng tin cậy; phân tích tốt mà không có quy trình xử lý cảnh báo ở bước 6 thì không tạo ra cải thiện vận hành nào.

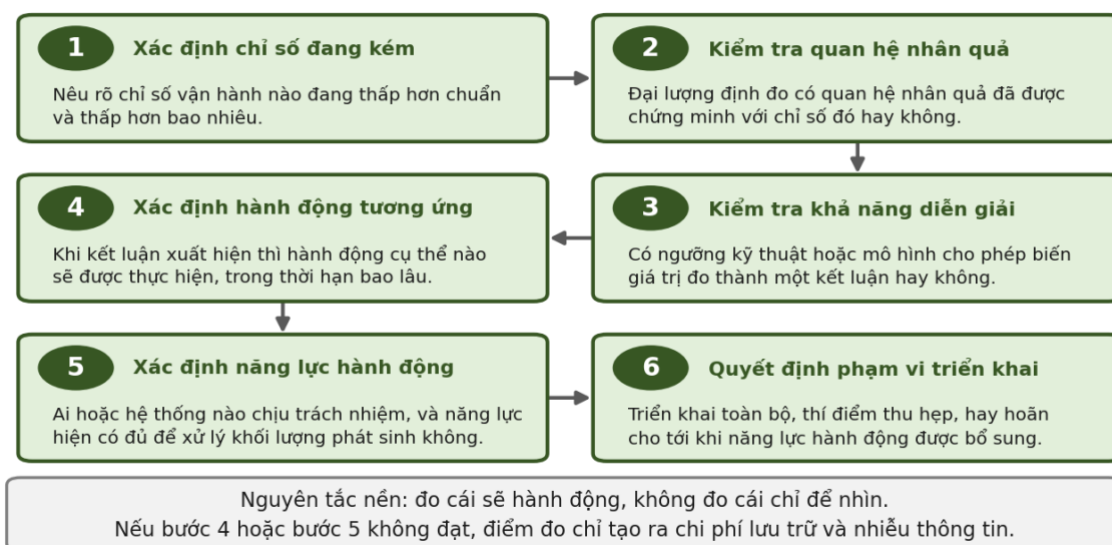
Hình 1.16. Chuỗi giá trị dữ liệu sáu bước và nguyên tắc mắt xích yếu nhất

Nguồn: Tác giả xây dựng.

Bốn vấn đề thực tiễn thường phá vỡ chuỗi này gồm: **khả năng tương tác** giữa các hệ thống của những nhà cung cấp khác nhau; **hệ thống cũ** không có khả năng xuất dữ liệu; **đảo dữ liệu** khi mỗi phòng ban giữ cơ sở dữ liệu riêng; và **chất lượng dữ liệu** kém ngay tại nguồn.

Về bài toán chi phí và lợi ích của cảm biến hóa, câu hỏi *gần bao nhiêu cảm biến là đủ* cần được trả lời bằng nguyên tắc **đo cái sẽ hành động, không đo cái chỉ để nhìn**. Nguyên tắc này được cụ thể hóa thành một quy trình thẩm định sáu bước.

QUY TRÌNH SÁU BƯỚC THẨM ĐỊNH MỘT ĐỀ XUẤT ĐIỂM ĐO



Hình 1.17. Quy trình sáu bước thẩm định một đề xuất điểm đo

Nguồn: Tác giả xây dựng.

VÍ DỤ ÁP DỤNG QUY TRÌNH THẨM ĐỊNH ĐIỂM ĐO

Một nhà máy nhựa đề xuất gắn cảm biến rung trên 60 máy ép với chi phí khoảng 15 triệu đồng mỗi máy, bao gồm cảm biến, công kết nối và tích hợp. Áp dụng quy trình ở Hình 1.17 cho kết quả như sau.

Bước 1. Chỉ số đang kém là khả dụng thiết bị, hiện ở mức 84 phần trăm so với chuẩn tham chiếu 90 phần trăm. **Đạt.**

Bước 2. Rung động có quan hệ nhân quả đã được chứng minh với mòn ổ trục, vốn là cơ chế hỏng chiếm tỷ trọng lớn nhất tại nhà máy này. **Đạt.**

Bước 3. Có ngưỡng cảnh báo theo tiêu chuẩn rung động máy. **Đạt.**

Bước 4. Hành động tương ứng là lập lệnh bảo trì trong cửa sổ dừng máy kế hoạch gần nhất. **Đạt.**

Bước 5. Tổ bảo trì hiện có 4 người, đang xử lý trung bình 22 lệnh mỗi tuần và thường xuyên quá tải. Ước tính hệ thống mới sẽ sinh thêm khoảng 8 tới 12 lệnh mỗi tuần. **Chưa đạt.**

Bước 6, kết luận quản trị. Nên triển khai thí điểm trên 12 máy có tần suất hỏng cao nhất, song song với việc điều chỉnh năng lực tổ bảo trì, thay vì triển khai đồng loạt 60 máy. Đây là minh họa điển hình cho nguyên tắc: **nút thắt của dự án số hóa thường nằm ở năng lực hành động chứ không nằm ở năng lực đo lường.**

1.6. Dữ liệu như một tài sản vận hành

1.6.1. Sáu chiều chất lượng dữ liệu sản xuất

Trong bối cảnh nhà máy, dữ liệu kém chất lượng không chỉ làm giảm độ chính xác của phân tích mà còn có thể dẫn tới quyết định gây thiệt hại vật chất và mất an toàn. Chất lượng dữ liệu vì vậy cần được đánh giá một cách có hệ thống theo sáu chiều.

Bảng 1.11. Sáu chiều chất lượng dữ liệu sản xuất

Chiều	Câu hỏi kiểm tra	Biểu hiện lỗi điển hình trong nhà máy	Biện pháp kiểm soát
Tính chính xác	Giá trị ghi nhận có phản ánh đúng thực tế không	Cảm biến trôi hiệu chuẩn; nhập tay sai đơn vị đo	Lịch hiệu chuẩn định kỳ; đối chiếu chéo giữa hai nguồn đo độc lập
Tính đầy đủ	Có thiếu bản ghi hoặc thiếu trường dữ liệu không	Mất dữ liệu khi mất mạng; ca đêm không ghi nhận	Bộ đệm dữ liệu tại biên; báo cáo tỷ lệ bản ghi thiếu theo từng ca
Tính nhất quán	Cùng một đại lượng có giá trị giống nhau giữa các hệ thống không	Tồn kho trong hệ thống hoạch định khác tồn kho trong hệ thống điều hành	Từ điển dữ liệu dùng chung; quy tắc một nguồn chân lý duy nhất
Tính kịp thời	Dữ liệu có sẵn đúng lúc cần ra quyết định không	Dữ liệu chất lượng chỉ có sau khi lô hàng đã xuất	Xác định độ trễ tối đa cho phép theo từng loại quyết định
Tính hợp lệ	Giá trị có nằm trong miền cho phép và đúng định dạng không	Nhiệt độ âm ở lò nung; mã sản phẩm không theo quy tắc	Ràng buộc miền giá trị ngay tại điểm nhập liệu
Tính truy vết	Có biết dữ liệu từ đâu, do ai và đo bằng gì không	Không rõ nguồn của bản ghi; không lưu lịch sử hiệu chuẩn	Siêu dữ liệu bắt buộc gồm nguồn, thời điểm và thiết bị đo

1.6.2. Hội tụ công nghệ thông tin và công nghệ vận hành

Việc kết nối hệ thống công nghệ vận hành với hệ thống công nghệ thông tin tạo ra giá trị nhưng đồng thời mở rộng bề mặt tấn công. Khác biệt căn bản giữa hai môi trường cần được nhận thức rõ: trong công nghệ thông tin, thứ tự ưu tiên là bảo mật, toàn vẹn rồi mới đến sẵn sàng; trong công

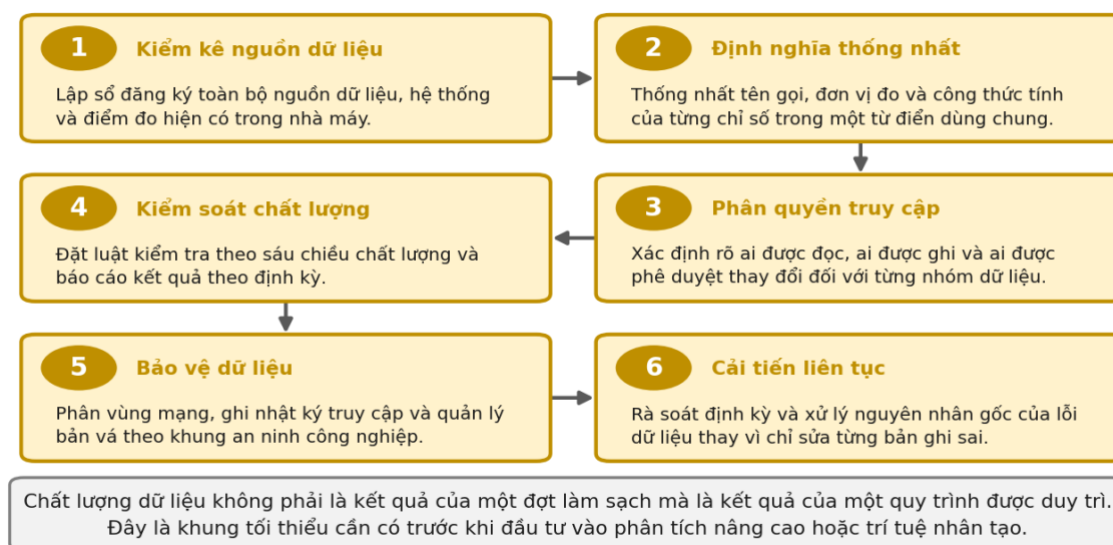
nghe vận hành, thứ tự **đảo ngược** thành sẵn sàng, toàn vẹn rồi mới đến bảo mật, bởi một hệ thống điều khiển dừng đột ngột có thể gây mất an toàn cho con người và thiết bị.

