



EMBASSY OF DENMARK  
Hanoi



Danish Energy Agency



# HƯỚNG DẪN CÔNG NGHỆ

## VỀ THU HỒI NHIỆT VÀ BƠM NHIỆT TRONG NGÀNH CÔNG NGHIỆP VIỆT NAM

Hà Nội, 2025

# HƯỚNG DẪN CÔNG NGHỆ VỀ THU HỒI NHIỆT VÀ BƠM NHIỆT TRONG NGÀNH CÔNG NGHIỆP VIỆT NAM

**Tài liệu được xây dựng với sự hợp tác của:**

Cục Đổi mới sáng tạo, Chuyển đổi xanh và Khuyến công, Bộ Công Thương

Cục Năng lượng Đan Mạch

Viegand Maagøe

# LỜI CẢM ƠN

**Hướng dẫn công nghệ về Thu hồi nhiệt và Bơm nhiệt trong ngành công nghiệp Việt Nam** là tài liệu được xây dựng trong khuôn khổ Hợp phần 3 - Phát triển carbon thấp trong ngành công nghiệp của Chương trình Hợp tác Đối tác Năng lượng Việt Nam – Đan Mạch giai đoạn 2020-2025 (DEPP3). Tài liệu do Cục Đổi mới sáng tạo, Chuyển đổi xanh và Khuyến công, Bộ Công Thương phối hợp với Cục Năng lượng Đan Mạch thực hiện, với sự hỗ trợ của Đại sứ quán Đan Mạch tại Hà Nội.

## Bản quyền

Nội dung thông tin trong tài liệu này có thể được tự do sử dụng, chia sẻ hoặc tái bản, nhưng phải trích dẫn đầy đủ nguồn thông tin, trừ trường hợp có quy định khác. Các trích dẫn (tiếng Việt) cần được ghi chú như sau: *Cục Đổi mới sáng tạo, Chuyển đổi xanh và Khuyến công (Bộ Công Thương) & Cục Năng lượng Đan Mạch: Hướng dẫn công nghệ về Thu hồi nhiệt và Bơm nhiệt trong ngành công nghiệp Việt Nam.*

## Liên hệ

Cục Đổi mới sáng tạo, Chuyển đổi xanh và Khuyến công, Bộ Công Thương

Địa chỉ: 54 Hai Bà Trưng, phường Cửa Nam, Hà Nội

## TÓM TẮT

Hướng dẫn công nghệ về thu hồi nhiệt và bơm nhiệt trong ngành công nghiệp Việt Nam là một tài liệu được xây dựng trong khuôn khổ hoạt động hợp tác giữa Cục Đổi mới sáng tạo, Chuyển đổi xanh và Khuyến công và Cục Năng lượng Đan Mạch trong khuôn khổ Chương trình Hợp tác Đối tác Năng lượng Việt Nam – Đan Mạch giai đoạn 2020 - 2025 (DEPP3).

Mục đích của Hướng dẫn này là cung cấp một quy trình làm việc có cấu trúc về cách phân tích và tối ưu hóa các giải pháp hiệu quả năng lượng, bao gồm dữ liệu nào cần thu thập, đánh giá nào cần thực hiện, những giải pháp nào cần xem xét và cách thức trình bày các đề xuất đầu tư cho ban lãnh đạo doanh nghiệp.

Hướng dẫn sẽ được cập nhật liên tục dựa trên những bài học kinh nghiệm mới được rút ra từ các đánh giá tiếp tục được triển khai trong các ngành công nghiệp khác nhau tại Việt Nam. Đây cũng là một tài liệu quan trọng kết nối với các tài liệu khác được xây dựng trong khuôn khổ hợp tác giữa Cục Đổi mới sáng tạo, Chuyển đổi xanh và Khuyến công – Bộ Công Thương và Cục Năng lượng Đan Mạch, như Cẩm nang công nghệ tiết kiệm năng lượng cho lò hơi và hệ thống phân phối hơi.

Hướng dẫn này được chuẩn bị với sự hợp tác chặt chẽ giữa Cục Năng lượng Đan Mạch và Công ty Viegand Maagøe cùng với các đánh giá, đóng góp ý kiến từ các đối tác Việt Nam.

---

# MỤC LỤC

<b>1</b>	<b>Nguyên lý cơ bản của thu hồi nhiệt và bơm nhiệt.....</b>	<b>5</b>
1.1	Cơ sở của các giải pháp thu hồi nhiệt.....	5
1.2	Các phương pháp đánh giá tiềm năng thu hồi nhiệt.....	7
1.2.1	Lập sơ đồ năng lượng cấp độ 1 (Level-1 Mapping).....	7
1.2.2	Lập sơ đồ năng lượng cấp độ 2 (Level-2 Mapping).....	10
1.2.3	Các khoảng nhiệt độ.....	14
1.2.4	Các đồ thị nhiệt độ và phụ tải.....	16
1.2.5	Tiềm năng thu hồi nhiệt lý thuyết.....	17
1.2.6	Công nghệ điểm Pinch.....	18
1.2.7	Hiểu rõ tiềm năng thu hồi nhiệt lý thuyết.....	20
1.3	Từ tiềm năng thu hồi nhiệt tới các giải pháp thực tiễn.....	20
1.3.1	Cách tiếp cận đơn giản để xác định các giải pháp thu hồi nhiệt.....	21
1.3.2	Cách tiếp cận nâng cao đối với các giải pháp thu hồi nhiệt.....	24
1.4	Rào cản kỹ thuật đối với các giải pháp thu hồi nhiệt.....	25
1.5	Cơ sở đề xuất các giải pháp bơm nhiệt.....	27
1.6	Các nguồn nhiệt thải trong các ngành công nghiệp.....	31
<b>2</b>	<b>Ứng dụng các giải pháp thu hồi nhiệt và bơm nhiệt.....</b>	<b>35</b>
2.1	Tối ưu hóa các hệ thống trao đổi nhiệt hiện có.....	35
2.2	Làm mát quy trình được coi là một nguồn nhiệt.....	38
2.3	Tận dụng nguồn nhiệt thải ấm.....	40
2.4	Các quy trình tích hợp bơm nhiệt.....	43
2.5	Kết hợp gia nhiệt và làm mát.....	46
2.6	Các quy trình tích hợp MVR (nén hơi cơ học).....	47

2.7	Các hệ thống thu hồi nhiệt tập trung .....	50
2.8	Vận hành và bảo trì các giải pháp thu hồi nhiệt .....	52
<b>3</b>	<b>Sàng lọc, kiểm toán năng lượng và nghiên cứu khả thi .....</b>	<b>53</b>
3.1	Sàng lọc và kiểm toán năng lượng.....	53
3.1.1	Thu thập dữ liệu ban đầu về nhu cầu gia nhiệt và làm mát, v.v. ....	53
3.1.2	Sơ đồ cấp độ 2 về nhu cầu gia nhiệt và làm mát, v.v.....	54
3.1.3	Các giải pháp thu hồi nhiệt .....	55
3.1.4	Báo cáo từ quá trình sàng lọc/kiểm toán .....	55
3.2	Giai đoạn nghiên cứu tiền khả thi.....	56
3.2.1	Cơ sở thiết kế.....	56
3.2.2	Các giải pháp.....	56
3.2.3	Các lợi ích phi năng lượng .....	57
3.2.4	Đánh giá NPV (giá trị hiện tại ròng) .....	58
3.2.5	Hợp với ban lãnh đạo của doanh nghiệp .....	58
3.3	Nghiên cứu khả thi .....	59
3.3.1	Phạm vi dự án.....	59
3.3.2	Nhà cung cấp ưu tiên.....	59
3.3.3	Thiết kế giải pháp sơ bộ.....	59
3.3.4	Tài chính .....	60
3.3.5	Quyết định đầu tư cuối cùng (FID) .....	60
<b>Phụ lục 1</b>	<b>Hướng dẫn thực hiện lập sơ đồ năng lượng.....</b>	<b>61</b>
<b>Phụ lục 2</b>	<b>Tổng quan về các loại thiết bị trao đổi nhiệt .....</b>	<b>86</b>

---

## TỔNG QUAN VỀ TÀI LIỆU HƯỚNG DẪN

Quá trình khảo sát các nhà máy công nghiệp tại Việt Nam cho thấy tiềm năng tiết kiệm năng lượng đáng kể có thể được khai thác thông qua nhiều giải pháp khác nhau.

Một trong những giải pháp đáng quan tâm là thu hồi nhiệt và tích hợp bơm nhiệt vào nguồn cung năng lượng trong các nhà máy. Thu hồi nhiệt có thể đem lại mức tiết kiệm năng lượng đáng kể dưới nhiều hình thức, chẳng hạn:

- Thu hồi nhiệt từ một quy trình cần được làm mát để cung cấp nhiệt cho một quy trình cần được gia nhiệt.
- Thu hồi nhiệt thải từ khí đốt để gia nhiệt trực tiếp, như đun nước nóng.
- Thu hồi nhiệt thải từ khí thải trong quá trình sấy, bằng cách gia nhiệt sơ bộ không khí sấy đầu vào.
- Thu hồi nhiệt thải, ví dụ từ các nhà máy xử lý nước thải và/hoặc các bình ngưng làm mát bằng cách sử dụng bơm nhiệt để sản xuất nước nóng lên đến 90°C.
- Bảo dưỡng và sửa chữa các hệ thống thu hồi nhiệt hiện có.
- Các giải pháp khác.

Như vậy, thu hồi nhiệt có thể gồm các giải pháp từ đơn giản như tập trung vào quy trình bảo trì đến các dự án đầu tư phức tạp đòi hỏi lập kế hoạch cẩn thận và thiết kế công trình.

Hướng dẫn này dự kiến sẽ được các nhà quản lý công nghiệp, nhà cung cấp công nghệ và các chuyên gia về hiệu quả năng lượng sử dụng nhằm tối ưu hóa sử dụng nhiệt thải.

Hướng dẫn này mô tả:

1. Những nguyên tắc cơ bản về thu hồi nhiệt và bơm nhiệt.
2. Các biện pháp hiệu quả năng lượng áp dụng thu hồi nhiệt và bơm nhiệt.
3. Cách tiếp cận về kiểm toán năng lượng/sàng lọc, các dự án nghiên cứu tiền khả thi và khả thi.

Tài liệu này bao gồm một số ví dụ trên thế giới về áp dụng các giải pháp thu hồi nhiệt và bơm nhiệt và có tham chiếu đến các tài liệu khác được phát triển trong khuôn khổ Hợp phần 3 – Phát triển carbon thấp trong ngành công nghiệp, thuộc Chương trình Hợp tác Đối tác Năng lượng Việt Nam – Đan Mạch giai đoạn 2020-2025 (DEPP3).

# 1 Nguyên lý cơ bản của thu hồi nhiệt và bơm nhiệt

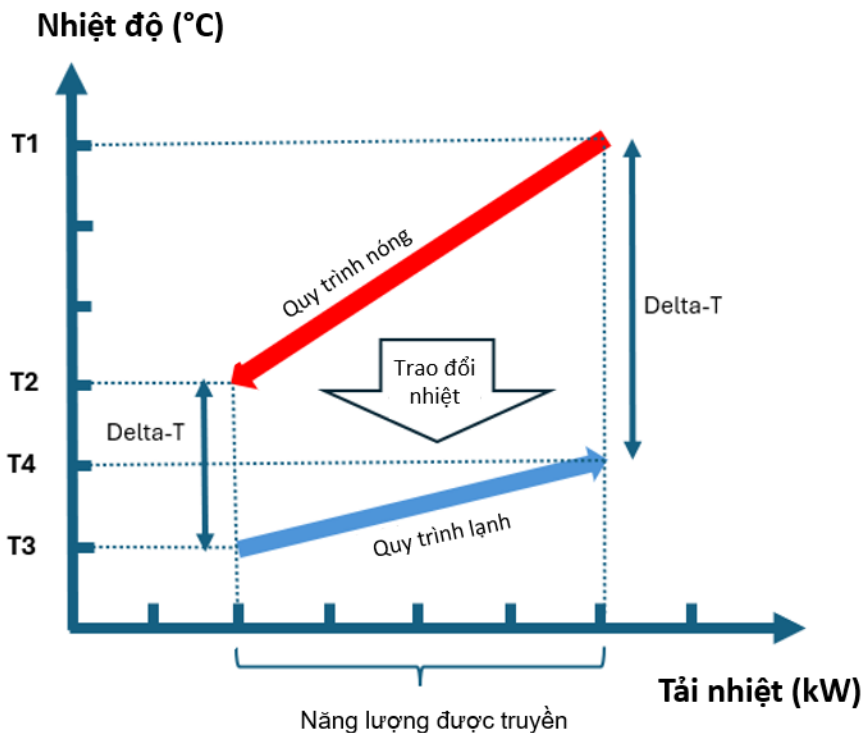
Các giải pháp thu hồi nhiệt và bơm nhiệt bao trùm một lĩnh vực kỹ thuật rộng lớn với nhiều câu hỏi thực tiễn được đặt ra để có thể hiểu và đánh giá trong quá trình lắp đặt giải pháp.

Phần này nhằm giải thích những câu hỏi cơ bản nhất và các phương pháp áp dụng khi đánh giá tiềm năng tiết kiệm năng lượng và các cơ hội kỹ thuật để triển khai các giải pháp thu hồi nhiệt.

## 1.1 Cơ sở của các giải pháp thu hồi nhiệt

Nhìn chung, một giải pháp thu hồi nhiệt nhằm tận dụng nhiệt thải từ một quy trình (“nóng”) để cấp nhiệt cho một quy trình khác (“lạnh”) nhằm giảm nhu cầu năng lượng để gia nhiệt bằng nhiên liệu hóa thạch hoặc sinh khối cho quy trình sau, từ đó tiết kiệm chi phí vận hành và đồng thời cũng giảm phát thải CO<sub>2</sub>.

Nguyên lý trao đổi năng lượng giữa một quy trình nóng và một quy trình lạnh được minh họa trong Hình 1 dưới đây.



Hình 1. Nguyên lý cơ bản của thu hồi nhiệt giữa một quy trình “nóng” (nguồn nhiệt) và một quy trình “lạnh” (bể chứa)

Sơ đồ minh họa các nguyên lý truyền nhiệt sau:

- Một quy trình “nóng” được làm mát thông qua bộ trao đổi nhiệt từ nhiệt độ T1 xuống T2.

Quy trình “nóng” còn được gọi là quy trình “ấm” hoặc “nguồn nhiệt”, có thể là các dòng trong quy trình cần được làm mát hoặc có thể là một nguồn nhiệt thải (còn gọi là nhiệt dư hoặc dòng “thất thoát”<sup>1</sup>) nơi nhiệt thải ra môi trường xung quanh.

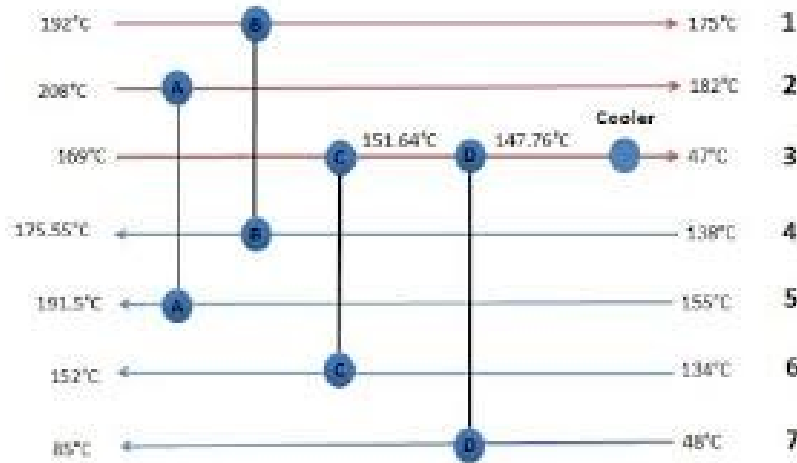
- Trong bộ trao đổi nhiệt, một quy trình “lạnh” được làm nóng từ nhiệt độ T3 lên T4 khi nhận nhiệt từ quy trình “nóng”.

Quy trình “lạnh” còn được gọi là một “bể chứa”, luôn có nhu cầu gia nhiệt, được đáp ứng bởi các hệ thống năng lượng cung cấp hơi nước, nước nóng hoặc dầu nóng cho quy trình.

- Tại mỗi đầu của bộ trao đổi nhiệt có thể đo được một “delta-T” ( $\Delta T$ ) cho thấy hiệu quả của bộ trao đổi nhiệt trong việc trao đổi năng lượng giữa hai quy trình ( $\Delta T$  càng thấp càng tốt).

Như vậy, nguyên lý thu hồi nhiệt có thể khá đơn giản, nhưng độ phức tạp tăng lên đáng kể khi số lượng dòng “nóng” và “lạnh” tăng lên.

Hình 2 dưới đây minh họa một mạng lưới thiết bị trao đổi nhiệt với 4 thiết bị trao đổi nhiệt đóng vai trò trao đổi năng lượng giữa 3 dòng “nóng” (dòng màu đỏ 1, 2 và 3) và 4 dòng “lạnh” (dòng màu xanh 4, 5, 6 và 7).



Hình 2. Ví dụ về độ phức tạp của thiết kế mạng lưới thiết bị trao đổi nhiệt.

<sup>1</sup> Dòng “thất thoát” là một dòng “nóng” có thể được tận dụng nếu nó đóng góp tích cực cho hệ thống thu hồi nhiệt, nhưng không cần làm mát như các dòng “nóng” khác.

Một mạng lưới thiết bị trao đổi nhiệt như trên do nhu cầu kết hợp sẽ có nhiều phương án bố trí khác nhau, khiến việc lựa chọn phương án phức tạp hơn do sự khác biệt của các biểu đồ nhiệt và công suất gia nhiệt/làm lạnh của từng dòng.

Một lỗi phổ biến trong thiết kế giải pháp thu hồi nhiệt là ưu tiên sử dụng các nguồn nhiệt thải “nóng nhất” để cấp nhiệt cho các nhu cầu gia nhiệt “lạnh nhất.” Lý do thường là bởi tính đơn giản và quy mô công suất nhỏ hơn của bộ trao đổi nhiệt. Nhưng từ góc độ hiệu quả năng lượng, các giải pháp như vậy có thể không tối ưu vì:

- Các nguồn nhiệt thải “nóng” có thể được sử dụng để cấp nhiệt cho các nhu cầu gia nhiệt ở nhiệt độ “trung bình”...
- ... từ đó cho phép sử dụng nguồn nhiệt thải ở nhiệt độ “trung bình” để cấp nhiệt cho các nhu cầu ở nhiệt độ “thấp.”

Với cân nhắc nêu trên, tiềm năng sử dụng nhiệt thải về nguyên tắc có thể tăng “gấp đôi”, giúp đạt được mức tiết kiệm năng lượng cao hơn bằng cách lắp thêm các thiết bị trao đổi nhiệt.

Bức tranh tổng thể càng trở nên phức tạp hơn khi cân nhắc phương án sử dụng bơm nhiệt. Bơm nhiệt sẽ gia tăng nhiệt độ của các dòng “nóng” (đối với những dòng có nhiệt độ thấp), từ đó tăng đáng kể khả năng khai thác các dòng này.

Để xử lý vấn đề phức tạp này, khuyến nghị áp dụng một phương pháp tiếp cận mạnh hơn đối với việc sử dụng nhiệt thải, được mô tả chi tiết trong các phần dưới đây.

## 1.2 Các phương pháp đánh giá tiềm năng thu hồi nhiệt

Một phương pháp tiếp cận có hệ thống để đánh giá tiềm năng thu hồi nhiệt cần tuân theo các hoạt động chính được mô tả trong các phần sau.

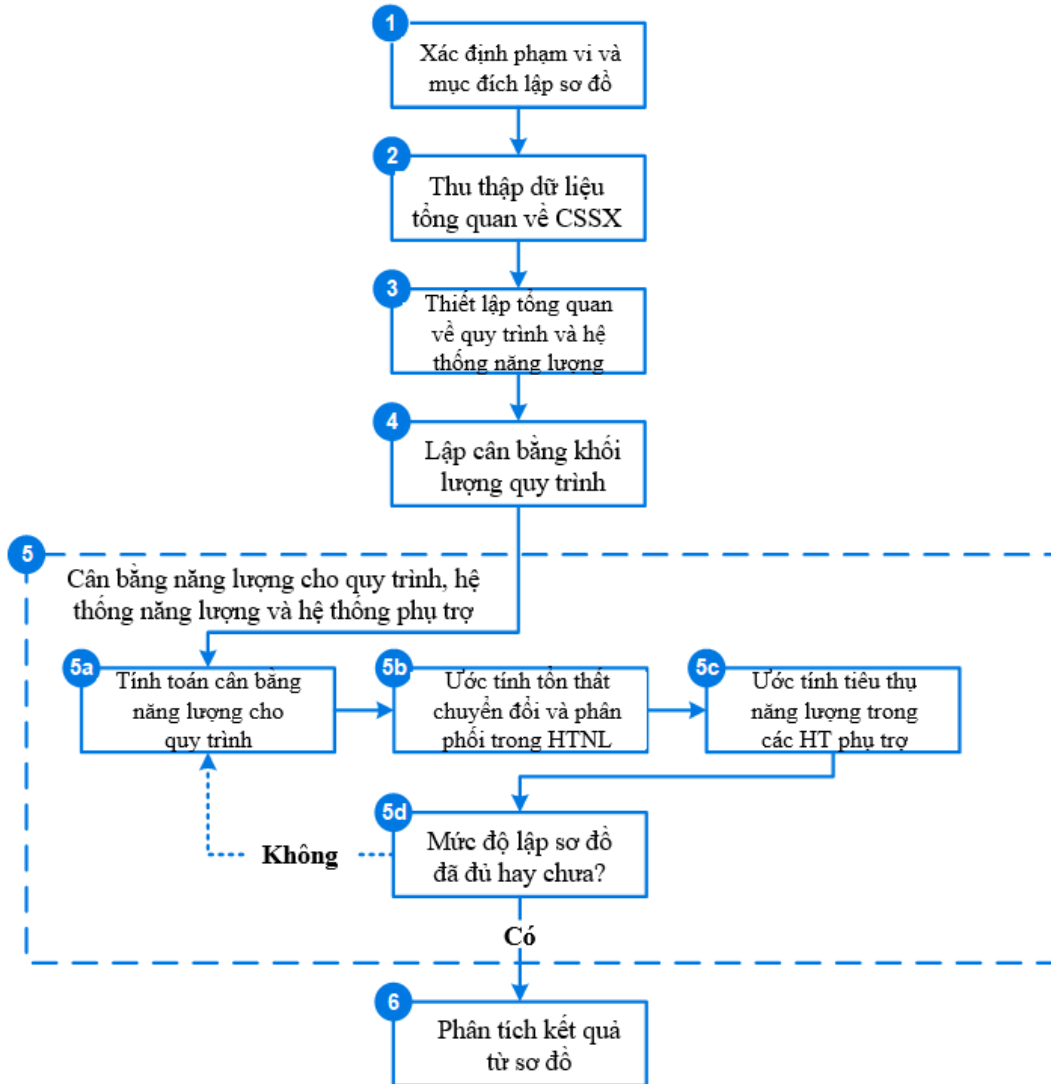
### 1.2.1 Lập sơ đồ năng lượng cấp độ 1 (Level-1 Mapping)

Để có thể đánh giá bất kỳ tiềm năng thu hồi nhiệt nào, cần phải lập sơ đồ năng lượng cho cơ sở sản xuất. Đây là bước quan trọng đầu tiên để hiểu rõ hơn về tình hình sử dụng năng lượng và xây dựng đường cơ sở để phát triển dự án.

Mặc dù nhiều kiểm toán viên năng lượng có xu hướng chia nhỏ mức tiêu thụ năng lượng theo xưởng sản xuất hoặc theo khu vực trong nhà máy, việc đánh giá hiệu quả tiềm năng thu hồi nhiệt đòi hỏi một bản đồ nhiệt độ và cân bằng năng lượng của từng quy trình và hệ thống năng lượng, nghĩa là chia nhỏ ở mức độ chi tiết hơn về sử dụng nhiệt năng tại nhà máy.

Nhìn chung, quy trình lập sơ đồ năng lượng có thể thực hiện theo các bước minh họa trong Hình 3 dưới đây. Cách tiếp cận này được xây dựng với mục đích tiết kiệm thời

gian của các kiểm toán viên năng lượng thông qua thực hiện lập sơ đồ năng lượng như một quy trình lặp đi lặp lại, tập trung trước hết vào việc nắm được tổng quan về nhu cầu năng lượng trước khi thực hiện đo đạc chi tiết. Điều này cho phép ưu tiên đo đạc thực tế tại các khu vực có nhu cầu sử dụng năng lượng lớn. Có thể lập sơ đồ đơn giản ở các khu vực này với mức độ không chắc chắn cao trong các vòng đầu tiên.



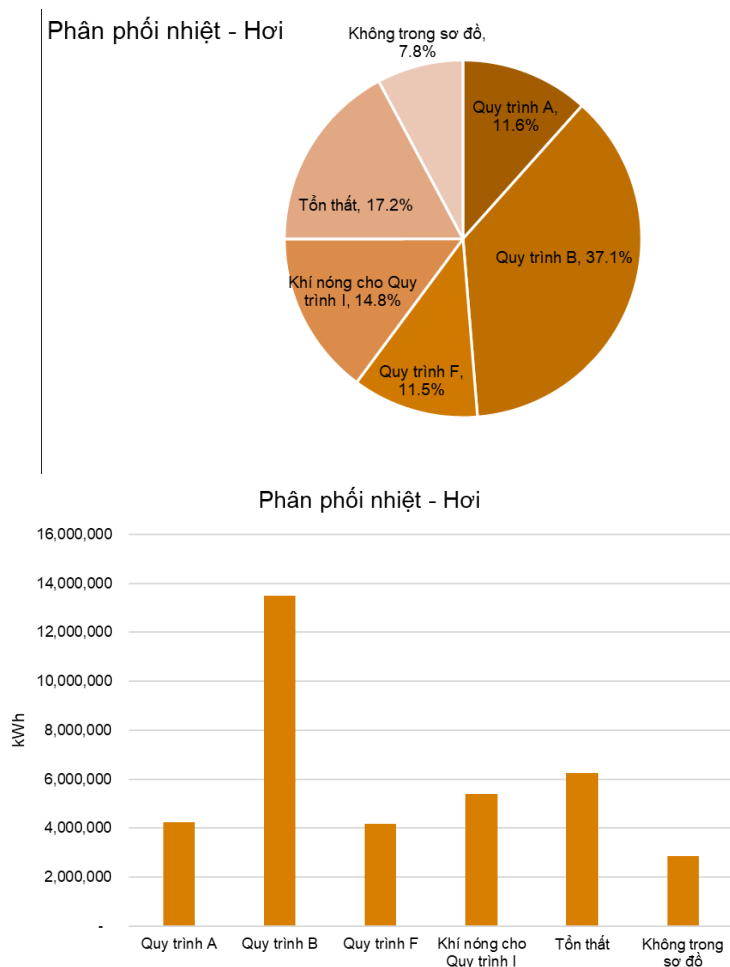
Hình 3. Sơ đồ quy trình lập sơ đồ năng lượng theo từng bước

Trong khuôn khổ Hợp phần 3, Chương trình DEPP3, một biểu mẫu dưới dạng Excel kèm theo hướng dẫn sử dụng về lập sơ đồ năng lượng đã được xây dựng. Trong hướng dẫn này, từng bước của quy trình lập sơ đồ năng lượng được mô tả chi tiết. Hướng dẫn này

có thể xem thêm tại Phụ lục 1 và gồm một bảng Excel cho phép tính toán các cân bằng năng lượng quan trọng, v.v.

Để có cái nhìn tổng quan về toàn bộ nhà máy, các biểu đồ hình tròn và biểu đồ cột được tạo cho từng hệ thống năng lượng tại cơ sở. Ví dụ, tổng quan về tiêu thụ nhiệt tại một cơ sở sản xuất được minh họa trong Hình 4 dưới đây (cho ví dụ trong Phụ lục 1).

Các biểu đồ này cung cấp tổng quan về phân bố tiêu thụ nhiệt trong toàn bộ nhà máy và giúp xác định những quy trình tiêu thụ năng lượng chính tại nhà máy. Trong ví dụ này, các biểu đồ chỉ được thiết lập ở cấp độ cơ sở sản xuất. Nhưng đối với các nhà máy lớn, các biểu đồ cũng có thể được thiết lập ở cấp độ dây chuyền sản xuất hoặc cho từng phân xưởng/bộ phận riêng lẻ để cung cấp tổng quan chi tiết hơn về nơi năng lượng được tiêu thụ. Các tổng quan này được thiết lập cho từng hệ thống năng lượng tại nhà máy.



Hình 4. Ví dụ về lập sơ đồ tiêu thụ nhiệt tại một doanh nghiệp công nghiệp trong quá trình kiểm toán năng lượng.

---

Một tổng quan tương tự về nhu cầu làm mát cũng cần được thiết lập trong quá trình lập sơ đồ năng lượng. Trong các kiểm toán năng lượng truyền thống, tiêu thụ năng lượng để làm mát thường được thể hiện dưới dạng sử dụng điện. Cách tiếp cận này không đủ để xem xét tiềm năng thu hồi nhiệt. Từng nhu cầu làm mát cần được lập sơ đồ tương tự như Hình 4 ở trên.

Các nguồn nhiệt thải, chẳng hạn như nhiệt thất thoát từ khí thải thoát ra từ ống khói, cũng có thể được thể hiện trong sơ đồ theo cách tương tự như gia nhiệt và làm mát. Nguồn nhiệt thải có thể được thể hiện dưới dạng các dòng nhiệt “thất thoát” có tiềm năng sử dụng để gia nhiệt cho các luồng quy trình khác. Bằng cách này, tổng quan ban đầu về tiềm năng thu hồi nhiệt thải có thể được thiết lập.

