

CHƯƠNG TRÌNH HỢP TÁC ĐỐI TÁC NĂNG LƯỢNG  
VIỆT NAM – ĐAN MẠCH (DEPP3)

# Hướng dẫn công nghệ về Thu hồi nhiệt và Máy bơm nhiệt trong ngành công nghiệp Việt Nam

Dự thảo cuối cùng

Ngày 26 tháng 6 năm 2024

Viegand  
Maagøe

# Resumé **ÓM TẮT**

Hướng dẫn này tập trung vào ứng dụng thu hồi nhiệt và bơm nhiệt trong ngành công nghiệp Việt Nam. Tài liệu là một sản phẩm của Hợp phần 3 thuộc Chương trình hợp tác đối tác năng lượng Việt Nam – Đan Mạch giai đoạn 2020-2025 (DEPP3).

Mục đích của Hướng dẫn 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 được 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 hiện đang triển khai trong các ngành công nghiệp khác nhau tại Việt Nam. Đây cũng là một tài liệu quan trọng trong số các tài liệu được xây dựng trong khuôn khổ hợp tác giữa Vụ Tiết kiệm Năng lượng và Phát triển bền vững – Bộ Công Thương và Cơ quan Năng lượng Đan Mạch.

Hướng dẫn này được chuẩn bị, xây dựng trong suốt quá trình hợp tác chặt chẽ giữa Cục Năng lượng Đan Mạch và Viegand Maagøe cùng với các nhận xét, đánh giá đóng góp từ 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 lý luận của các giải pháp thu hồi nhiệt.....	5
1.2	Các phương pháp đánh giá tiềm năng thu hồi nhiệt .....	7
1.2.1	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).....	8
1.2.3	Các khoảng nhiệt độ .....	11
1.2.4	Các đường cong nhiệt độ và tải .....	12
1.2.5	Tiềm năng thu hồi nhiệt lý thuyết .....	12
1.2.6	Hiểu về tiềm năng thu hồi nhiệt lý thuyết.....	13
1.3	Từ tiềm năng thu hồi nhiệt tới các giải pháp thực tiễn.....	13
1.3.1	Cách tiếp cận đơn giản để xác định các giải pháp thu hồi nhiệt .....	14
1.3.2	Cách tiếp cận nâng cao đối với các giải pháp thu hồi nhiệt .....	16
1.4	Rào cản kỹ thuật đối với các giải pháp thu hồi nhiệt.....	17
1.5	Cơ sở lý luận của các giải pháp bơm nhiệt.....	18
1.5.1	Tổng quan về các môi chất làm lạnh cho bơm nhiệt .....	20
1.6	Các nguồn nhiệt thải trong các ngành công nghiệp.....	21
<b>2</b>	<b>Ứng dụng của các giải pháp thu hồi nhiệt và bơm nhiệt.....</b>	<b>23</b>
2.1	Tối ưu hóa các hệ thống trao đổi nhiệt hiện có.....	23
2.2	Coi quá trình làm mát như một nguồn nhiệt.....	25
2.3	Sử dụng nguồn nhiệt thải ấm.....	27
2.4	Quá trình tích hợp bơm nhiệt.....	28
2.5	Kết hợp gia nhiệt và làm mát .....	30
2.6	Quy trình tích hợp MVR (Bay hơi nén khí cơ học) .....	31
2.7	Hệ thống thu hồi nhiệt tập trung.....	33
2.8	Vận hành và bảo trì các giải pháp thu hồi nhiệt .....	35
<b>3</b>	<b>Sàng lọc, kiểm toán năng lượng và nghiên cứu khả thi .....</b>	<b>36</b>
3.1	Sàng lọc và kiểm toán năng lượng.....	36
3.1.1	Thu thập dữ liệu ban đầu về nhu cầu gia nhiệt và làm mát, v.v.....	36
3.1.2	Sơ đồ cấp độ 2 về nhu cầu gia nhiệt và làm mát, v.v.....	37
3.1.3	Các giải pháp thu hồi nhiệt.....	37
3.1.4	Báo cáo từ quá trình sàng lọc/kiểm toán .....	37
3.2	Giai đoạn nghiên cứu tiền khả thi.....	38
3.2.1	Thiết kế cơ sở.....	38
3.2.2	Phương án giải pháp .....	38
3.2.3	Lợi ích phi năng lượng.....	39
3.2.4	Đánh giá NPV (giá trị hiện tại ròng) .....	39

3.2.5	Hợp với cấp lãnh đạo/quản lý .....	40
3.3	Nghiên cứu khả thi.....	40
3.3.1	Phạm vi dự án.....	40
3.3.2	Nhà cung cấp ưu tiên.....	40
3.3.3	Thiết kế giải pháp sơ bộ .....	41
3.3.4	Tài chính.....	41
3.3.5	Quyết định đầu tư cuối cùng (FID) .....	41
<b>Phụ lục 1. Hướng dẫn thực hiện lập sơ đồ .....</b>		<b>42</b>
<b>Phụ lục 2. Tổng quan về các loại thiết bị trao đổi nhiệt .....</b>		<b>56</b>

## TỔNG QUAN VỀ HƯỚNG DẪN

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

Một trong những lĩnh vực đáng quan tâm là thu hồi nhiệt và tích hợp bơm nhiệt vào nguồn cung cấp năng lượng trong các nhà máy. Thu hồi nhiệt có tiềm năng tiết kiệm năng lượng đáng kể, chẳng hạn:

- Thu hồi nhiệt từ một quy trình cần được làm mát để cung cấp cho một quy trình cần được gia nhiệt.
- Thu hồi nhiệt thải từ khí đốt để sưởi ấm trực tiếp, như nước nóng.
- Thu hồi nhiệt thải từ khí thải trong quá trình sấy khô, bằng cách tiền gia nhiệt không khí sấy khô đầu vào.
- Thu hồi nhiệt thải, ví dụ các nhà máy xử lý nước thải và/hoặc các thiết bị ngưng tụ 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, cơ bản về quy trình bảo trì, đến các dự án đầu tư phức tạp đòi hỏi lập kế hoạch và thiết kế cẩn thận.