Bộ tiêu chuẩn **IEC 62443** là khung tham chiếu quốc tế cho an ninh hệ thống tự động hóa và điều khiển công nghiệp, với các khái niệm cốt lõi gồm phân vùng và ống dẫn, mức độ an ninh, cùng trách nhiệm phân chia giữa chủ đầu tư, nhà tích hợp và nhà cung cấp sản phẩm. Nội dung này được khai triển sâu ở Chương 2. Tại Chương 1, người học chỉ cần ghi nhận nguyên tắc: **mọi quyết định kết nối đều đồng thời là một quyết định về rủi ro an ninh**, và chi phí an ninh phải được tính vào luận chứng kinh tế ngay từ đầu chứ không bổ sung sau.

1.6.3. Quy trình quản trị dữ liệu vận hành

Chất lượng dữ liệu không phải là kết quả của một đợt làm sạch, mà là kết quả của một quy trình được duy trì liên tục. Sáu bước dưới đây tạo thành khung quản trị tối thiểu mà một nhà máy cần có trước khi đầu tư vào phân tích nâng cao hoặc trí tuệ nhân tạo. Khung này tương thích với yêu cầu về hồ sơ và trách nhiệm giải trình của tiêu chuẩn ISO/IEC 42001 về hệ thống quản lý trí tuệ nhân tạo.

QUY TRÌNH SÁU BƯỚC QUẢN TRỊ DỮ LIỆU VẬN HÀNH



Hình 1.18. Quy trình sáu bước quản trị dữ liệu vận hành

Nguồn: Tác giả xây dựng, có tham chiếu yêu cầu của ISO/IEC 42001.

Bảng 1.12. Sản phẩm đầu ra và người chịu trách nhiệm của từng bước

Bước	Sản phẩm đầu ra	Người chịu trách nhiệm điển hình
1. Kiểm kê nguồn dữ liệu	Sổ đăng ký dữ liệu	Quản lý kỹ thuật

Bước	Sản phẩm đầu ra	Người chịu trách nhiệm điển hình
2. Định nghĩa thống nhất	Từ điển dữ liệu dùng chung	Ban điều hành sản xuất
3. Phân quyền truy cập	Ma trận phân quyền theo vai trò	Bộ phận công nghệ thông tin
4. Kiểm soát chất lượng	Báo cáo chất lượng dữ liệu định kỳ	Người quản lý dữ liệu chuyên trách
5. Bảo vệ dữ liệu	Hồ sơ an ninh theo khung IEC 62443	Bộ phận an ninh thông tin
6. Cải tiến liên tục	Biên bản rà soát và hành động khắc phục	Hội đồng quản trị dữ liệu

ĐIỂM CẦN NHỚ

Ba câu hỏi cần đặt trước khi phê duyệt bất kỳ kết nối mới nào giữa mạng vận hành và mạng doanh nghiệp:

Thứ nhất, nếu kết nối này bị chiếm quyền thì hậu quả xấu nhất đối với an toàn con người là gì?

Thứ hai, hệ thống có thể tiếp tục vận hành ở chế độ suy giảm khi kết nối bị ngắt hay không?

Thứ ba, ai chịu trách nhiệm giám sát và vá lỗi thiết bị này trong suốt vòng đời của nó?

Nếu câu hỏi thứ ba không có câu trả lời cụ thể kèm tên bộ phận, thì kết nối chưa nên được phê duyệt.

1.7. Mô hình trưởng thành số và tự đánh giá nhà máy

Mô hình trưởng thành là công cụ chuyển hóa khái niệm trừu tượng nhà máy thông minh thành một thang đo có cấu trúc, cho phép doanh nghiệp trả lời ba câu hỏi: *đang ở đâu, cần đi tới đâu và bước tiếp theo là gì*. Tổng quan phê phán của Mittal, Khan, Romero và Wuest (2018) đã kiểm kê hàng chục mô hình khác nhau. Giáo trình này lựa chọn hai mô hình có ảnh hưởng lớn nhất và có tính bổ sung cho nhau.

1.7.1. Mô hình lộ trình sáu giai đoạn của acatech

Do Viện Hàn lâm Khoa học và Kỹ thuật Quốc gia Đức xây dựng, công bố năm 2017 và cập nhật năm 2020, mô hình này tiếp cận trưởng thành số như một **lộ trình phát triển năng lực theo chiều sâu**.

LỘ TRÌNH SÁU GIAI ĐOẠN VÀ BỐN LĨNH VỰC CẤU TRÚC DOANH NGHIỆP



Hình 1.19. Lộ trình sáu giai đoạn và bốn lĩnh vực cấu trúc doanh nghiệp

Nguồn: Tác giả biên vẽ theo acatech (2020), Industrie 4.0 Maturity Index, bản cập nhật năm 2020.

Bảng 1.13. Sáu giai đoạn trưởng thành và đặc điểm nhận biết

Giai đoạn	Câu hỏi được trả lời	Đặc điểm nhận biết tại nhà máy
1. Tin học hóa	Công việc đã được hỗ trợ bằng máy tính chưa	Có phần mềm rời rạc cho từng chức năng; dữ liệu chưa liên thông giữa các phần mềm
2. Kết nối	Các hệ thống đã nói chuyện được với nhau chưa	Hệ thống được kết nối; dữ liệu trao đổi được nhưng chưa tích hợp hoàn toàn

Giai đoạn	Câu hỏi được trả lời	Đặc điểm nhận biết tại nhà máy
3. Khả năng nhìn thấy	Chuyện gì đang xảy ra	Có bản sao số của trạng thái hiện tại; dữ liệu cảm biến cập nhật theo thời gian thực
4. Tính minh bạch	Vì sao chuyện đó xảy ra	Hiểu được quan hệ nhân quả; phân tích nguyên nhân gốc dựa trên dữ liệu chứ không dựa trên phỏng đoán
5. Năng lực dự báo	Điều gì sẽ xảy ra	Mô phỏng kịch bản tương lai; cảnh báo sớm; bảo trì dự báo
6. Khả năng tự thích ứng	Hệ thống tự phản ứng thế nào	Hệ thống tự ra quyết định và tự điều chỉnh trong phạm vi được ủy quyền

Điểm mạnh về phương pháp của mô hình này nằm ở chỗ nó khẳng định **bốn lĩnh vực cấu trúc doanh nghiệp phải phát triển song song**: nguồn lực, hệ thống thông tin, cấu trúc tổ chức và văn hóa. Hàm ý quản trị rất rõ: một doanh nghiệp đầu tư mạnh vào hệ thống thông tin nhưng giữ nguyên cấu trúc tổ chức phân mảnh và văn hóa quy trách nhiệm cá nhân khi có sai lỗi sẽ không thể vượt qua giai đoạn 3, bất kể mức đầu tư công nghệ lớn đến đâu.

1.7.2. Khung đánh giá mức độ sẵn sàng đa chiều

Khung Smart Industry Readiness Index được Ủy ban Phát triển Kinh tế Singapore giới thiệu năm 2017 với sự tham gia của TÜV SÜD, hiện được Trung tâm Quốc tế về Chuyển đổi Công nghiệp quản lý và triển khai toàn cầu. Khác với acatech, khung này tiếp cận trường thành số như một bài toán **chẩn đoán đa chiều và đối sánh**.

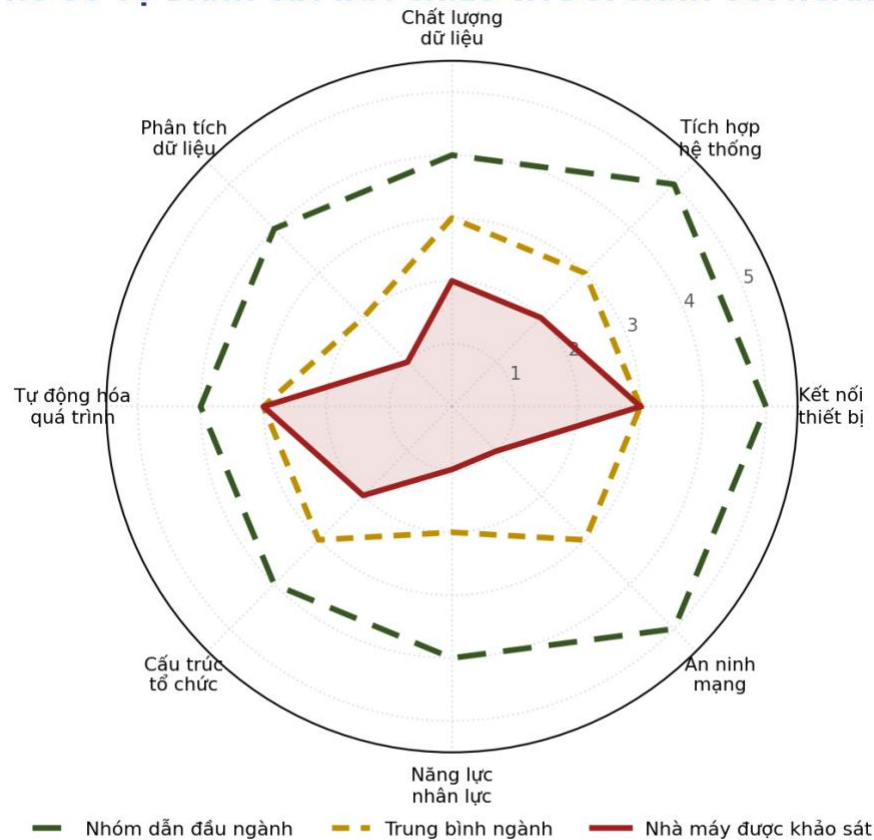


Hình 1.20. Kiến trúc ba lớp và ba công cụ triển khai của khung đánh giá sẵn sàng

Nguồn: Tác giả biên vẽ theo Singapore Economic Development Board và TÜV SÜD (2017), có cập nhật theo tài liệu hiện hành của Trung tâm Quốc tế về Chuyển đổi Công nghiệp.