### 1.2.2 Lập sơ đồ năng lượng cấp độ 2 (Level-2 Mapping)

Với các nhà máy có cơ cấu hệ thống cung cấp năng lượng phức tạp với nhiều thiết bị tiêu thụ nhiệt (gia nhiệt và làm mát), cần phải đánh giá thêm các thông số thiết kế cho từng thiết bị làm mát và gia nhiệt.

Trường hợp này thường phổ biến trong các ngành như thực phẩm và đồ uống, công nghiệp hóa chất và dược phẩm, trong đó có các hệ thống phân phối nhiệt và làm mát trên diện rộng để cung cấp nhiệt và hơi mát cho nhiều khu vực khác nhau trong nhà máy.

Hầu hết các hệ thống phức tạp này thường đã có sẵn một số hệ thống thu hồi nhiệt, và việc hiểu rõ toàn bộ các hệ thống này là cần thiết để tối ưu hóa thu hồi nhiệt tổng thể tại nhà máy. Mục đích của việc lập sơ đồ năng lượng cấp độ tiếp theo là nhằm thiết lập tổng quan về quy trình sản xuất, bao gồm các nhu cầu nhiệt, nhu cầu làm mát và các nguồn nhiệt thải của nhà máy nếu không có bất kỳ giải pháp thu hồi nhiệt nào hiện đang áp dụng - và dựa trên nhiệt độ thực tế của các quy trình.

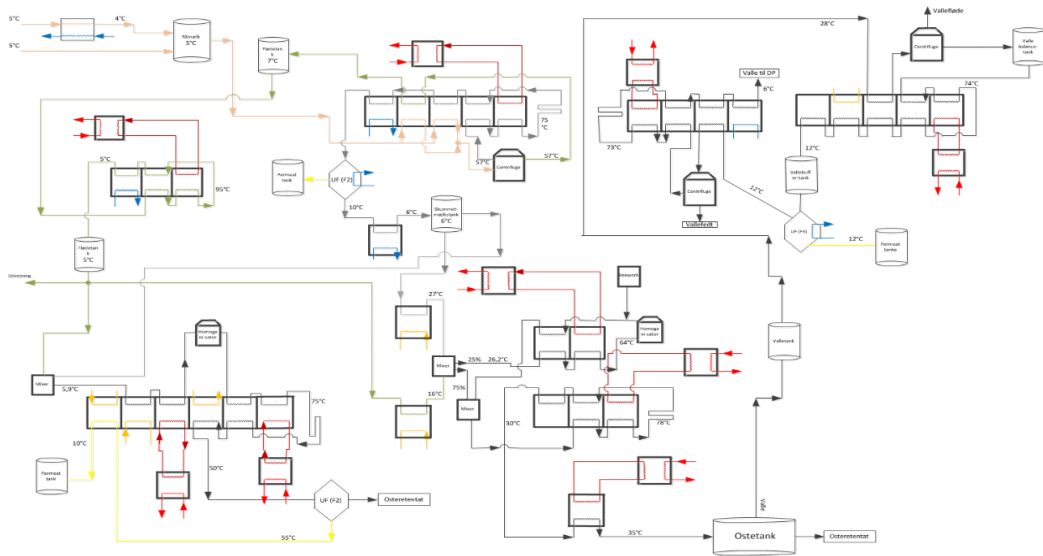
Những lý do cần phải lập sơ đồ chi tiết hơn là:

- Các giải pháp thu hồi nhiệt hiện đang áp dụng có thể không hiệu quả do tình trạng đóng cáu, bảo trì kém hoặc các lỗi trực tiếp trong các hệ thống điều khiển và vận hành.
- Các hệ thống thu hồi nhiệt hiện có có thể được thiết kế sai hoặc đặt ở những vị trí không phù hợp trong các quy trình, do đó cản trở các giải pháp thu hồi nhiệt mới và tối ưu hơn.
- Cần hiểu rõ yêu cầu nhiệt độ trong các quy trình riêng lẻ, đặc biệt là nhu cầu gia nhiệt trong các quy trình <100°C và nhu cầu làm mát >30°C là mục tiêu chính của các giải pháp thu hồi nhiệt.

- Cần hiểu rằng "năng lượng chất lượng cao" thường được sử dụng cho "mục đích chất lượng thấp" – ví dụ như hơi nước thường được sử dụng để làm nóng nước và không khí ở nhiệt độ thấp (<50°C) – hoặc glycol lạnh được sử dụng để làm mát máy móc ở nhiệt độ cao (>50°C).

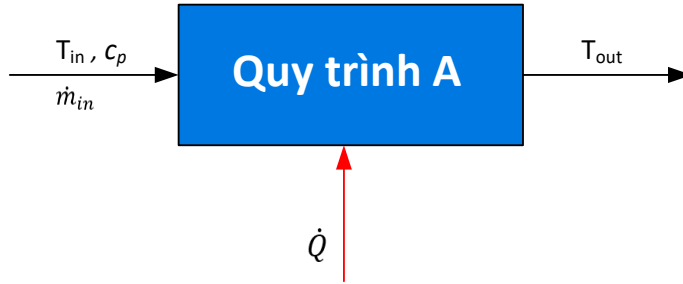
Để lập sơ đồ và hiểu rõ các vấn đề này, bước đầu tiên trong lập sơ đồ năng lượng cấp độ 2 là thiết lập các sơ đồ quy trình sản xuất chi tiết trong đó xác định tất cả các thiết bị sử dụng năng lượng, dây chuyền sản phẩm và tiêu thụ nhiệt và làm mát trong từng quy trình cũng như các dòng nhiệt thải trao đổi với môi trường xung quanh.

Nguyên lý của một sơ đồ quy trình sản xuất như trên được minh họa trong Hình 5 bên dưới.



Hình 5. Ví dụ về các luồng quy trình và thiết bị trao đổi nhiệt trong một nhà máy bơ sữa

Các lưu đồ như trên có thể được lập từ các sơ đồ P & ID từ các nhà cung cấp hoặc thông qua kiểm tra các màn hình quy trình trong phòng điều khiển, nhưng cần được lược bớt để chỉ minh họa các thiết bị, dây chuyền sản phẩm, cung cấp nhiệt và làm mát cho từng bước của quá trình sản xuất. Tương tự như lập sơ đồ năng lượng cấp độ 1, cần tập trung vào việc thu thập dữ liệu cần thiết mà không cần đo lường trên tất cả các thiết bị. Thay vì đo lường, việc tính toán cân bằng khối lượng và năng lượng thường có thể cung cấp nhiều giá trị dữ liệu cần thiết. Một ví dụ đơn giản về cân bằng năng lượng cho một quy trình đơn lẻ được minh họa trong Hình 6 dưới đây.



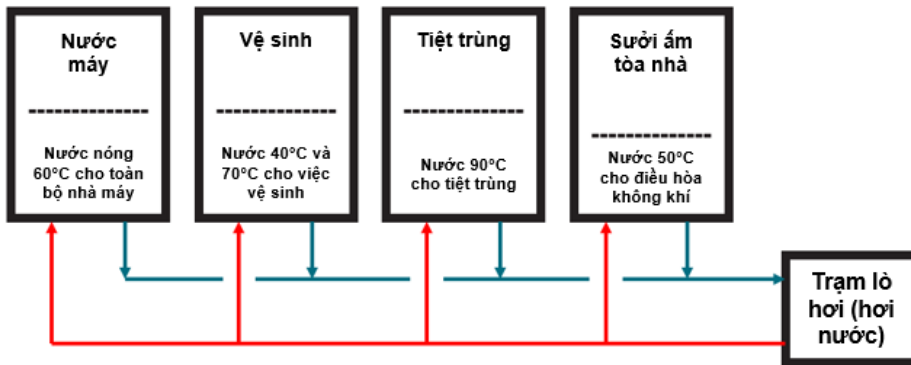
Hình 6. Ví dụ về một quy trình có nhu cầu gia nhiệt để thiết lập cân bằng năng lượng

Phương trình cân bằng năng lượng:

$$(T_{ra} - T_{vào})[K] \times c_p \left[ \frac{kJ}{kg * K} \right] \times \dot{m}_{ra} \left[ \frac{tấn}{năm} \right] \times 1000 \left[ \frac{kg}{tấn} \right] \times \frac{1}{3600} \left[ \frac{h}{s} \right] = \dot{Q} \left[ \frac{kWh}{năm} \right]$$

Dựa trên các thông số đầu vào đã xác định, phương trình trên có thể được giải cho một trong các biến: nhiệt độ (T), khối lượng (m) hoặc năng lượng (Q).

Nên thực hiện kiểm tra và khảo sát trực tiếp các hệ thống năng lượng để xác định mức nhiệt độ cần thiết để đáp ứng từng nhu cầu gia nhiệt. Hình 7 dưới đây minh họa một ví dụ, trong đó một lò hơi cung cấp hơi nước cho một số thiết bị tiêu thụ nhiệt dưới 100°C.



Hình 7. Ví dụ về cung cấp hơi cho các nhu cầu gia nhiệt ở nhiệt độ thấp.

Một minh họa tương tự có thể thực hiện cho các hệ thống làm mát, trong đó có thể phát hiện thấy nguồn làm mát ở nhiệt độ thấp (tốn kém chi phí) được sử dụng để làm mát các quy trình có nhiệt độ cao (ví dụ glycol có thể được sử dụng để làm mát dầu thủy lực ở nhiệt độ 50-60°C).

Kết quả của sơ đồ cấp độ 2 cho tất cả các nhu cầu gia nhiệt, nhu cầu làm mát và các dòng nhiệt thải mà không có thiết bị thu hồi nhiệt hiện đang sử dụng sẽ là một bảng dữ liệu như Bảng 1.

Quy trình	Nhiệt độ đầu vào (°C)	Nhiệt độ đầu ra (°C)	Lưu lượng công suất (kW/K <sup>2</sup> )	Nóng/lạnh/nhiệt thải
Thanh trùng				Nóng cần được làm mát
Làm mát sản phẩm				Nóng cần được làm mát
Làm mát bồn chứa				Nóng cần được làm mát
...				Nóng cần được làm mát
...				Nóng cần được làm mát
Nước cấp				Lạnh cần được gia nhiệt
Không khí đốt				Lạnh cần được gia nhiệt
Nước sản xuất				Lạnh cần được gia nhiệt
...				Lạnh cần được gia nhiệt
...				Lạnh cần được gia nhiệt
Khí thải				Nhiệt thải
Tháp giải nhiệt				Nhiệt thải
...				Nhiệt thải
...				Nhiệt thải

Bảng 1. Ví dụ về thu thập dữ liệu về các nhu cầu gia nhiệt, làm mát và nhiệt thải

Trong Bảng 1, công suất dòng nhiệt được định nghĩa là lưu lượng khối lượng của chất lỏng nhân với nhiệt dung riêng của chất lỏng. Công suất dòng nhiệt biểu thị lượng năng lượng cần thiết/phát ra để thay đổi nhiệt độ của dòng nhiệt lên 1 độ. Việc thực hiện thu thập dữ liệu này giúp thiết lập cơ sở đánh giá tiềm năng thu hồi nhiệt toàn diện tại một cơ sở sản xuất. Việc này được thực hiện với giả định rằng không có giải pháp thu hồi nhiệt nào (nếu có) đang được áp dụng. Do đó, việc tiếp theo là xác định các giải pháp tốt nhất có thể về mặt lý thuyết, đồng thời cũng bao gồm khả năng sửa đổi hoặc cải tiến các giải pháp hiện có.

<sup>2</sup> Trong hướng dẫn này, đơn vị công suất được sử dụng là "kW", cũng có thể là "kJ/giây".

---

### 1.2.3 Các khoảng nhiệt độ

Để xử lý các giải pháp phức tạp, trong đó đề xuất nhiều giải pháp thiết bị trao đổi nhiệt khác nhau, cần áp dụng cách tiếp cận từng bước để hiểu rõ tiềm năng thu hồi nhiệt.

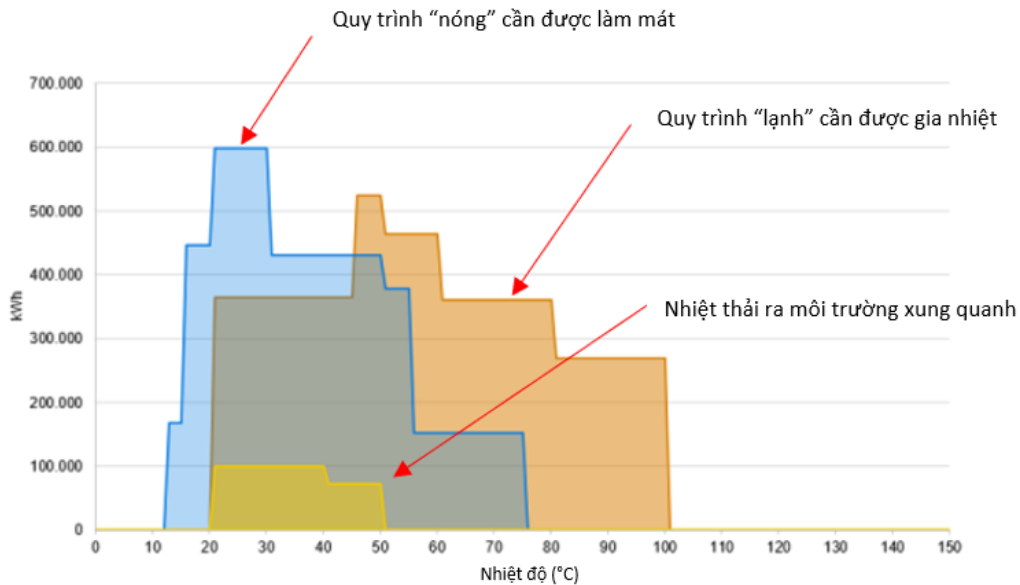
Bước đầu tiên có thể là trình bày dữ liệu từ Bảng 1 ở trên trong một bảng hiển thị các khoảng nhiệt độ của từng dòng quy trình (lạnh và nóng) và các nguồn nhiệt thải, như được minh họa bởi các dòng quy trình cần được gia nhiệt trong Hình 8 dưới đây.



Minh họa trên (các thanh màu xanh lá cây ở bên phải của hình) có thể đem lại ấn tượng đầu tiên về các phương án kết hợp thu hồi nhiệt khả thi dựa trên mức nhiệt độ.

#### 1.2.4 Các đồ thị nhiệt độ và phụ tải

Để xử lý mức độ phức tạp của tiềm năng thu hồi nhiệt, có thể đánh giá sơ bộ tiềm năng bằng cách minh họa tổng hợp các số liệu về tải gia nhiệt và làm mát trong nhà máy theo từng khoảng nhiệt độ, như thể hiện trong Hình 9 dưới đây.



Hình 9. Ví dụ về nhiệt độ và tải nhiệt trong một nhà máy công nghiệp.

Biểu đồ này tổng hợp tất cả các tải gia nhiệt, tải làm mát và nguồn nhiệt thải trong nhà máy (như đã lập sơ đồ trong Bảng 1 ở trên) ở các mức nhiệt riêng. Biểu đồ có thể được xây dựng bằng cách tính tổng tất cả các tải nóng/lạnh (kWh) ở các mức nhiệt độ 10-15°C, 15-20°C, 20-25°C, v.v., như được minh họa theo các khoảng nhiệt độ trong Hình 7. Biểu đồ có thể được xây dựng bằng cách áp dụng biểu mẫu Excel hướng dẫn lập sơ đồ năng lượng được mô tả trong Phụ lục 1.

Biểu đồ trong Hình 9 cung cấp tổng quan về tiêu thụ nhiệt của nhà máy, trong đó đối với trường hợp ví dụ đã cho có thể thấy:

- Các nhu cầu nhiệt trong nhà máy ("bể chứa" hoặc các quy trình "lạnh" cần gia nhiệt) đều ở mức nhiệt độ tương đối thấp dưới 100°C.
- Khi xác định nguồn nhiệt phù hợp trong nhà máy, điều bất ngờ là tất cả các nhu cầu gia nhiệt hiện đang được đáp ứng bằng hơi.

- Trong trường hợp này, đối với nhà máy, nhu cầu làm mát đáng kể cho các quy trình "nóng" ("nguồn") xảy ra ở nhiệt độ trên 30°C, cho thấy tiềm năng thu hồi nhiệt thải để gia nhiệt cho các quy trình.
- Ngoài ra, nhiệt thải thoát ra môi trường xung quanh (khu vực màu vàng trong Hình 3) cũng cần xem xét trong các phân tích tiếp theo vì nhiệt thải đủ ấm để gia nhiệt cho một số quy trình "lạnh" nhất định.

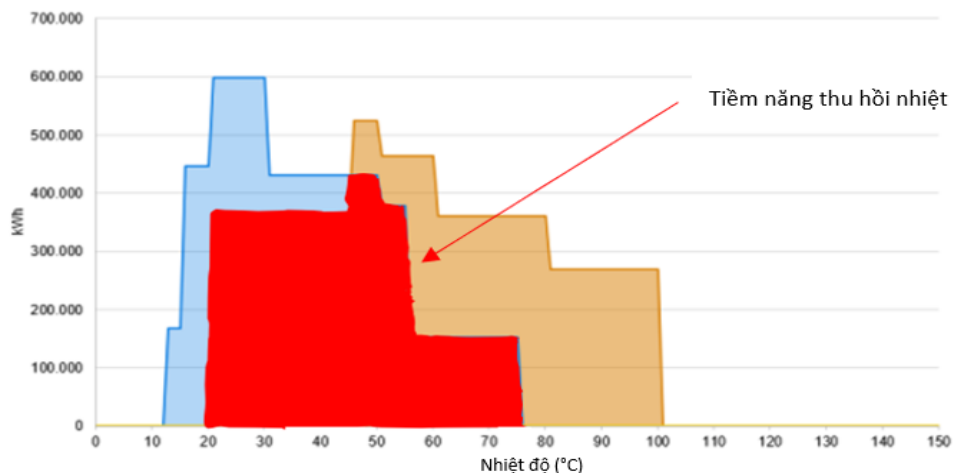
Hình dạng biểu đồ trong Hình 9 sẽ có sự thay đổi lớn tùy theo loại doanh nghiệp. Đối với các nhà máy xi măng và nhà máy lọc dầu, có nhiều nhu cầu về nhiệt độ cao cần được minh họa, trong khi đối với các lĩnh vực khác như thực phẩm và đồ uống, bức tranh lại hoàn toàn khác biệt.

### 1.2.5 Tiềm năng thu hồi nhiệt lý thuyết

Một cách đơn giản để minh họa tiềm năng thu hồi nhiệt trong một nhà máy là xem xét sự chồng lấp giữa các dòng "nóng" và "lạnh" trong Hình 9.

Trong các khoảng nhiệt độ mà các quy trình "nóng" cần làm mát có nhiệt độ cao hơn các quy trình "lạnh" cần gia nhiệt, sẽ có tiềm năng thu hồi nhiệt.

Trong hình 10 dưới đây, khu vực màu đỏ đại diện cho khu vực mà việc làm mát (khu vực màu xanh) xảy ra ở nhiệt độ cao hơn nhiệt độ cần thiết để gia nhiệt (khu vực màu cam), và nơi nhiệt có thể được chuyển qua các thiết bị trao đổi nhiệt.



Hình 10. Ví dụ về tiềm năng thu hồi nhiệt (khu vực màu đỏ) trong một doanh nghiệp công nghiệp

Như vậy, khu vực màu đỏ trong Hình 10 thể hiện tiềm năng thu hồi nhiệt tại nhà máy đang xem xét.

---

Như minh họa ở trên, thông thường tiềm năng thu hồi nhiệt lý thuyết có thể ở mức 30-50% (hoặc thậm chí cao hơn), nghĩa là 30-50% (hoặc cao hơn) mức tiêu thụ nhiên liệu hiện tại để gia nhiệt có thể được tiết kiệm bằng cách sử dụng mạng lưới các thiết bị trao đổi nhiệt. Cần nhấn mạnh rằng nhu cầu làm mát giảm đi, cũng là kết quả của thu hồi nhiệt, thường là một yếu tố quan trọng khi cân nhắc bài toán kinh tế của giải pháp thu hồi nhiệt.

### 1.2.6 Công nghệ điểm Pinch

Có thể tính toán chính xác và chi tiết tiềm năng thu hồi nhiệt với dữ liệu thu thập được trong Bảng 1 bằng cách áp dụng Công nghệ điểm Pinch (Pinch-Point Technology)<sup>3</sup>. Nguyên lý của Công nghệ điểm Pinch và các đánh giá dòng thác nhiệt<sup>4</sup> về tiềm năng thu hồi nhiệt dựa trên các nguyên lý tương tự như mô tả ở trên, nhưng chi tiết hơn và do mức độ phức tạp nên không được giải thích kỹ trong tài liệu hướng dẫn này.

Các công cụ và phương pháp luận cho những đánh giá nêu trên được mô tả kỹ trong các tài liệu tham khảo và thường sẽ bao gồm:

- Việc thu thập dữ liệu về nhiệt độ và lưu lượng công suất cho các quy trình nóng và lạnh như đã mô tả trong các phần trên.
- Đánh giá về mức độ chênh lệch nhiệt độ nhỏ nhất mà các quy trình riêng lẻ có thể trao đổi nhiệt với nhau khi sử dụng các công nghệ trao đổi nhiệt phù hợp (ví dụ: bộ trao đổi nhiệt dạng tấm, v.v.).

Đối với một số môi chất như nước, bộ trao đổi nhiệt dạng tấm có thể đạt được độ chênh lệch nhiệt độ rất nhỏ (xuống đến 1°C trong Delta-T, xem Hình 1 ở trên), trong khi đối với các môi chất khác như không khí và khí đốt, dự kiến Delta-T cao hơn nhiều. Bất kỳ tính toán nào về mục tiêu thu hồi nhiệt đều phải tính đến yếu tố này. Do đó, dải giá trị Delta-T cho mỗi môi chất ảnh hưởng đến mức độ tối ưu của mạng lưới trao đổi nhiệt có thể được thiết kế.

- Tính toán mục tiêu thu hồi nhiệt lý thuyết cho tất cả các quy trình liên quan trong phân tích.

Tính toán này sẽ chính xác hơn nếu có dữ liệu về Delta-T cho từng môi chất.

- Xác định "Điểm Pinch" (nút cổ chai) cho việc trao đổi nhiệt giữa các quy trình.

Điểm Pinch khó giải thích trong bối cảnh này, nhưng đối với các nhà máy phức tạp với nhiều nhu cầu gia nhiệt và làm mát, đôi khi có thể thấy rằng một vài quy

---

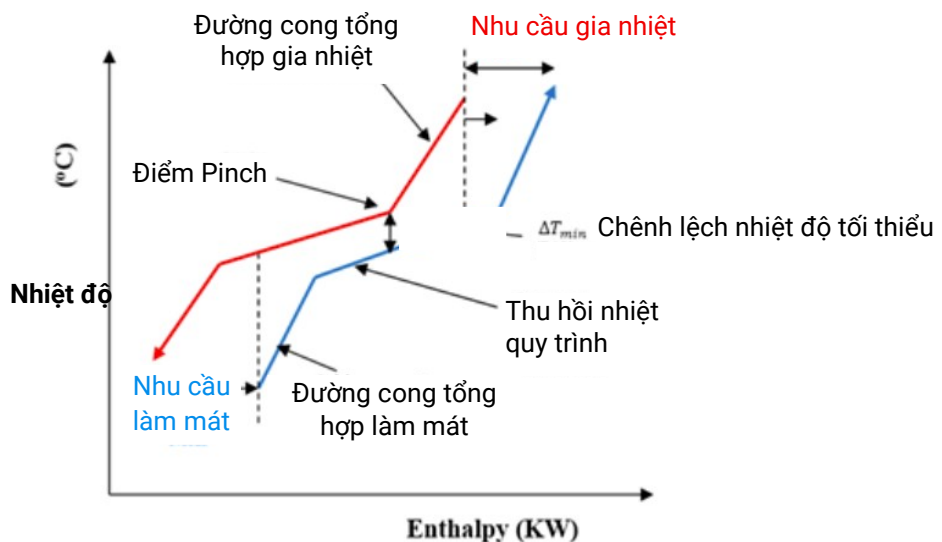
<sup>3</sup> Tham khảo công cụ tính toán mục tiêu Pinch: <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/integration/24559>.

<sup>4</sup> Phương pháp luận cơ bản về phân tích thu hồi nhiệt được gọi là Phân tích điểm Pinch, xem thêm tại: [https://en.wikipedia.org/wiki/Pinch\\_analysis](https://en.wikipedia.org/wiki/Pinch_analysis)

trình có thể là nút cổ chai trong việc thiết lập một mục tiêu thấp cho thu hồi nhiệt về lý thuyết.

Trong thực tế, vấn đề này (nút cổ chai) chỉ là một trở ngại khi thiết kế các hệ thống trao đổi nhiệt để đạt được các mục tiêu lý thuyết, mà mục tiêu này thường không thực tế vì nhiều lý do kỹ thuật và tài chính (xem bên dưới).

Thông thường, việc thiết lập các đường cong đồ thị tổng hợp để minh họa tiềm năng thu hồi nhiệt là kết quả chính từ phân tích Điểm Pinch, như được thể hiện trong hình 11 bên dưới.



Hình 11. Ví dụ về các đường cong đồ thị tổng hợp từ phân tích điểm Pinch

Trong đường cong đồ thị tổng hợp, sự chồng lấn giữa đường cong tổng hợp "nóng" và "lạnh" như trong Hình 10 ở phần trước minh họa tiềm năng thu hồi nhiệt lý thuyết. Hơn nữa, hình ảnh này cũng cho thấy có những hạn chế về mức độ gần nhau theo chiều ngang mà đường cong tổng hợp nóng và lạnh có thể được đẩy lại gần nhau (do đó giảm thiểu "nhu cầu gia nhiệt" và "nhu cầu làm mát"). Mức độ tiếp cận gần nhất có thể được xác định bởi các giá trị Delta-T và các quy trình tập trung xung quanh "Điểm Pinch" được minh họa trong hình.

Điều này cũng chỉ ra rằng tiềm năng thu hồi nhiệt lý thuyết có thể thay đổi nếu bất kỳ quy trình nào tiến gần đến nhiệt độ Điểm Pinch có thể được thay đổi, ví dụ bằng cách thay đổi lưu lượng hoặc các thông số vận hành khác. Đây là một phân tích rất phức tạp và chủ yếu phù hợp với các tổ hợp nhà máy hóa chất và nhà máy lọc dầu.

---

Thông thường, các công cụ tính toán Điểm Pinch bao gồm các thuật toán để chuẩn bị thiết lập mạng lưới thiết bị trao đổi nhiệt. Điều này có thể có lợi trong các nhà máy hóa chất phức tạp, do thiết kế mạng lưới trao đổi nhiệt phải được tiếp cận theo cách khác nhau trong các lĩnh vực khác nhau, xem bên dưới.

### **1.2.7 Hiểu rõ tiềm năng thu hồi nhiệt lý thuyết**

Cần hiểu rằng kết quả về tiềm năng thu hồi nhiệt được minh họa ở trên và/hoặc tính toán thông qua các phương pháp nêu trên là giá trị lý thuyết, khó có thể đạt được trong thực tế.

Chẳng hạn, để đạt tiềm năng thu hồi nhiệt tối đa có thể phải lắp một số lượng lớn các thiết bị trao đổi nhiệt, tích hợp các quy trình có khoảng cách xa nhau, và cuối cùng, lắp thêm các bể chứa nhiệt nóng và lạnh để cân bằng sự chênh lệch nhiệt độ trong các giờ hoạt động giữa các xưởng khác nhau.

Do đó, việc đạt được mục tiêu lý thuyết có thể đòi hỏi các khoản đầu tư rất lớn, các lắp đặt kỹ thuật phức tạp và đôi khi còn bao gồm việc tích hợp các quy trình và phân xưởng mà ban lãnh đạo của các doanh nghiệp về cơ bản muốn chúng hoạt động độc lập với nhau vì lý do rủi ro hoặc các lý do khác.

Mặc dù vậy, mục tiêu về tiềm năng thu hồi nhiệt tối đa là cơ sở có giá trị để tiếp tục đánh giá các giải pháp thực tế phức tạp, tạo điều kiện cho việc so sánh các giải pháp đề xuất với các mục tiêu tổng thể về thu hồi nhiệt, để xem xét các giải pháp đề xuất có tiến gần đến một kết quả tốt nhất có thể (mục tiêu lý thuyết) hay không.

## **1.3 Từ tiềm năng thu hồi nhiệt tới các giải pháp thực tiễn**

Nhìn chung, các mục tiêu về tiềm năng thu hồi nhiệt đã xác định ở trên là cơ sở quan trọng cho bất kỳ công việc nào tiếp theo khi xác định các giải pháp thực tiễn cho thu hồi nhiệt. Về nguyên tắc, việc này có thể được tiếp cận theo các cách khác nhau tùy thuộc vào đặc điểm của doanh nghiệp:

- Cách tiếp cận đơn giản để xác định các giải pháp thu hồi nhiệt.
- Cách tiếp cận nâng cao để xác định các giải pháp thu hồi nhiệt.

Cách tiếp cận đơn giản trước hết được khuyến nghị cho các doanh nghiệp công nghiệp có nhu cầu gia nhiệt và làm mát đơn giản (hoặc ít) hoặc cho các doanh nghiệp công nghiệp đã mở rộng quy mô sản xuất trong một thời gian dài, và do đó, rất khó nâng cấp, tích hợp thêm các giải pháp gia nhiệt và làm mát mới.

Cách tiếp cận nâng cao sẽ được sử dụng trong các hệ thống phức tạp với nhiều dòng nóng, lạnh và nhiệt thải cần xem xét. Cách tiếp cận nâng cao cũng được khuyến nghị trong trường hợp các dự án xây dựng mới từ đầu (greenfield), trong đó các hệ thống

năng lượng cho một cơ sở mới được thiết kế từ đầu. Cách tiếp cận nâng cao có thể cần sự tham gia của các chuyên gia về Công nghệ Pinch trong quá trình triển khai dự án.