Hướng dẫn này hướng đến các nhà quản lý công nghiệp, nhà cung cấp công nghệ và các chuyên gia về hiệu quả năng lượng nhằm tối ưu hóa việc 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 kiểm toán/sàng lọc, các dự án tiềm khả thi và khả thi

Tài liệu này bao gồm một số ví dụ áp dụng các giải pháp thu hồi nhiệt và bơm nhiệt trên thế giới và liên kết 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

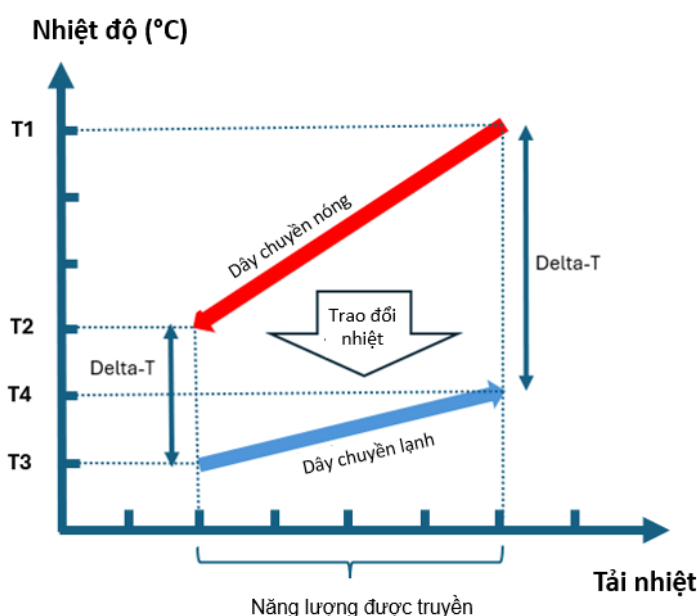
Cần hiểu và đánh giá nhiều câu hỏi thực tiễn khi triển khai các giải pháp thu hồi nhiệt và bơm nhiệt - một lĩnh vực kỹ thuật rộng lớn.

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 thực hiện các giải pháp thu hồi nhiệt.

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

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

Nguyên lý trao đổi năng lượng giữa một dây chuyền nóng và một dây chuyền lạnh được minh họa trong hình 1 dưới đây.



Hình 1. Nguyên lý cơ bản của thu hồi nhiệt giữa một dây chuyền “nóng” (nguồn) và một dây chuyền “lạnh” (bồn chứa)

Sơ đồ minh họa các nguyên lý truyền nhiệt sau:

- Một dây chuyền “nóng” được làm mát trong bộ thiết bị trao đổi nhiệt từ nhiệt độ T1 xuống T2

Dây chuyền “nóng” còn được gọi là dây chuyền “ấm” hoặc “nguồn” và có thể là các dòng chảy trong quá trình cần làm mát hoặc có thể là một nguồn nhiệt thải (còn gọi là nhiệt dư hoặc dòng chảy “thất thoát”<sup>1</sup>) nơi nhiệt bị thải ra môi trường xung quanh.

- Trong thiết bị trao đổi nhiệt, một dây chuyền “lạnh” được làm nóng từ nhiệt độ T3 lên T4 khi nhận nhiệt từ dây chuyền “nóng”

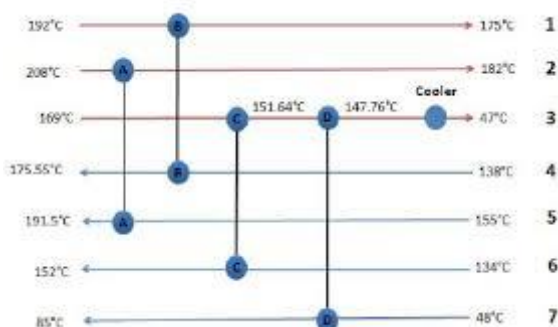
<sup>1</sup> Dòng chảy “thất thoát” là một dòng chảy “nóng” có thể được tận dụng nếu nó đóng góp tích cực vào hệ thống thu hồi nhiệt, nhưng không cần làm mát như các dòng chảy “nóng” khác.

Dây chuyền “lạnh” còn được gọi là một chiếc “bồn chứa”, và luôn đóng vai trò như một nơi có nhu cầu gia nhiệt, thông qua các thiết bị phụ trợ cung cấp hơi nước, nước nóng hoặc dầu nóng cho dây chuyền.

- Tại mỗi đầu của thiết bị trao đổi nhiệt có thể đo được một “delta-T” ( $\Delta T$ ) cho thấy hiệu quả của thiết bị trao đổi nhiệt trong việc trao đổi năng lượng giữa hai dây chuyền ( $\Delta T$  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 chảy “nóng” và “lạnh” tăng lên.