Sản phẩm cuối cùng của một cuộc đánh giá theo khung này là **hồ sơ điểm nhiều chiều có đối sánh**, chứ không phải một con số tổng hợp duy nhất. Đây là khác biệt phương pháp quan trọng, vì một con số tổng hợp che giấu chính thông tin cần cho quyết định đầu tư.

HỒ SƠ TỰ ĐÁNH GIÁ TÁM CHIỀU VÀ ĐỐI SÁNH VỚI NGÀNH



Khoảng cách lớn nhất so với trung bình ngành nằm ở phân tích dữ liệu, năng lực nhân lực và an ninh mạng. Đây là ba chiều cần ưu tiên, chứ không phải chiều có điểm tuyệt đối thấp nhất.

Hình 1.21. Hồ sơ tự đánh giá tám chiều và đối sánh với ngành

Nguồn: Tác giả xây dựng theo số liệu minh họa của bài tập cuối chương.

Cách đọc Hình 1.21 minh họa nguyên tắc chọn ưu tiên. Chiều có điểm tuyệt đối thấp nhất chưa chắc là chiều cần đầu tư trước; chiều cần ưu tiên là chiều có **khoảng cách lớn nhất so với chuẩn đối sánh của ngành**, vì đó là nơi doanh nghiệp đang mất lợi thế cạnh tranh. Trong ví dụ, phân tích dữ liệu, năng lực nhân lực và an ninh mạng là ba chiều tụt lại xa nhất so với trung bình ngành.

1.7.3. So sánh và nguyên tắc lựa chọn khung đánh giá

Bảng 1.14. So sánh hai khung đánh giá trưởng thành số

Tiêu chí	Mô hình lộ trình acatech	Khung đánh giá sẵn sàng đa chiều
Triết lý	Lộ trình phát triển năng lực theo chiều sâu	Chẩn đoán đa chiều và đối sánh theo chiều rộng

Tiêu chí	Mô hình lộ trình acatech	Khung đánh giá sẵn sàng đa chiều
Cấu trúc	Sáu giai đoạn kết hợp bốn lĩnh vực cấu trúc doanh nghiệp	Ba trụ nền tảng, tám trụ cột, mười sáu chiều với sáu dải mỗi chiều
Kết quả đầu ra	Vị trí trên lộ trình và bước phát triển kế tiếp	Hồ sơ điểm nhiều chiều, so sánh với chuẩn ngành, danh mục ưu tiên
Điểm mạnh	Giải thích tốt vì sao doanh nghiệp mắc kẹt; nhấn mạnh tổ chức và văn hóa	Chuẩn hóa cao, so sánh được giữa các nhà máy và quốc gia; có mạng lưới đánh giá viên được chứng nhận
Hạn chế	Khó so sánh liên doanh nghiệp; phụ thuộc năng lực diễn giải của người đánh giá	Có nguy cơ bị sử dụng như một bài thi lấy điểm; chi phí đánh giá chính thức
Phù hợp khi	Doanh nghiệp cần lộ trình nội bộ trung hạn và dài hạn	Doanh nghiệp cần định vị cạnh tranh và chọn ưu tiên đầu tư ngắn hạn

Nguyên tắc lựa chọn được phát biểu như sau: **khung đánh giá phải phục vụ mục tiêu quản trị chứ không ngược lại**. Nếu câu hỏi của lãnh đạo là doanh nghiệp đang đứng ở đâu so với đối thủ và nên đầu tư vào đâu trước, thì khung đánh giá đa chiều phù hợp hơn. Nếu câu hỏi là vì sao ba năm qua doanh nghiệp đầu tư nhiều mà không tiến bộ, thì mô hình acatech cho câu trả lời sâu hơn nhờ chiều tổ chức và văn hóa. Trong thực tiễn, nhiều doanh nghiệp dùng khung đa chiều để chẩn đoán và dùng acatech để thiết kế lộ trình.

CẢNH BÁO PHƯƠNG PHÁP LUẬN

Điểm số trưởng thành là *phương tiện chẩn đoán* chứ không phải *mục tiêu quản trị*. Ba rủi ro cần phòng tránh như sau.

Thứ nhất là chạy theo điểm số. Khi điểm trưởng thành trở thành chỉ tiêu thi đua, doanh nghiệp có xu hướng đầu tư vào những chiều dễ nâng điểm thay vì những chiều tạo giá trị.

Thứ hai là đầu tư công nghệ vượt nhu cầu. Không phải nhà máy nào cũng cần đạt giai đoạn 6; mức trưởng thành tối ưu phụ thuộc chiến lược cạnh tranh, đặc điểm sản phẩm và cấu trúc chi phí. Một nhà máy sản xuất khối lượng lớn và ít thay đổi mẫu có thể tối ưu ở giai đoạn 4, trong khi một nhà máy gia công theo đơn hàng đa dạng cần vươn tới giai đoạn 5.

Thứ ba là nhầm điểm số với năng lực. Điểm số phản ánh hạ tầng và quy trình đã có; nó không đo được năng lực thực thi thay đổi, vốn là biến số quyết định thành bại của lộ trình chuyển đổi.

1.8. Luận chứng kinh tế của đầu tư nhà máy thông minh

1.8.1. Từ lợi ích kỹ thuật đến lợi ích tài chính

Một trong những nguyên nhân phổ biến nhất khiến đề xuất đầu tư số hóa bị từ chối là đề xuất chỉ trình bày lợi ích kỹ thuật như giám sát thời gian thực hoặc kết nối toàn bộ thiết bị, mà không chuyển hóa được thành dòng tiền.

CHUỖI BỐN MẮT XÍCH CỦA LUẬN CHỨNG KINH TẾ CHO ĐẦU TƯ SỐ HÓA



Hình 1.22. Chuỗi bốn mắt xích của luận chứng kinh tế cho đầu tư số hóa

Nguồn: Tác giả xây dựng.

Bảng 1.15. Bốn nhóm lợi ích kinh tế và cách quy đổi thành tiền

Nhóm lợi ích	Cơ chế tạo giá trị	Chỉ số vận hành thay đổi	Cách quy đổi thành tiền
Tăng năng lực sản xuất	Giảm tổn thất thiết bị, tăng thời gian chạy hữu ích	Hiệu suất thiết bị tổng thể, sản lượng trên ca	Số sản phẩm tăng thêm nhân biên lợi nhuận gộp, hoặc chi phí đầu tư máy mới tránh được
Giảm chi phí biến đổi	Giảm phế phẩm, giảm làm lại, giảm tiêu hao năng lượng và vật tư	Tỷ lệ đạt lần đầu, năng lượng trên đơn vị	Mức giảm nhân sản lượng năm nhân đơn giá tương ứng
Giải phóng vốn lưu động	Rút ngắn thời gian chờ, giảm sản phẩm dở dang và tồn kho an toàn	Sản phẩm dở dang, thời gian chờ, vòng quay tồn kho	Mức giảm tồn kho nhân chi phí vốn

Nhóm lợi ích	Cơ chế tạo giá trị	Chỉ số vận hành thay đổi	Cách quy đổi thành tiền
Giảm rủi ro và chi phí ẩn	Giảm giao trễ, khiếu nại, thu hồi và sự cố an toàn	Tỷ lệ giao hàng đúng hạn, chi phí chất lượng kém	Chi phí phạt và tổn thất kỳ vọng tránh được

1.8.2. Các chi phí thường bị đánh giá thấp

Kinh nghiệm triển khai cho thấy tổng chi phí sở hữu của một dự án nhà máy thông minh thường vượt xa chi phí phần cứng và giấy phép phần mềm.



Hình 1.23. Bảng tổng chi phí sở hữu của một dự án số hóa

Nguồn: Tác giả xây dựng theo cấu trúc chi phí điển hình được ghi nhận trong thực tiễn triển khai.

Ý nghĩa thực hành của Hình 1.23 nằm ở chỗ nó cho nhà quản trị một **danh mục kiểm tra khi thẩm định báo giá**. Nếu báo giá chỉ nêu phần cứng và giấy phép, cần yêu cầu nhà cung cấp bổ sung ước tính cho bốn khoản mục còn lại, hoặc phải tự lập dự phòng tương ứng. Một dự án được phê duyệt trên cơ sở chỉ 35 phần trăm chi phí thực gần như chắc chắn sẽ vượt ngân sách, và khi đó chính dự án đó sẽ trở thành lập luận chống lại các dự án số hóa tiếp theo trong doanh nghiệp.