Chương 2 dưới đây trình bày một số ví dụ về các dự án thu hồi nhiệt của quốc tế, đồng thời cũng đánh giá một số phương pháp lựa chọn các giải pháp trao đổi nhiệt.

### 1.3.1 Cách tiếp cận đơn giản để xác định các giải pháp thu hồi nhiệt

Trong một số ngành sản xuất, nhu cầu gia nhiệt và làm mát có độ phức tạp tương đối thấp, ví dụ:

- Nhựa.
- Điện tử.
- Xi măng.
- Chế biến gỗ.
- Sắt-Thép.

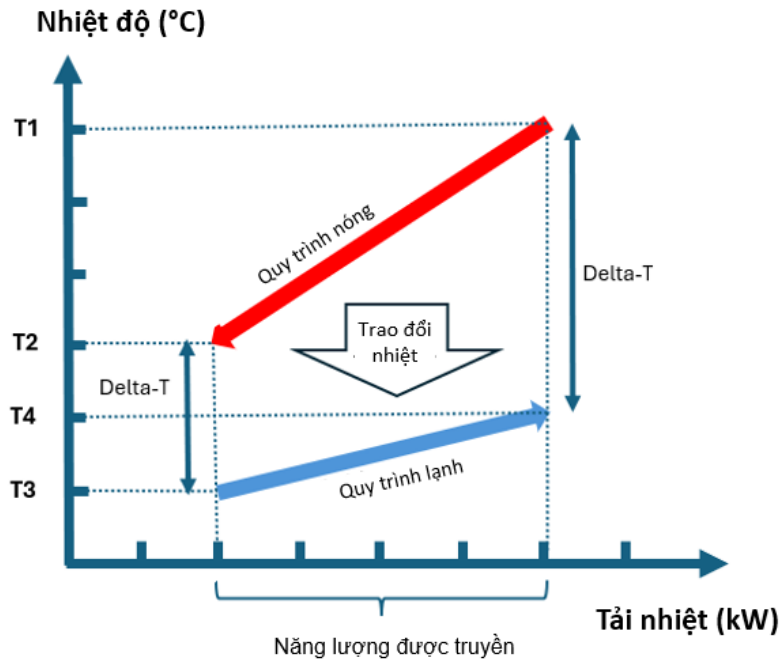
Trong các ngành trên, và cả các ngành phức tạp hơn, cách tiếp cận đơn giản để xác định các giải pháp thu hồi nhiệt có thể bao gồm các câu hỏi đánh giá đơn giản như sau:

- Các giải pháp thu hồi nhiệt hiện đang áp dụng có hoạt động tốt không?
- Các giải pháp thu hồi nhiệt hiện đang áp dụng có gây trở ngại cho các giải pháp tốt hơn không?
- Có thể áp dụng thu hồi nhiệt cục bộ cho từng quy trình riêng lẻ không?
- Có thể sử dụng các nguồn nhiệt thải khác không? – có khả năng sử dụng bơm nhiệt không?

Mỗi đánh giá đơn giản này có thể được giải thích thêm như sau:

#### - Các giải pháp thu hồi nhiệt hoạt động kém hiệu quả

Qua thu thập dữ liệu, có thể thấy các thiết bị trao đổi nhiệt thường hoạt động với delta-T cao, tức là sự chênh lệch nhiệt độ ở mỗi đầu của thiết bị trao đổi nhiệt vượt quá các giá trị theo thiết kế điển hình (xem Hình 1 ở trên/dưới).



Các giá trị Delta-T thấp nhất đo được hoặc tính toán được tại mỗi thiết bị trao đổi nhiệt thể hiện mức độ hiệu quả của thiết bị. Đối với hầu hết các loại thiết bị trao đổi nhiệt, giá trị này cần thấp hơn  $10^{\circ}\text{C}$ <sup>5</sup>.

Delta-T cao có thể do thiết bị trao đổi nhiệt được thiết kế không đúng cách, hệ thống thu hồi nhiệt không hoạt động hoặc ít được bảo dưỡng, ví dụ như thiết bị trao đổi nhiệt bị bẩn/cáu cặn.

Do đó, bước đầu tiên và đơn giản để cải thiện hệ thống thu hồi nhiệt trong một nhà máy là xem xét liệu các thiết bị trao đổi nhiệt hiện tại có đang hoạt động tốt hoặc có thể cải thiện bằng cách lắp đặt thiết bị trao đổi nhiệt mới hoặc làm sạch các thiết bị hiện có không. Lợi ích đem lại từ những biện pháp cải thiện này có thể rất đáng kể.

- Các thiết bị trao đổi nhiệt hiện đang áp dụng có gây trở ngại cho các giải pháp tốt hơn

Một thiết bị trao đổi nhiệt có giá trị Delta-T cao cũng có thể chỉ ra rằng nhiệt thải nhiệt độ cao (hoặc làm mát) được sử dụng cho các mục đích gia nhiệt ở nhiệt độ thấp (hoặc làm mát ở nhiệt độ cao).

<sup>5</sup> Trong phần 2.1 dưới đây, các giải pháp tốt nhất cho delta-T được trình bày đối với các môi chất điển hình và các loại thiết bị trao đổi nhiệt.

Các giải pháp như vậy có thể gây trở ngại cho các giải pháp thu hồi nhiệt khác tối ưu hơn như đã mô tả trong mục 1.1 ở trên (sử dụng nhiệt thải ở nhiệt độ cao để đáp ứng các nhu cầu nhiệt ở nhiệt độ trung bình, v.v.).

Nếu quan sát thấy delta-T cao tại một thiết bị trao đổi nhiệt, cần kiểm tra xem nhiệt được truyền trong thiết bị trao đổi nhiệt này có thể tận dụng tốt hơn trong một bối cảnh khác hay không.

#### - Thu hồi nhiệt cục bộ cho từng quy trình riêng lẻ

Thường thì các quy trình riêng lẻ có thể áp dụng trao đổi nhiệt “cục bộ”, trong đó dòng nhiệt đầu ra của một quy trình có thể sử dụng để gia nhiệt sơ bộ cho dòng nhiệt đầu vào của quy trình đó.

Ví dụ, một máy sấy thường có dòng nhiệt đầu ra ấm (không khí ấm) có thể sử dụng để gia nhiệt sơ bộ không khí đầu vào của máy sấy (không khí lạnh). Một ví dụ khác là quy trình thanh trùng, trong đó một sản phẩm lạnh cần được làm nóng đến một mức nhiệt độ nhất định và sau đó làm lạnh trở lại. Trong trường hợp này, phần lớn nhu cầu làm lạnh có thể được đáp ứng bởi nhu cầu gia nhiệt và ngược lại, từ đó đồng thời tiết kiệm năng lượng cho cả quá trình làm lạnh và gia nhiệt. Tương tự, một lò hơi có thể sấy sơ bộ không khí đốt cho lò hơi bằng chính khí ấm thải ra từ lò hơi.

Giải pháp thu hồi nhiệt cục bộ như vậy có thể rất hiệu quả. Các giải pháp cũng có thể tiết kiệm chi phí do khoảng cách ngắn giữa dòng ra ấm và dòng vào lạnh. Cuối cùng, các dòng ra và vào hoạt động cùng một lúc, do đó có thể tránh được việc phải lưu trữ năng lượng.

Thường thì trao đổi nhiệt “cục bộ” tại một số quy trình kết hợp với nhau có thể đạt được tiềm năng thu hồi nhiệt lý thuyết mà không cần thực hiện các hoạt động phức tạp hơn để xây dựng các mạng lưới trao đổi nhiệt nâng cao.

#### - Các nguồn nhiệt thải khác? – ứng dụng bơm nhiệt?

Khi các tiềm năng mô tả ở trên đã được đánh giá và thậm chí được khai thác sử dụng, vẫn còn một số nguồn nhiệt thải nhất định có thể vẫn chưa được tận dụng hết, có thể được đánh giá ở bước cuối.

Những tiềm năng còn lại này thường được tìm thấy ở mức nhiệt độ thấp, đòi hỏi sử dụng bơm nhiệt để nâng mức nhiệt độ hiện tại lên mức nhiệt độ cao hơn.

Theo kinh nghiệm, cách tiếp cận đơn giản được mô tả ở trên có thể đã đủ để xác định nhiều tiềm năng thu hồi nhiệt có tính khả thi cao nhất và tiết kiệm chi phí nhất tại một

---

nhà máy. Thông thường, các giải pháp đều sẽ phù hợp với các tiềm năng thu hồi nhiệt lý thuyết đã xác định.

Luôn khuyến nghị kiểm tra xem các giải pháp đã nhận diện có đem lại tiềm năng tiết kiệm năng lượng tương ứng với tiềm năng thu hồi nhiệt lý thuyết đã xác định hay không. Nếu không, các nguyên lý trao đổi nhiệt nổi tầng đã không được tuân thủ và cần phải tìm kiếm lại các giải pháp tối ưu.

### **1.3.2 Cách tiếp cận nâng cao đối với các giải pháp thu hồi nhiệt**

Một cách tiếp cận toàn diện và nâng cao đối với các giải pháp thu hồi nhiệt (như yêu cầu của Công nghệ điểm Pinch) chủ yếu phù hợp với các ngành công nghiệp có các mô hình gia nhiệt và làm mát đa dạng và phức tạp, như:

- Ngành công nghiệp thực phẩm và đồ uống.
- Ngành công nghiệp hóa chất và dược phẩm.
- Nhà máy lọc dầu và ngành công nghiệp hóa dầu.
- Ngành công nghiệp giấy và bột giấy.

Để đạt được tiềm năng thu hồi nhiệt tối đa trong các ngành trên, có thể phải lắp đặt một số lượng lớn các thiết bị trao đổi nhiệt cũng như các hệ thống đường ống phức tạp để kết hợp các quy trình “nóng” và “lạnh” một cách tốt nhất trong toàn bộ nhà máy.

Phương pháp thiết kế cho từng ngành nằm ngoài phạm vi của hướng dẫn này, nhưng một số khuyến nghị có thể đưa ra như sau:

- Đối với ngành công nghiệp thực phẩm và đồ uống, cách tiếp cận đơn giản được trình bày trong mục 1.3.1 gần như đáp ứng đủ các yêu cầu, mặc dù mô hình gia nhiệt và làm mát phức tạp có thể khó xử lý.

Do nhiệt độ ở mức tương đối thấp trong ngành này, phần lớn tiềm năng thực tế sẽ được tìm thấy trong trường hợp áp dụng bơm nhiệt để tận dụng các nguồn nhiệt thải ở nhiệt độ thấp.

Trường hợp được đề cập trong mục 2.7 là điển hình cho các giải pháp trong ngành công nghiệp thực phẩm và đồ uống, sau khi các giải pháp khác đã được thiết lập như trình bày trong mục 1.3.1 ở trên.

- Trong các ngành công nghiệp hóa chất và dược phẩm, thực tế có thể có sự khác biệt rất lớn giữa các phân ngành.

Đối với các tổ hợp hóa chất lớn, các giải pháp tiêu chuẩn cho từng phân ngành thường là trọng tâm chính và các giải pháp sẽ được các nhà cung cấp ưu tiên đề xuất căn cứ vào các đánh giá rủi ro và khả năng đảm bảo cam kết.

Tuy nhiên, theo kinh nghiệm thường thấy, các thiết bị trao đổi nhiệt hiện có trong các ngành nêu trên hoạt động với giá trị delta-T tương đối cao, cho thấy tiềm năng cải thiện nhất định. Trong những trường hợp sử dụng thiết bị trao đổi nhiệt dạng tấm, việc thêm các tấm vào một thiết bị trao đổi nhiệt hiện có nhằm giảm delta-T có thể thực hiện tương đối dễ dàng.

- Trong các nhà máy lọc dầu và ngành công nghiệp hóa dầu, các giải pháp thu hồi nhiệt được áp dụng rất đặc thù cho ngành và việc thực hiện một phân tích điểm Pinch truyền thống sẽ rất khó.

Tuy nhiên, các loại thiết bị trao đổi nhiệt mới đã được phát triển trong vài năm qua (thiết bị trao đổi nhiệt dạng tấm hàn kín hoàn toàn), từ đó cho phép lắp đặt các giải pháp mới hiệu quả hơn.

Ngoài ra, trong ngành công nghiệp giấy và bột giấy, các giải pháp đặc thù cho ngành thường được áp dụng, do đó có tương đối ít cơ hội cho các mạng lưới thu hồi nhiệt mới.

#### **1.4 Rào cản kỹ thuật đối với các giải pháp thu hồi nhiệt**

Mặc dù các giải pháp thu hồi nhiệt và bơm nhiệt có vẻ hấp dẫn khi xét về góc độ hiệu quả năng lượng và giảm phát thải CO<sub>2</sub>, các nhà phát triển dự án cần lưu ý tới một số khía cạnh thực tế khi áp dụng các giải pháp này, trước hết là:

- Phần lớn nhu cầu nhiệt trong nhà máy hiện nay có thể đáp ứng bằng gia nhiệt sử dụng hơi nước, bất kể nhiệt độ cần gia nhiệt cho quy trình là bao nhiêu – ví dụ, hơi nước 160°C (8 bar) thường được sử dụng để đun nóng nước đến 80°C cho mục đích làm sạch.

Sử dụng các hệ thống cung cấp hơi nước là một rào cản kỹ thuật lớn đối với các hệ thống thu hồi nhiệt, vì hầu hết nhiệt thải đều quá lạnh để có thể sản xuất hơi nước. Do đó, các giải pháp thu hồi nhiệt tối ưu cần xem xét khả năng lắp đặt một hệ thống nhiệt cung cấp nước nóng để gia nhiệt hoặc gia nhiệt sơ bộ cho các quy trình trọng yếu – một hệ thống có thể hoạt động song song với hệ thống cung cấp hơi nước hiện có. Tuy nhiên, điều này sẽ đi kèm với chi phí tăng thêm.

- Các quy trình "nóng" và "lạnh" có thể không được vận hành cùng một lúc, nghĩa là có thể không có tính đồng bộ giữa các quy trình cần tích hợp trong một giải pháp thu hồi nhiệt.

Điều này có thể làm hỏng một đề án kinh doanh khả thi vì sẽ cần đến các giải pháp phức tạp hơn, bao gồm cả lưu trữ năng lượng. Tuy nhiên, chi phí cho các bể nước nóng và lạnh tương đối thấp và có thể đưa vào đề án kinh doanh –

---

một số giải pháp đã được thiết kế và xây dựng, trong đó lưu trữ năng lượng (nóng hoặc lạnh) là một phần tích hợp của thiết kế thu hồi nhiệt.

- Khoảng cách địa lý giữa các quy trình nóng và lạnh để tích hợp có thể là rào cản kỹ thuật lớn, đòi hỏi hệ thống ống dẫn dài làm giảm tính hấp dẫn của đề án kinh doanh do tăng thêm chi phí đầu tư.

Hơn nữa, các doanh nghiệp công nghiệp thường ngại việc tích hợp các khu vực và phân xưởng khác nhau của một nhà máy nếu chúng vốn được thiết kế để hoạt động độc lập với nhau. Việc tích hợp này sẽ dẫn tới các ràng buộc mới, có thể hạn chế tính linh hoạt trong sản xuất.

- Quy mô của từng nguồn nhiệt và bể chứa nhiệt cũng là một thông số quan trọng, liên quan đến tính khả thi của việc tích hợp các nguồn hoặc bể chứa cụ thể.

Thường có một giới hạn dưới về cả năng lượng và công suất khiến việc tích hợp một nguồn nhiệt hoặc bể chứa nhiệt không khả thi. Đánh giá này liên quan đến cả vị trí địa lý như đã giải thích ở trên, nhưng cũng liên quan đến việc lắp đặt thiết bị trao đổi nhiệt. Một số chi phí cho việc tích hợp một nguồn nhiệt hoặc bể chứa nhiệt sẽ không thay đổi theo quy mô, ví dụ lắp đặt các đồng hồ đo và hệ thống điều khiển, do đó, chi phí "cơ bản" có thể chiếm một phần lớn trong tổng chi phí.

- Việc tận dụng nhiệt thải để gia nhiệt cho quy trình sẽ bao gồm lắp đặt các thiết bị trao đổi nhiệt với dòng sản phẩm ở một bên và dòng chất gia nhiệt ở bên kia.

Đối với các giải pháp này, có thể xảy ra rủi ro ô nhiễm chéo nếu có rò rỉ xuất hiện đột ngột trong thiết bị trao đổi nhiệt. Điều này có thể là vấn đề nghiêm trọng trong một số ngành, trong khi các ngành khác lại không có rủi ro này. Một giải pháp luôn khả thi là lắp đặt một mạch trung gian để truyền nhiệt dư thừa. Tuy nhiên, điều này sẽ làm giảm tiềm năng thu hồi nhiệt do sự chênh lệch nhiệt độ cao hơn giữa nguồn nhiệt và bể chứa nhiệt.

- Trong một số quy trình, việc vận hành quy trình không chính xác sẽ làm giải phóng lượng nhiệt dư thừa lớn có thể sử dụng cho mục đích gia nhiệt.

Tuy nhiên đây không phải là một phương án tối ưu để theo đuổi và thực hiện. Một quy trình cần luôn luôn được vận hành ở mức hiệu suất cao nhất có thể khi thiết kế các giải pháp bền vững.

Một rào cản khác có thể là nhiệt thải có sẵn ở nhiệt độ tương đối thấp – trong trường hợp này có thể cân nhắc sử dụng bơm nhiệt để nâng nhiệt độ lên mức phù hợp.

## 1.5 Cơ sở đề xuất các giải pháp bơm nhiệt

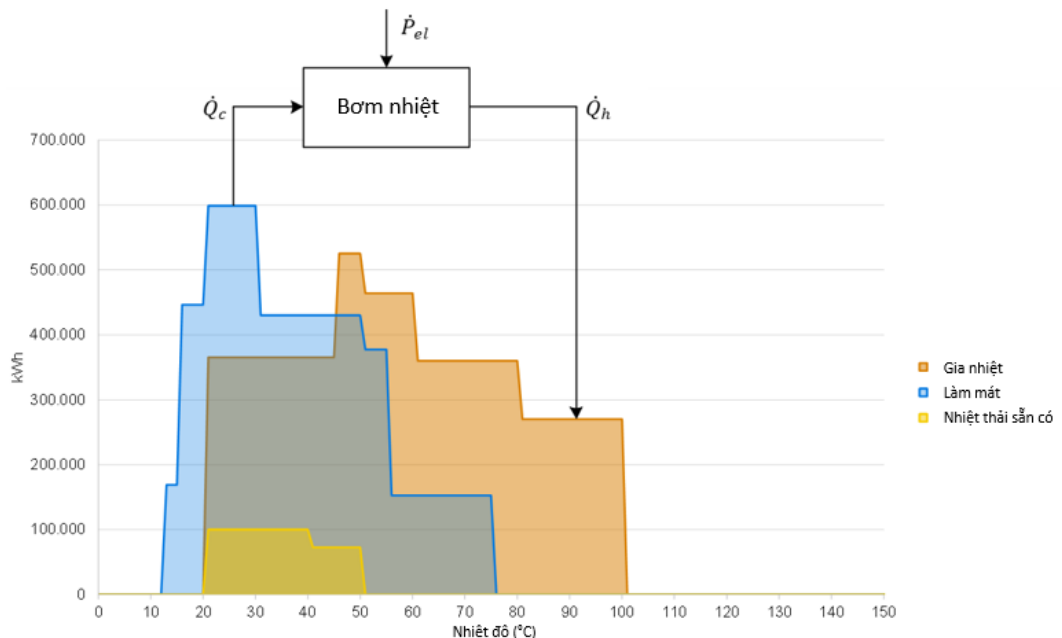
Trong nhiều ngành công nghiệp, hầu hết nhiệt thải có sẵn đều ở mức nhiệt độ tương đối thấp, khoảng 30 - 60°C, ví dụ:

- Trong các tháp làm mát.
- Trong các bình ngưng của hệ thống lạnh.
- Trong khí thải ẩm từ lò sấy.
- Trong nước thải.

Các nguồn nhiệt thải này có rất ít tiềm năng sử dụng trực tiếp vì hầu hết nhu cầu nhiệt trong các nhà máy đều ở dải nhiệt độ cao hơn.

Trong trường hợp này, có thể sử dụng bơm nhiệt để nâng nhiệt độ của nhiệt thải lên tới 80 – 90°C, mức nhiệt này có tiềm năng sử dụng cao hơn nhiều. Bơm nhiệt cũng có khả năng làm mát một số quy trình nhất định, do đó các nguồn nhiệt thải được đề cập ở trên có thể kết hợp với quá trình làm mát thông thường tại một số khu vực nhất định.

Nguyên lý này được minh họa trong Hình 12 dưới đây.



Hình 12. Ví dụ về tiềm năng thu hồi nhiệt bao gồm bơm nhiệt

---

Đối với trường hợp được minh họa trong Hình 12, phần lớn nhu cầu gia nhiệt trong nhà máy có thể được đáp ứng bằng nhiệt thải khi tích hợp một bơm nhiệt sản xuất nhiệt ở mức nhiệt độ ví dụ 90°C.

Giải pháp này sẽ phức tạp hơn so với các giải pháp thu hồi nhiệt truyền thống (một thiết bị trao đổi nhiệt và hệ thống đường ống liên quan) và sẽ phải lắp đặt các hạng mục sau:

- Một vòng nước làm mát thu hồi nhiệt thải từ các nguồn khác nhau.  
Vòng nước làm mát này sẽ được lắp đặt song song ở một mức độ nhất định với một hệ thống glycol hiện có, có thể làm mát một số quy trình xuống mức nhiệt độ mục tiêu thấp hơn.
- Một vòng nước nóng cung cấp nhiệt được sản xuất cho các quy trình khác nhau.  
Vòng nước nóng này sẽ được lắp đặt song song ở một mức độ nhất định với hệ thống cung cấp hơi nước hiện có, có thể gia nhiệt cho các quy trình đến mức nhiệt độ mục tiêu cao hơn so với nhiệt độ do bơm nhiệt cung cấp (90°C).
- Một trạm bơm nhiệt tích hợp vòng nước làm mát và vòng nước nóng, có thể sản xuất nhiệt với hệ số hiệu suất (COP) hợp lý và do đó có giá thành nhiệt hấp dẫn.
- Trong nhiều trường hợp, cũng cần có các thiết bị lưu trữ nhiệt ở phía nóng và/hoặc phía lạnh của bơm nhiệt để cân bằng sự biến động của tải gia nhiệt và làm mát cho một số lượng tương đối lớn các thiết bị tiêu thụ.

Ví dụ lắp đặt tương tự được mô tả trong phần 2.7 dưới đây.

Bơm nhiệt cũng có thể được áp dụng cho các quy trình riêng lẻ - ví dụ cho các hệ thống sấy quy mô lớn, trong đó không khí ẩm thoát ra khỏi máy sấy và không khí lạnh cần được gia nhiệt trước khi vào máy sấy. Trong những trường hợp này, bơm nhiệt có thể hoạt động “qua” máy sấy với hệ số COP rất tốt, từ đó sinh nhiệt với một mức giá hấp dẫn.

Ví dụ như vậy sẽ được mô tả trong phần 2.4 dưới đây.

Nhìn chung, bài toán kinh tế cho giải pháp bơm nhiệt có thể gặp thách thức trong trường hợp giá điện tương đối cao và giá nhiên liệu tương đối rẻ, ví dụ như trường hợp sử dụng sinh khối hoặc than làm nhiên liệu. Để thực hiện một dự án khả thi, hệ số COP của bơm nhiệt theo nguyên tắc phải cao hơn tỷ lệ giữa giá điện và giá nhiên liệu được thay thế (như dầu hoặc khí tự nhiên). Nhưng trong trường hợp gia nhiệt và làm mát được cung cấp cùng lúc, bài toán kinh tế sẽ tốt hơn nhiều vì làm mát thường là một nguồn năng lượng có chi phí sản xuất đắt đỏ. Tham khảo ví dụ trong phần 2.5 dưới đây.

Qua kinh nghiệm triển khai, các tiêu chí sau đây rất quan trọng để đánh giá một phương án bơm nhiệt hấp dẫn:

- Giờ hoạt động cao điểm.
  - o Tốt nhất là >4.000 giờ mỗi năm – và tốt nhất là ở mức tải 100%.
- Hệ số hiệu suất (COP) tốt (>3,5).
  - o Chênh lệch nhiệt độ giữa “nguồn nhiệt” và “bể chứa nhiệt” không được vượt quá 50°C.
- Lắp đặt đơn giản.
  - o Ưu tiên bộ trao đổi nhiệt giữa nước với nước.
- Kết hợp gia nhiệt và làm mát.
  - o Xem trường hợp 2.5 trong phần 2 dưới đây.
- Có thể đem lại các lợi ích phi năng lượng tốt nhất.
  - o Tăng công suất, cải thiện chất lượng, v.v.
- Khách hàng yêu cầu hoạt động vận hành của doanh nghiệp (nhà cung cấp) đảm bảo trung hòa CO<sub>2</sub>.
  - o Hoặc thậm chí yêu cầu doanh nghiệp chứng minh đã cải thiện hiệu quả sử dụng năng lượng.

Một khía cạnh quan trọng của việc lắp đặt bơm nhiệt là có thể kết hợp giải pháp này với nhà máy điện mặt trời hoặc điện gió, khi đó nguồn cung cấp nhiệt từ bơm nhiệt được coi là giải pháp trung hòa carbon.

Giải pháp này thu hút nhiều sự quan tâm ở châu Âu trong những năm gần đây, tại đó việc loại bỏ sử dụng nhiên liệu hóa thạch đã trở thành một trong những chiến lược trọng tâm của ban lãnh đạo nhiều doanh nghiệp công nghiệp. Ở châu Âu, một tỷ trọng lớn điện năng trong lưới điện được coi là trung hòa carbon do khai thác các nhà máy điện mặt trời, điện gió và năng lượng hạt nhân trên diện rộng.

### **1.5.1 Tổng quan về các môi chất lạnh cho bơm nhiệt**

Do sự quan tâm ngày càng tăng trên toàn cầu đối với các giải pháp bơm nhiệt, nhiều dự án nghiên cứu và phát triển đang được triển khai nhằm phát triển các bơm nhiệt có thể cung cấp nguồn nhiệt ở nhiệt độ cao – ưu tiên tiêu thụ hơi nước.

Mặc dù việc phát triển rất hứa hẹn, vẫn còn nhiều hạn chế lớn về các giải pháp nào có thể đưa ra.

Bảng 2 dưới đây cung cấp tổng quan về hiện trạng các giải pháp khác nhau dựa trên các môi chất lạnh bền vững.

Công nghệ/ Nhiệt độ	<90°C	<120°C	<140°C	<150°C
Bơm nhiệt truyền thống dựa trên amoniac (NH <sub>3</sub> )	x			
Bơm nhiệt mới với môi chất lạnh CO <sub>2</sub>	x	x	Nhà máy thử nghiệm 100 kW đang hoạt động	
Bơm nhiệt dựa trên vật liệu lai carbon	x	x	Nhà máy thử nghiệm 1,5 MW đang hoạt động	Nhà máy thử nghiệm 2 MW đang hoạt động
Bơm nhiệt với môi chất lạnh tổng hợp mới	x	Nhà máy thử nghiệm 2 MW đang hoạt động		
Bơm nhiệt kết hợp (Hybrid)*	x	Sắp đưa ra thị trường		
Các giải pháp hỗn hợp**	x	x		Nhà máy thử nghiệm 1,5 MW đang hoạt động

*Bảng 2. Tổng quan về các giải pháp bơm nhiệt bền vững theo nhiệt độ (dùng môi chất lạnh không gây suy giảm tầng ozone)*

*\* Bơm nhiệt kết hợp là giải pháp kết hợp các máy nén cơ học truyền thống và bơm nhiệt hấp thụ.*

*\*\* Các giải pháp hỗn hợp là các giải pháp bơm nhiệt sử dụng kết hợp nhiều môi chất lạnh.*

Một số điểm cần lưu ý về Bảng 2 ở trên:

- Các bơm nhiệt amoniac gần đây đã được lắp đặt, cung cấp nhiệt ở mức nhiệt độ lên tới 95°C, đây được coi là “công nghệ có sẵn tốt nhất” (BAT) cho giải pháp bơm nhiệt này.

- Các bơm nhiệt CO<sub>2</sub> có hiệu quả cho một số mục đích, nhưng cần độ trượt nhiệt độ lớn cho môi chất dẫn nhiệt cả ở phía lạnh và phía nóng của bơm nhiệt để đạt hiệu suất tốt.
- Ngoài châu Âu – ví dụ như tại Nhật Bản – có các giải pháp cung cấp nhiệt ở nhiệt độ cao hơn (và phục vụ sản xuất hơi nước), các giải pháp này hấp dẫn về mặt kỹ thuật nhưng sẽ khó khăn về mặt môi trường vì chúng sử dụng môi chất lạnh có tiềm năng đáng kể gây suy giảm tầng ozone.

Nhìn chung, triển vọng sản xuất hơi nước ở mức nhiệt 160°C không mấy khả quan đối với các bơm nhiệt có công suất thông thường (gia nhiệt < 4 MW), mặc dù nhiều nhà cung cấp tuyên bố rằng các giải pháp như vậy “chỉ là vấn đề thời gian”. Có nhiều lý do cho kết luận này:

- Các bơm nhiệt nhiệt độ cao hoạt động ở áp suất cao, đòi hỏi chi phí xây dựng tốn kém.
- Các bơm nhiệt nhiệt độ cao có chi phí vận hành cao do hệ số COP thấp.
- Các bơm nhiệt nhiệt độ cao đòi hỏi nguồn nhiệt thải ở nhiệt độ cao, vốn hiếm khi có sẵn.