Hình 2 dưới đây minh họa một mạng lưới trao đổi nhiệt (còn gọi là “HEN”) với 4 thiết bị trao đổi năng lượng giữa 3 dòng chảy “nóng” (dòng chảy màu đỏ 1, 2 và 3) và 4 dòng chảy “lạnh” (dòng chảy 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.

Một mạng lưới trao đổi nhiệt như trên sẽ có nhiều phương án kết hợp khác nhau, khiến việc lựa chọn phức tạp hơn do khác biệt của các sơ đồ nhiệt và khả năng 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 gia nhiệt cho các nhu cầu gia nhiệt “lạnh nhất.” Nguyên do là bởi tính đơn giản và kích thước lắp đặt bộ trao đổi nhiệt nhỏ. 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 gia nhiệt cho các nhu cầu gia nhiệt “trung bình”...
- ... từ đó cho phép sử dụng nhiệt thải ở nhiệt độ “trung bình” để gia nhiệt cho các nhu cầu ở nhiệt độ “thấp.”

Cân nhắc những điều trên, tiềm năng sử dụng nhiệt thải về nguyên tắc có thể “gấp đôi”, giúp tiết kiệm năng lượng 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 chảy “nóng” (đối với những dòng có nhiệt độ thấp), từ đó tăng khả năng ứng dụng của các dòng chảy này.

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

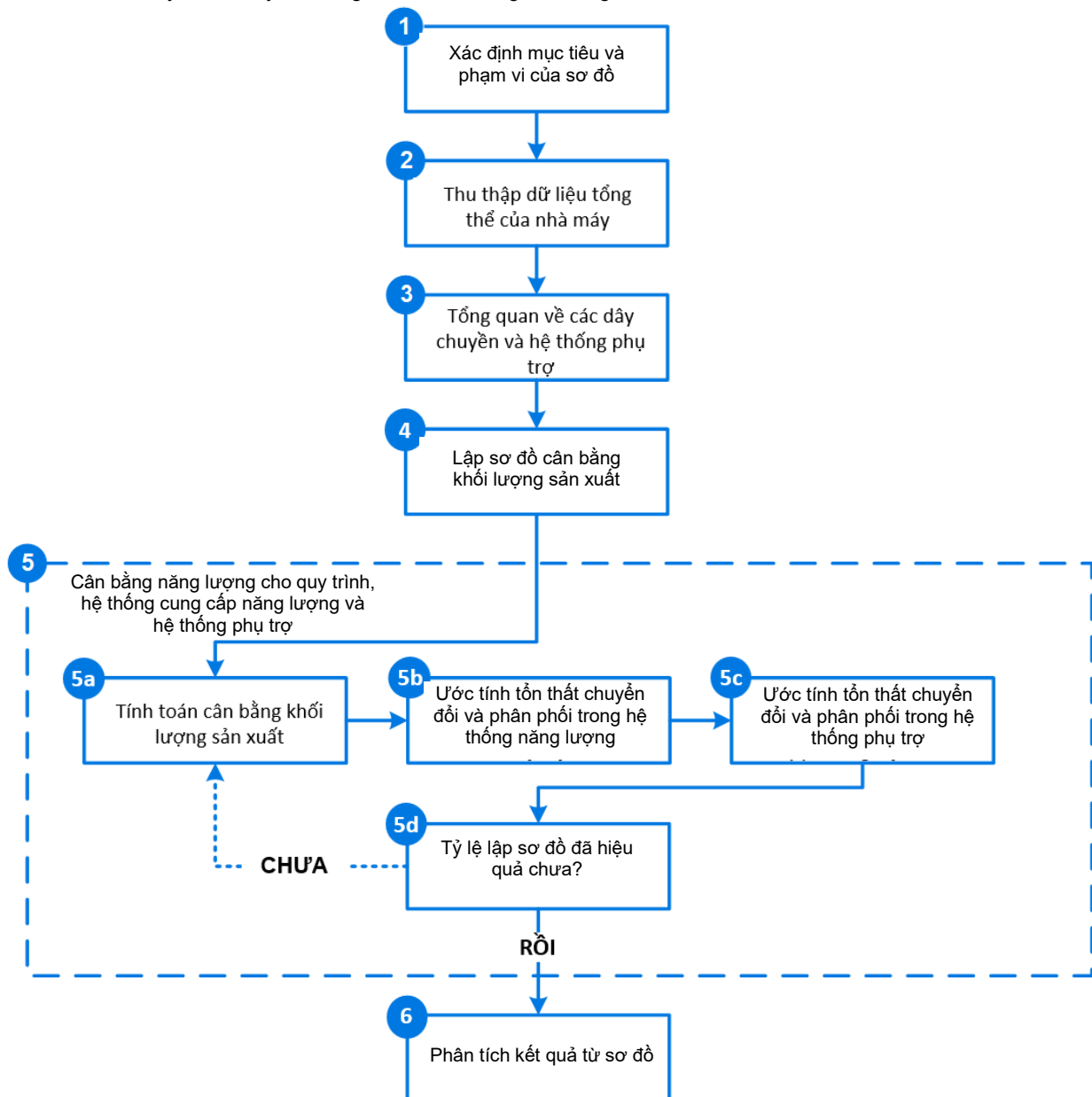
## 1.2 Các phương pháp đánh giá tiềm năng thu hồi nhiệt

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 Sơ đồ năng lượng cấp độ 1 (Level-1 Mapping)

Để có thể đánh giá bất kỳ tiềm năng thu hồi nhiệt nào, đơn vị cần phải lập sơ đồ năng lượng. Đây là bước quan trọng đầu tiên để hiểu rõ hơn về thực trạng sử dụng năng lượng và xây dựng cơ sở dữ liệu để phát triển dự án.