VÍ DỤ LUẬN CHỨNG KINH TẾ CỦA MỘT DỰ ÁN GIÁM SÁT DỪNG MÁY

Bối cảnh. Nhà máy cơ khí có 25 máy điều khiển số, hiệu suất thiết bị tổng thể trung bình 62 phần trăm, tổn thất chủ yếu do dừng vật không được ghi nhận. Đề xuất là lắp hệ thống thu thập dữ liệu dừng máy tự động và bảng theo dõi theo giờ.

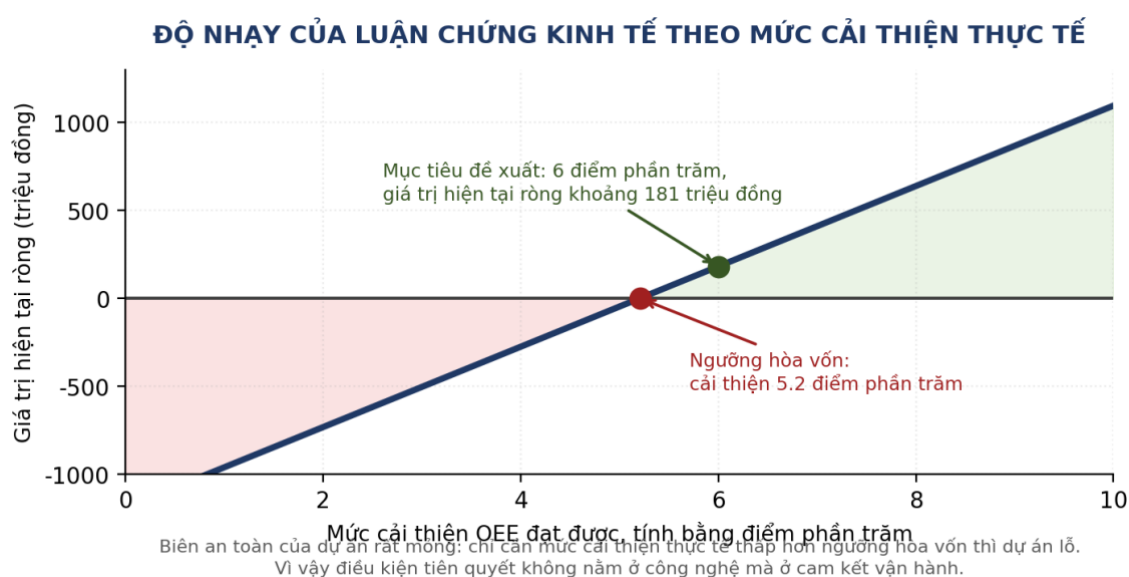
Chi phí. Đầu tư ban đầu 900 triệu đồng gồm phần cứng, tích hợp và đào tạo. Chi phí vận hành 80 triệu đồng mỗi năm. Vòng đời dự án 5 năm, suất chiết khấu 12 phần trăm mỗi năm, tương ứng hệ số hiện giá dòng tiền đều 5 năm là 3,6048.

Lợi ích. Mục tiêu nâng hiệu suất thiết bị từ 62 lên 68 phần trăm trong 12 tháng. Với biên lợi nhuận góp hiện tại, mức tăng 6 điểm phần trăm này tương ứng 380 triệu đồng mỗi năm.

Kết quả. Dòng tiền thuần hằng năm bằng 380 trừ 80, tức 300 triệu đồng. Thời gian hoàn vốn giản đơn bằng 900 chia 300, tức **3,0 năm**. Giá trị hiện tại ròng bằng tích của 300 với 3,6048 rồi trừ 900, xấp xỉ **181 triệu đồng**, với tỷ suất hoàn vốn nội bộ xấp xỉ 20 phần trăm mỗi năm.

Phân tích độ nhạy. Ngưỡng hòa vốn nằm ở mức cải thiện khoảng **5,2 điểm phần trăm**. Nghĩa là nếu mức cải thiện thực tế chỉ đạt 4 hoặc 5 điểm phần trăm thay vì 6 thì dự án lỗ.

Diễn giải quản trị. Dự án khả thi nhưng **biên an toàn rất mỏng**. Vì vậy điều kiện tiên quyết không nằm ở công nghệ mà ở cam kết vận hành, cụ thể là phải có quy trình hợp phân tích dừng máy hằng ngày và người chịu trách nhiệm xử lý nguyên nhân gốc. Đây chính là mắt xích thay đổi hành vi vận hành đã nêu trong Hình 1.22.



Hình 1.24. Độ nhạy của luận chứng kinh tế theo mức cải thiện thực tế

Nguồn: Tác giả tính toán và biên vẽ theo số liệu của ví dụ trên.

1.8.3. Lộ trình triển khai theo ba giai đoạn

Luận chứng kinh tế chỉ có ý nghĩa khi gắn với một lộ trình triển khai có kiểm soát, nhằm phòng tránh hiện tượng **sa lầy thí điểm**, tức tình trạng doanh nghiệp thực hiện nhiều dự án thí điểm nhưng không nhân rộng được dự án nào.

LỘ TRÌNH BA GIAI ĐOẠN VÀ CHÍN BƯỚC TRIỂN KHAI NHÀ MÁY THÔNG MINH

mỗi giai đoạn có sản phẩm bàn giao kiểm tra được trước khi sang giai đoạn sau



Hình 1.25. Lộ trình ba giai đoạn và chín bước triển khai nhà máy thông minh

Nguồn: Tác giả xây dựng trên cơ sở khung của Budde, Hänggi, Friedli và Rüedy (2023) kết hợp lộ trình phát triển năng lực của acatech (2020).

Điểm cần nhấn mạnh là mỗi dự án thí điểm phải được xác định **ngưỡng hủy ngay từ đầu**, tức mức kết quả tối thiểu mà nếu không đạt được sau một khoảng thời gian xác định thì dự án sẽ dừng. Thiếu ngưỡng hủy, doanh nghiệp có xu hướng tiếp tục rót nguồn lực vào các thí điểm không hiệu quả vì chi phí đã bỏ ra, và đây chính là biểu hiện của thiên lệch chi phí chìm trong quyết định đầu tư công nghệ.

1.9. Bối cảnh công nghiệp Việt Nam

1.9.1. Cấu trúc phân hóa và hàm ý đào tạo

Nền công nghiệp chế biến chế tạo Việt Nam có đặc điểm phân hóa rõ rệt về mức độ trưởng thành số, và điều này định hình trực tiếp bối cảnh nghề nghiệp mà sinh viên của học phần sẽ bước vào.

Bảng 1.16. Phân hóa mức độ trưởng thành số của công nghiệp chế biến chế tạo Việt Nam

Nhóm doanh nghiệp	Giai đoạn điển hình	Đặc điểm	Bài toán quản trị ưu tiên
Doanh nghiệp có vốn nước ngoài quy mô lớn trong điện tử, ô tô, xe máy và thiết bị	Giai đoạn 4 và 5	Chuẩn hóa cao theo hệ thống của tập đoàn mẹ; hệ thống điều hành sản xuất và tự động hóa phổ biến; dữ liệu liên thông	Khai thác dữ liệu để dự báo và tự thích ứng; tích hợp nhà cung cấp nội địa vào chuỗi dữ liệu
Doanh nghiệp nội địa quy mô lớn và doanh nghiệp phụ trợ cấp một	Giai đoạn 2 và 3	Đã có hệ thống hoạch định nguồn lực; dữ liệu sản xuất một phần còn thủ công; đầu tư tự động hóa có chọn lọc	Kết nối dữ liệu hiện trường; nâng khả năng nhìn thấy và truy vết theo yêu cầu của khách hàng
Doanh nghiệp nhỏ và vừa	Giai đoạn 1 và 2	Quản lý bằng giấy và bảng tính; thiết bị đa thế hệ; nguồn lực kỹ thuật số hạn chế	Số hóa chi phí thấp và cho giá trị nhanh: ghi nhận dùng máy, quản lý bảo trì, theo dõi trực quan

Hàm ý sư phạm của bảng trên là học phần phải phục vụ đồng thời hai bối cảnh nghề nghiệp. Sinh viên làm việc trong doanh nghiệp có vốn nước ngoài cần năng lực phân tích dữ liệu và vận hành hệ thống đã có. Sinh viên làm việc trong doanh nghiệp nhỏ và vừa cần năng lực thiết kế lộ trình chi phí thấp và thuyết phục chủ doanh nghiệp bằng luận chứng kinh tế. Vì vậy dự án ứng dụng thực hành của học phần yêu cầu sinh viên khảo sát một nhà máy thực tế và đưa ra đề xuất **phù hợp với mức trưởng thành thực tế của nhà máy đó**, chứ không đề xuất một giải pháp lý tưởng chung.

1.9.2. Khung chính sách và áp lực pháp lý từ thị trường xuất khẩu

Ở cấp quốc gia, Nghị quyết số 57 của Bộ Chính trị ban hành ngày 22 tháng 12 năm 2024 xác định phát triển khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số quốc gia là đột phá quan trọng hàng đầu và là động lực chính để phát triển nhanh lực lượng sản xuất hiện đại. Trên cơ sở đó, các chương trình hỗ trợ thúc đẩy sản xuất thông minh tập trung vào hoàn thiện cơ chế cùng bộ chỉ số

đánh giá, nâng cao năng lực nhân lực số, tăng cường liên kết giữa doanh nghiệp với viện nghiên cứu và trường đại học, phát triển hạ tầng số, và mở rộng hợp tác quốc tế. Do khung chính sách được cập nhật thường xuyên, giảng viên cần rà soát văn bản hiện hành trước mỗi học kỳ.