Điểm cuối cùng trong danh sách này rất quan trọng. Hệ số COP của một bơm nhiệt sẽ thấp khi nhiệt thải ở 30°C và nhiệt cần được cung cấp ở mức 120 – 150°C, đồng nghĩa với việc giá thành nhiệt sẽ cao.

Đối với một số mục đích quy mô lớn (>10 MW), các bơm nhiệt mới sản xuất hơi nước quy mô lớn của các nhà cung cấp quốc tế như MAN, Siemens, v.v. có thể phù hợp. Ví dụ, trong các doanh nghiệp hóa chất lớn, nhu cầu gia nhiệt là 8.760 giờ mỗi năm và giá trị COP nằm trong khoảng 2-3, thì loại bơm nhiệt này có thể được chấp nhận.

Đối với những trường hợp như vậy, có thể xem xét các bơm nhiệt sản xuất hơi nước cho vận hành tải nền, nhưng chi phí đầu tư ban đầu (CAPEX) cho các lắp đặt được coi là tương đối cao, đồng thời đòi hỏi lắp đặt các lò hơi điện để đáp ứng nhu cầu cao điểm.

## 1.6 Các nguồn nhiệt thải trong các ngành công nghiệp

Tính chất và nhiệt độ của nhiệt thải/nhiệt dư và làm mát các quy trình "nóng" có sự khác biệt lớn giữa các ngành công nghiệp. Bảng 3 dưới đây cung cấp một số ví dụ về các nguồn nhiệt điển hình nhất trong các ngành. Tuy nhiên, ngay cả trong một ngành cụ thể, các phân ngành có thể sẽ có tính chất khác nhau.

Loại ngành	Quy trình	Nhiệt độ
<b>Ngành thực phẩm và đồ uống</b>	Lò sấy	100-200°C
	Bay hơi	40-70°C
	Lò đun	100°C
	Tháp làm mát	30-40°C
	Làm mát quy trình	30-80°C
	Lò hơi (khí thải)	100-250°C
	Nước thải	15-40°C
	Khí nén	60-80°C
<b>Ngành hóa chất</b>	Lò sấy	100-200°C
	Bay hơi	40-70°C
	Chưng cất	80-100°C
	Tháp làm mát	30-40°C
	Làm mát quy trình	30-80°C
	Lò hơi (khí thải)	100-250°C
	Nước thải	15-40°C
	Khí nén	60-80°C
<b>Ngành xi măng</b>	Lò quay	900°C
	Xyclon	400°C
	Nghiền thô	100°C
	Nghiền xi măng	60°C
	Bộ làm mát khí thải	350°C
	Bộ làm nguội clinke	600°C
	Khí nén	60-80°C
<b>Ngành dệt may</b>	Sấy	100-200°C
	Nhuộm	50-80°C

Loại ngành	Quy trình	Nhiệt độ
	Giặt	40-80°C
	Nước thải	15-40°C
	Khí nén	60-80°C
	Lò hơi (khí thải)	100-250°C
<b>Ngành nhựa</b>	Thủy lực	40-60°C
	Khí nén	60-80°C
	Lò hơi (Khí thải)	100-250°C
<b>Ngành giấy và bột giấy</b>	Máy nghiền bột giấy	50-80°C
	Buồng sấy giấy	80-150°C
	Máy làm giấy	80-150°C
	Tách nước	40-60°C
	Ép	40-60°C
	Nước thải	15-40°C
	Khí nén	60-80°C
	Lò hơi (Khí thải)	100-250°C
<b>Ngành gốm sứ</b>	Lò nung	100-200°C
	Sấy phun	100-300°C
	Sấy sơ bộ	60-150°C
	Tráng men	60-80°C
	Nước thải	15-80°C
	Khí nén	60-80°C
<b>Ngành thép</b>	Lò hồ quang	400-800°C
	Lò cảm ứng	600-1200°C
	Lò nung lại	200-600°C
	Làm mát khuôn đúc	80-150°C

Loại ngành	Quy trình	Nhiệt độ
	Nước làm mát	50-80°C
	Khí thải từ bộ lọc khí	60-80°C
	Nước thải	15-40°C
	Khí nén	60-80°C

*Bảng 3. Ví dụ về các nguồn nhiệt thải trong các ngành công nghiệp khác nhau*

Cần phải nhấn mạnh rằng việc tận dụng nhiệt thải từ các quá trình đốt cháy có thể dẫn đến sự ngưng tụ của các khí lưu huỳnh và các vấn đề ăn mòn nghiêm trọng. Vật liệu và công nghệ trao đổi nhiệt cho các giải pháp như vậy được mô tả chi tiết hơn trong [Cẩm nang công nghệ cho lò hơi công nghiệp](#).

## 2 Ứng dụng các giải pháp thu hồi nhiệt và bơm nhiệt

Trên thực tế, thu hồi nhiệt và bơm nhiệt bao gồm nhiều loại giải pháp và phương pháp tiếp cận khác nhau để sử dụng nhiệt thải.

Phần này mô tả một số trường hợp thực tế nhằm minh họa các giải pháp trong lĩnh vực này:

- Tối ưu hóa các hệ thống trao đổi nhiệt hiện có.
- Làm mát quy trình được coi là một nguồn nhiệt.
- Tận dụng các nguồn nhiệt thải ấm.
- Các quy trình tích hợp bơm nhiệt.
- Kết hợp gia nhiệt và làm mát.
- Các quy trình tích hợp MVR (nén hơi cơ học).
- Các hệ thống thu hồi nhiệt tập trung.
- Vận hành và bảo trì các hệ thống trao đổi nhiệt.

Các ví dụ này đều được thu thập từ các doanh nghiệp công nghiệp châu Âu và được mô tả với thời gian hoàn vốn, có thể khác với các doanh nghiệp công nghiệp Việt Nam. Tuy nhiên, các cơ hội kỹ thuật có tính chất tương tự với những cơ hội được xác định có tiềm năng tại Việt Nam và phần lớn các trường hợp ví dụ này có thể được triển khai tương tự tại Việt Nam.

### 2.1 Tối ưu hóa các hệ thống trao đổi nhiệt hiện có

Nhiều quy trình và hệ thống lắp đặt ban đầu đã được thiết kế với các giải pháp thu hồi nhiệt theo tiêu chuẩn quốc tế. Ví dụ, hầu hết các quy trình thanh trùng trong ngành chế biến thực phẩm đều được xây dựng với phương án thu hồi nhiệt giữa dòng sản phẩm lạnh đi vào hệ thống thanh trùng và dòng sản phẩm nóng rời khỏi hệ thống.

Tuy nhiên, kinh nghiệm chỉ ra rằng các giải pháp thu hồi nhiệt đã được lắp đặt có thể có hiệu suất thấp hơn nhiều so với mong đợi vì một số lý do:

- Kể từ khi lắp đặt thiết bị trao đổi nhiệt, các thông số vận hành như lưu lượng sản phẩm và nhiệt độ đã thay đổi đáng kể, khiến thiết bị không được thiết kế phù hợp với trạng thái vận hành hiện tại.
- Các thiết bị trao đổi nhiệt có thể bị bẩn và bám cặn, làm giảm hệ số truyền nhiệt và hiệu suất tổng thể của thiết bị trao đổi nhiệt.

- Đối với các giải pháp thu hồi nhiệt mà nước nóng được bơm tuần hoàn để truyền nhiệt, hiệu suất của hệ thống thường đo được ở mức thấp do thiếu nước trong các đường ống (rò rỉ).
- Các giải pháp hiện có có thể đã được thiết kế khi mức giá năng lượng thấp hơn nhiều so với hiện tại – ngày nay một giải pháp tối ưu sẽ bao gồm thiết bị trao đổi nhiệt lớn hơn và có hiệu suất tốt hơn khi xét đến giá năng lượng mới.
- Công nghệ trao đổi nhiệt mới có thể đã được phát triển, cho phép truyền nhiệt hiệu quả hơn cho mục đích cụ thể.

Vì những lý do này, việc kiểm tra các giải pháp thu hồi nhiệt hiện tại và đánh giá xem chúng có hoạt động tốt hay không luôn là việc làm cần thiết.

Điều này có thể được thực hiện đơn giản bằng cách lập bản đồ delta-T cho các quy trình ở mỗi bên của thiết bị trao đổi nhiệt và so sánh với các biện pháp thực hành tốt nhất đối với từng loại môi chất và thiết bị trao đổi nhiệt cụ thể. Bảng 4 dưới đây minh họa ví dụ về các giá trị delta-T tốt nhất cho các công nghệ trao đổi nhiệt khác nhau (Phụ lục 2 trình bày tổng quan rộng hơn về các công nghệ trao đổi nhiệt).

Công nghệ	Chất truyền nhiệt	Delta-T tối ưu
Thiết bị trao đổi nhiệt dạng tấm	Nước/Nước	1-3°C
	Hơi nước/nước	3-5°C
Thiết bị trao đổi nhiệt dạng vỏ và ống	Nước/Nước	3-5°C
	Hơi nước/nước	5-10°C
Thiết bị trao đổi nhiệt dạng tấm hàn kín	Nước/Nước	1-3°C
	Hơi nước/nước	3-5°C
Bề mặt mở rộng (cánh tản nhiệt)	Nước/ không khí	1-3°C
Thiết bị trao đổi nhiệt tái sinh (ma trận quay vòng/cố định)	Khí/Khí	1-3°C

*Bảng 4. Nhiệt độ thiết kế của các giải pháp tốt nhất cho các công nghệ trao đổi nhiệt khác nhau*

Cần luôn luôn kiểm tra các thiết bị trao đổi nhiệt hiện có và xem chúng đang hoạt động với delta-T như thế nào, từ đó quyết định xem có tổn thất đáng kể trong tiềm năng thu

hồi nhiệt do hiệu suất kém của thiết bị trao đổi nhiệt hay không. Thường thì để thực hiện đánh giá này cần đo nhiệt độ thủ công.

**Ví dụ: Mở rộng hệ thống trao đổi nhiệt hiện có trong sản xuất dầu thực vật**

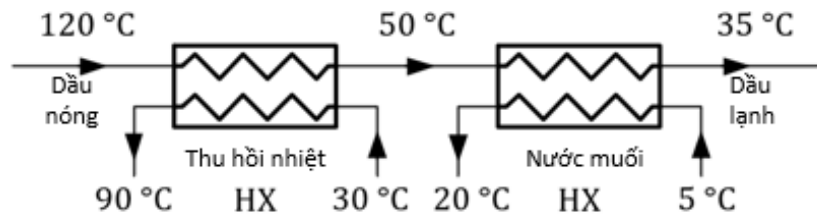
Tại một nhà máy sản xuất thực phẩm và dầu mỹ phẩm, phần cuối cùng của dây chuyền sản xuất bao gồm việc làm mát dầu từ 120°C xuống nhiệt độ  $\approx 35^\circ\text{C}$ .

Hiện tại, công đoạn làm mát này diễn ra trong hai giai đoạn, sử dụng hai thiết bị trao đổi nhiệt dạng tấm truyền thống.

- Ở giai đoạn đầu, dầu được làm mát từ 120°C xuống 50°C trong một thiết bị trao đổi nhiệt, nơi nhiệt thải được thu hồi để làm nóng nước từ 30°C lên 90°C cho mục đích sản xuất.
- Ở giai đoạn thứ hai, dầu được làm mát đến nhiệt độ mục tiêu là 35°C bằng nước biển.

Vì thiết bị trao đổi nhiệt ở giai đoạn đầu tiên quá nhỏ nên ở giai đoạn thứ hai phải sử dụng thiết bị trao đổi nhiệt bằng nước biển.

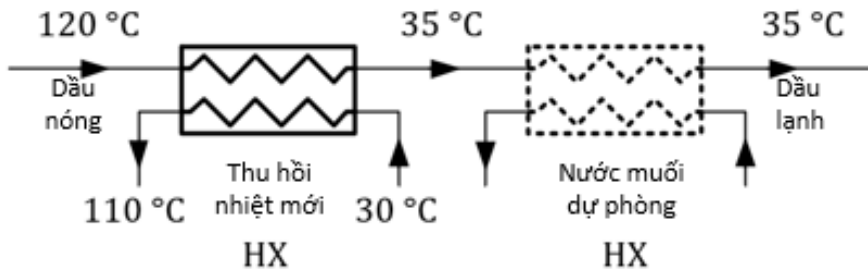
Hoạt động hiện tại của hệ thống được minh họa trong Hình 13 dưới đây.



Hình 13. Hệ thống trước khi tiến hành thu hồi nhiệt.

Bằng cách thêm các tấm vào thiết bị trao đổi nhiệt giai đoạn đầu tiên (một thay đổi đơn giản), có thể thu hồi nhiều nhiệt hơn để làm nóng nước, từ đó tiết kiệm nhiên liệu cho việc làm nóng nước ở các khu vực khác của nhà máy.

Trong trường hợp này, việc nâng cấp thiết bị trao đổi nhiệt dạng tấm lên mức delta-T 5 độ là khả thi (so với delta-T của thiết bị trao đổi nhiệt giai đoạn 1 hiện tại là 20°C), để thiết bị trao đổi nhiệt nước biển hiện có chỉ cần được sử dụng làm một bộ làm mát dự phòng như minh họa trong Hình 14 dưới đây.



Hình 14. Hệ thống sau khi tiến hành thu hồi nhiệt.

Dữ liệu chính cho giải pháp tối ưu hóa này được trình bày trong bảng 5 dưới đây.

Tiết kiệm khí đốt tự nhiên [MWh/năm]	Tổng năng lượng tiết kiệm [MWh/năm]	Tiết kiệm chi phí hàng năm [nghìn Euro/năm]	CAPEX [nghìn Euro]	Thời gian hoàn vốn [năm]
1400	1400	50	110	2,2

Bảng 5. Số liệu chính của giải pháp nâng cấp thiết bị trao đổi nhiệt dạng tấm trong một nhà máy sản xuất dầu thực vật

Trong trường hợp giai đoạn làm mát thứ hai được thực hiện bằng một hệ thống làm lạnh cưỡng bức (như được thấy ở nhiều ngành công nghiệp thực phẩm và đồ uống khác), thời gian hoàn vốn cho giải pháp này sẽ rất ngắn (< 6 tháng).

## 2.2 Làm mát quy trình được coi là một nguồn nhiệt

Nhìn chung, việc gia nhiệt cho các quy trình trong các doanh nghiệp công nghiệp hầu như luôn đi kèm một quy trình làm mát, trong đó giải phóng một lượng nhiệt nhất định cần thiết cho quá trình gia nhiệt ban đầu. Phần còn lại của lượng nhiệt cung cấp có thể kết thúc trong các dòng nhiệt thải được thải ra môi trường xung quanh, ví dụ từ lò sấy và nồi đun để đun sôi sản phẩm.

Do đó, cần có các giải pháp làm mát toàn diện trong hầu hết các ngành công nghiệp để thu hồi nhiệt sao cho có thể sử dụng nhiệt cho mục đích gia nhiệt.

Một phần quan trọng của việc chuẩn bị các giải pháp thu hồi nhiệt là theo dõi các hệ thống nước làm mát ("đi dọc theo tuyến ống") và lập sơ đồ các quy trình đang được làm mát và xác định mức nhiệt độ mà nguồn nhiệt có thể được giải phóng – nghĩa là điền thông tin vào các hàng "Nóng cần được làm mát" trong Bảng 1 trên đây.

Trong quá trình lập sơ đồ, cần phân biệt giữa làm mát quy trình thực hiện bằng các hệ thống lạnh và làm mát quy trình thực hiện qua các tháp làm mát ("làm mát tự nhiên").

Làm mát quy trình thường diễn ra ở nhiệt độ cao với các cơ hội tức thời để sử dụng nhiệt được giải phóng trong quá trình làm mát.

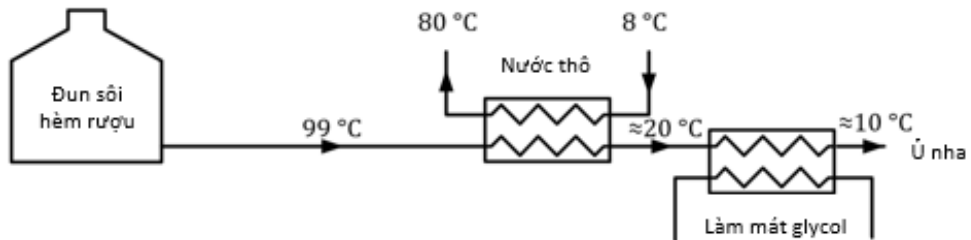
**Ví dụ: Thu hồi nhiệt từ làm mát quy trình**

Trong sản xuất bia, một dung dịch đường mạch nha và hoa bia (gọi là "hèm rượu") được đun sôi trong khoảng một giờ với nhu cầu nhiệt lượng cao.

Cơ hội đầu tiên để thu hồi nhiệt là thu hồi hơi từ nồi đun hèm rượu. Cơ hội thứ hai là tận dụng nhiệt thải ra khi làm mát hèm rượu xuống 10-15°C ngay sau quy trình đun sôi và trước khi chuyển sang các quy trình lên men.

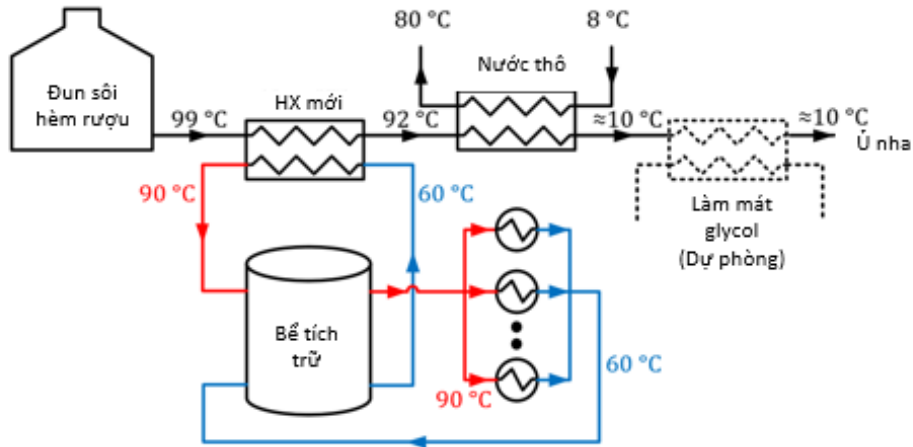
Tại một nhà máy bia, nước thô ở 8°C đã được gia nhiệt đến 80°C bằng cách làm mát hèm rượu nóng (hình 13). Nước thô sau khi gia nhiệt được sử dụng cho các mẻ sản xuất bia tiếp theo và được lưu trữ trong các bể nước nóng để khắc phục sự chênh lệch về thời gian xử lý giữa các quy trình. Việc gia nhiệt nước thô làm nguội hèm rượu đã đun sôi xuống  $\approx 20^\circ\text{C}$  và thiết bị trao đổi nhiệt làm mát hèm rượu giúp tiếp tục làm nguội xuống 10-15°C với vòng làm mát tuần hoàn bằng glycol.

Giải pháp hiện có của nhà máy trên được minh họa trong Hình 15 dưới đây.



Hình 15. Hệ thống trước khi tiến hành thu hồi nhiệt.

Một hệ thống thu hồi nhiệt mới được áp dụng tại nhà máy này là lắp đặt một thiết bị trao đổi nhiệt trước thiết bị trao đổi nhiệt nước thô. Thiết bị trao đổi nhiệt mới làm nóng một vòng tuần hoàn nước từ 62°C lên 90°C trong khi làm mát hèm rượu đã đun sôi từ 99°C xuống 92°C như minh họa trong Hình 16 dưới đây.



Hình 16. Hệ thống sau khi thu hồi nhiệt.

Vòng nước được gia nhiệt cũng được cung cấp nhiệt từ quy trình đun sôi và nhiệt được phân phối khắp nhà máy bia để cung cấp cho các khu vực tiêu thụ nhiệt. Giải pháp thu hồi nhiệt cũng loại bỏ việc sử dụng vòng làm mát tuần hoàn bằng glycol vì nước thô đã được làm mát xuống nhiệt độ yêu cầu 10-15°C bởi thiết bị trao đổi nhiệt nước thô hiện có.

Do đó, giải pháp thu hồi nhiệt giúp tiết kiệm nhiên liệu cho hệ thống gia nhiệt và tiết kiệm điện năng cho các hệ thống làm mát. Trường hợp ví dụ dưới đây chỉ bao gồm việc lắp đặt thiết bị trao đổi nhiệt mới.

Tiết kiệm khí tự nhiên [MWh/năm]	Tiết kiệm điện [MWh/năm]	Tổng tiết kiệm năng lượng [MWh/năm]	Tiết kiệm chi phí hàng năm [nghìn Euro/năm]	CAPEX [nghìn Euro]	Thời gian hoàn vốn [năm]
2750	750	3500	120	90	0.8

Bảng 6. Các số liệu chính về lắp đặt giải pháp thu hồi nhiệt mới trong một nhà máy bia.

Trường hợp này minh họa các giải pháp thu hồi nhiệt kết hợp giữa gia nhiệt quy trình và làm mát quy trình có thể có thời gian hoàn vốn rất ngắn nhờ tiết kiệm đáng kể về cả nhiên liệu và điện cùng lúc.

## 2.3 Tận dụng nguồn nhiệt thải ấm

Trong một số ngành công nghiệp, lượng nhiệt thải ấm rất lớn đang được thải ra môi trường xung quanh và có thể sử dụng cho các giải pháp thu hồi nhiệt. Ví dụ:

- Trong ngành nông nghiệp, máy sấy ngũ cốc, v.v. tạo ra lượng lớn không khí ấm, ẩm.

- Trong một số ngành công nghiệp thực phẩm, các máy sấy tạo ra lượng lớn không khí ẩm, ẩm.
- Trong ngành công nghiệp xi măng, lò nung và thiết bị làm nguội clinke thải không khí ẩm ra môi trường.
- V.v.

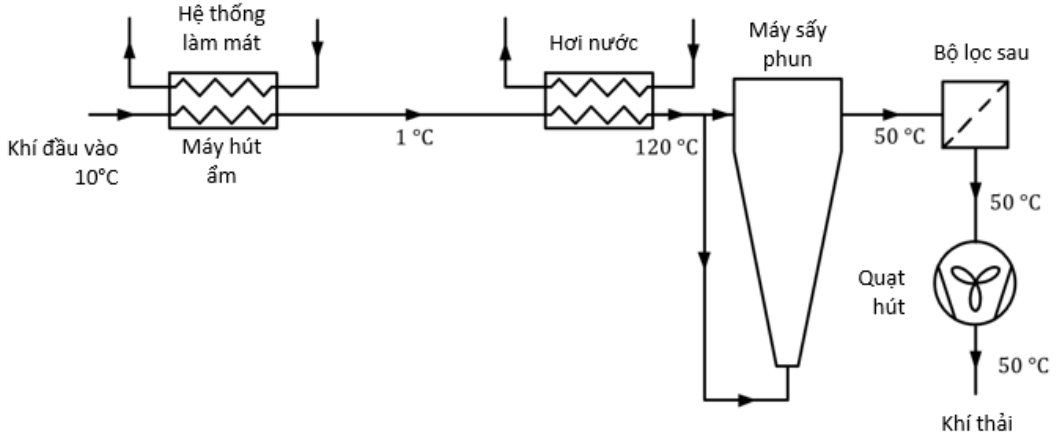
Sử dụng các nguồn nhiệt như vậy rất hiệu quả, trong khi các nguồn nhiệt khác chứa bụi từ quy trình sấy, đòi hỏi phải làm sạch không khí trước khi sử dụng.

**Ví dụ: Thu hồi nhiệt gián tiếp trong quá trình sấy phun**

Trong một doanh nghiệp hóa chất, quá trình sấy phun sản phẩm thành bột được thực hiện bằng cách thổi khí nóng khô vào một bể xyclon trong khi sản phẩm được phun từ trên cùng của bể.

Trong quá trình này, nước bay hơi từ sản phẩm dưới dạng hơi ẩm trong không khí được đưa đến ống khói thải. Tại đầu vào cấp khí của quá trình sấy, không khí được làm mát xuống điểm sương và thấp hơn trong một thiết bị hút ẩm để đạt được độ ẩm tương đối thấp của không khí sấy. Sau khi hút ẩm, không khí được làm nóng trở lại đến 120°C thông qua một thiết bị trao đổi nhiệt với hơi nước làm môi chất gia nhiệt. Không khí thải ẩm từ xyclon ở 50°C và đi qua một bộ lọc túi trước khi được thải ra khí quyển.

Cấu trúc hiện tại của hệ thống được minh họa trong Hình 17 dưới đây.



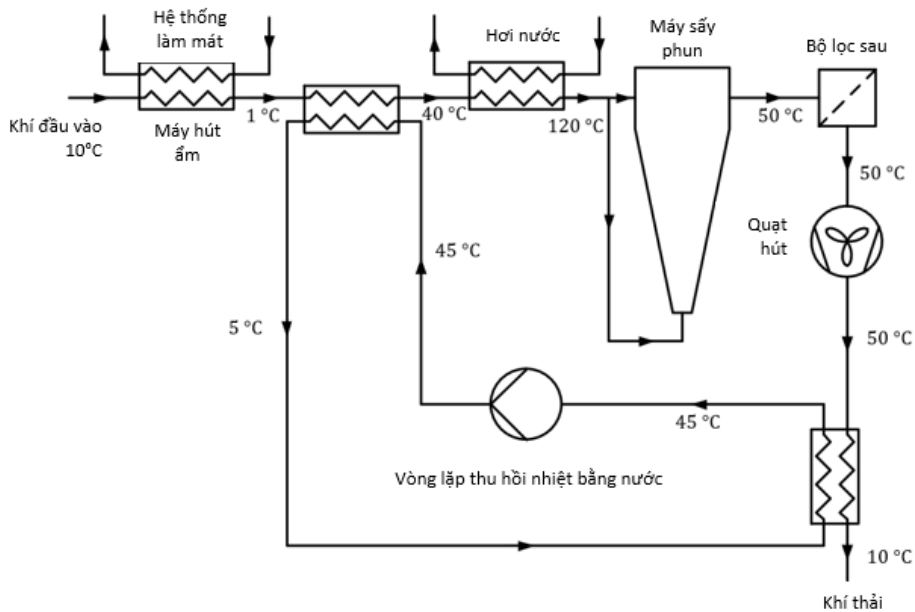
Hình 17. Hệ thống trước khi thu hồi nhiệt.

Để giảm tiêu thụ hơi nước, một hệ thống thu hồi nhiệt liên kết với chất lỏng được sử dụng để thu hồi nhiệt từ không khí ẩm, ẩm thoát ra từ bộ lọc túi nhằm gia nhiệt cho không khí được hút ẩm trước khi vào máy sấy.

Do đó, hai thiết bị trao đổi nhiệt mới được đưa vào quy trình, trong đó một bộ được đặt ở đầu vào không khí và bộ còn lại ở đầu thải không khí. Hai thiết bị trao đổi nhiệt mới được kết nối bằng một vòng nước tuần hoàn. Khí thải làm nóng nước, sau đó nước được bơm đến đầu vào tại đây nước được gia nhiệt sơ bộ lần đầu giữa thiết bị hút ẩm và thiết bị trao đổi nhiệt bằng hơi nước.

Hệ thống thu hồi nhiệt làm nóng không khí đầu vào đến  $\approx 40^\circ\text{C}$ , và thiết bị trao đổi nhiệt hơi nước nâng nhiệt độ lên  $120^\circ\text{C}$ . Khí thải được thải vào khí quyển ở mức  $\approx 10\text{ K}$  cao hơn nhiệt độ không khí đầu vào.

Nguyên lý của giải pháp này được thể hiện trong Hình 18 dưới đây.



Hình 18. Hệ thống sau khi tiến hành thu hồi nhiệt.

Vì quá trình sấy là quá trình tiêu tốn nhiều năng lượng, giải pháp này đạt mức tiết kiệm năng lượng đáng kể, dù thời gian hoàn vốn tương đối dài do sử dụng các bộ trao đổi nhiệt lớn.

Tiết kiệm khí tự nhiên [MWh/năm]	Tổng tiết kiệm năng lượng [MWh/năm]	Tiết kiệm chi phí hàng năm [nghìn Euro/năm]	CAPEX [nghìn Euro]	Thời gian hoàn vốn [năm]
2000	2000	80	390	4,9

Bảng 7. Các chỉ số chính cho việc lắp đặt giải pháp thu hồi nhiệt mới trong máy sấy phun.

Thách thức đối với loại giải pháp này là một số doanh nghiệp công nghiệp phải lắp đặt bộ lọc túi có chi phí khá đắt đỏ tại đầu ra để tránh bụi làm tắc nghẽn bộ trao đổi nhiệt. Tuy nhiên, giải pháp này đã được áp dụng tại nhiều doanh nghiệp của Việt Nam.

## 2.4 Các quy trình tích hợp bơm nhiệt

Trong các quy trình như sấy phun được minh họa ở trên, có thể tăng tiềm năng thu hồi nhiệt giữa đầu vào và đầu ra bằng cách sử dụng nhiệt thải làm nguồn cung cấp nhiệt cho bơm nhiệt, từ đó sản xuất nhiệt ở nhiệt độ cao hơn đáng kể.