Nhìn chung, lập sơ đồ năng lượng có thể thực hiện theo các bước minh họa trong Hình 3 dưới đây. Cách tiếp cận này nhằm tiết kiệm thời gian của các kiểm toán viên thông qua lập sơ đồ năng lượng, một quy trình lặp đi lặp lại, tập trung vào việc xây dựng cái nhìn tổng quan về nhu cầu năng lượng trước khi thực hiện đo đạc chi tiết. Điều này cho phép nắm bắt 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 một tỷ lệ không chắc chắn trong các vòng đầu tiên.



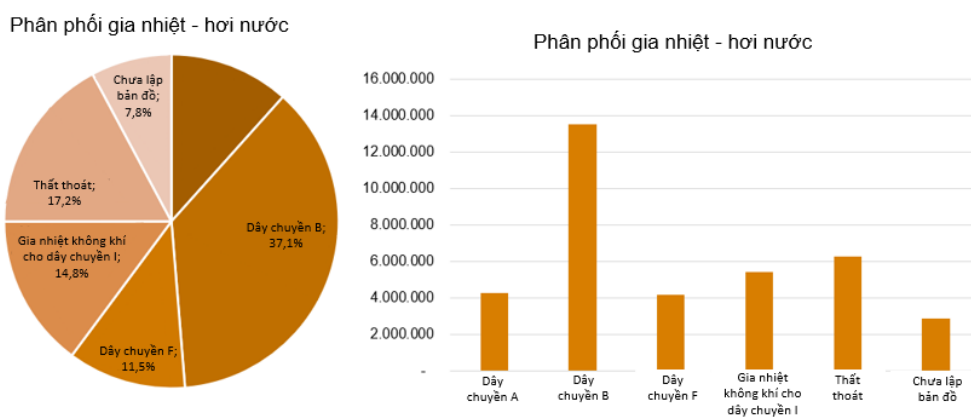
Hình 3. Sơ đồ quy trình lập sơ đồ năng lượng



Một sơ đồ năng lượng mẫu kèm theo hướng dẫn sử dụng, nằm trong Phụ lục của Hướng dẫn Kiểm toán năng lượng được đăng tải trên website Chương trình DEPP3. Trong đó gồm những mô tả chi tiết từng bước của quy trình lập sơ đồ năng lượng, 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 thanh được tạo cho từng hệ thống năng lượng tại cơ sở. Ví dụ, hình dưới đây minh họa các quy trình tiêu thụ nhiệt trong một đơn vị (ví dụ trong Phụ lục 1).

Các biểu đồ này cung cấp một cái nhìn tổng quan về phân bố tiêu thụ nhiệt của toàn bộ nhà máy và giúp xác định những quy trình tiêu thụ năng lượng chính. Trong ví dụ này, các biểu đồ chỉ được tạo ở cấp độ khu vực. Nhưng đối với các nhà máy lớn, chúng cũng có thể được tạo ở cấp độ dây chuyền sản xuất hoặc cho từng phân xưởng/bộ phận riêng lẻ.



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

Một sơ đồ tương tự về nhu cầu làm mát cũng nên được xây dựng trong quá trình lập sơ đồ năng lượng. Trong các hoạt động 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. Nhu cầu làm mát riêng biệt nên 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 trình bày theo cách tương tự như gia nhiệt và làm mát. Việc trình bày nhiệt thải có thể dưới dạng các dòng nhiệt “thất thoát” có tiềm năng sử dụng để gia nhiệt cho các luồng khác. Cách tiếp cận này cho một cái nhìn tổng quan ban đầu về tiềm năng thu hồi nhiệt thải.

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

Với các nhà máy có cấu trúc cung cấp năng lượng phức tạp và 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.

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

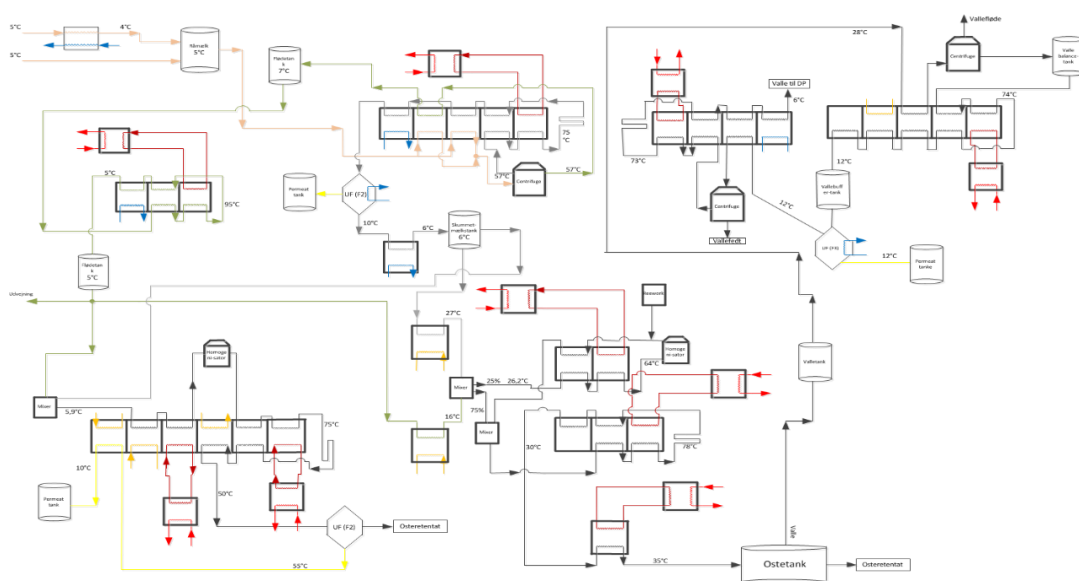
Các hệ thống phức tạp này thường đã có một số hệ thống thu hồi nhiệt, và cần hiểu rõ toàn bộ các hệ thống này để tối ưu hóa việc thu hồi nhiệt tổng thể tại nhà máy. Mục đích của việc lập sơ đồ năng lượng cấp độ tiếp theo là thiết lập một cái nhìn tổng quan về quy trình sản xuất, bao gồm nhu cầu nhiệt,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