Bảng 1.17. Ba khung pháp lý quốc tế tạo yêu cầu dữ liệu mới đối với nhà máy

Khung pháp lý	Nội dung cốt lõi	Yêu cầu dữ liệu phát sinh tại nhà máy
Cơ chế Điều chỉnh Biên giới Carbon của Liên minh châu Âu	Giai đoạn chính thức bắt đầu từ ngày 1 tháng 1 năm 2026; áp dụng ngưỡng miễn trừ theo khối lượng 50 tấn mỗi năm; việc mua và nộp chứng chỉ bắt đầu từ tháng 2 năm 2027 cho lượng nhập khẩu năm 2026	Đo lường và kiểm chứng phát thải hàm chứa ở cấp sản phẩm; dữ liệu tiêu hao năng lượng theo công đoạn; hồ sơ truy vết nguyên liệu đầu vào
Đạo luật Trí tuệ nhân tạo của Liên minh châu Âu	Phân loại hệ thống theo mức rủi ro; nghĩa vụ minh bạch áp dụng từ ngày 2 tháng 8 năm 2026; thời hạn đối với hệ thống rủi ro cao đang trong quá trình điều chỉnh	Hồ sơ kỹ thuật của mô hình dùng trong sản xuất; nhật ký vận hành; cơ chế giám sát của con người
Tiêu chuẩn ISO/IEC 42001 về hệ thống quản lý trí tuệ nhân tạo	Khung quản lý vòng đời hệ thống trí tuệ nhân tạo trong tổ chức	Chính sách dữ liệu, phân định trách nhiệm, quy trình đánh giá rủi ro và cải tiến

Điểm quản trị cần rút ra là **các yêu cầu tuân thủ này biến dữ liệu vận hành từ tài sản nội bộ thành nghĩa vụ đối ngoại**. Một nhà máy không đo được phát thải theo sản phẩm sẽ buộc phải chấp nhận giá trị mặc định thường bất lợi khi khai báo, dẫn tới chi phí cao hơn đối thủ có dữ liệu tốt. Đây là một lập luận kinh tế cho đầu tư số hóa mạnh hơn nhiều so với lập luận bất kịp xu hướng công nghệ, vì nó thuộc nhóm lợi ích tránh tổn thất chứ không phải nhóm lợi ích tăng thêm doanh thu.

Lưu ý học thuật: các mốc thời gian và ngưỡng nêu trong Bảng 1.17 phản ánh trạng thái pháp lý tại thời điểm biên soạn là tháng 8 năm 2026. Do một số quy định đang trong quá trình sửa đổi, người học cần kiểm tra văn bản hiện hành khi sử dụng cho mục đích thực tế.

1.10. Giới hạn, rủi ro và các tranh luận học thuật còn mở

Một giáo trình đại học có trách nhiệm trình bày cả những gì chưa được giải quyết. Bốn tranh luận sau đây đang định hình chương trình nghiên cứu của lĩnh vực và cần được người học tiếp cận với thái độ phê phán.

Nghịch lý năng suất của số hóa. Không ít nghiên cứu thực nghiệm cho thấy quan hệ giữa mức độ áp dụng công nghệ 4.0 và hiệu quả vận hành là quan hệ phi tuyến, thậm chí âm trong giai đoạn đầu triển khai. Các giải thích cạnh tranh gồm độ trễ giữa đầu tư và kết quả, chi phí học tập của tổ chức, và hiện tượng doanh nghiệp áp dụng công nghệ khi chưa ổn định quá trình nền. Hàm ý quản trị là không nên hứa hẹn kết quả trong vòng vài tháng cho một chuyển đổi cấu trúc kéo dài nhiều năm.

Trình tự áp dụng công nghệ. Nghiên cứu về mô thức triển khai của Frank, Dalenogare và Ayala (2019) cho thấy các doanh nghiệp có xu hướng áp dụng công nghệ theo trình tự chứ không đồng thời: các công nghệ nền tảng về kết nối và dữ liệu thường phải có trước khi những ứng dụng tiên tiến như bản sao số hay tối ưu hóa tự động có thể phát huy tác dụng. Điều này ủng hộ cách tiếp cận lộ trình theo giai đoạn, đồng thời cảnh báo chống lại việc nhảy cóc công nghệ.

Ranh giới của tự động hóa quyết định. Khi hệ thống chuyển từ *đề xuất* sang *tự thực hiện* quyết định, câu hỏi về trách nhiệm giải trình trở nên gay gắt: ai chịu trách nhiệm khi thuật toán điều độ gây ra giao hàng trễ, hoặc khi mô hình bảo trì bỏ sót một hỏng hóc dẫn tới tai nạn? Về mặt quản trị, cần xác định rõ **miền ủy quyền quyết định** cho hệ thống, gồm phạm vi tham số, ngưỡng bắt buộc phải chuyển cho con người và cơ chế can thiệp khẩn cấp.

Tác động đến lao động và kỹ năng. Bằng chứng thực nghiệm không ủng hộ cả hai luận điểm cực đoan, tức không ủng hộ quan điểm công nghệ xóa sổ việc làm sản xuất, cũng không ủng hộ quan điểm công nghệ luôn tạo thêm việc làm tốt hơn. Điều được ghi nhận nhất quán hơn là **sự dịch chuyển cấu trúc kỹ năng**: giảm nhu cầu thao tác lặp lại, tăng nhu cầu về vận hành và giám sát hệ thống, phân tích dữ liệu, bảo trì thiết bị thông minh và phối hợp liên chức năng.

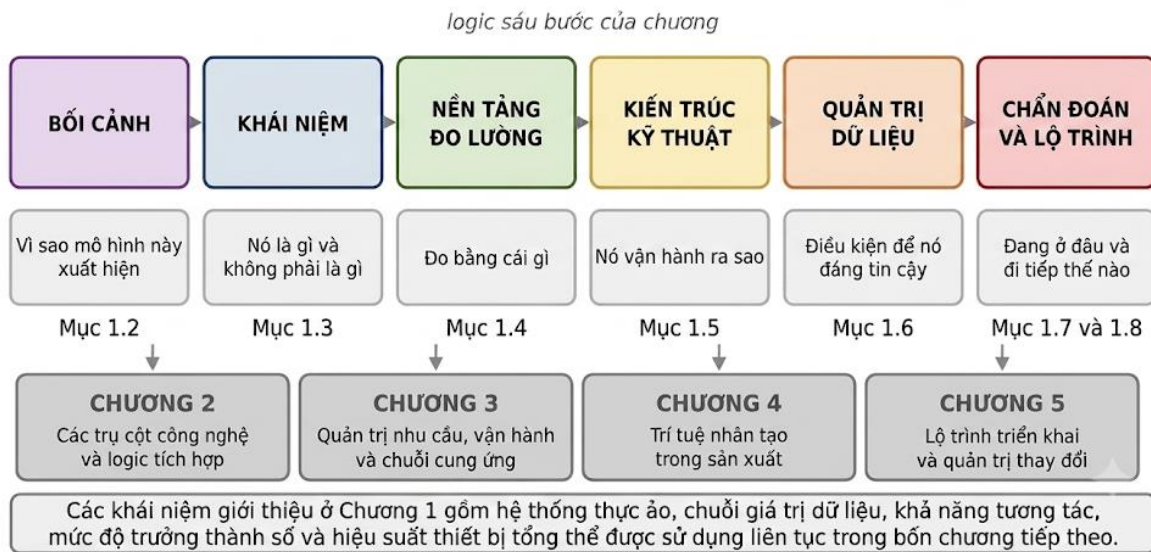
ĐIỂM CẦN NHỚ

Thái độ học thuật đúng đắn đối với chủ đề nhà máy thông minh không phải là hoài nghi toàn diện, cũng không phải là nhiệt tình công nghệ. Đó là thái độ **có điều kiện**: mỗi công nghệ tạo ra giá trị trong những điều kiện xác định về mức độ ổn định quá trình, chất lượng dữ liệu, năng lực tổ chức và cấu trúc kinh tế của doanh nghiệp.

Nhiệm vụ của nhà quản trị là kiểm tra xem các điều kiện đó có được thỏa mãn hay không, trước khi quyết định đầu tư. Đây cũng chính là nội dung của ba nguyên tắc ở Hình 1.2.

1.11. Tổng hợp: bản đồ chương và liên kết tới các chương sau

BẢN ĐỒ CHƯƠNG 1 VÀ LIÊN KẾT TỚI CÁC CHƯƠNG SAU



Hình 1.26. Bản đồ Chương 1 và liên kết tới các chương sau

Nguồn: Tác giả tổng hợp từ nội dung Chương 1.

Sáu khối nội dung của chương không phải là sáu chủ đề rời rạc mà là một chuỗi lập luận. Bối cảnh giải thích vì sao mô hình xuất hiện; khái niệm xác định đối tượng nghiên cứu; nền tảng đo lường cung cấp ngôn ngữ để đánh giá; kiến trúc kỹ thuật giải thích cơ chế vận hành; quản trị dữ liệu nêu điều kiện để cơ chế đó đáng tin cậy; và công cụ chẩn đoán cùng lộ trình chuyển toàn bộ thành hành động cụ thể.

Bốn chương tiếp theo khai triển từng phần của chuỗi này. **Chương 2** đi sâu vào các trụ cột công nghệ và logic tích hợp, sử dụng lại kiến trúc bốn lớp cùng nguyên tắc thẩm định đã học ở đây. **Chương 3** theo dõi dòng chảy từ tín hiệu nhu cầu tới giao hàng, sử dụng lại hệ thống chỉ số và định luật Little. **Chương 4** bàn về trí tuệ nhân tạo trong sản xuất, dựa trên nền tảng chất lượng dữ liệu và quản trị dữ liệu ở mục 1.6. **Chương 5** xử lý lộ trình triển khai và quản trị thay đổi, mở rộng từ lộ trình ba giai đoạn ở mục 1.8.3.