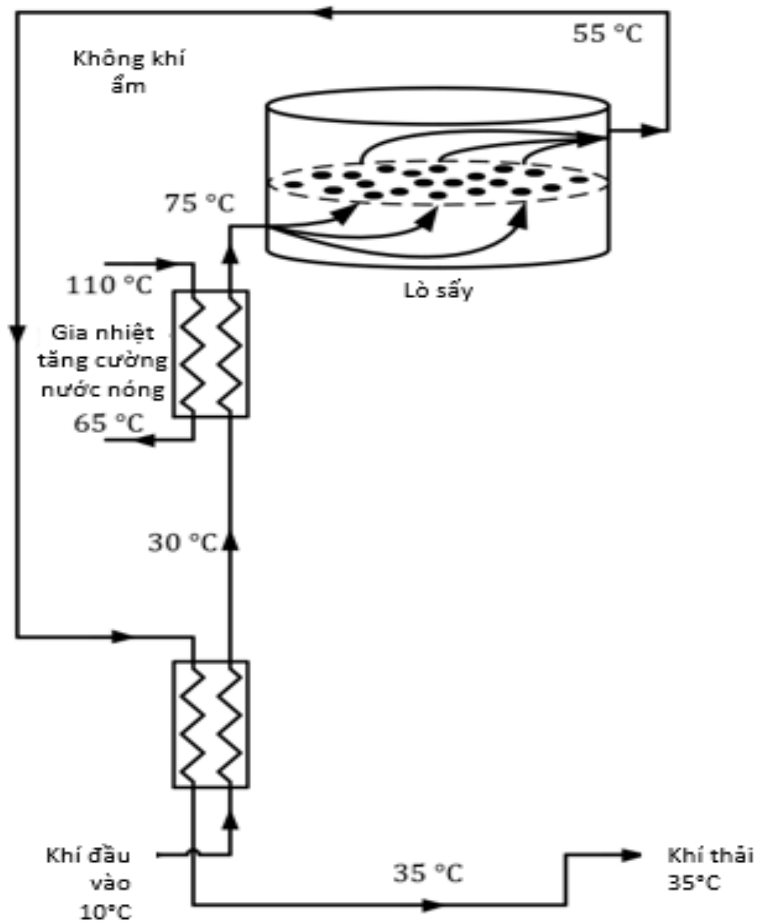
Thông thường, các bơm nhiệt truyền thống có thể cung cấp nhiệt lên đến 90°C, từ đó tạo cơ hội tăng tỷ lệ gia nhiệt cho quy trình bằng cách sử dụng nhiệt thải.

Như đã giải thích trong các phần trước của tài liệu hướng dẫn, lợi ích này đi kèm với chi phí phát sinh về sử dụng điện cho vận hành bơm nhiệt cũng như đầu tư bổ sung vào bơm nhiệt, thường đắt hơn so với lắp đặt thiết bị trao đổi nhiệt đơn giản.

### **Ví dụ: Tích hợp bơm nhiệt trong quy trình sấy**

Tại một nhà máy chế biến mạch nha, ngũ cốc cần được sấy khô ở cuối quy trình ủ nha. Thông thường, nhà máy sử dụng lò sấy có diện tích lớn, nơi không khí nóng ở nhiệt độ  $\approx 75^{\circ}\text{C}$  được thổi qua một lớp ngũ cốc để đảm bảo quá trình sấy diễn ra đồng đều. Không khí nóng khô đi vào lò sấy sẽ loại bỏ hơi ẩm từ ngũ cốc, do đó không khí trở nên ẩm hơn ở nhiệt độ thấp hơn trước khi được thải ra ngoài khí quyển.

Nguyên lý này được minh họa trong hình 19 dưới đây.

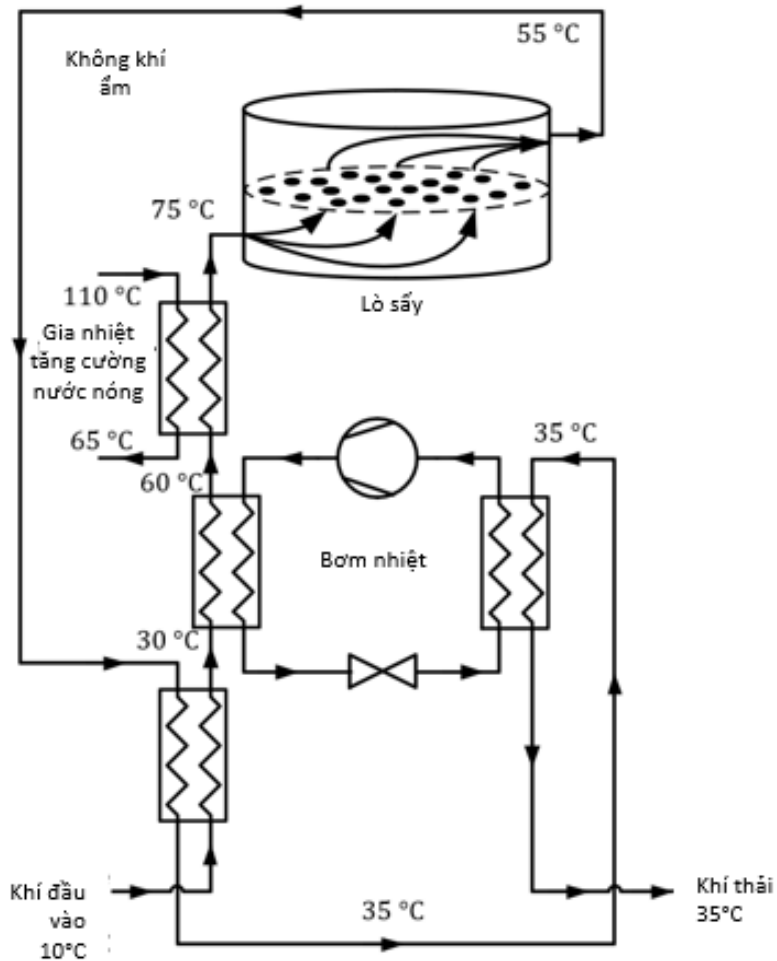


Hình 19. Hệ thống sấy mạch nha trước khi lắp đặt bơm nhiệt để thu hồi nhiệt.

Giải pháp thu hồi nhiệt có thể được thực hiện trong hai giai đoạn:

- Đầu tiên, khí thải có thể được thu hồi và kết hợp trực tiếp với không khí đầu vào qua thiết bị trao đổi nhiệt. Giai đoạn đầu tiên này nâng nhiệt độ không khí đầu vào lên 30°C.
- Giai đoạn thứ hai là tích hợp một bơm nhiệt. Nguồn nhiệt cho bơm nhiệt là khí thải ấm từ thiết bị trao đổi nhiệt thu hồi nhiệt ở giai đoạn đầu. Bơm nhiệt làm nóng không khí đầu vào từ 30°C lên 60°C và sau đó hệ thống nước nóng hiện có sẽ nâng nhiệt độ lên 75°C. Máy nén bơm nhiệt sử dụng điện nhưng với hệ số hiệu suất COP  $\approx 4$ , có nghĩa là 1 kW điện sẽ tạo ra 4 kW nhiệt. Giải pháp đề xuất này chỉ bao gồm tích hợp bơm nhiệt với giả định rằng giai đoạn một của thu hồi nhiệt đã được hoàn thành.

Giải pháp thu hồi nhiệt 2 giai đoạn được minh họa dưới đây.



Hình 20. Hệ thống sấy mạch nha bao gồm bơm nhiệt để thu hồi nhiệt.

Do tải nhiệt cao trong quy trình, giải pháp này thu hồi rất nhiều nhiệt, nhưng đồng thời là một giải pháp phức tạp và có chi phí tốn kém với thời gian hoàn vốn tổng thể khoảng 5 năm.

Tiết kiệm khí tự nhiên [MWh/năm]	Tăng tiêu thụ điện năng [MWh/năm]	Tổng tiết kiệm năng lượng [MWh/năm]	Tiết kiệm chi phí hàng năm [nghìn Euro/năm]	CAPEX [nghìn Euro]	Thời gian hoàn vốn [năm]
60000	16000	44000	970	5100	5,3

Bảng 8. Các chỉ số chính cho giải pháp tích hợp bơm nhiệt cho quy trình trong lò sấy mạch nha.

---

Các giải pháp tương tự có thể được áp dụng rộng rãi cho nhiều lĩnh vực và nhiều doanh nghiệp công nghiệp ở châu Âu đang xem xét những cơ hội như vậy trong những năm gần đây để loại bỏ việc sử dụng nhiên liệu hóa thạch.

## **2.5 Kết hợp gia nhiệt và làm mát**

Trong một số ngành như công nghiệp thực phẩm, công nghiệp hóa chất và dược phẩm, các hệ thống lạnh toàn diện được vận hành để làm mát các quy trình trong khi cũng cần nhiệt ở nhiệt độ tương đối thấp (<50°C), chẳng hạn như để gia nhiệt sơ bộ cho các quy trình và nguyên liệu thô hoặc để gia nhiệt nước phục vụ mục đích vệ sinh (hệ thống CIP).

Thay vì lắp đặt các thiết bị thu hồi nhiệt mới, có thể sử dụng các hệ thống lạnh hiện có để sản xuất nhiệt bằng cách tăng nhiệt độ trong dàn ngưng lên mức nhiệt có thể sử dụng, ví dụ như áp suất ngưng tụ khoảng 50°C.

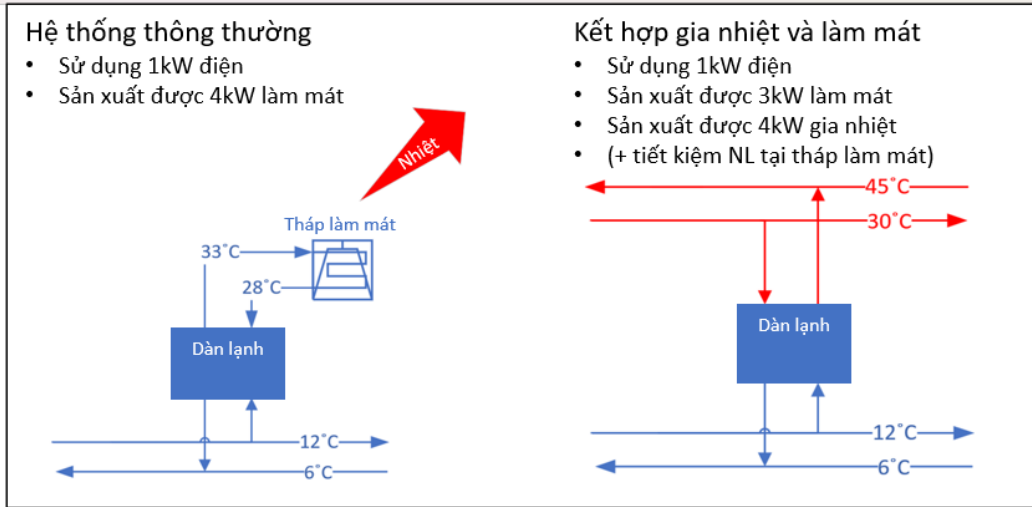
Những thông số vận hành như vậy sẽ làm giảm hiệu suất (COP) của hệ thống lạnh, và do đó, làm tăng mức tiêu thụ điện. Tuy nhiên, bài toán kinh tế thường đơn giản và rất hiệu quả.

Các giải pháp tương tự cũng có thể tận dụng nhiệt thải trong các bộ làm mát dầu và các bộ giảm nhiệt hơi quá nhiệt trong hệ thống lạnh.

### **Ví dụ: Gia nhiệt cho nước nóng tại một doanh nghiệp dược phẩm**

Các doanh nghiệp dược phẩm là một ví dụ về các doanh nghiệp công nghiệp trong đó việc làm lạnh quy trình có thể đòi hỏi vận hành các hệ thống lạnh quy mô lớn đồng thời với lò hơi sử dụng nhiên liệu hóa thạch để sản xuất nước nóng.

Hình 21 dưới đây cho thấy dữ liệu chính cho một giải pháp trong đó áp suất tại dàn ngưng của hệ thống lạnh sản xuất nước lạnh ở nhiệt độ 6°C được tăng lên mức (gần 50°C) để nước có thể được gia nhiệt đến 45°C.



Hình 21. Ví dụ về việc kết hợp gia nhiệt và làm mát tại một công ty dược phẩm.

Trong trường hợp này, hệ thống thông thường tiêu thụ:

- 1 kW điện (để sản xuất 4 kW làm mát).
- 4 kW nhiên liệu để gia nhiệt.

Khi kết hợp gia nhiệt và làm mát, hệ thống mới tiêu thụ 1 kW điện nhưng lại sản xuất được 3 kW làm mát và 4 kW gia nhiệt. Như vậy, sản lượng làm mát giảm 1 kW (tức là 25%) khi sản xuất 4 kW để gia nhiệt.

## 2.6 Các quy trình tích hợp MVR (nén hơi cơ học)

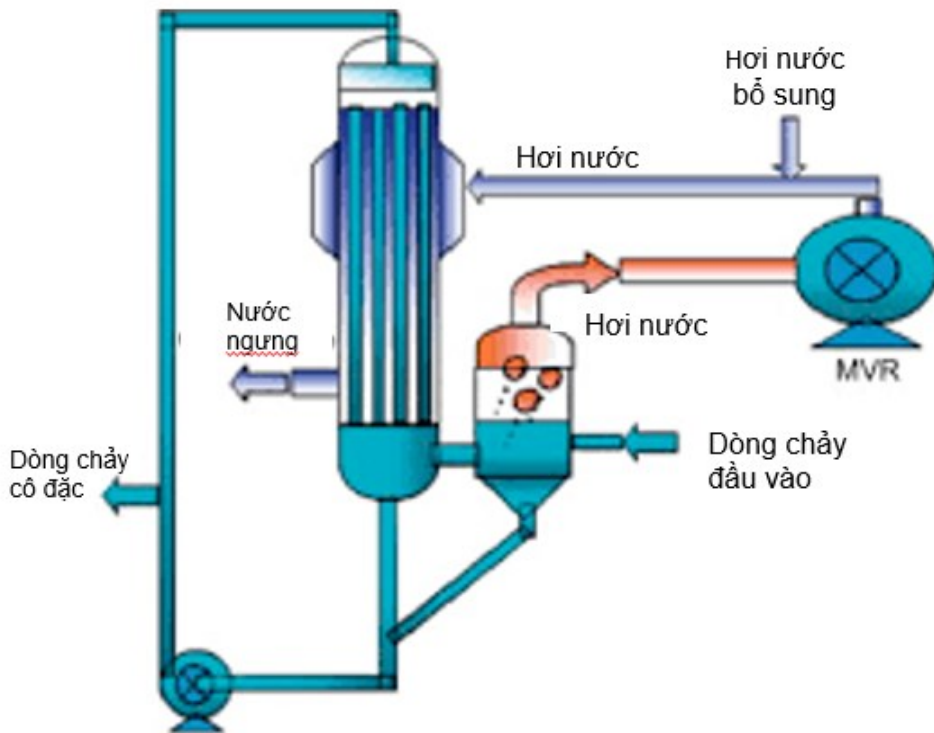
Một số quy trình công nghiệp nhất định sản xuất hơi khi gia nhiệt và đun sôi sản phẩm, chẳng hạn như:

- Đun sôi hèm rượu trong các nhà máy bia.
- Các dây chuyền bay hơi trong các doanh nghiệp hóa chất và nguyên liệu thực phẩm.
- Các cột chưng cất trong doanh nghiệp dược phẩm và hóa chất.

Hơi nước chứa lượng nhiệt thải lớn do quá trình đun sôi một chất – nước, cũng như dung môi – đòi hỏi một lượng nhiệt đáng kể để thay chuyển pha của sản phẩm từ dạng lỏng sang dạng hơi.

Trong những trường hợp như vậy, có thể tích hợp hệ thống nén hơi vào quy trình, trong đó hơi được đưa qua một máy nén, làm tăng áp suất và nhiệt độ của hơi lên một mức đủ cao để gia nhiệt quá trình đun sôi. Thông thường, chỉ cần tăng nhiệt độ lên 5-7°C là đủ để vận hành quy trình.

Nguyên lý của MVR được minh họa trong Hình 22 dưới đây.



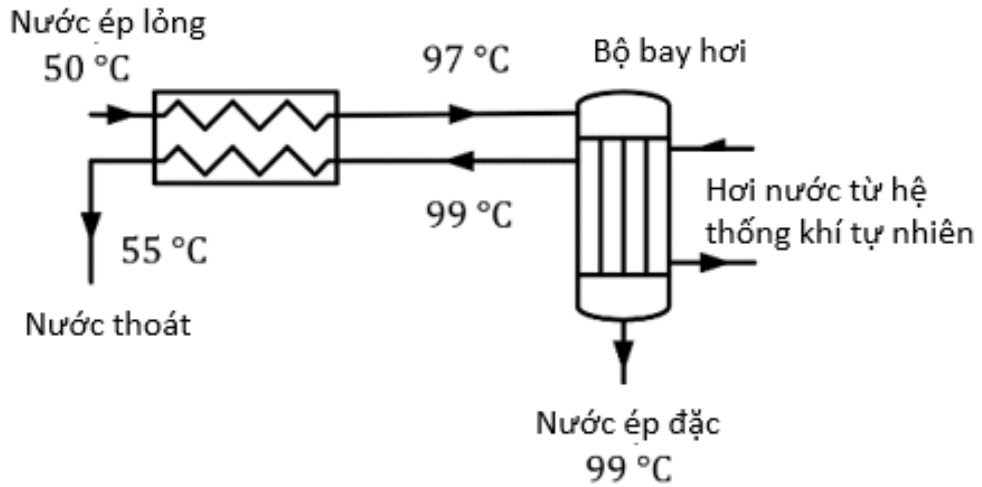
Hình 22. Nguyên lý của nén hơi cơ học (MVR).

Các giải pháp MVR nhìn chung có thể được xem như một loại bơm nhiệt – tuy nhiên với hệ số COP cực kỳ cao do mức nâng nhiệt độ thấp qua máy nén. Thường thì có thể đạt được giá trị COP ở mức 20-30 trong các hệ thống MVR.

**Ví dụ: MVR cho quy trình bay hơi tại nhà máy sản xuất nguyên liệu thực phẩm**

Tại một nhà máy sản xuất nguyên liệu thực phẩm ở Đan Mạch, cần có một quy trình bay hơi để cô đặc một loại nước ép lỏng chiết xuất từ nguyên liệu thô. Một lượng nhỏ nước ép sẽ được đưa vào các thiết bị bay hơi, tại đó nước được làm bay hơi để tạo ra một loại nước ép đặc và cô đặc.

Các thiết bị bay hơi hiện có được vận hành như các thiết bị bay hơi nhiệt truyền thống, gia nhiệt bằng hơi từ hệ thống trung tâm, xem nguyên lý được minh họa trong Hình 23 dưới đây.

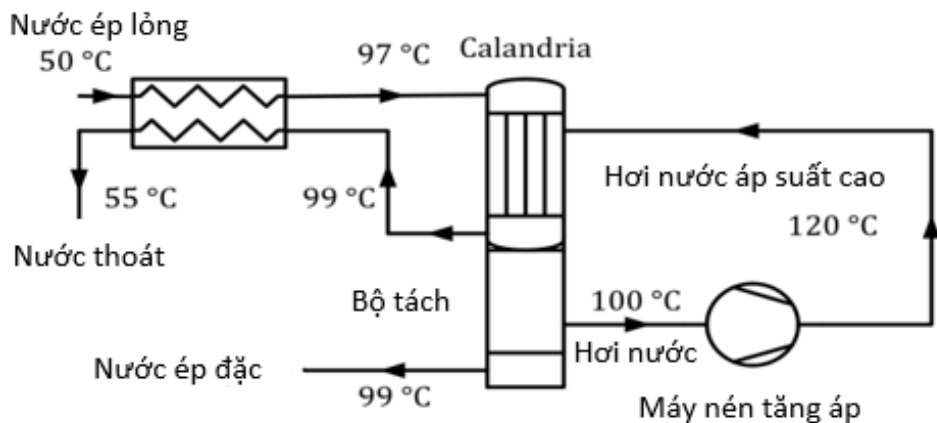


Hình 23. Hệ thống bay hơi truyền thống được gia nhiệt từ hệ thống hơi

Một giải pháp thu hồi nhiệt tại cơ sở này là tích hợp hệ thống nén hơi cơ học (MVR) vào thiết bị bay hơi.

Trong giải pháp này, hơi được bay hơi từ sản phẩm trước tiên được tách ra khỏi phần lỏng trong một thiết bị phân tách. Sau đó, hơi được nén trong một máy nén turbo để tăng áp suất và nhiệt độ, sau đó được đưa trở lại quy trình bay hơi nhưng lúc này sẽ trở thành nguồn nhiệt cho quá trình bay hơi, tức là làm môi chất gia nhiệt ở đầu bên kia của bộ trao đổi nhiệt.

Giải pháp này được minh họa trong Hình 24 dưới đây.



Hình 24. Hệ thống bay hơi tích hợp giải pháp MVR.

Hơi được nén lại sau khi sử dụng cho quá trình bay hơi của sản phẩm mới vào, được thải hoặc có thể sử dụng cho các mục đích thu hồi nhiệt khác trước khi thải. Quá trình bay hơi đòi hỏi một hệ thống thiết lập mới hoàn toàn sử dụng thiết bị bốc hơi màng mỏng rơi, trong đó bộ phận này được gọi là calandria. Hệ thống MVR hoạt động như một bơm nhiệt giúp giảm thiểu đáng kể tiêu thụ năng lượng.

Do tính phức tạp của giải pháp, thời gian hoàn vốn từ góc độ hiệu quả năng lượng thuần túy là dài như trong bảng dưới đây.

Tiết kiệm khí tự nhiên [MWh/năm]	Tăng tiêu thụ điện [MWh/năm]	Tổng tiết kiệm năng lượng [MWh/năm]	Tiết kiệm chi phí hàng năm [nghìn Euro/năm]	CAPEX [nghìn Euro]	Thời gian hoàn vốn [năm]
27500	5500	22000	770	6700	8,7

*Bảng 9. Các chỉ số chính của giải pháp lắp đặt thiết bị bay hơi MVR*

Tuy nhiên, các giải pháp phức tạp như trên vẫn được triển khai vì các lý do khác ngoài việc giảm tiêu thụ năng lượng, chẳng hạn như tăng công suất cho một nhà máy cũ. Trong trường hợp một cơ sở mới cần phải chọn giữa thiết bị bay hơi truyền thống và hệ thống MVR, thời gian hoàn vốn cho giải pháp MVR sẽ ngắn hơn nhiều so với tính toán trong Bảng 9 trên đây.

## 2.7 Các hệ thống thu hồi nhiệt tập trung

Một phát triển mới quan trọng trong các giải pháp thu hồi nhiệt ở nhiều doanh nghiệp công nghiệp tại châu Âu là thiết lập các hệ thống thu hồi nhiệt tập trung. Trong đó, nhiệt thải được thu hồi từ nhiều nguồn và sử dụng trong các bơm nhiệt để sản xuất nước nóng phục vụ gia nhiệt cho quy trình ở nhiều khu vực trong nhà máy.

Các nguồn nhiệt thải điển hình được thu hồi bao gồm:

- Nhiệt từ các hệ thống khí nén (làm mát dầu).
- Nhiệt từ các hệ thống làm lạnh (dàn ngưng, bộ làm mát dầu và bộ khử quá nhiệt).
- Nhiệt từ làm mát quy trình.
- Cuối cùng, nhiệt thải từ các lò hơi.

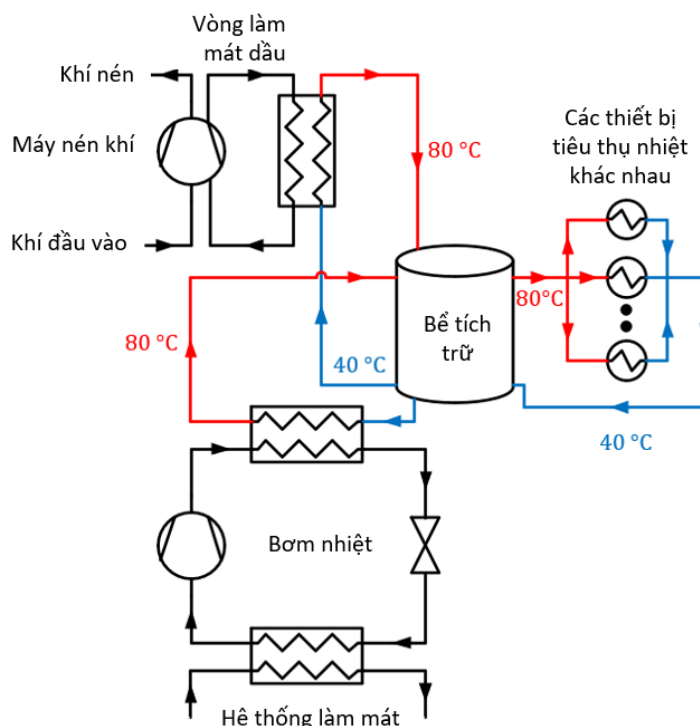
Giải pháp này phù hợp với những nơi có nhu cầu gia nhiệt ở nhiệt độ thấp. Một hệ thống phân phối nhiệt bằng nước nóng có thể được thiết lập để đáp ứng hoàn toàn hoặc một phần các nhu cầu nhiệt nhất định trong nhà máy.

Như vậy, giải pháp này chủ yếu phù hợp cho các doanh nghiệp trong ngành công nghiệp thực phẩm, hóa chất và dược phẩm, và không phù hợp trong các doanh nghiệp công nghiệp có các quy trình nhiệt độ cao, như ngành xi măng và thép.

**Ví dụ: Hệ thống thu hồi nhiệt tập trung tại một nhà máy sữa**

Một nhà máy sữa có nhiều quy trình sản xuất khác nhau, đòi hỏi một dải nhiệt độ rộng và nhiều hệ thống năng lượng. Các hệ thống năng lượng bao gồm gia nhiệt, làm mát, điện năng và khí nén. Một số quy trình yêu cầu nhiệt độ trên 100°C, một số 80°C và một số 60°C.

Một hệ thống thu hồi nhiệt tập trung có thể được tích hợp vào các cơ cấu hệ thống năng lượng để giảm mức tiêu thụ năng lượng cục bộ – bao gồm cả điện năng cho làm mát và nhiên liệu hóa thạch cho gia nhiệt. Giải pháp này được minh họa trong Hình 25 dưới đây.



Hình 25. Hệ thống sau khi thực hiện thu hồi nhiệt.

Một yếu tố trong giải pháp này là tận dụng nhiệt thải từ hệ thống khí nén. Khi sản xuất khí nén, 70-80% mức tiêu thụ điện bị thất thoát dưới dạng nhiệt trong các máy nén khí nơi nhiệt sinh từ quá trình nén được làm nguội để bảo vệ máy nén. Nhiệt này có thể được thu hồi ở nhiệt độ  $\approx 80^{\circ}\text{C}$  và kết nối với một hệ thống thu hồi nhiệt tập trung dựa trên nước tuần hoàn.

Sau đó, một bơm nhiệt được tích hợp vào hệ thống thu hồi nhiệt tập trung. Nguồn năng lượng cho bơm nhiệt là dàn ngưng trong hệ thống làm lạnh. Bơm nhiệt nâng nhiệt độ lên mức 80°C từ 35°C trong dàn ngưng. Bơm nhiệt cũng giúp tiết kiệm điện cho hệ thống lạnh.

Nhiệt thu hồi từ các máy nén khí và bơm nhiệt được lưu trữ trong một bể trữ lớn để cân bằng sự chênh lệch giữa tải nhiệt và nhiệt thải sẵn có. Các thiết bị tiêu thụ nhiệt khác nhau đòi hỏi mức nhiệt nhỏ hơn hoặc bằng 80°C có thể được cấp nhiệt từ bể này. Với nhiệt miễn phí từ các máy nén khí và COP của bơm nhiệt, có thể tiết kiệm đáng kể năng lượng sử dụng.

Bảng 10 dưới đây trình bày tóm tắt các chỉ số chính của giải pháp.

Tiết kiệm khí tự nhiên [MWh/năm]	Tăng tiêu thụ điện [MWh/năm]	Tổng tiết kiệm năng lượng [MWh/năm]	Tiết kiệm chi phí hàng năm [nghìn Euro/năm]	CAPEX [nghìn Euro]	Thời gian hoàn vốn [năm]
4600	1350 - 350 = 1000	3600	290	1360	4,7

*Bảng 10. Các chỉ số chính cho giải pháp thu hồi nhiệt tập trung sử dụng bơm nhiệt trong một nhà máy sữa*

Thời gian hoàn vốn tương đối dài, một phần vì giải pháp này là giải pháp cải tiến cho nhà máy hiện có. Trong trường hợp có thêm nhu cầu mới về gia nhiệt hoặc làm mát, thời gian hoàn vốn có thể ngắn hơn nhiều.

## 2.8 Vận hành và bảo trì các giải pháp thu hồi nhiệt

Cần lưu ý rằng các giải pháp thu hồi nhiệt cũng cần được bảo trì và giám sát để duy trì hiệu suất cao:

- Các thiết bị trao đổi nhiệt thường bị bám bẩn bởi bụi hoặc cặn từ chất lỏng.
- Các hệ thống sử dụng nước có thể bị thất thoát nước và hoạt động với khả năng truyền nhiệt giảm.
- Việc cách nhiệt cho đường ống, van và các thiết bị trao đổi nhiệt cần được kiểm tra và sửa chữa thường xuyên.

Nên lắp đặt các đồng hồ đo để giám sát lượng nhiệt thu hồi từ hệ thống vì hiệu suất thu hồi nhiệt thường giảm dần theo thời gian. Ngoài ra, cần lắp đặt các cảm biến nhiệt độ để theo dõi xem nhiệt độ thiết kế cho các thiết bị trao đổi nhiệt có được duy trì trong thời gian dài hay không.

### 3 Sàng lọc, kiểm toán năng lượng và nghiên cứu khả thi

Do tính chất phức tạp tiềm ẩn của các dự án thu hồi nhiệt thải, việc phát triển các giải pháp cần được thực hiện cẩn thận, ghi chép thành tài liệu và theo từng bước.