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

- Các giải pháp phục hồi nhiệt hiện tại có thể không hiệu quả do bị bám bẩn, bảo trì kém hoặc các lỗi trực tiếp trong hệ thống điều khiển và vận hành.
- Các hệ thống thu hồi nhiệt sẵn 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 dây chuyền riêng lẻ, đặc biệt là nhu cầu gia nhiệt trong các quy trình  $<100^{\circ}\text{C}$  và nhu cầu làm mát  $>30^{\circ}\text{C}$  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 ( $<50^{\circ}\text{C}$ ) – hoặc glycol lạnh được sử dụng để làm mát máy móc ở nhiệt độ cao ( $>50^{\circ}\text{C}$ )

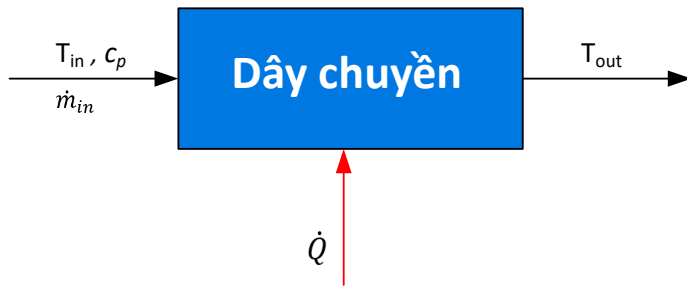
Để lập sơ đồ và hiểu rõ các vấn đề này, bước đầu tiên trong việc lập sơ đồ cấp độ 2 là thiết lập các sơ đồ dây chuyền sản xuất chi tiết xác định tất cả các thiết bị sử dụng năng lượng, dây chuyền sản phẩm và tiêu thụ nhiệt và làm mát trong các dây chuyền riêng biệt cũng như các dòng nhiệt thải trao đổi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

Một ví dụ về sơ đồ quy trình sản xuất như vậy được thể hiện ở hình 5 bên dưới.



Hình 5. Ví dụ về các dây chuyền và trao đổi nhiệt trong một nhà máy sữa

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



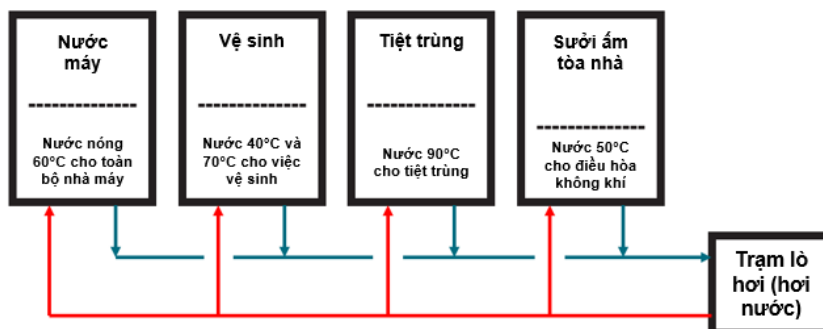
Hình 6. Ví dụ về một quy trình yêu cầu gia nhiệt để thiết lập cân bằng năng lượng

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 đầu vào đã xác định, giải phương trình trên có thể tìm nhiệt độ (T), khối lượng (m) hoặc năng lượng (Q).

Nên thực hiện khảo sát và đánh giá thực địa cho các hệ thống năng lượng để xác định nhiệt độ cần thiết tại các hệ thống có nhu cầu gia nhiệt riêng. Hình 7 dưới đây minh họa một ví dụ, trong đó một nồi hơi cung cấp hơi nước cho các thiết bị tiêu thụ nhiệt dưới 100°C.



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

Một minh họa tương tự có thể thực hiện cho các hệ thống làm mát, nơi có thể phát hiện các hoạt động làm mát nhiệt độ thấp, tồn kém được sử dụng để làm mát các quy trình nhiệt độ cao (ví dụ glycol có thể được sử dụng để làm mát dầu thủy lực).

Kết quả của sơ đồ cấp độ 2 của 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 có là một bảng dữ liệu như Bảng 1.

Quá trình	Nhiệt độ đầu vào (°C)	Nhiệt độ đầu ra (°C)	Lưu lượng công suất (kW/K <sup>2</sup> )	Nóng/lạnh/nhiệt thải
Tiệt trùng Pasteur				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

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

Nước cấp				Lạnh cần được gia nhiệt
Cấp khí cho quy trình cháy				Lạnh cần được gia nhiệt
Xử lý nước				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. Các dòng nhiệt nóng, lạnh và nhiệt thải của từng dây chuyền trong một nhà máy

Trong Bảng 1, lưu lượng công suất được định nghĩa là lưu lượng của chất lỏng nhân với nhiệt dung của chất lỏng. Lưu lượng công suất biểu thị lượng năng lượng cần thiết/phát ra để thay đổi nhiệt độ của dòng chảy lên 1 độ. Việc thực hiện thu thập dữ liệu này thiết lập cơ sở đánh giá tiềm năng thu hồi nhiệt toàn diện trong một cơ sở. Việc này được thực hiện với giả định rằng hiện tại đang không áp dụng giải pháp thu hồi nhiệt nào. 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.