1.12. Tóm tắt chương

Chương 1 đã thiết lập nền tảng khái niệm và phương pháp cho toàn bộ học phần.

Về bối cảnh, bốn áp lực cấu trúc gồm cá biệt hóa, chi phí và năng suất, gián đoạn chuỗi cung ứng và bền vững đều không thể hóa giải bằng tự động hóa cơ khí đơn thuần, vì tự động hóa cứng làm giảm chính tính linh hoạt mà thị trường đòi hỏi. Bốn cuộc cách mạng công nghiệp phân biệt nhau bởi nguyên lý tổ chức sản xuất chứ không bởi phát minh đơn lẻ. Công nghiệp 5.0 không thay thế Công nghiệp 4.0 mà bổ sung ba định hướng giá trị là lấy con người làm trung tâm, bền vững và khả năng chống chịu; ngưỡng chuyển sang Công nghiệp 5.0 là ngưỡng về định hướng giá trị chứ không phải ngưỡng công nghệ.

Về khái niệm, nhà máy thông minh được định nghĩa theo hướng năng lực chứ không theo danh mục công nghệ, và được định vị cùng nhà máy tự động và nhà máy số trên hai trục là mức liên thông dữ liệu và mức tự chủ của quyết định. Năm đặc trưng nhận diện đều gắn với bằng chứng quan sát được tại hiện trường. Vòng lặp cảm nhận, phân tích và hành động có ba thuộc tính là độ trễ, độ phủ và mức tự chủ, và chính ba thuộc tính này là cơ sở khái niệm của các thang trường thành số.

Về nền tảng đo lường, số hóa can thiệp mạnh nhất vào vòng phản hồi kiểm soát chứ không vào đầu vào hay đầu ra; tính toán ở Hình 1.7 cho thấy rút độ trễ phản hồi từ tám giờ xuống nửa giờ làm giảm tổn thất của một lần sự cố từ 208 xuống 13 sản phẩm. Năm mục tiêu cạnh tranh vẫn tồn tại đánh đổi, nhưng công nghệ số dịch chuyển đường biên hiệu quả ra ngoài với điều kiện quá trình nền đã ổn định. Hệ thống chỉ số nền tảng là ngôn ngữ chung giữa kỹ thuật và quản trị; ví dụ tính toán cho thấy tổn thất lớn nhất thường nằm ở tốc độ chứ không ở dừng máy, và đây là lý do nhiều dự án đo đúng thứ dễ đo nhưng không phải thứ gây tổn thất lớn nhất. Quy trình tám bước ở Hình 1.11 chuẩn hóa trình tự đi từ tổn thất tới công nghệ chứ không theo chiều ngược lại.

Về kiến trúc kỹ thuật, hệ thống kết nối công nghiệp gồm bốn lớp, mỗi lớp có điểm nghẽn riêng. Khả năng tương tác phụ thuộc việc truyền được ngữ nghĩa dữ liệu chứ không chỉ truyền được con số. Tháp tự động hóa năm cấp vẫn là khung tham chiếu bắt buộc, nhưng số giao diện phải bảo trì của cách tích hợp theo cặp tăng theo bình phương số hệ thống, và đây là căn cứ định lượng cho xu hướng làm phẳng kiến trúc dữ liệu, với lưu ý rằng làm phẳng dữ liệu không đồng nghĩa với xóa bỏ phân cấp điều khiển. Mô hình RAMI 4.0 buộc người ra quyết định định vị đề xuất trên ba trục trước khi phê duyệt. Chuỗi giá trị dữ liệu sáu bước bị giới hạn bởi mắt xích yếu nhất, và quy trình sáu bước ở Hình 1.17 cho thấy nút thắt của dự án số hóa thường nằm ở năng lực hành động chứ không ở năng lực đo lường.

Về quản trị dữ liệu, chất lượng dữ liệu được đánh giá theo sáu chiều và được duy trì bằng một quy trình sáu bước chứ không bằng một đợt làm sạch. Thứ tự ưu tiên an ninh trong môi trường công nghệ vận hành đảo ngược so với môi trường công nghệ thông tin, và mọi quyết định kết nối đều đồng thời là một quyết định về rủi ro an ninh.

Về chẩn đoán và lộ trình, hai khung trường thành có triết lý bổ sung nhau: một khung giải thích vì sao doanh nghiệp mắc kẹt, một khung cho phép định vị cạnh tranh và chọn ưu tiên. Chiều cần ưu tiên đầu tư là chiều có khoảng cách lớn nhất so với chuẩn ngành chứ không phải chiều có điểm tuyệt đối thấp nhất. Luận chứng kinh tế phải đi hết bốn mắt xích, trong đó mắt xích thay đổi hành vi vận hành là khó nhất và thường bị bỏ qua; phân tích độ nhạy cho thấy biên an toàn của dự án thường rất mỏng, và tổng chi phí sở hữu vượt xa phần được báo giá. Lộ trình ba giai đoạn với ngưỡng hủy được xác định trước là công cụ phòng tránh hiện tượng sa lầy thí điểm.

Chương khép lại bằng nguyên tắc bao trùm: **mỗi công nghệ tạo ra giá trị trong những điều kiện xác định, và nhiệm vụ của nhà quản trị là kiểm tra các điều kiện đó trước khi quyết định đầu tư.**

1.13. Thuật ngữ trọng tâm

Bảng 1.18. Thuật ngữ trọng tâm Chương 1

Thuật ngữ	Giải thích ngắn
Industry 4.0 và Industry 5.0	Thế hệ công nghiệp thứ tư dựa trên kết nối dữ liệu, và định hướng giá trị bổ sung lấy con người làm trung tâm.
Smart factory	Nhà máy thông minh; định nghĩa theo hướng năng lực chứ không theo danh mục công nghệ.
Cyber Physical System	Hệ thống thực ảo; vận hành theo vòng lặp cảm nhận, phân tích và hành động.
Sense, analyse and act loop	Vòng lặp ba bước với ba thuộc tính là độ trễ, độ phủ và mức tự chủ.
Control feedback loop	Vòng phản hồi kiểm soát; điểm mà số hóa can thiệp mạnh nhất trong hệ thống sản xuất.
Competitive priorities	Năm mục tiêu cạnh tranh vận hành gồm chi phí, chất lượng, giao hàng, linh hoạt và bền vững.
Trade off theory và sand cone model	Lý thuyết đánh đổi và mô hình nón cát về trình tự tích lũy năng lực.
OEE và sáu tổn thất lớn	Hiệu suất thiết bị tổng thể là tích của khả dụng, hiệu suất và chất lượng, ánh xạ tới sáu tổn thất.
Little's Law	Định luật Little; lượng dở dang bằng tích của nhịp đầu ra với thời gian chờ.
Cost of poor quality	Chi phí chất lượng kém gồm phòng ngừa, đánh giá, sai hỏng nội bộ và sai hỏng bên ngoài.
IIoT	Internet vạn vật công nghiệp; kiến trúc bốn lớp với điểm nghẽn riêng ở mỗi lớp.
OPC UA và MQTT	Hai giao thức bổ sung nhau; điểm khác biệt cốt lõi là khả năng truyền ngữ nghĩa dữ liệu.

Thuật ngữ	Giải thích ngắn
Edge, fog và cloud computing	Ba vị trí xử lý dữ liệu, phân biệt theo độ trễ, khối lượng và mức nhạy cảm.
ISA 95 và IEC 62264	Chuẩn tháp tự động hóa năm cấp, khung tham chiếu bắt buộc cho kiến trúc hệ thống nhà máy.
Unified namespace	Không gian tên thống nhất; cơ sở kỹ thuật của xu hướng làm phẳng kiến trúc dữ liệu.
RAMI 4.0	Mô hình kiến trúc tham chiếu ba trục để định vị bất kỳ thành phần công nghệ nào.
Asset Administration Shell	Vỏ quản trị tài sản; chuẩn mô tả tài sản số phục vụ khả năng tương tác.
Data value chain	Chuỗi giá trị dữ liệu sáu bước; giá trị bị giới hạn bởi mắt xích yếu nhất.
Sáu chiều chất lượng dữ liệu	Chính xác, đầy đủ, nhất quán, kịp thời, hợp lệ và truy vết được.
IT và OT convergence	Hội tụ công nghệ thông tin và công nghệ vận hành; thứ tự ưu tiên an ninh đảo ngược.
IEC 62443	Bộ tiêu chuẩn an ninh cho hệ thống tự động hóa và điều khiển công nghiệp.
ISO/IEC 42001	Tiêu chuẩn hệ thống quản lý trí tuệ nhân tạo trong tổ chức.
Digital maturity model	Mô hình trưởng thành số; phương tiện chẩn đoán chứ không phải mục tiêu quản trị.
Total cost of ownership	Tổng chi phí sở hữu; phần được báo giá chỉ chiếm khoảng một phần ba.
Kill criteria	Ngưỡng hủy dự án; công cụ phòng tránh thiên lệch chi phí chìm và sa lầy thí điểm.
Hawthorne effect	Hiệu ứng chú ý; lý do kết quả thí điểm thường tốt hơn kết quả sau khi nhân rộng.

CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 1

A. Câu hỏi ôn tập

1. Trình bày bốn áp lực cấu trúc đặt lên hoạt động sản xuất. Vì sao tự động hóa cơ khí đơn thuần không hóa giải được bốn áp lực này?
2. Nêu ba nguyên tắc quản trị ở Hình 1.2 kèm câu hỏi kiểm tra tương ứng. Vì sao nguyên tắc con người trong vòng lặp không đồng nghĩa với sự dè dặt đối với công nghệ?
3. Vì sao nói bốn cuộc cách mạng công nghiệp phân biệt nhau bởi nguyên lý tổ chức sản xuất chứ không bởi phát minh đơn lẻ?
4. Nêu hai ngộ nhận phổ biến về Công nghiệp 5.0 và giải thích vì sao chúng sai. Ba định hướng giá trị bổ sung là gì?
5. Vì sao nói ngưỡng chuyển sang Công nghiệp 5.0 là ngưỡng về định hướng giá trị chứ không phải ngưỡng công nghệ? Cho một ví dụ minh họa.
6. Phát biểu định nghĩa nhà máy thông minh theo hướng năng lực và nêu ba hàm ý quản trị của cách định nghĩa đó.
7. Dựa trên Hình 1.4, hãy phân biệt nhà máy tự động, nhà máy số và nhà máy thông minh theo hai trục. Vì sao bước chuyển thứ hai tốn kém hơn nhưng tạo phần lớn giá trị quản trị?
8. Nêu năm đặc trưng nhận diện nhà máy thông minh kèm bằng chứng quan sát được cho từng đặc trưng.
9. Trình bày vòng lặp cảm nhận, phân tích và hành động. Ba thuộc tính nào quyết định chất lượng của vòng lặp, và chúng liên hệ thế nào với các thang trường thành số?
10. Vì sao nói số hóa can thiệp mạnh nhất vào vòng phản hồi kiểm soát chứ không vào đầu vào hay đầu ra?
11. Dựa trên Hình 1.7, hãy giải thích vì sao đầu tư rút ngắn độ trễ phản hồi thường có tỷ suất hoàn vốn cao hơn đầu tư nâng độ chính xác phép đo. Điều kiện nào phải thỏa mãn để lợi ích đó hiện thực hóa?
12. Nêu năm mục tiêu cạnh tranh vận hành và cơ chế tác động của công nghệ số lên từng mục tiêu.
13. Giải thích lý thuyết đánh đổi và mô hình nón cát. Dựa trên Hình 1.8, hãy nêu hai kết luận sai cần tránh khi nói công nghệ số nói lỏng đánh đổi.
14. Viết công thức hiệu suất thiết bị tổng thể và giải thích ý nghĩa chẩn đoán của việc tách riêng ba thành phần.
15. Nêu ba cạm bẫy thường gặp khi sử dụng chỉ số vận hành và cách phòng tránh từng cạm bẫy.
16. Phát biểu định luật Little và nêu hàm ý quản trị của nó đối với việc rút ngắn thời gian chờ.
17. Liệt kê sáu tổn thất lớn của thiết bị và ánh xạ chúng vào ba thành phần của hiệu suất thiết bị tổng thể.

18. Dựa trên Hình 1.10, hãy giải thích vì sao nhiều dự án lắp cảm biến đếm thời gian dừng máy lại không cải thiện được sản lượng.
19. Trình bày quy trình tám bước ở Hình 1.11. Vì sao câu hỏi kiểm tra ở bước 8 về hiệu ứng chú ý lại quan trọng?
20. Nêu bốn lớp của kiến trúc IoT công nghiệp cùng điểm nghẽn điển hình của từng lớp.
21. Phân biệt truyền dữ liệu với truyền ngữ nghĩa dữ liệu. Vì sao một nhà máy có thể kết nối được toàn bộ thiết bị mà vẫn không tương tác được?
22. So sánh điện toán biên, điện toán sương mù và điện toán đám mây trên bốn tiêu chí. Với chức năng khóa liên động an toàn, bạn chọn phương án nào và vì sao?
23. Trình bày năm cấp của tháp tự động hóa cùng chu kỳ quyết định của từng cấp.
24. Dựa trên Hình 1.14, hãy tính số giao diện cần bảo trì với 8 và với 15 hệ thống theo hai kiểu kiến trúc. Rút ra kết luận gì?
25. Vì sao làm phẳng kiến trúc dữ liệu không đồng nghĩa với xóa bỏ phân cấp điều khiển?
26. Nêu ba trục của RAMI 4.0 và câu hỏi mà mỗi trục buộc người ra quyết định phải trả lời.
27. Trình bày chuỗi giá trị dữ liệu sáu bước. Vì sao nguyên tắc mắt xích yếu nhất lại quan trọng khi phân bổ ngân sách số hóa?
28. Trình bày quy trình sáu bước thẩm định một điểm đo. Vì sao bước 5 về năng lực hành động thường là bước bị bỏ qua?
29. Nêu sáu chiều chất lượng dữ liệu sản xuất kèm một biểu hiện lỗi và một biện pháp kiểm soát cho từng chiều.
30. Vì sao thứ tự ưu tiên an ninh trong môi trường công nghệ vận hành đảo ngược so với môi trường công nghệ thông tin?
31. Trình bày quy trình sáu bước quản trị dữ liệu vận hành và người chịu trách nhiệm điển hình của từng bước.
32. Nêu ba câu hỏi cần đặt trước khi phê duyệt một kết nối mới giữa mạng vận hành và mạng doanh nghiệp.
33. Trình bày sáu giai đoạn của mô hình lộ trình acatech. Vì sao doanh nghiệp đầu tư mạnh vào hệ thống thông tin nhưng giữ nguyên cấu trúc tổ chức lại khó vượt qua giai đoạn 3?
34. Trình bày kiến trúc ba lớp và ba công cụ triển khai của khung đánh giá sẵn sàng đa chiều.
35. Dựa trên Hình 1.21, hãy giải thích nguyên tắc chọn chiều ưu tiên đầu tư. Vì sao chiều có điểm tuyệt đối thấp nhất chưa chắc là chiều cần đầu tư trước?
36. So sánh hai khung đánh giá trưởng thành số trên sáu tiêu chí và nêu nguyên tắc lựa chọn.
37. Nêu ba rủi ro của việc sử dụng điểm số trưởng thành làm mục tiêu quản trị.
38. Trình bày chuỗi bốn mắt xích của luận chứng kinh tế. Vì sao mắt xích thứ hai là mắt xích khó nhất?

39. Dựa trên Hình 1.23, hãy nêu bốn khoản chi phí thường bị bỏ sót và giải thích vì sao việc bỏ sót chúng gây hậu quả kéo dài cho các dự án sau.
40. Dựa trên Hình 1.24, hãy giải thích khái niệm biên an toàn của một dự án đầu tư và nêu hàm ý đối với điều kiện tiên quyết của dự án.
41. Trình bày lộ trình ba giai đoạn và chín bước. Vì sao phải xác định ngưỡng hủy ngay từ đầu?
42. Nêu ba nhóm doanh nghiệp trong cấu trúc phân hóa của công nghiệp chế biến chế tạo Việt Nam cùng bài toán quản trị ưu tiên của từng nhóm.
43. Vì sao nói các yêu cầu tuân thủ từ thị trường xuất khẩu biến dữ liệu vận hành từ tài sản nội bộ thành nghĩa vụ đối ngoại?
44. Trình bày bốn tranh luận học thuật còn mở và thái độ tiếp cận đúng đắn đối với từng tranh luận.
45. Hãy bình luận nhận định sau: một nhà máy có đầy đủ công nghệ của Công nghiệp 4.0 thì đương nhiên là một nhà máy thông minh.

B. Bài tập vận dụng

Bài 1, tính toán và chẩn đoán tổn thất thiết bị. Dây chuyền A có số liệu ba tháng như sau. Tháng 1: thời gian kế hoạch 20.000 phút, dừng máy 3.200 phút, sản lượng 14.500 sản phẩm, lỗi 620, nhịp lý thuyết 1 sản phẩm mỗi phút. Tháng 2: thời gian kế hoạch 20.000 phút, dừng máy 2.600 phút, sản lượng 15.100 sản phẩm, lỗi 700. Tháng 3: thời gian kế hoạch 21.000 phút, dừng máy 2.400 phút, sản lượng 16.200 sản phẩm, lỗi 540.

- Tính khả dụng, hiệu suất, chất lượng và hiệu suất thiết bị tổng thể cho từng tháng.
- Lập biểu đồ phân rã tổn thất theo mẫu Hình 1.10 cho tháng có kết quả kém nhất.
- Xác định thành phần gây tổn thất lớn nhất và giải thích xu hướng qua ba tháng.
- Đề xuất hai sáng kiến can thiệp, mỗi sáng kiến nêu rõ dữ liệu cần thu thập và người chịu trách nhiệm hành động.
- So sánh kết quả với chuẩn tham chiếu và ước tính sản lượng tăng thêm nếu đạt chuẩn.

Bài 2, độ trễ vòng phản hồi. Một chuyền lắp ráp phát sinh sai lệch chất lượng gây tổn thất 18 sản phẩm mỗi giờ. Hiện tại sai lệch chỉ được phát hiện khi kiểm tra cuối ca, tức sau 8 giờ.