Thông thường, công việc này sẽ được thực hiện theo các giai đoạn chính như sau:

- **Giai đoạn kiểm toán hoặc sàng lọc:** Thu thập dữ liệu và đánh giá nhanh tiềm năng tiết kiệm năng lượng.
- **Giai đoạn nghiên cứu tiền khả thi:** Phát triển các giải pháp ưu tiên đến mức độ xác định rõ các chi phí đầu tư (CAPEX) và chi phí vận hành (OPEX) và có thể so sánh các giải pháp này với các phương án thay thế.
- **Giai đoạn nghiên cứu khả thi:** Phát triển một giải pháp ưu tiên tới mức độ ban lãnh đạo doanh nghiệp có thể đưa ra quyết định đầu tư cuối cùng.

Dưới đây là mô tả chi tiết hơn về các hoạt động chính trong mỗi giai đoạn, có tham chiếu đến các phần ở trên của tài liệu hướng dẫn này cũng như các tài liệu khác được xây dựng trong khuôn khổ hợp tác giữa Việt Nam và Đan Mạch<sup>6</sup>.

#### 3.1 Sàng lọc và kiểm toán năng lượng

Các đánh giá ban đầu về tiềm năng thu hồi nhiệt có thể được thực hiện dưới dạng sàng lọc hoặc kiểm toán năng lượng theo quy định hiện hành [Thông tư 25]<sup>7</sup> và hướng dẫn bổ sung<sup>8</sup>. Trong bất kể trường hợp nào, cần tập trung lập sơ đồ năng lượng và tiềm năng tiết kiệm năng lượng thông qua thu hồi nhiệt và tích hợp bơm nhiệt.

##### 3.1.1 Thu thập dữ liệu ban đầu về nhu cầu gia nhiệt và làm mát, v.v.

Việc thu thập dữ liệu ban đầu cần cung cấp tổng quan về nhu cầu gia nhiệt và làm mát tại cơ sở sản xuất, trong đó (tham chiếu đến phần 1.2 ở trên), bao gồm:

- Mức tiêu thụ năng lượng nhiệt hàng năm:
  - o Khí tự nhiên và khí dầu mỏ hóa lỏng (LPG).
  - o Than đá.
  - o Sinh khối.
  - o V.v.

<sup>6</sup> [https://media02.depp3.vn/Coe/User/duonght/2025/4/2\\_vie-pre-fs\\_guideline\\_final\\_31.107814.pdf](https://media02.depp3.vn/Coe/User/duonght/2025/4/2_vie-pre-fs_guideline_final_31.107814.pdf)  
[https://media02.depp3.vn/Coe/User/duonght/2025/4/3\\_vie\\_ee\\_vietnam\\_drft\\_final\\_fs\\_guideline\\_final\\_06.12.pdf](https://media02.depp3.vn/Coe/User/duonght/2025/4/3_vie_ee_vietnam_drft_final_fs_guideline_final_06.12.pdf)

<sup>7</sup> <https://datafiles.chinhphu.vn/cpp/files/vbpg/2020/10/25-bct.signed.pdf>

<sup>8</sup> [https://media02.depp3.vn/Coe/User/duonght/2025/4/1\\_vie-2023-11-06\\_vn\\_output\\_4\\_2023\\_-\\_energy\\_audit\\_guideline\\_final\\_24.10.pdf](https://media02.depp3.vn/Coe/User/duonght/2025/4/1_vie-2023-11-06_vn_output_4_2023_-_energy_audit_guideline_final_24.10.pdf)

- 
- Mức tiêu thụ điện năng hàng năm.
  - Giá năng lượng hiện tại.

Dựa trên các con số tổng quan này, cần lập bảng thống kê mức tiêu thụ năng lượng nhiệt và điện hàng năm cho các hoạt động vận hành của tổ máy chính và các hệ thống năng lượng. Việc này cần được thực hiện song song nhằm thiết lập các bảng dữ liệu theo luồng quy trình chi tiết và đầy đủ cho cơ sở sản xuất, mô tả toàn bộ các luồng sản phẩm và các bước quy trình trong đó năng lượng được cung cấp hoặc loại bỏ.

Thông thường, sơ đồ (cấp độ 1) này được trình bày dưới dạng biểu đồ tròn và sơ đồ dòng như minh họa trong phần 1.2 của hướng dẫn này.

### **3.1.2 Sơ đồ cấp độ 2 về nhu cầu gia nhiệt và làm mát, v.v.**

Khi đánh giá tiềm năng thu hồi nhiệt, giai đoạn tiếp theo của công việc lập sơ đồ – thường được gọi là “sơ đồ cấp độ 2” – là bước vô cùng quan trọng và bao gồm việc thu thập dữ liệu sau:

- Lập sơ đồ nhiệt độ và lưu lượng của tất cả các nhu cầu gia nhiệt riêng lẻ.
- Lập sơ đồ nhiệt độ và lưu lượng của tất cả các nhu cầu làm mát riêng lẻ.
- Lập sơ đồ nhiệt độ và lưu lượng của tất cả các dòng nhiệt thải.

Các dữ liệu này được trình bày trong các bảng như Bảng 1 ở phần 1.2.2 ở trên.

Dựa trên các dữ liệu này, cần thiết lập biểu đồ nhiệt độ/phụ tải cho toàn bộ cơ sở sản xuất (xem Hình 6 và 7 ở trên) và đánh giá nhanh tiềm năng thu hồi nhiệt.

Trong giai đoạn này, cũng cần lập sơ đồ tổng quan về các hệ thống cung cấp năng lượng hiện tại:

- Trạng thái và hiệu suất của nguồn cung cấp nhiệt hiện tại.
- Mức tiết kiệm đạt được từ việc thu hồi nhiệt có thể tăng đáng kể khi tính đến tổn thất trong lò hơi và các hệ thống phân phối nhiệt (hơi nước).
- Tình trạng và hiệu suất của nguồn cung cấp làm mát hiện tại (hệ thống lạnh và tháp làm mát).
- Mức tiết kiệm đạt được từ việc thu hồi nhiệt bằng cách làm mát quy trình có thể tăng đáng kể khi tính đến tổn thất trong trạm làm mát và các hệ thống phân phối nhiệt (hơi nước) sử dụng glycol/nước lạnh.

Việc thiết lập cơ sở chi tiết này là cần thiết để có hiểu biết đầy đủ về các tiềm năng thu hồi nhiệt.

### 3.1.3 Các giải pháp thu hồi nhiệt

Công việc tiếp theo trong giai đoạn kiểm toán/sàng lọc là xác định các giải pháp thu hồi nhiệt cụ thể và đánh giá các ước tính ban đầu về tính khả thi kinh tế - kỹ thuật của các giải pháp này.

Như vậy, các dự án cụ thể phải được xác định:

- Các quy trình gia nhiệt, làm mát và dòng nhiệt thải nào sẽ được tích hợp?
- Hệ thống thu hồi nhiệt nên là hệ thống trung tâm hay phân tán hoặc kết hợp cả hai?
- Nên tích hợp hệ thống cung cấp năng lượng nào vào các giải pháp?
- Bộ trao đổi nhiệt nào cần lắp đặt hoặc tăng quy mô công suất?

Cần xác định các rào cản kỹ thuật trước mắt như thiếu tính đồng bộ, khoảng cách giữa “nguồn nhiệt” và “bể chứa”, nguy cơ ô nhiễm chéo trong các thiết bị trao đổi nhiệt, v.v.

Đối với các giải pháp được ưu tiên, cần ước tính mức tiết kiệm năng lượng, giảm phát thải CO<sub>2</sub> và thời gian hoàn vốn đơn giản, đồng thời kết luận các giải pháp ưu tiên.

Các giải pháp đã xác định cần được so sánh với tiềm năng thu hồi nhiệt tổng thể được xác định bởi các biểu đồ nhiệt độ/phụ tải.

### 3.1.4 Báo cáo từ quá trình sàng lọc/kiểm toán

Ở mức độ tối thiểu, sàng lọc/kiểm toán ban đầu cần trình bày và ghi chép lại các kết quả sau:

- Bản tóm tắt dữ liệu thu thập được cho các dòng quy trình riêng lẻ (gia nhiệt, làm mát và nhiệt thải).
- Tổng quan về tổn thất và hiệu suất của các hệ thống năng lượng khác nhau đang vận hành, tức là các hệ thống gia nhiệt và hệ thống làm mát.
- Đánh giá về tiềm năng tiết kiệm năng lượng tổng thể có thể đạt được với giải pháp thu hồi nhiệt và bơm nhiệt.
- Khảo sát các giải pháp đề xuất cần xem xét thêm.
- Cần liệt kê ước tính ban đầu về “các lợi ích phi năng lượng” liên quan nếu có.
- Đề xuất ưu tiên cho công việc tiếp theo để ước tính chính xác hơn chi phí đầu tư và lợi ích cho các giải pháp cải thiện triển vọng nhất.

Kết quả sàng lọc/kiểm toán năng lượng cần được trình bày với cấp quản lý của doanh nghiệp để thảo luận các phát hiện và điều chỉnh các giải pháp được đề xuất cho phù

---

hợp với các kế hoạch khác của cơ sở sản xuất (mở rộng công suất, v.v.). Dựa trên bản trình bày này, cần đưa ra kết luận về công việc tiếp theo.

## **3.2 Giai đoạn nghiên cứu tiền khả thi**

Nghiên cứu tiền khả thi cần được thực hiện nhằm mô tả và so sánh chính xác hơn các giải pháp thu hồi nhiệt và bơm nhiệt có thể được xem xét.

Mục tiêu của nghiên cứu này là xác định, định lượng và so sánh các giải pháp cụ thể về công nghệ, chi phí đầu tư (CAPEX), chi phí vận hành (OPEX) để trình bày và thảo luận với ban lãnh đạo doanh nghiệp.

Tài liệu hướng dẫn chung về thực hiện nghiên cứu tiền khả thi được xây dựng trong khuôn khổ hoạt động hợp tác giữa Đan Mạch và Việt Nam cần được sử dụng để trình bày về các đề xuất dự án đầu tư liên quan.

### **3.2.1 Cơ sở thiết kế**

Tại giai đoạn này, cần xác định cơ sở thiết kế dự án (các dự án), nghĩa là những kỳ vọng về hoạt động vận hành hiện tại và trong tương lai là căn cứ để tính toán, phân tích các đề xuất dự án.

Một cơ sở thiết kế thường bao gồm:

- Tóm tắt về hiện trạng vận hành nhà máy và bất kỳ thách thức nào thúc đẩy triển khai dự án cải tạo.
- Kỳ vọng về sản lượng sản xuất hiện tại và tương lai cho khu vực liên quan của nhà máy.
- Kỳ vọng về nhu cầu năng lượng hiện tại và tương lai.
- Kỳ vọng về giá năng lượng hiện tại và tương lai.
- Kỳ vọng về các chi phí giảm phát thải CO<sub>2</sub> dự kiến.
- Kỳ vọng về yêu cầu trung hòa carbon từ khách hàng và trong chuỗi cung ứng.

Các câu hỏi khác có thể đóng vai trò quan trọng đối với cơ sở thiết kế và nhìn chung, khuyến nghị tổng hợp dữ liệu vào một bản ghi chép ngắn hoặc báo cáo làm cơ sở để triển khai các công việc tiếp theo.

### **3.2.2 Các giải pháp**

Thông thường, một loạt các giải pháp tổng thể cần được so sánh trong giai đoạn này của dự án, trước hết là vì:

- Một số giải pháp thu hồi nhiệt sẽ giải quyết việc tối ưu hóa từng quy trình và hoạt động vận hành tổ máy riêng lẻ.
- Các giải pháp khác sẽ tích hợp việc sử dụng nhiệt thải giữa các quy trình và hoạt động vận hành tổ máy khác nhau.

Vi vậy, các giải pháp khác nhau có thể cạnh tranh với nhau.

Cần lưu ý rằng các nhà cung cấp các quy trình và vận hành các tổ máy cụ thể thường có các giải pháp tiêu chuẩn về thu hồi nhiệt, trong trường hợp này việc phát triển các giải pháp tương tự có thể tạo rủi ro cho bối cảnh hiện tại.

Vi vậy, điều quan trọng là phải xác định được phương án cân bằng phù hợp giữa việc thu hồi nhiệt từ từng quy trình và hoạt động của tổ máy riêng lẻ và giải pháp tập trung nhiều hơn vào hệ thống năng lượng – trong đó nhiệt thải và làm mát quy trình được thu gom và sử dụng trong hệ thống phân phối nhiệt hiện có hoặc hệ thống mới (phân phối nước nóng).

Như vậy, hoạt động đầu tiên trong giai đoạn này sẽ là liên hệ với các nhà cung cấp của các quy trình tiêu thụ nhiều nhiệt nhất để hỏi về giải pháp thu hồi nhiệt sẵn có. Nếu có các giải pháp này và nếu thời gian hoàn vốn hấp dẫn, các giải pháp này thường sẽ hấp dẫn, nhưng vẫn nên so sánh với các giải pháp khác.

Bước thứ hai trong giai đoạn nghiên cứu tiền khả thi sẽ là xem xét các giải pháp trong đó làm mát quy trình và nhiệt thải từ vận hành thiết bị (mà nhà cung cấp không thể tối ưu hóa) được thu gom tập trung và sử dụng để gia nhiệt các quy trình ở nhiệt độ dưới 100°C.

Đối với mỗi giải pháp đã xác định, cần xác định chi phí đầu tư (CAPEX), chi phí vận hành (OPEX) và mức tiết kiệm được để có thể tính toán thời gian hoàn vốn đơn giản. Điều này sẽ đòi hỏi việc trao đổi với các nhà cung cấp cũng như các công ty có khả năng thực hiện các công việc lắp đặt đường ống và công trình điện cần thiết, thường là một phần quan trọng của các giải pháp thu hồi nhiệt.

### **3.2.3 Các lợi ích phi năng lượng**

Các lợi ích phi năng lượng từ việc thu hồi nhiệt thải chủ yếu liên quan đến việc đánh giá các vấn đề về công suất cho các hệ thống làm mát và gia nhiệt chịu ảnh hưởng bởi các giải pháp thu hồi nhiệt.

Câu hỏi này có thể quan trọng để xác định rằng:

- Có thể tiết kiệm công suất tại trạm lò hơi để tránh việc mở rộng công suất khi áp dụng giải pháp thu hồi nhiệt không?

- 
- Có thể tiết kiệm công suất tại các hệ thống lạnh và tháp làm mát để tránh mở rộng công suất khi áp dụng giải pháp thu hồi nhiệt không?

Mặt khác, cũng cần đánh giá xem các giải pháp thu hồi nhiệt mới có đòi hỏi bảo trì bổ sung hay không.

Giá trị của các lợi ích phi năng lượng cần được đánh giá từ góc độ kinh tế ở giai đoạn này của quá trình phát triển dự án và có thể quan trọng không kém so với lợi ích từ việc nâng cao hiệu quả năng lượng.

#### **3.2.4 Đánh giá NPV (giá trị hiện tại ròng)**

Đối với các phương án giải pháp/ đề xuất dự án thay thế liên quan, cần đánh giá giá trị hiện tại ròng (NPV) để so sánh tổng vốn đầu tư và chi phí vận hành trong một khoảng thời gian thích hợp (ví dụ 10 năm).

Đánh giá NPV yêu cầu mỗi phương án đề xuất phải được đánh giá về:

- Chi phí đầu tư (CAPEX).
- Chi phí vận hành (OPEX) cho:
  - o Năng lượng.
  - o Bảo trì bảo dưỡng.
  - o Nhân công.
  - o Các vấn đề liên quan khác.

Cách tiếp cận sử dụng NPV cho phép so sánh các giải pháp có CAPEX cao với chi phí vận hành (OPEX) thấp với các giải pháp có CAPEX thấp với OPEX cao.

Ở giai đoạn này, cũng có thể bắt đầu trao đổi với các ngân hàng về các phương án tài chính, vì một số cơ hội vay vốn đầu tư cho các giải pháp bền vững có thể có điều kiện tốt hơn so với các khoản vay truyền thống. Mỗi phương án giải pháp phù hợp sẽ được trình bày với các dữ liệu về CAPEX, OPEX, NPV, tỷ suất hoàn vốn đầu tư (ROI) và thời gian hoàn vốn.

Mỗi phương án giải pháp liên quan cần được trình bày bao gồm dữ liệu CAPEX, OPEX, NPV, ROI và thời gian hoàn vốn.

#### **3.2.5 Hợp với ban lãnh đạo của doanh nghiệp**

Trên cơ sở nghiên cứu tiền khả thi, cần tổ chức một cuộc họp với ban lãnh đạo của doanh nghiệp để trình bày kết quả phân tích và kết luận về một trường hợp ưu tiên để triển khai công việc tiếp theo.

### 3.3 Nghiên cứu khả thi

Mục đích của giai đoạn nghiên cứu khả thi là trình bày một giải pháp ưu tiên cuối cùng cho ban lãnh đạo doanh nghiệp để có thể đưa ra quyết định đầu tư cuối cùng (FID).

Theo đó, cần chuẩn bị một thiết kế giải pháp sơ bộ từ giai đoạn tiền khả thi và đưa ra dự đoán chính xác về các chi phí đầu tư (CAPEX) và chi phí vận hành (OPEX). Tài liệu hướng dẫn thực hiện nghiên cứu khả thi cung cấp chỉ dẫn chung về cách thực hiện [nghiên cứu khả thi](#). Dưới đây là một số khuyến nghị cụ thể về nghiên cứu khả thi đối với các hệ thống thu hồi nhiệt.

#### 3.3.1 Phạm vi dự án

Hoạt động đầu tiên trong giai đoạn nghiên cứu khả thi là xác định phạm vi của dự án.

Một dự án có thể tập trung vào các giải pháp thu hồi nhiệt riêng lẻ cũng như các giải pháp tập trung, và giai đoạn nghiên cứu khả thi cần làm rõ chi tiết các công việc sẽ được lên kế hoạch, ví dụ:

- Các giải pháp được cung cấp bởi các nhà cung cấp.
- Các công trình xây dựng.
- Các công trình điện.
- Lắp đặt đường ống và hệ thống ống nước.
- Các hệ thống tự động hóa.
- V.v.

Cần mô tả kỹ nội dung của dự án ưu tiên và ai sẽ là người thực hiện mỗi đầu mục công việc liên quan.

#### 3.3.2 Nhà cung cấp ưu tiên

Để có được thông tin chính xác về các giải pháp cụ thể, dự kiến chi phí đầu tư và chi phí vận hành, thường sẽ phải trao đổi với các nhà cung cấp liên quan.

Đối với một số hạng mục – ví dụ như công trình điện và cơ khí – doanh nghiệp có thể đã có sẵn các nhà cung cấp ưu tiên. Đối với các dự án đầu tư lớn, có thể cần đến các đơn vị tư vấn bên ngoài để chuẩn bị tài liệu đấu thầu và nghiên cứu khả thi.

#### 3.3.3 Thiết kế giải pháp sơ bộ

Nên xây dựng bản vẽ và mô phỏng 3D để trình bày thiết kế giải pháp trực quan cho các giải pháp ưu tiên.

---

Kịch bản chính và các kịch bản phụ có liên quan cần được mô tả về chi phí đầu tư và chi phí vận hành để ban lãnh đạo doanh nghiệp có thể đưa ra quyết định về hướng đi ưu tiên.

Ở giai đoạn này, các nhà cung cấp cần tham gia vào quá trình phát triển dự án ở mức độ sao cho giải pháp ưu tiên có thể được trình bày – trong trường hợp này quá trình đấu thầu ở giai đoạn sau sẽ giúp doanh nghiệp có thể lựa chọn nhà cung cấp đem lại giải pháp có lợi nhất.

#### **3.3.4 Tài chính**

Đối với các dự án cải tạo hoặc thay thế lớn, doanh nghiệp thường sẽ cần tìm kiếm nguồn tài chính bên ngoài cho các khoản đầu tư.

Cần chuẩn bị một báo cáo tóm tắt về kết quả nghiên cứu khả thi để trao đổi với các tổ chức tài chính.

#### **3.3.5 Quyết định đầu tư cuối cùng (FID)**

Dựa trên báo cáo nghiên cứu khả thi và các đề xuất tài chính từ các tổ chức tài chính có liên quan, ban lãnh đạo doanh nghiệp có thể đưa ra quyết định cuối cùng về dự án ưu tiên.

## Phụ lục 1. Hướng dẫn thực hiện lập sơ đồ năng lượng

### Giới thiệu

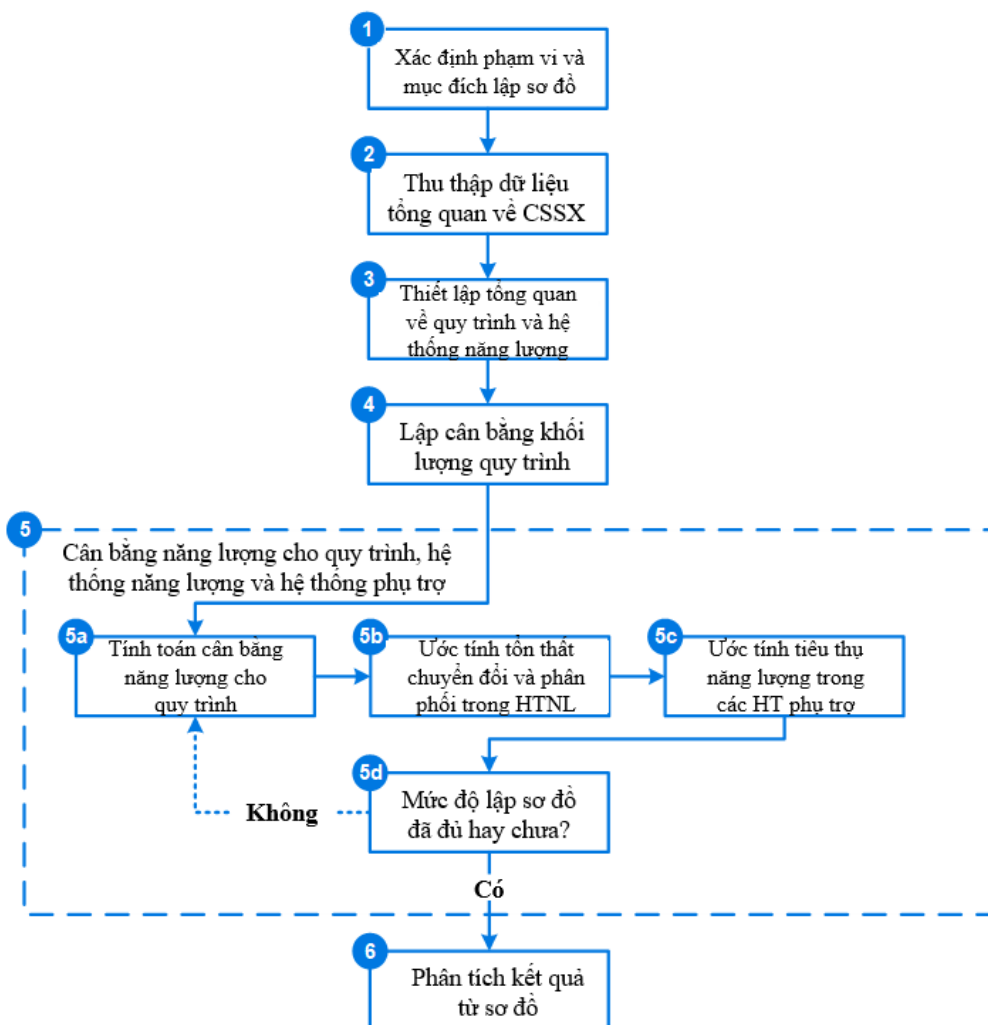
Việc lập sơ đồ chi tiết và hiểu biết về tình hình sử dụng năng lượng trong một doanh nghiệp công nghiệp là nền tảng quan trọng trong quá trình phát triển dự án.

Tuy nhiên, trong các dự án quốc tế lớn có thể thấy các kiểm toán viên năng lượng phải đối mặt với những thách thức lớn trong công việc quan trọng này, một phần vì công việc không được lập kế hoạch hiệu quả và xác định rõ ràng về kết quả đầu ra, và một phần vì các kiểm toán viên năng lượng không muốn đưa ra các kết luận nếu không có các dữ liệu được đo lường chi tiết và chính xác.

Với thực trạng trên, tài liệu hướng dẫn này nhằm mục đích thiết lập một phương pháp luận cụ thể về lập sơ đồ năng lượng, cung cấp kết quả đầu ra rõ ràng theo từng giai đoạn, hỗ trợ và hướng dẫn các kiểm toán viên năng lượng về các hoạt động cụ thể sẽ được triển khai.

Hướng dẫn bao gồm biểu mẫu sơ đồ năng lượng dưới dạng Excel kèm theo tài liệu hướng dẫn mô tả cách thiết lập sơ đồ trong thực tế và cách sử dụng các kết quả từ sơ đồ để phát triển dự án. Dữ liệu và luồng quy trình trong biểu mẫu sơ đồ năng lượng chỉ nhằm mục đích minh họa và không đại diện cho dữ liệu thực tế từ một cơ sở sản xuất cụ thể.

[Hình 1](#) cung cấp biểu đồ minh họa quá trình lập sơ đồ năng lượng tổng thể nhằm theo dõi các bước trong quá trình lập sơ đồ. Biểu đồ này cũng nhấn mạnh sự cần thiết của việc thực hiện nhiều lần cân bằng năng lượng, trong đó mức độ lập sơ đồ được coi là một chỉ số để quyết định khi nào nên chuyển sang phân tích kết quả. Cách tiếp cận đơn giản này có thể giúp các kiểm toán viên năng lượng tiết kiệm thời gian, thay vì thực hiện các hoạt động đo đạc tốn thời gian đối với toàn bộ thiết bị trong nhà máy thì họ tập trung vào đánh giá tổng quan đầy đủ về nhu cầu tiêu thụ năng lượng thực tế dựa trên số liệu sẵn có và các giả định. Việc này giúp kiểm toán viên ưu tiên thực hiện các phân tích và đo lường tốn nhiều thời gian hơn đối với các quy trình thiết bị có tiềm năng tiết kiệm năng lượng lớn nhất. Việc thiết lập cân bằng năng lượng và khối lượng cho một quy trình cũng là một bước cần thiết để xác định các thông số để đo lường.



Hình 1: Biểu đồ quy trình lập sơ đồ năng lượng

## Xác định phạm vi và mục đích

Bước đầu tiên của quy trình lập sơ đồ năng lượng là xác định rõ phạm vi và mục đích của việc lập sơ đồ năng lượng. Tùy thuộc vào quy mô của doanh nghiệp, khung thời gian để lập sơ đồ năng lượng, chiến lược tổng thể của doanh nghiệp mà phạm vi và mục tiêu lập sơ đồ có thể khác nhau. Do đó, cần xem xét các câu hỏi sau trước khi bắt đầu lập sơ đồ năng lượng:

- Mục tiêu là lập sơ đồ cho toàn bộ cơ sở sản xuất hay chỉ tập trung vào một số khu vực nhất định?

- Khu vực địa lý?
- Một số khu vực sản xuất nhất định được quan tâm nhiều hơn?
- Mức độ chi tiết của sơ đồ năng lượng có thể đạt được trong khung thời gian cho phép để lập sơ đồ?
- Độ phức tạp chính để thực hiện việc lập sơ đồ năng lượng là gì?
  - Để có tổng quan chi tiết về mức tiêu thụ năng lượng?
  - Tính kinh tế? Mô hình có cần được thiết lập để đánh giá về mặt kinh tế?
  - Tác động đến môi trường? Mô hình có cần được thiết lập để tính đến mức giảm phát thải CO<sub>2</sub>?

### **Dữ liệu tổng quan về cơ sở sản xuất**

Sau khi xác định được phạm vi thì bước tiếp theo của lập sơ đồ năng lượng là nắm được tổng quan về dữ liệu của cơ sở sản xuất. Dữ liệu này cần dễ tiếp cận ở hầu hết các cơ sở sản xuất. Dữ liệu tổng quan của cơ sở sản xuất bao gồm toàn bộ số liệu về tiêu thụ năng lượng sơ cấp đầu vào và số lượng sản phẩm đầu ra. Ngoài các sản phẩm đầu ra, số liệu về các đầu vào chính (ví dụ: nguyên liệu thô) cho quy trình sản xuất cũng cần được thu thập ở bước này. Trong biểu mẫu lập sơ đồ năng lượng, ví dụ về thu thập dữ liệu tổng quan được minh họa trong trang tính “Dữ liệu hàng năm”.

Trang tính này có chức năng cung cấp số liệu đầu vào cho các trang tính về cân bằng khối lượng và lập sơ đồ năng lượng ở các bước sau. Do đó, tất cả các đơn vị cần được quy đổi tại trang tính này nhằm tránh các tính toán không cần thiết trong các trang tính sau. Điều quan trọng là đảm bảo thống nhất đơn vị đối với tất cả các loại dữ liệu. Đối với thời gian, năng lượng và khối lượng, các đơn vị được khuyến nghị sử dụng là:

1. Thời gian: Năm
2. Khối lượng: Tấn
3. Năng lượng: kWh

Các đơn vị thống nhất giúp việc phân tích và so sánh ở bước sau dễ dàng hơn.

Dữ liệu tổng quan của cơ sở sản xuất cần được thu thập càng sớm càng tốt và thực hiện nhiều lần thậm chí trước khi tổ chức chuyến thăm thực địa tại cơ sở, để hiểu rõ hơn quy mô của cơ sở sản xuất và nhu cầu năng lượng tổng thể của họ.