### 1.2.3 Các khoảng nhiệt độ

Để xử lý giải pháp phức tạp, gồm nhiều giải pháp trao đổi nhiệt khác nhau, nên áp dụng cách tiếp cận từng bước để hiểu rõ tiềm năng thu hồi nhiệt.

Bước đầu tiên là trình bày dữ liệu từ bảng 1 ở trên trong cùng một bảng, đồng thời 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.

Heating consumption											Temperature Intervals													
Section	Process	Medium	Stream no	Temp. In °C	Temp. Out °C	Mass flow t/yr	Dry matter %	Cp kJ/KgK	KPI kWh/ton	Consumption kWh	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Production line 1	Process A	Product	1	20	50	125.000	5,0%	4,06		4.228.440														
Production line 1	Process B	Product	2	50	100	135.000	5,0%	4,08	100,00	13.500.000														
Production line 1	Process D	Product	4	45	50	101.250	5,0%	4,07		800.000														
Production line 2	Process F	Product	6	20	60	125.000	50,0%	3,00		4.168.389														
Production line 2	Heating air for Proc	Product	9.1	20	80	134.938	44,9%	3,17	40,00	5.397.500														
Support system 1	Support system 1	Water	11	20	50	26.000	0,0%	4,18		905.667														
<b>TOTAL</b>										<b>28.999.996</b>														

Cooling consumption											Temperature Intervals													
Section	Process	Medium	Stream no	Temp. In °C	Temp. Out °C	Mass flow t/yr	Dry matter %	Cp kJ/KgK	KPI kWh/ton	Consumption kWh	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Production line 1	Process C	Product	3	75	20	135.000	5,0%	4,07		8.386.860														
Production line 1	Process E	Product	5	30	12	101.250	5,0%	4,05	30,00	3.037.500														
Production line 2	Process H	Product	8	55	15	158.750	5,0%	4,06		9.000.000														
Production line 2	Process J	Product	10	50	15	80.821	75,0%	2,35		1.845.256														
<b>TOTAL</b>										<b>22.269.615</b>														

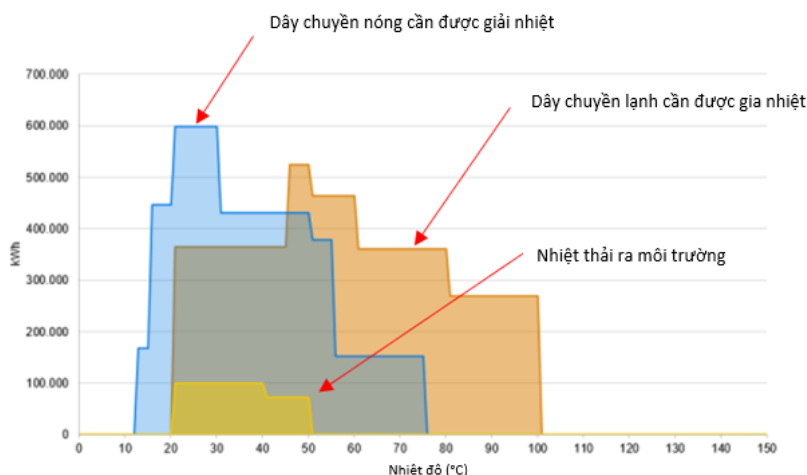
Waste heat potential											Temperature Intervals													
Section	Process	Medium	Stream no	Temp. In °C	Temp. Out °C	Mass flow t/yr	Dry matter %	Cp kJ/KgK	KPI kWh/ton	Consumption kWh	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Production line 1	Process E	Product	5.1	50	20	5.000	0,0%	4,18		174.167														
Production line 2	Process H	Product	8.1	40	20	23.813	0,0%	4,18		552.979														
Production line 2	Process I	Air	9.2	50	20	54.117	0,0%	1,01		2.000.000														
<b>TOTAL</b>										<b>2.727.146</b>														

Hình 8. Ví dụ về việc lập sơ đồ tải nhiệt trong một nhà máy gồm các khoảng nhiệt độ.

Minh họa trên (các thanh màu xanh lá cây ở cột cuối cùng bên phải) cho ấn tượng đầu tiên về các kết hợp thu hồi nhiệt khả thi dựa trên mức nhiệt độ.

#### 1.2.4 Các đường cong nhiệt độ và tải

Để xử lý mức độ phức tạp của tiềm năng thu hồi nhiệt, cần thực hiện đánh giá sơ bộ về tiềm năng bằng cách thiết lập tổng hợp các tải nhiệt và làm mát trong nhà máy theo từng khoảng nhiệt độ, như minh họa 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 phân tích trong bảng 1 trên) ở các mức nhiệt riêng. Biểu đồ có thể được xây dựng bằng cách tính tổng tất cả các tải nóng/lạnh (kWh) theo các bước nhiệt độ 10-15°C, 15-20°C, 20-25°C, v.v., như được minh họa trong các khoảng nhiệt độ trong hình 7. Biểu đồ có thể được xây dựng thông qua áp dụng mẫu Excel hướng dẫn lập sơ đồ được mô tả trong Phụ lục 1.