- Tính tổn thất của một lần sự cố theo hiện trạng.
- Tính tổn thất nếu độ trễ phát hiện giảm còn 2 giờ, 1 giờ và 15 phút.
- Nếu sự cố xảy ra trung bình 3 lần mỗi tháng và biên lợi nhuận gộp là 45 nghìn đồng mỗi sản phẩm, hãy tính lợi ích năm của phương án giảm độ trễ xuống 1 giờ.
- Hệ thống kiểm tra tự động có giá 480 triệu đồng, chi phí vận hành 40 triệu đồng mỗi năm, vòng đời 5 năm, hệ số hiện giá 3,6048. Tính giá trị hiện tại ròng và nhận xét.
- Nêu hai điều kiện tổ chức phải thỏa mãn để lợi ích tính ở câu c thực sự đạt được.

Bài 3, quy trình tám bước. Một doanh nghiệp may có tỷ lệ giao hàng đúng hạn 78 phần trăm trong khi khách hàng yêu cầu tối thiểu 95 phần trăm.

- Áp dụng ba bước đầu của quy trình ở Hình 1.11 để xác định mục tiêu cạnh tranh, chỉ số và cách phân rủi ro.
- Đề xuất ba giả thuyết nguyên nhân gốc và nêu dữ liệu cần thu thập để kiểm chứng từng giả thuyết.
- Với giả thuyết bạn cho là khả dĩ nhất, hãy đi tiếp các bước 5 và 6.
- Nêu ngưỡng hủy mà bạn đề xuất cho dự án thí điểm và lập luận cho mức ngưỡng đó.

Bài 4, thẩm định điểm đo. Một nhà máy thực phẩm đề xuất gắn 45 cảm biến nhiệt độ và độ ẩm trong kho thành phẩm, chi phí 9 triệu đồng mỗi điểm.

- Đi qua sáu bước của quy trình ở Hình 1.17 và ghi rõ kết quả từng bước.
- Xác định bước nào có nguy cơ không đạt và nêu thông tin cần bổ sung để kết luận.
- Đề xuất phạm vi triển khai phù hợp kèm lập luận.
- Nếu doanh nghiệp thuộc diện phải chứng minh điều kiện bảo quản cho khách hàng xuất khẩu, kết luận có thay đổi không? Vì sao?

Bài 5, kiến trúc tích hợp. Một nhà máy hiện có 6 hệ thống rời rạc và dự kiến bổ sung thêm 5 hệ thống trong ba năm tới.

- Tính số giao diện cần bảo trì theo hai kiểu kiến trúc, ở thời điểm hiện tại và sau ba năm.
- Nếu chi phí xây dựng và bảo trì mỗi giao diện là 60 triệu đồng cho vòng đời năm năm, hãy tính chênh lệch chi phí giữa hai kiểu kiến trúc sau ba năm.
- Nêu hai lợi ích phi tài chính của kiến trúc trung tâm và một rủi ro của nó.
- Giải thích vì sao kết luận này không mâu thuẫn với yêu cầu giữ nguyên phân cấp điều khiển.

Bài 6, tự đánh giá trưởng thành số. Một nhà máy được chấm điểm rút gọn tám chiều theo thang 5 như sau: kết nối thiết bị 3; tích hợp hệ thống 2; chất lượng dữ liệu 2; phân tích dữ liệu 1; tự động hóa quá trình 3; cấu trúc tổ chức 2; năng lực nhân lực 1; an ninh mạng 1. Trung bình ngành lần lượt là 3; 3; 3; 2; 3; 3; 2; 3.

- Vẽ hồ sơ điểm theo mẫu Hình 1.21.
- Xác định ba chiều có khoảng cách lớn nhất so với trung bình ngành.
- Định vị nhà máy trên thang sáu giai đoạn của mô hình acatech và lập luận cho vị trí đã chọn.
- Với mỗi chiều trong ba chiều ưu tiên, đề xuất một sáng kiến cụ thể kèm chỉ số vận hành mục tiêu.
- Giải thích vì sao không nên đặt mục tiêu nâng đồng đều cả tám chiều.

Bài 7, luận chứng kinh tế và phân tích độ nhạy. Một nhà máy nhựa đề xuất hệ thống giám sát năng lượng theo công đoạn. Đầu tư ban đầu 1.250 triệu đồng, chi phí vận hành 110 triệu đồng mỗi năm, vòng đời 5 năm, hệ số hiện giá 3,6048. Chi phí điện hiện tại 6.400 triệu đồng mỗi năm, mục tiêu tiết kiệm 7 phần trăm.

- Tính dòng tiền thuần hằng năm, thời gian hoàn vốn và giá trị hiện tại ròng.
- Xác định mức tiết kiệm tối thiểu tính bằng phần trăm để dự án hòa vốn.
- Vẽ đồ thị độ nhạy theo mẫu Hình 1.24 với mức tiết kiệm thay đổi từ 0 đến 12 phần trăm.
- Áp dụng cấu trúc chi phí ở Hình 1.23 để ước tính tổng chi phí sở hữu thực tế nếu 1.250 triệu đồng chỉ là phần cứng và giấy phép. Kết luận có thay đổi không?
- Nếu doanh nghiệp xuất khẩu sang Liên minh châu Âu, hãy nêu một nhóm lợi ích bổ sung chưa được tính vào và cách quy đổi nó thành tiền.

Bài 8, phân định khái niệm tại hiện trường. Chọn một nhà máy mà nhóm có thể tiếp cận.

- Thu thập bằng chứng cho năm đặc trưng nhận diện theo Bảng 1.5; với mỗi đặc trưng ghi rõ bằng chứng quan sát được hoặc ghi nhận là không có.
- Định vị nhà máy trên hai trục của Hình 1.4 và lập luận.
- Đo ba thuộc tính của vòng lặp ở Hình 1.5 gồm độ trễ, độ phủ và mức tự chủ, cho ít nhất hai quá trình cụ thể.
- Chỉ ra một mắt xích yếu nhất trong chuỗi giá trị dữ liệu của nhà máy và đề xuất cách khắc phục.

Bài 9, bài tập nhóm mở đầu dự án học phần. Trên cơ sở nhà máy đã chọn ở Bài 8, hãy xây dựng hồ sơ hiện trạng gồm: bản đồ kiến trúc hệ thống hiện có theo năm cấp của tháp tự động hóa; đánh giá chất lượng dữ liệu theo sáu chiều với bằng chứng cụ thể; hồ sơ trưởng thành tám chiều có đối sánh; danh mục ba tổn thất vận hành lớn nhất kèm số liệu; và một đề xuất sáng kiến số hóa đã đi hết tám bước của Hình 1.11 kèm luận chứng kinh tế sơ bộ và ngưỡng hủy. Trình bày trong không quá 8 trang, nêu rõ nguồn dữ liệu và các giả định đã sử dụng. Hồ sơ này sẽ được phát triển tiếp qua các chương sau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- acatech. (2020). *Industrie 4.0 Maturity Index: Managing the digital transformation of companies. Update 2020* (acatech STUDY). Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.
- Budde, L., Hänggi, R., Friedli, T., & Rüedy, A. (2023). *Smart Factory Navigator: Identifying and implementing the most beneficial use cases for your company*. Springer Cham.
- Deshpande, A., Sarkar, B., Dave, D., & Dave, R. (2024). *Advanced manufacturing and supply chain with IoT: Revolutionizing industries through smart technologies and connectivity*. BPB Publications.
- European Commission. (2021). *Industry 5.0: Towards a sustainable, human centric and resilient European industry*. Publications Office of the European Union.
- Ferdows, K., & De Meyer, A. (1990). Lasting improvements in manufacturing performance: In search of a new theory. *Journal of Operations Management*, 9(2), tr. 168 đến 184.
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, tr. 15 đến 26.
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2011). *Factory physics* (3rd ed.). Waveland Press.
- International Electrotechnical Commission. (2013). *IEC 62264: Enterprise control system integration*. IEC.
- International Electrotechnical Commission. (2018 đến 2020). *IEC 62443 series: Security for industrial automation and control systems*. IEC.
- International Organization for Standardization. (2023). *ISO/IEC 42001: Information technology. Artificial intelligence. Management system*. ISO.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. acatech.
- Little, J. D. C. (1961). A proof for the queuing formula. *Operations Research*, 9(3), tr. 383 đến 387.
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing and Industry 4.0 maturity models. *Journal of Manufacturing Systems*, 49, tr. 194 đến 214.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total productive maintenance*. Productivity Press.
- Plattform Industrie 4.0. (2016). *DIN SPEC 91345: Reference Architecture Model Industrie 4.0*. DIN.

- Singapore Economic Development Board và TÜV SÜD. (2017). *The Singapore Smart Industry Readiness Index*. EDB Singapore.
- Skinner, W. (1969). Manufacturing: Missing link in corporate strategy. *Harvard Business Review*, 47(3), tr. 136 đến 145.
- Slack, N., & Brandon Jones, A. (2019). *Operations management* (9th ed.). Pearson.
- Tao, F., Qi, Q., Wang, L., & Nee, A. Y. C. (2019). Digital twins and cyber physical systems toward smart manufacturing and Industry 4.0: Correlation and comparison. *Engineering*, 5(4), tr. 653 đến 661.
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing smart factory of Industrie 4.0: An outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(1), 3159805.
- Xu, X., Lu, Y., Vogel Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0: Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, tr. 530 đến 535.
- Bộ Chính trị. (2024). *Nghị quyết số 57 ngày 22 tháng 12 năm 2024 về đột phá phát triển khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số quốc gia*.
- Liên minh châu Âu. (2023). *Quy định (EU) 2023/956 về thiết lập Cơ chế Điều chỉnh Biên giới Carbon*, cùng các văn bản sửa đổi liên quan.
- Liên minh châu Âu. (2024). *Quy định (EU) 2024/1689 về thiết lập các quy tắc hài hòa đối với trí tuệ nhân tạo*.