## Dữ liệu hàng năm

<u>Dữ liệu năng lượng</u>	<u>Năm</u>
Điện mua	20,000,000 kWh/năm
Khí tự nhiên mua cho lò hơi	20,000,000 kWh/năm
Than mua	18,000,000 kWh/năm
<b>Tổng năng lượng mua vào</b>	<b>58,000,000 kWh/năm</b>

### Dữ liệu sản xuất

Nguyên liệu X	160,000 Tấn/năm
Nguyên liệu Y	20,000 Tấn/năm
Nguyên liệu Z	40,000 Tấn/năm
Nguyên liệu W	5,000 Tấn/năm
Nguyên liệu V	10,000 Tấn/năm
Nguyên liệu Q	15,000 Tấn/năm
<b>Tổng nguyên liệu thô</b>	<b>250,000 Tấn/năm</b>

Dây chuyền sản xuất phụ gia 1	10,000 Tấn/năm
Dây chuyền sản xuất phụ gia 2	- Tấn/năm
<b>Tổng phụ gia</b>	<b>10,000 Tấn/năm</b>

### Dữ liệu thành phẩm

Thành phẩm 1	100,000 Tấn/năm
Thành phẩm 2	80,000 Tấn/năm
<b>Tổng thành phẩm</b>	<b>180,000 Tấn/năm</b>

Hình 2: Tổng quan về thu thập dữ liệu tổng thể của cơ sở sản xuất.  
Xem trang tính "Dữ liệu hàng năm" trong biểu mẫu Excel.

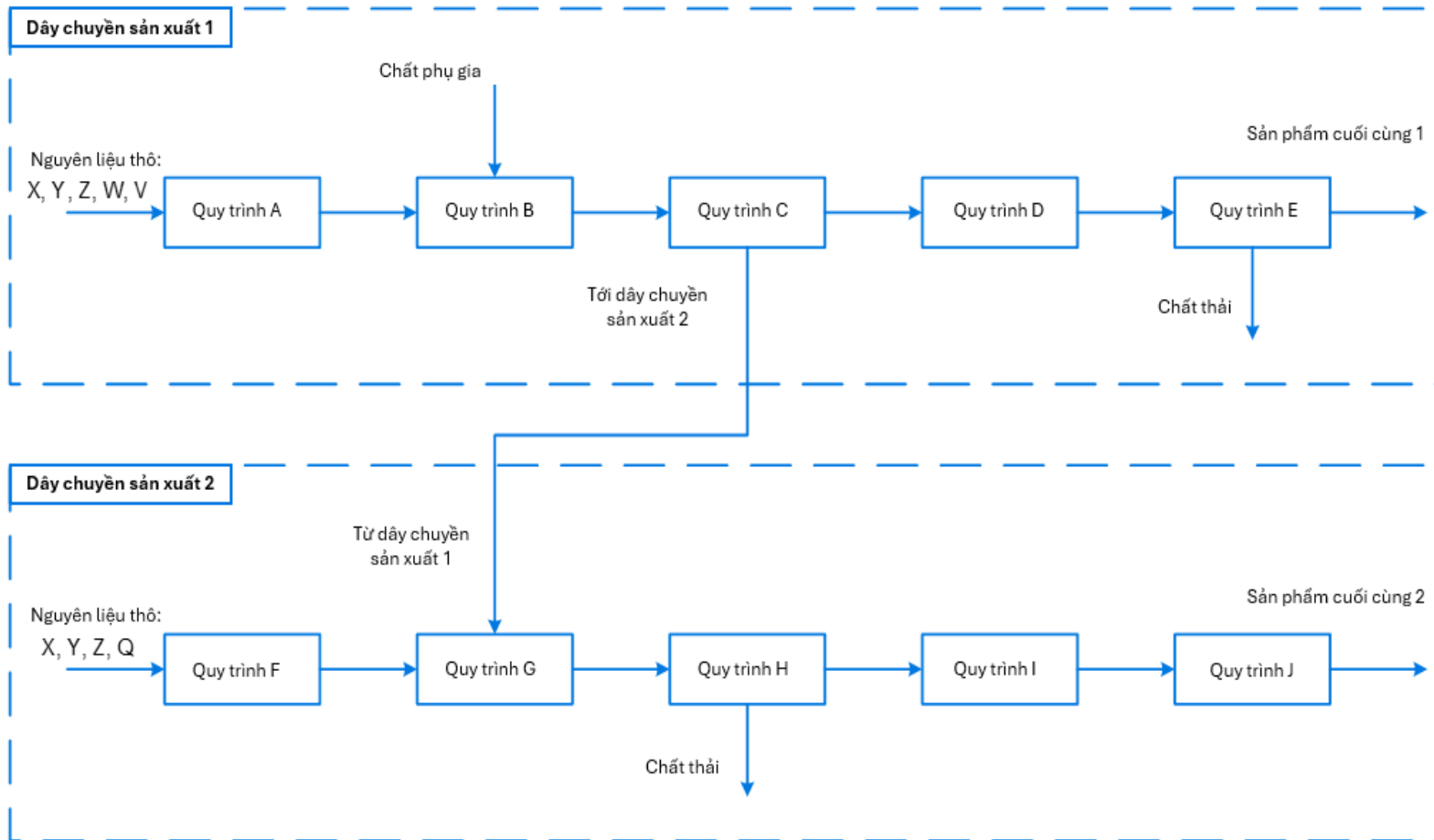
## Thiết lập tổng quan về quy trình, các hệ thống năng lượng và hệ thống phụ trợ

Sau khi thu thập dữ liệu tổng quan của cơ sở sản xuất, xác định mục tiêu và phạm vi, cần thiết lập tổng quan về các quy trình sản xuất, các hệ thống năng lượng và hệ thống phụ trợ. Đây chính là dự thảo đầu tiên về cân bằng khối lượng và lập sơ đồ năng lượng trong biểu mẫu Excel.

Các sơ đồ tổng quan cần được thiết lập trên cơ sở ảnh chụp màn hình, sơ đồ quy trình, các cuộc kiểm toán trước đó, xu hướng sản xuất, các chuyển khảo sát thực tế, v.v. Sơ đồ đầu tiên có thể được trình bày trên giấy hoặc các chương trình vẽ như Visio để sau đó chuyển vào bảng tính Excel. Ví dụ về bản phác thảo Visio đơn giản của trường hợp trong biểu mẫu Excel được minh họa trong Hình 3.

Đối với các quy trình sản xuất, mục tiêu là thể hiện tổng quan đơn giản về toàn bộ quy trình sản xuất tại cơ sở. Ở bước này, trọng tâm là thể hiện tất cả các quy trình theo đúng thứ tự sản xuất, tuy nhiên không cần thiết phải thu thập số liệu đầu vào và đầu ra của từng bước. Mọi quy trình cần được nêu tên và mỗi dòng quy trình cần được đánh số để cung cấp một sơ đồ tổng quan tốt về hệ thống. Các quá trình sản xuất được lập sơ đồ trong trang tính “Cân bằng khối lượng” của biểu mẫu Excel.

Ngoài việc thiết lập tổng quan về các quy trình sản xuất, cũng cần xây dựng sơ đồ tổng quan về các hệ thống năng lượng. Trọng tâm ở giai đoạn này là xây dựng được sơ đồ tổng quan có tính chất định tính hơn là định lượng về tổn thất và hiệu suất năng lượng. Sơ đồ tổng quan này cần được thiết lập cho tất cả các hệ thống năng lượng tại cơ sở sản xuất (như hệ thống sưởi, làm mát, khí nén, v.v.). Các hệ thống năng lượng được lập sơ đồ trong trang tính “Sơ đồ hệ thống năng lượng” của biểu mẫu Excel.



Hình 3: Tổng quan sơ đồ quy trình đơn giản cho ví dụ trong biểu mẫu.

## Cân bằng khối lượng cho quy trình

Bước tiếp theo là thiết lập cân bằng khối lượng cho quy trình dựa trên sơ đồ quy trình đã được xây dựng trước đó. Bước này được minh họa trong Hình 4 dưới đây và được thực hiện trong trang tính “Cân bằng khối lượng” của biểu mẫu lập sơ đồ năng lượng. Mỗi bước quy trình được biểu thị bằng một ô. Ví dụ được đưa ra là một cơ sở sản xuất có hai dây chuyền sản xuất khác nhau tạo ra hai sản phẩm khác nhau từ các nguyên liệu thô. Mỗi dây chuyền sản xuất bao gồm 5 quy trình với các đầu vào là phụ gia và nguồn năng lượng khác nhau. Có thể quan sát thấy một sản phẩm phụ từ dây chuyền sản xuất 1 được sử dụng trực tiếp trong dây chuyền sản xuất 2. Để thực hiện cân bằng khối lượng, các bước sau đây cần được thực hiện:

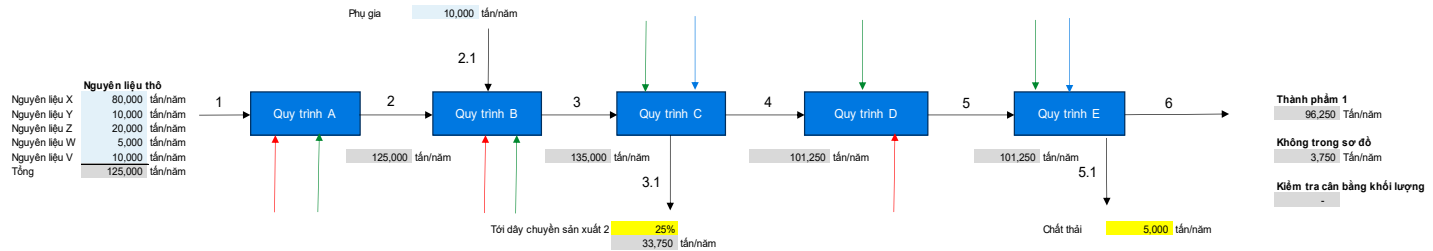
1. Dữ liệu hàng năm cho nguyên liệu thô được nhập từ trang tính “Dữ liệu hàng năm”.
2. Đối với mỗi quy trình, đánh giá xem có bổ sung thêm vật liệu hay tách vật liệu nào không.
3. Nếu bất kỳ sản phẩm hoặc phụ gia nào được thêm vào hoặc loại bỏ trong quy trình, dữ liệu cần được thu thập từ doanh nghiệp nếu có thể hoặc thực hiện ước tính.
  - a. Việc ước tính thông thường có thể thực hiện bằng cách tham vấn ý kiến của nhân viên vận hành tại cơ sở sản xuất.
  - b. Đối với một số quy trình, việc tính toán cân bằng khối lượng có thể đòi hỏi thêm thông tin về sản phẩm. Trong biểu mẫu lập sơ đồ năng lượng, một ví dụ như vậy đã được đưa ra cho dây chuyền sản xuất 2, trong đó cân bằng khối lượng được thiết lập từ số liệu tỷ lệ phần trăm Chất khô giữa các bước của quy trình.
  - c. Bước này có thể đòi hỏi sự hiểu chi tiết hơn về quy trình so với kiến thức của kiểm toán viên, và do đó có thể có lợi nếu có sự tham gia của nhân viên vận hành hoặc sản xuất có kiến thức sâu rộng về quy trình trong bước này.
4. Tất cả các dòng quy trình có thêm hoặc bớt sản phẩm đều được đánh số.
  - a. Quan trọng là cần đưa vào quy trình các dòng chất thải vì có thể có ích cho việc phân tích sau này.
5. Điều quan trọng là tiếp tục thực hiện lập sơ đồ năng lượng và không bị mắc kẹt với việc cố gắng thu thập một số liệu có mức độ quá chi tiết khiến kéo dài thời gian ở bước này. Nếu một số liệu có mức độ không chắc chắn rất cao thì kiểm toán viên năng lượng cần ghi chú lại như một điểm trọng tâm có thể phải lưu ý cho phân tích sau này.

- 
6. Khi tất cả các quy trình được lập sơ đồ, thì lượng sản phẩm cuối cùng được tính toán có thể được so sánh với dữ liệu thực tế cho quá trình sản xuất cuối cùng. Số liệu này có thể được sử dụng để phát hiện các lỗi lớn trong cân bằng khối lượng.
    - a. Ngoài ra, cần kiểm tra từng dây chuyền sản xuất về tất cả các nguyên liệu đầu vào và sản phẩm đầu ra để đảm bảo cân bằng (Trong biểu mẫu Excel, việc này được thực hiện trong các ô T25 và T52 cho hai dây chuyền sản xuất tương ứng).

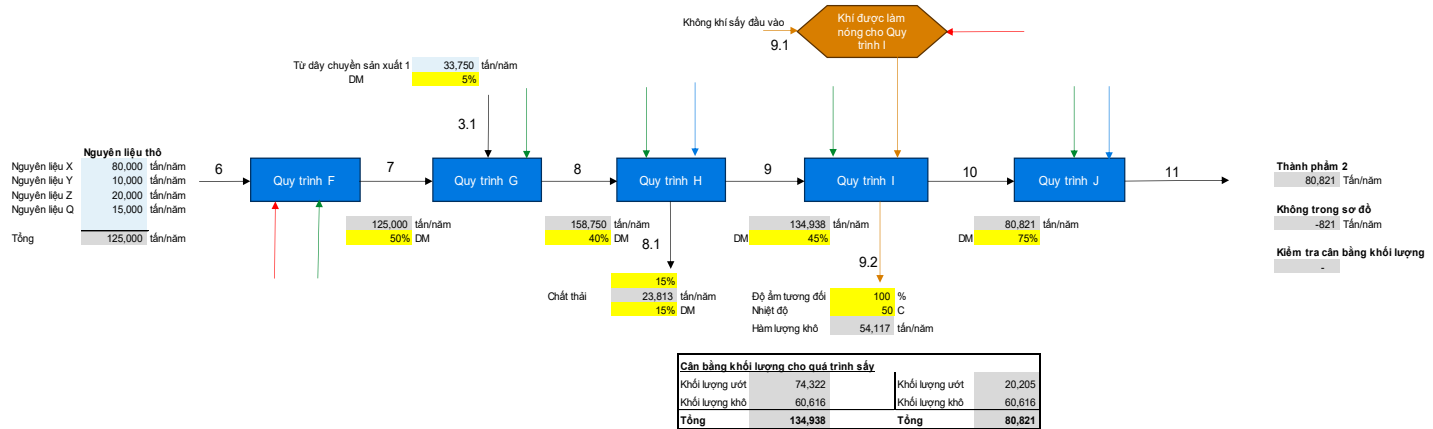
**Cân bằng khối lượng**

- Chú thích:**
- Nhiệt
  - Lạnh
  - Sản phẩm
  - Điện năng
  - Khí nóng

**Dãy chuyền sản xuất 1**



**Dãy chuyền sản xuất 2**



Hình 4: Tổng quan về cân bằng khối lượng cho quy trình. Xem trang tính "Cân bằng khối lượng" trong biểu mẫu Excel.

---

## Cân bằng năng lượng cho quy trình, hệ thống năng lượng và hệ thống phụ trợ

Ngoài cân bằng khối lượng, cũng cần thiết lập cân bằng năng lượng cho quy trình, hệ thống năng lượng và hệ thống phụ trợ. Mục đích là thiết lập các bảng cho từng loại hệ thống năng lượng, trong đó liệt kê tất cả những bộ phận tiêu thụ năng lượng. Điều này được minh họa trong [Hình 5](#) và có thể xem trong trang tính “Sơ đồ quy trình” trong biểu mẫu Excel. Để tiến hành cân bằng năng lượng cho quy trình, cách tiếp cận được khuyến nghị như sau:

1. Bước đầu tiên là đánh giá định tính năng lượng đầu vào cho từng quy trình, xem xét cả mức tiêu thụ năng lượng nhiệt và điện. Điều này có thể thực hiện dễ dàng bằng cách vẽ các dòng năng lượng đi vào trên sơ đồ cân bằng khối lượng đã thiết lập trước đó. Nội dung này được minh họa trong Hình 4.
2. Sau đó, cần tính toán mức tiêu thụ năng lượng cụ thể trong từng bước của quy trình. Mỗi quy trình được liệt kê trong các bảng tiêu thụ năng lượng tương ứng và một số thông tin cơ bản về “Khu vực”, “Đối tượng” và “STT dòng quy trình” được ghi chú để dễ dàng tham khảo sau này.
3. Để lập sơ đồ năng lượng nhiệt, có thể cần cung cấp thông tin bổ sung về dòng quy trình. Trong mọi trường hợp, cần có thông tin về nhiệt độ và trong một số trường hợp, áp suất và nhiệt dung hoặc entanpy cũng có thể cần thiết. Việc lập sơ đồ có thể được thực hiện bằng ba cách tiếp cận khác nhau (ví dụ về cả ba cách tiếp cận đều được cung cấp trong biểu mẫu Excel):

- **Dòng chảy:** Với cách tiếp cận dòng chảy, nhu cầu năng lượng được tính toán theo phương trình sau. Cách tiếp cận này dựa trên thông tin về lưu lượng khối lượng và chênh lệch nhiệt độ trên một đơn vị cụ thể.

$$(T_{ra} - T_{vào})[K] \times c_p \left[ \frac{kJ}{kg * K} \right] \times \dot{m}_{in} \left[ \frac{tấn}{năm} \right] \times 1000 \left[ \frac{kg}{tấn} \right] \times \frac{1}{3600} \left[ \frac{h}{s} \right] = \dot{Q} \left[ \frac{kWh}{năm} \right]$$

- **KPI:** Với cách tiếp cận KPI, nhu cầu năng lượng được tính toán dựa trên KPI cho một đơn vị cụ thể, nếu có thông tin.

$$KPI \left[ \frac{kWh}{tấn} \right] \times \dot{m} \left[ \frac{tấn}{năm} \right] = \dot{Q} \left[ \frac{kWh}{năm} \right]$$

- **Đo lường:** Với cách tiếp cận đo lường, nhu cầu năng lượng từ một quy trình sẽ được đo lường trong một khoảng thời gian và giá trị đo được sẽ được ngoại suy thành mức tiêu thụ hàng năm. Số liệu cũng có thể

là mức tiêu thụ năng lượng cho một quy trình nhất định được cơ sở sản xuất ghi lại.

4. Cần lưu ý rằng năng lượng tiềm năng của các dòng chất thải của quy trình cũng cần được đưa vào sơ đồ trong quá trình lập sơ đồ năng lượng nhiệt.
5. Để lập sơ đồ năng lượng điện, mức tiêu thụ điện năng của thiết bị quy trình cần được tính toán. Tính toán này cũng có thể dựa trên ba cách tiếp cận khác nhau (ví dụ về cả ba cách này được cung cấp trong biểu mẫu Excel):

- **Nguồn điện:** với cách tiếp cận nguồn điện thì nhu cầu điện được tính toán dựa trên thông tin về công suất nguồn điện, số giờ vận hành và ước tính phụ tải.

$$\gamma[-] \times t [h] \times p[kW] = \dot{P}_{t\text{ổ máy}} \left[ \frac{kWh}{\text{năm}} \right]$$

t = Thời gian vận hành hàng năm tính bằng giờ [h]

$\gamma$  = Hệ số phụ tải

p = Hiệu suất tính bằng kW [kW]

- **KPI:** Cách tiếp cận tương tự với phần nhiệt.

$$[KPI] \left[ \frac{kWh}{\text{tấn}} \right] \times \dot{m} \left[ \frac{\text{tấn}}{\text{năm}} \right] = \dot{P}_{t\text{ổ máy}} \left[ \frac{kWh}{\text{năm}} \right]$$

- **Đo lường:** Cách tiếp cận tương tự với phần nhiệt.

$$\dot{P}_{t\text{ổ máy}} \left[ \frac{kWh}{\text{năm}} \right] = \text{số liệu đo được}$$

6. Biểu mẫu được thiết lập với định dạng có điều kiện để chỉ ra những thiết bị tiêu thụ năng lượng lớn nhất đối với từng dạng năng lượng. Ô E6 có thể được sử dụng để xác định ngưỡng cho Thiết bị tiêu thụ Năng lượng lớn. Điều này có thể thay đổi tùy thuộc vào quy mô của cơ sở sản xuất và số lượng dòng quy trình.
7. Trong cột CO đến MK, phân tích nhiệt được thiết lập để phân tích kết quả ở giai đoạn sau.
8. Một lần nữa điều quan trọng là tiếp tục thực hiện lập sơ đồ năng lượng và không bị mắc kẹt với việc cố gắng thu thập một số liệu có mức độ quá chi tiết khiến kéo dài thời gian ở bước này. Nếu một số liệu có mức độ không chắc chắn rất cao thì kiểm toán viên năng lượng cần ghi chú lại như một điểm trọng tâm có thể phải lưu ý cho phân tích sau này.
9. Các bảng trong biểu mẫu Excel được thiết lập để có thể xử lý lên đến 100 quy trình trong từng hạng mục. Hầu hết các bảng này được ẩn để có thể cung cấp tổng quan tốt hơn.









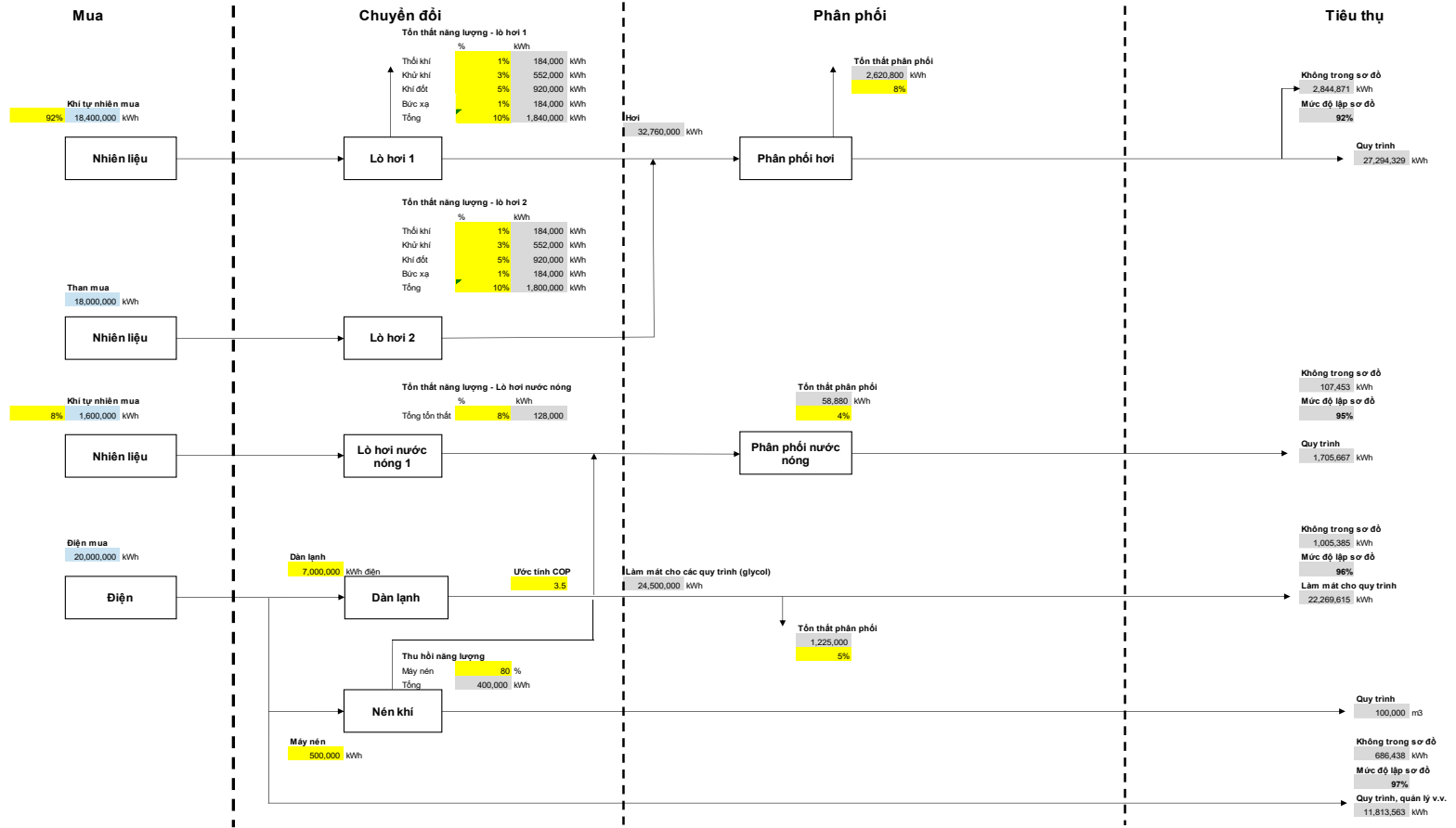
---

Khi đã thiết lập cân bằng năng lượng ở cấp độ quy trình thì cân bằng năng lượng ở cấp độ hệ thống năng lượng có thể được thiết lập. Sơ đồ hệ thống năng lượng bao gồm tất cả các hệ thống đáp ứng nhu cầu năng lượng của cả quy trình. Các hệ thống cung cấp năng lượng có thể là lò hơi, thiết bị làm mát, dàn lạnh, máy nén khí, nước thải, v.v. Phạm vi bao gồm năng lượng mua vào, chuyển đổi năng lượng, phân phối năng lượng và cuối cùng là năng lượng cho quy trình. Một ví dụ được minh họa trong [Hình 6](#) và có thể xem thêm trong biểu mẫu Excel. Hệ thống bao gồm hai lò hơi sử dụng than và khí tự nhiên để cung cấp nguồn nhiệt chính, trong khi một lò hơi nước nóng quy mô nhỏ và nhiệt thải từ máy nén khí được sử dụng trong hệ thống 60°C để cung cấp nước nóng cho các hệ thống phụ trợ và một quy trình gia nhiệt ở nhiệt độ thấp. Nhu cầu làm mát được đáp ứng bởi một máy làm lạnh trung tâm. Biểu mẫu Excel được xây dựng để phân tích tối đa ba hệ thống sưởi và làm mát. Nếu có nhiều hệ thống hơn, người dùng sẽ phải thêm kết quả. Việc lập sơ đồ hệ thống năng lượng có thể được thực hiện theo các bước sau:

1. Toàn bộ năng lượng mua vào được nhập vào cột “Mua”
2. Tất cả các thiết bị năng lượng chính được thêm vào cột “Chuyển đổi”, ví dụ: trong ví dụ đã cho hệ thống bao gồm hai lò hơi, thiết bị làm lạnh và máy nén khí.
3. Đối với từng loại thiết bị, thực hiện ước tính hiệu suất và tính toán tổn thất năng lượng.
  - Trong ví dụ đã cho, tổn thất được ước tính cho lò hơi và máy nén khí.
  - Đối với thiết bị làm lạnh, Hệ số hiệu suất (COP) và mức tiêu thụ điện đã biết được sử dụng để ước tính lượng hơi mát được tạo ra. Không phải trường hợp nào cơ sở sản xuất cũng nắm được giá trị COP, do đó có thể phải ước tính giá trị này dựa trên đánh giá về thiết bị hiện có.
4. Tiếp theo, tổn thất phân phối được ước tính trong cột “Phân phối” dựa trên đánh giá tổng thể về hệ thống phân phối (mức độ bảo trì, cách nhiệt, bẫy hơi, v.v.).
5. Sau đó, hệ thống năng lượng được liên kết với thiết bị sử dụng năng lượng cuối cùng ở cột “Tiêu thụ”.
6. Cuối cùng, mức độ lập sơ đồ tổng thể có thể được tính toán. Như được minh họa ở [Hình 1](#) ở phần đầu, mức độ lập sơ đồ hiện được sử dụng để đánh giá xem sơ đồ đã được lập ở mức độ đầy đủ hay chưa hay liệu có cần lặp lại bước này thêm hay không.
  - Nếu mức độ lập sơ đồ được cho là quá thấp thì cần đánh giá lại các cân bằng năng lượng.
  - Nếu mức độ lập sơ đồ được coi là đủ, kiểm toán viên năng lượng có thể chuyển sang bước thiết lập và phân tích kết quả.

- Mức độ đủ có thể thay đổi tùy thuộc vào quy mô của cơ sở sản xuất và mức độ chi tiết. Dựa trên kinh nghiệm quốc tế, mức độ lập bản đồ ít nhất 90% thường được coi là đủ. Tuy nhiên, dù ở mức độ nào thì điều quan trọng là biết được lý do không đủ và hậu quả tiềm ẩn có thể là gì.

**Sơ đồ hệ thống năng lượng**



Hình 6: Tổng quan về sơ đồ hệ thống năng lượng. Xem trang tính "Sơ đồ hệ thống năng lượng" trong biểu mẫu Excel.

Ngoài cân bằng năng lượng ở cấp độ quy trình và hệ thống năng lượng, nhiều cơ sở sản xuất còn có một số hệ thống phụ trợ. Các hệ thống này cũng cần phải đưa vào sơ đồ để cung cấp tổng quan đầy đủ về mức tiêu thụ năng lượng tại một địa điểm sản xuất. Ví dụ về các hệ thống này có thể là hệ thống làm sạch tại chỗ, máy rửa (thùng chứa, hộp, chai, v.v.), hệ thống thông gió, bộ phận đóng gói, v.v. Vì những hệ thống này sẽ không hiển thị trong quy trình, nên một trang tính riêng trong biểu mẫu Excel được sử dụng để xử lý các hệ thống này, với tên gọi “Hệ thống phụ trợ”. Trong biểu mẫu Excel, một ví dụ được đưa ra và minh họa trong [Hình 7](#) dưới đây. Trong ví dụ này, hơi nước được sử dụng để làm nóng nước cho một máy giặt tại địa điểm sản xuất. Mức tiêu thụ năng lượng cũng được chuyển sang các bảng tổng quan về sơ đồ quy trình.