Biểu đồ trong hình 9 cung cấp cái nhìn tổng quan về các quy trình nhiệt của nhà máy, trong đó có thể thấy:

- Các nhu cầu nhiệt trong nhà máy ("bể chứa" hoặc các dây chuyền "lạnh" cần gia nhiệt) đều xảy ra ở nhiệt độ tương đối thấp dưới 100°C.
- Khi xác định nguồn nhiệt phù hợp, điều bất ngờ là thường tất cả các nhu cầu gia nhiệt hiện đang được cung cấp bằng hơi.
- Trong trường hợp này, đối với nhà máy, lượng làm mát đáng kể của các quy trình "nóng" ("nguồn") xảy ra ở nhiệt độ trên 30°C, cho thấy tiềm năng thu hồi nhiệt thải để gia nhiệt.
- 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.

Các công cụ và phương pháp trên được mô tả trong tài liệu<sup>3</sup>.

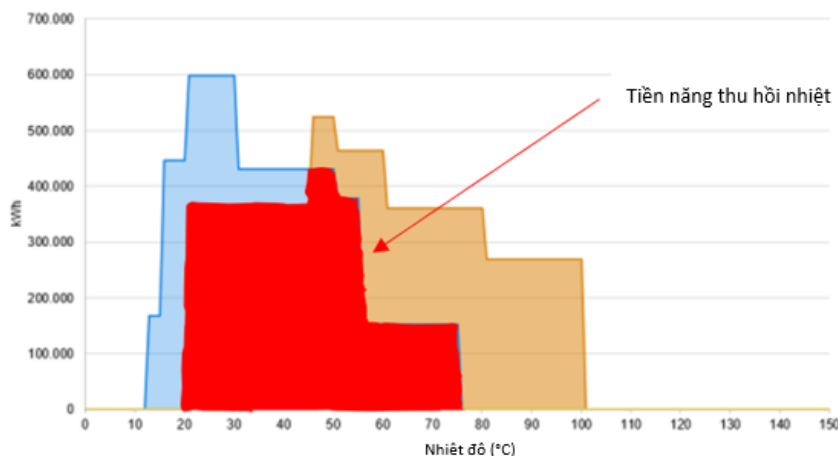
#### 1.2.5 Tiềm năng thu hồi nhiệt lý thuyết

Minh họa đơn giản cho tiềm năng thu hồi nhiệt trong một nhà máy là xem xét sự chồng lấp giữa các dòng "nóng" và "lạnh" trong hình 9.

<sup>3</sup> Phương pháp cơ bản để phân tích thu hồi nhiệt được gọi là Phân tích điểm Pinch, tham khảo [https://en.wikipedia.org/wiki/Pinch\\_analysis](https://en.wikipedia.org/wiki/Pinch_analysis)

Trong các khoảng nhiệt độ mà các dây chuyền “nóng” cần làm mát có nhiệt độ cao hơn các dây chuyền “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 đại diện cho tiềm năng thu hồi nhiệt.

Như minh họa ở trên, nhiều khả năng tiềm năng thu hồi nhiệt lý thuyết có thể tới 30-50% (hoặc nhiều hơn), nghĩa là 30-50% (hoặc hơn) mức tiêu thụ nhiên liệu để gia nhiệt có thể được tiết kiệm bằng cách áp dụng các thiết bị trao đổi nhiệt (HENs). Quan trọng là nhu cầu làm mát sẽ giảm, cũng là kết quả của việc thu hồi nhiệt. Đây thường là một yếu tố quan trọng khi cân nhắc bài toán kinh tế của giải pháp thu hồi nhiệt.

Để tính toán chính xác và chi tiết tiềm năng thu hồi nhiệt, với dữ liệu như trong bảng 1, có thể áp dụng Kỹ thuật điểm Pinch (Pinch-Point Technology). Nguyên lý của kỹ thuật này và các đánh giá chuỗi liên quan đến tiềm năng thu hồi nhiệt dựa trên các nguyên lý tương tự như mô tả ở trên rất phức tạp, nhiều chi tiết và không được miêu tả trong tài liệu này.

### 1.2.6 Hiểu về tiềm năng thu hồi nhiệt lý thuyết

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

Do đó, 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 dây chuyền qua các khoảng cách dài, và cuối cùng, có thể yêu cầu lắp thêm các bể chứa nhiệt nóng và lạnh để cân bằng khác biệt về giờ hoạt động giữa các xưởng khác.

Mặc dù vậy, mục tiêu tiềm năng thu hồi nhiệt tối đa là cơ sở giá trị để đánh giá các giải pháp thực tế phức tạp hơn, giúp so sánh các giải pháp đề xuất với các giá trị mục tiêu tổng thể của việc thu hồi nhiệt.

## 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 hoạt động 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 ngành công nghiệp đã mở rộng quy mô 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) với 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 Kỹ thuật Pinch trong quá trình phát triển dự án.