## Hệ thống phụ trợ

### Hệ thống phụ trợ 1

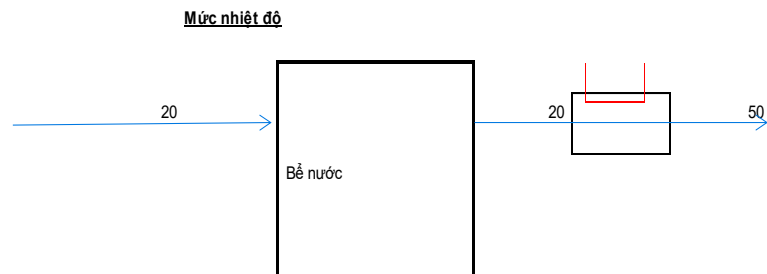
Một ví dụ về hệ thống phụ trợ phổ biến là máy giặt. Ví dụ về tính toán dưới đây:

Nhiệt độ nước cung cấp [C]	Nhiệt độ chuyển tiếp tới máy giặt [C]	Tiêu thụ nước hàng tuần [m <sup>3</sup> /tuần]	Tiêu thụ nước hàng năm [m <sup>3</sup> /năm]	Nhiệt dung riêng [kJ/kgK]
20	50	500	26,000	4,18

Tiêu thụ năng lượng cho hệ thống phụ trợ 1

905,667 kWh

Dòng quy trình 11



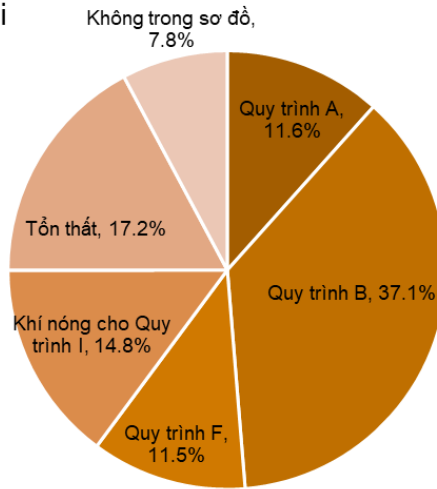
Hình 7: Tổng quan về các hệ thống phụ trợ. Xem trang tính "Hệ thống phụ trợ" trong biểu mẫu Excel.

## Phân tích và hiểu kết quả

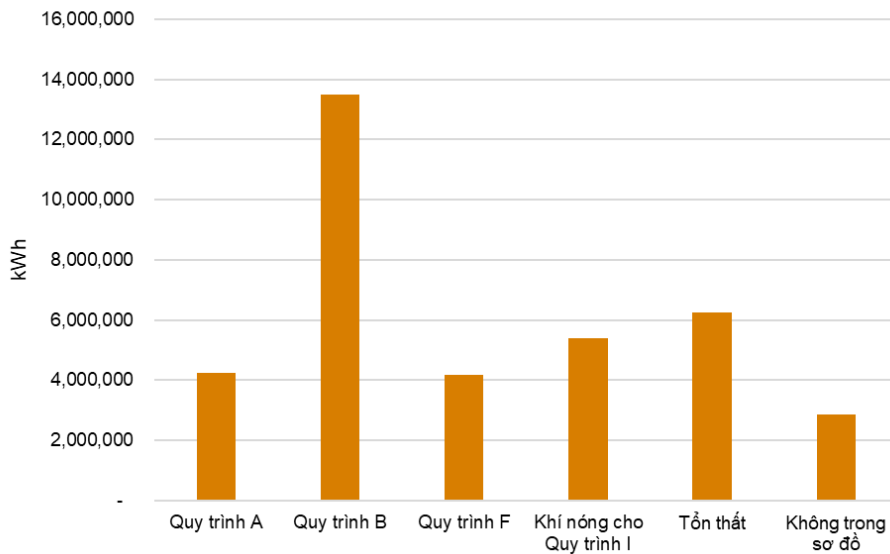
Khi sơ đồ được lập ở mức độ đủ, bước tiếp theo là trình bày kết quả theo cách dễ hiểu. Để sử dụng sơ đồ năng lượng đúng cách, điều quan trọng là xem xét cách trình bày và sử dụng kết quả một cách hiệu quả để phát triển các dự án tiết kiệm năng lượng. Cần nhấn mạnh việc phát triển các dự án nên bắt đầu bằng việc hiểu rõ mức tiêu thụ năng lượng của các quy trình trước khi chuyển sang các hệ thống năng lượng. Do đó, cần có sự hiểu biết đầy đủ về dịch vụ năng lượng thực tế hoặc mục đích sử dụng năng lượng trong các quy trình cụ thể.

Để dễ dàng có được tổng quan đầy đủ về toàn bộ cơ sở sản xuất, các biểu đồ hình tròn và biểu đồ cột được lập cho từng loại hệ thống năng lượng tại cơ sở. Ví dụ: tổng quan về mức tiêu thụ nhiệt của ví dụ đã cho được minh họa trong [Hình 8](#). Các biểu đồ này cung cấp tổng quan về phân bố mức tiêu thụ nhiệt cho toàn bộ địa điểm sản xuất và giúp dễ dàng xác định những bộ phận tiêu thụ năng lượng chính tại địa điểm. Trong ví dụ, các biểu đồ này chỉ được thiết lập ở cấp độ cơ sở sản xuất nhưng đối với các cơ sở sản xuất quy mô lớn hơn, cũng có thể thiết lập biểu đồ ở cấp độ dây chuyền sản xuất hoặc khu vực để cung cấp tổng quan chi tiết hơn về nơi tiêu thụ năng lượng. Các tổng quan được thiết lập cho từng hệ thống năng lượng tại cơ sở sản xuất.

### Phân phối nhiệt - Hơi



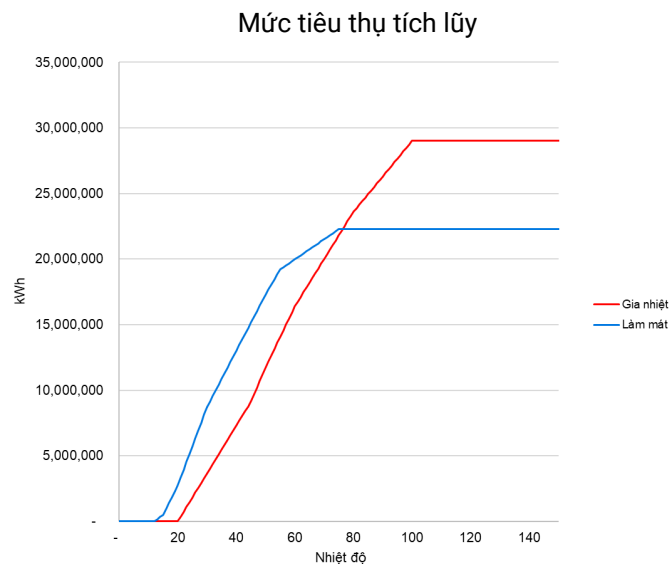
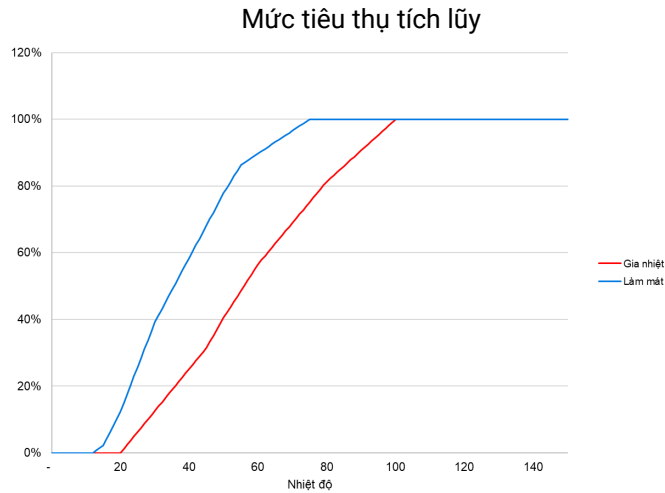
### Phân phối nhiệt - Hơi



Hình 8: Biểu đồ trình bày kết quả tiêu thụ nhiệt tổng thể. Xem trang tính "Tổng quan kết quả" trong biểu mẫu Excel.

Ngoài các đánh giá tổng quan, việc liên kết mức tiêu thụ năng lượng với nhiệt độ cũng hết sức hữu ích, giúp đánh giá tiềm năng thu hồi nhiệt và tích hợp, ví dụ như, bơm nhiệt. Các biểu đồ giúp cung cấp tổng quan về các mức nhiệt độ đáp ứng nhu cầu nhiệt. Một ví dụ từ biểu mẫu được minh họa trong [Hình 9](#). Ví dụ, kết luận từ các biểu đồ này có thể là:

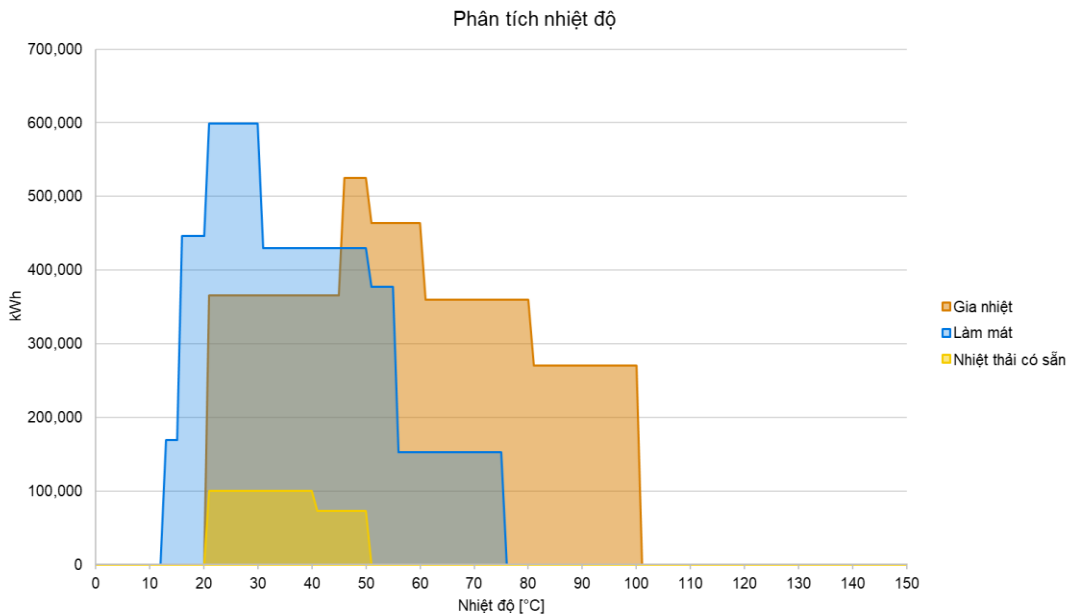
- 80% lượng nhiệt được sử dụng cho các quy trình có nhiệt độ dưới 80°C (khoảng 23 GWh) và toàn bộ lượng nhiệt được sử dụng ở nhiệt độ dưới 100°C.
  - o Có thể dùng nước nóng thay cho hơi nước được không?
  - o Có nguồn nhiệt nào tốt cho bơm nhiệt không?
- 20% năng lượng làm mát được sử dụng ở nhiệt độ trên 50°C (khoảng 4 GWh).
  - o Có tiềm năng thu hồi nhiệt không?



Hình 9: Tiêu thụ năng lượng nhiệt tích lũy. Xem trang tính "Tổng quan kết quả" trong biểu mẫu Excel.

Để cung cấp tổng quan tốt hơn về mối tương quan giữa các mức nhiệt độ gia nhiệt và làm mát, có thể vẽ các đường cong tổng hợp cho từng nhu cầu nhiệt. Điều này được thể hiện trong biểu mẫu Excel và minh họa trong Hình 10 dưới đây, trong đó các dòng nhiệt thải cũng được thêm vào sơ đồ. Phân tích thể hiện mức năng lượng được tiêu thụ ở mỗi mức nhiệt độ, do đó có thể sử dụng để xác định tiềm năng thu hồi nhiệt. Đồ thị có bốn khu vực riêng biệt.

- Vùng màu cam: Nhu cầu gia nhiệt tối thiểu về mặt lý thuyết.
- Vùng màu xanh: Nhu cầu làm mát tối thiểu về mặt lý thuyết.
- Vùng màu vàng: Nhiệt thải có sẵn từ các quy trình.
- Vùng xám chồng chéo: tiềm năng thu hồi nhiệt trực tiếp tối đa giữa các quy trình.



Hình 10: Ví dụ về phân tích nhiệt độ. Xem trang tính “Tổng quan kết quả” trong biểu mẫu Excel.

Trong ví dụ từ biểu mẫu Excel, có thể thấy rằng có tiềm năng thu hồi nhiệt cao trong khoảng 20-75°C. Bước tiếp theo là xác định các quy trình từ các bảng trong “Sơ đồ quy trình” với các yêu cầu về nhiệt độ chồng chéo nhau. Trong ví dụ này, có thể thấy rằng Quy trình C có thể được khớp với Quy trình A và F:

Bảng 1: Cơ hội thu hồi nhiệt tiềm năng

Quy trình	Nhiệt độ đầu vào [°C]	Nhiệt độ đầu ra [°C]	Tiêu thụ năng lượng [MWh]
Quy trình A	20	50	4,228
Quy trình F	20	60	4,168
Quy trình C	75	20	8,387

Về năng lượng, các dòng nhiệt này gần như hoàn toàn khớp nhau, tuy nhiên, không thể làm mát Quy trình C xuống 20°C. Do đó, cần đưa ra mức chênh lệch nhiệt độ tối thiểu để phản ánh các giới hạn vật lý. Giả sử nhiệt độ giới hạn là 5°C, điều này có nghĩa là Quy trình C có thể được làm lạnh đến 25°C và có thể thu hồi 7,627 MWh để cấp nhiệt. Do đó, nhu cầu làm mát và gia nhiệt sẽ vẫn được đáp ứng cùng lúc.

Cần lưu ý rằng bài tập trên hoàn toàn mang tính lý thuyết. Trong thực tế, có nhiều yếu tố hơn cần xem xét khi phân tích tiềm năng thu hồi nhiệt như:

- **Phối hợp thời gian vận hành:** Các quy trình có được vận hành cùng lúc hay được kiểm soát theo đợt? Có cần bể đệm không?
- **Vị trí địa lý:** Các quy trình được bố trí cách nhau bao xa? Liệu tiềm năng tiết kiệm năng lượng có xứng đáng với chi phí đầu tư vào hệ thống đường ống không?

Do đó, cần thực hiện phân tích kinh tế - kỹ thuật, ước tính tổng chi phí đầu tư và tính toán thời gian hoàn vốn.

Khi mức tiêu thụ năng lượng đã được tối ưu hóa, cần đánh giá hệ thống năng lượng. Từ trạng tính sơ đồ năng lượng, cần đánh giá xem liệu tổn thất năng lượng từ thiết bị có thể được giảm thiểu hay thu hồi hay không. Trong biểu mẫu Excel, có thể thấy nhiệt thải từ máy nén khí đã được sử dụng trong hệ thống nước nóng 60°C. Tuy nhiên, nhiệt không được thu hồi từ dàn lạnh. Có thể lắp đặt bộ làm mát dầu hoặc bộ khử quá nhiệt trên dàn lạnh để cung cấp thêm năng lượng cho hệ thống 60°C. Một lượng nhiệt lớn cũng bị thất thoát trong các bình ngưng của dàn lạnh, lượng nhiệt này có thể được nâng cấp lên mức nhiệt độ cao hơn bằng bơm nhiệt. Đối với các lò hơi, có thể thấy rằng cả hai lò hơi đều có tổn thất khí thải ước tính là 5%. Do đó, việc thu hồi khí thải bằng một bộ tiết kiệm nhiệt cũng nên được xem xét.

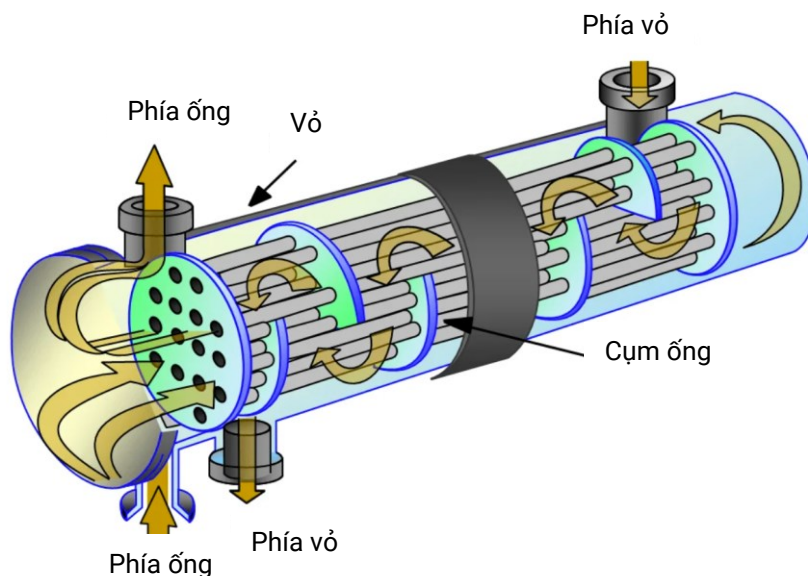
---

## Phụ lục 2. Tổng quan về các loại thiết bị trao đổi nhiệt

Tổng quan đơn giản về các công nghệ trao đổi nhiệt được trình bày dưới đây được tổng hợp từ các kết quả tìm kiếm trên Google, và chỉ nhằm mục đích trình bày tổng quan để nghiên cứu sâu hơn khi rà soát các tài liệu kỹ thuật.

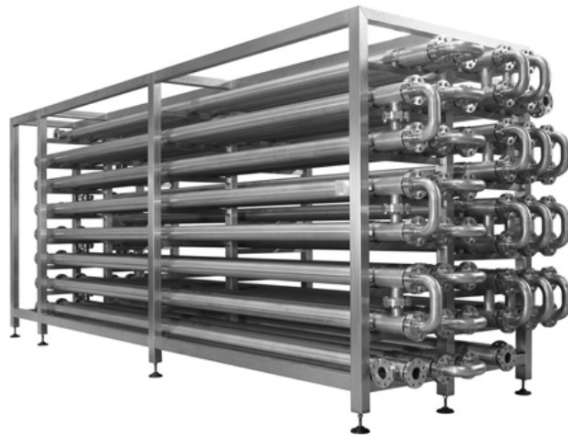
### 1. Bộ trao đổi nhiệt vỏ và ống:

- **Thiết kế:** Gồm một vỏ (vỏ bình chứa bao ngoài) và các ống (ống bên trong).
- **Lĩnh vực áp dụng:**
  - Sử dụng rộng rãi trong nhà máy điện, chế biến hóa chất, nhà máy lọc dầu và hệ thống cấp nhiệt, thông gió và điều hòa không khí (HVAC).
  - Lý tưởng cho các ứng dụng đòi hỏi áp suất và nhiệt độ cao.
- **Lợi ích:**
  - Trao đổi nhiệt hiệu quả nhờ diện tích bề mặt lớn.
  - Thiết kế linh hoạt cho phép tùy chỉnh.
- **Hạn chế:**
  - Cồng kềnh và chiếm nhiều không gian.
  - Dễ bị cáu cặn và khó vệ sinh.



## 2. Bộ trao đổi nhiệt vỏ và ống:

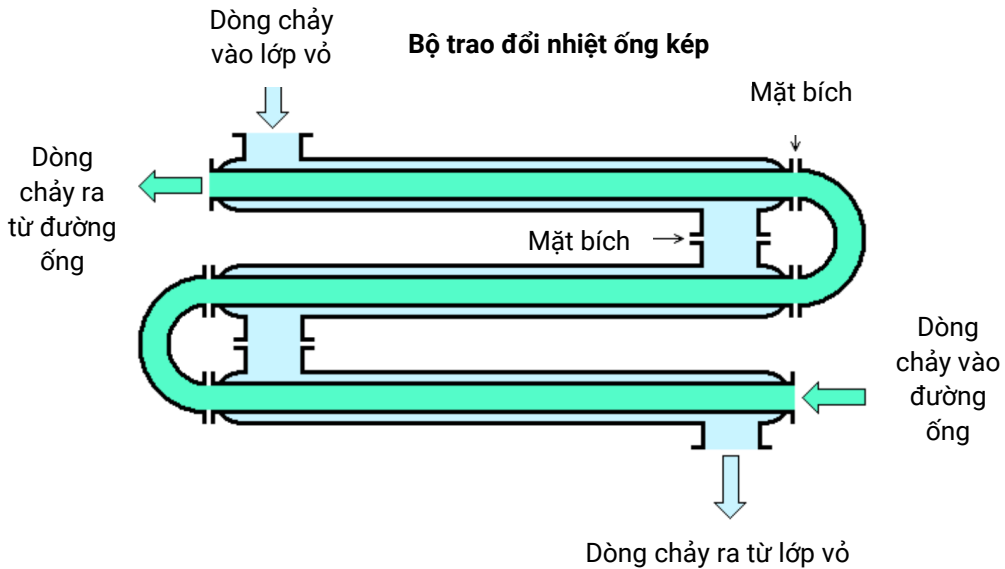
- **Thiết kế:** Hai ống đồng tâm lồng vào nhau với chất lỏng chảy qua ống bên trong.
- **Lĩnh vực áp dụng:**
  - Sử dụng cho công đoạn tiệt trùng Pasteur, chế biến thực phẩm và các ứng dụng quy mô nhỏ.
- **Lợi ích:**
  - Thiết kế nhỏ gọn.
  - Phù hợp cho các chất lỏng có độ nhớt cao.
- **Hạn chế:**
  - Diện tích trao đổi nhiệt hạn chế.
  - Không lý tưởng cho các ứng dụng đòi hỏi áp suất cao.



## 3. Bộ trao đổi nhiệt ống kép:

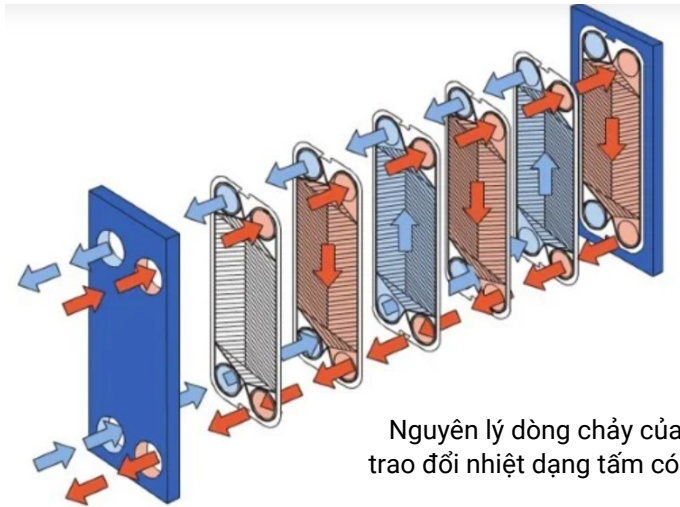
- **Thiết kế:** Gồm hai ống (trong và ngoài) chạy song song.
- **Lĩnh vực áp dụng:**
  - Thường dùng cho các ứng dụng yêu cầu lưu lượng thấp, như thiết lập trong các phòng thí nghiệm.
- **Lợi ích:**
  - Thi công đơn giản.
  - Dễ dàng bảo trì.

- **Hạn chế:**
  - Công suất trao đổi nhiệt hạn chế.
  - Kém hiệu quả cho các quy trình quy mô lớn.



#### 4. Bộ trao đổi nhiệt dạng tấm:

- **Thiết kế:** Gồm các tấm xếp chồng lên nhau với các kênh xen kẽ cho chất lỏng nóng và lạnh.
- **Lĩnh vực áp dụng:**
  - Sử dụng trong hệ thống HVAC, hệ thống lạnh và các ngành công nghiệp thực phẩm.
- **Lợi ích:**
  - Nhỏ gọn và nhẹ.
  - Hiệu suất trao đổi nhiệt cao.
- **Hạn chế:**
  - Dễ bị cáu cặn.
  - Giới hạn ở áp suất trung bình.



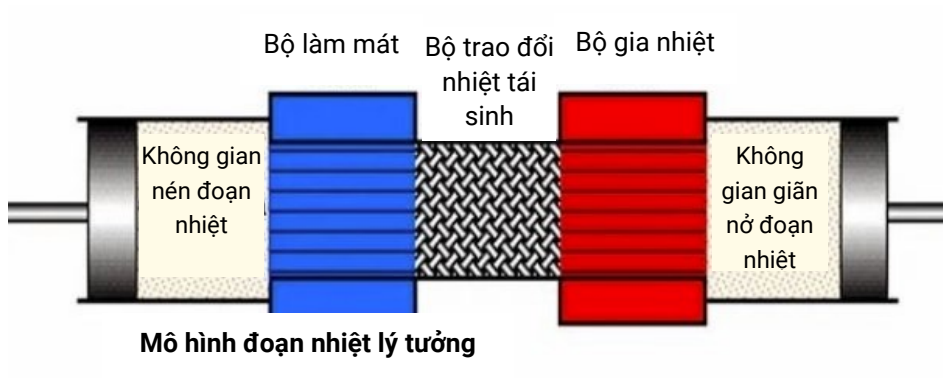
## 5. Bộ trao đổi nhiệt dạng cánh:

- **Thiết kế:** Các cánh kim loại được gắn vào ống hoặc tấm.
- **Lĩnh vực áp dụng:**
  - Thường sử dụng cho điều hòa không khí, tản nhiệt ô tô và làm mát thiết bị điện tử.
- **Lợi ích:**
  - Tăng cường trao đổi nhiệt nhờ diện tích bề mặt lớn.
  - Thích hợp cho các ứng dụng trao đổi nhiệt giữa không khí và khí ga.
- **Hạn chế:**
  - Nhạy cảm với cặn bẩn.
  - Bảo trì phức tạp.



## 6. Bộ trao đổi nhiệt đoạn nhiệt:

- **Thiết kế:** Không trao đổi nhiệt với môi trường xung quanh.
- **Lĩnh vực áp dụng:**
  - Sử dụng trong các lò phản ứng hóa học, nơi không có nhiệt được thêm vào hoặc loại bỏ.
- **Lợi ích:**
  - Duy trì nhiệt độ không đổi.
  - Không có hiện tượng trao đổi năng lượng.
- **Hạn chế:**
  - Ứng dụng thực tiễn bị hạn chế.
  - Đòi hỏi sự điều khiển chính xác cao.



## 7. Bộ trao đổi nhiệt tích hợp hệ thống làm sạch:

- Những bộ trao đổi nhiệt cải tiến này tích hợp các cơ chế tự làm sạch định kỳ để duy trì hiệu quả hoạt động của chúng. Dưới đây là một số ví dụ đáng chú ý:
  - **AX Cleaner®:**
    1. Được phát triển bởi **AX System**, AX Cleaner® là hệ thống làm sạch bán tự động.
    2. Sử dụng tia nước áp lực cao để làm sạch hiệu quả **bộ làm mát khí** và **bộ ngưng tụ khí**.
    3. Được thiết kế nhẹ, nhỏ gọn và dễ điều khiển.
    4. Giảm thiểu rủi ro cho cả người vận hành và thiết bị.

5. [Thích hợp cho nhiều kiểu lắp đặt khác nhau, bao gồm cả kiểu chữ A hoặc kiểu nằm ngang<sup>1</sup>.](#)
- **Hệ thống làm sạch ống trao đổi nhiệt:**
    1. Sử dụng **bi làm sạch Schmitz** được bơm vào nước làm mát bộ trao đổi nhiệt.
    2. Các bi làm sạch đi qua các ống, làm sạch hiệu quả bề mặt bên trong ống.
    3. [Lý tưởng để bảo dưỡng thiết bị trao đổi nhiệt trong các bể xử lý<sup>2</sup>.](#)
  - **Bộ trao đổi nhiệt tự làm sạch:**
    1. Dựa trên một tầng sôi các hạt tuần hoàn qua các ống của bộ trao đổi nhiệt vỏ và ống đặt thẳng đứng.
    2. [Cung cấp tác động làm sạch liên tục, giảm bám bẩn và cải thiện hiệu suất<sup>3</sup>.](#)

## 8. Bộ trao đổi nhiệt chống ăn mòn:

- Sự ăn mòn có thể ảnh hưởng đáng kể đến hiệu suất và tuổi thọ của bộ trao đổi nhiệt. Sau đây là một số vật liệu và thiết kế được sử dụng để chống ăn mòn:
  - **Thép không gỉ:**
    1. Được sử dụng rộng rãi do khả năng chống ăn mòn rất tốt trong nhiều ứng dụng khác nhau.
    2. [Phù hợp cho các bộ trao đổi nhiệt xử lý môi chất ăn mòn<sup>4</sup>.](#)
  - **Bộ trao đổi nhiệt Silicon Carbide:**
    1. Tất cả các bộ phận tiếp xúc với nước đều được làm bằng **PFA, FFKM** và **silicon carbide**.
    2. Sẵn sàng xử lý hầu hết mọi loại hóa chất ăn mòn và độc hại.
    3. [Lý tưởng để vận chuyển các dung dịch hóa chất có tính ăn mòn<sup>5</sup>.](#)
  - **Bộ trao đổi nhiệt dạng tấm graphite:**
    1. Được lắp ráp với các tấm graphite Diabon cho khả năng tương thích hóa học gần như phổ quát.
    2. Có khả năng chống chịu cao với axit clohydric, axit photphoric và axit flohydric.
    3. [Phù hợp với các môi chất có tính ăn mòn<sup>6</sup>.](#)



---

- **Bộ trao đổi nhiệt bằng nhựa (CALORPLAST):**

1. CALORPLAST cung cấp các bộ trao đổi nhiệt nhựa dạng ngâm, khí-lỏng, vỏ và ống, tấm ống, và khí-khí.
2. Được thiết kế cho các môi chất quan trọng, bao gồm axit vô cơ đậm đặc cao và các chất ăn mòn.
3. Đảm bảo tuổi thọ, hiệu suất và tính bền vững trong các môi trường ăn mòn<sup>7</sup>.

Việc lựa chọn bộ trao đổi nhiệt phụ thuộc vào các yếu tố như đặc tính của chất lỏng, điều kiện vận hành và không gian khả dụng. Mỗi loại đều có ưu điểm và hạn chế riêng, vì vậy các kỹ sư phải cân nhắc cẩn thận các khía cạnh này khi thiết kế các quy trình công nghiệp<sup>8</sup>.

**CỤC ĐỔI MỚI SÁNG TẠO, CHUYỂN ĐỔI XANH VÀ KHUYẾN CÔNG  
BỘ CÔNG THƯƠNG**

 54 Hai Bà Trưng, phường Cửa Nam, Hà Nội  
 024. 2220 5528