Chương 2 trình bày một số ví dụ từ quốc tế về thu hồi nhiệt, đồng thời cũng giới thiệu một số phương pháp chọn lựa 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
- Công nghiệp xi măng
- Chế biến gỗ
- Sắt-Thép

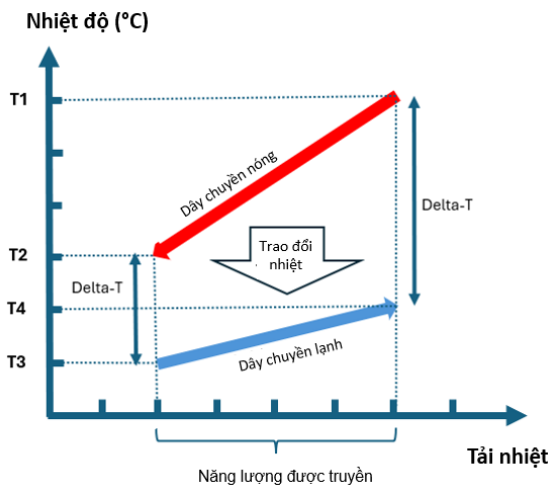
Trong các ngành trên, và cả các ngành phức tạp hơn, các câu hỏi để để xác định các giải pháp thu hồi nhiệt có thể bao gồm:

- Các giải pháp thu hồi nhiệt hiện tại đang hoạt động tốt không?
- Các giải pháp thu hồi nhiệt hiện tại có gây trở ngại cho các giải pháp tốt hơn không?
- Có thể áp dụng thu hồi nhiệt tại chỗ cho từng dây chuyền riêng lẻ không?
- Có thể áp dụng các nguồn nhiệt thải khác không? – có khả năng sử dụng máy 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, thường thấy các thiết bị trao đổi nhiệt 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 thiết kế mẫu thông thường (xem hình 1 ở trên/dưới).



Kết quả tính toán Delta-T thấp nhất đo được hoặc tính toán được tại mỗi thiết bị trao đổi nhiệt đại diện cho mức độ hiệu quả của thiết bị. Giá trị này nên thấp hơn 10°C cho hầu hết các loại thiết bị trao đổi nhiệt.

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

Bước đầu tiên và cơ bản để cải thiện hệ thống thu hồi nhiệt trong một đơn vị là xem liệu các thiết bị trao đổi nhiệt hiện tại có đang hoạt động tốt, có thể cải thiện được bằng cách lắp đặt thiết bị trao đổi nhiệt mới hoặc làm sạch các thiết bị hiện có không. Lợi ích từ những hoạt động này sẽ có thể rất đáng kể.

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

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

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 nhiệt độ cao cho các nhu cầu nhiệt 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 nếu áp dụng theo cách khác thì có tốt hơn không.

- Thu hồi nhiệt cục bộ cho các dây chuyền riêng lẻ

Thường thì các quá trình riêng lẻ có thể áp dụng trao đổi nhiệt "cục bộ", nơi đầu ra của một quá trình có thể dùng để tiền gia nhiệt cho chính đầu vào của quá trình đó.

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

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 nhiều quá trình kết hợp với nhau có thể đạt 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 (HENs).

- *Các nguồn nhiệt thải khác? – ứng dụng máy bơm nhiệt?*

Khi các tiềm năng mô tả ở trên đã được xem xét, đánh giá và thậm chí cùng đã được sử dụng, nhưng vẫn còn một số nguồn nhiệt thải có thể vẫn chưa được tận dụng hết, trả lời câu hỏi này là bước đánh giá cuối cùng.

Những tiềm năng còn lại này thường được tìm thấy ở mức nhiệt độ thấp, đòi hỏi sử dụng máy bơm nhiệt để nâng 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 xác định các tiềm năng thu hồi nhiệt có tính khả thi cao và tiết kiệm chi phí nhất tại một doanh nghiệp. 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 đại diện cho tiềm năng tiết kiệm tương ứng với tiềm năng thu hồi nhiệt lý thuyết đã xác định hay không. Nếu không, các nguyên lý trao đổi nhiệt nói trên đã bị vi phạm và cần tìm kiếm lại các giải pháp tối ưu hơn.

### **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 Kỹ thuật Pinch) chủ yếu liên quan đến 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, 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 có thể đưa ra một số khuyến nghị:

- 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 tương đối thấp trong lĩnh vực này, phần lớn tiềm năng thực tế sẽ được tìm thấy trong việc áp dụng máy 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 rất khác nhau giữa các phân ngành.

Đối với các khu phức hợp hóa chất lớn, các giải pháp tiêu chuẩn đặc thù dành cho từng phân ngành thường là trọng tâm chính và các giải pháp được khuyến nghị bởi các nhà cung cấp ưu tiên có kinh nghiệm trong ngành do có các đánh giá rủi ro và đảm bảo cam kết.

Tuy nhiên, dựa trên các kinh nghiệm đã áp dụng thực tế, các thiết bị trao đổi nhiệt hiện có trong các ngành được nêu trên đang hoạt động với giá trị delta-T tương đối cao, thể hiện một số tiềm năng cải tiến 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 trong ngành và việc thực hiện một phân tích Pinch-Point truyền thống sẽ rất khó thực hiện.

Tuy nhiên, các loại thiết bị trao đổi nhiệt mới đã được phát triển trong vài năm qua (các thiết bị trao đổi nhiệt dạng tấm hoàn toàn hàn kín), 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 trong ngành thường được áp dụng, do đó để lại tương đối ít cơ hội mở ra 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 máy bơm nhiệt có vẻ hấp dẫn khi xét về góc độ hiệu quả năng lượng và giảm phát thải CO<sub>2</sub>, nên lưu ý tới một số khía cạnh thực tế khi áp dụng các giải pháp này, trước hết là:

- Có thể đáp ứng phần lớn nhu cầu nhiệt trong nhà máy bằng hệ thống gia nhiệt bằng hơi nước, bất kể nhiệt độ cần được gia nhiệt 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 vệ sinh.

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

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

Điều này có thể làm hỏng một phương 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 được tính vào phương án kinh tế – đã có một số giải pháp 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 quá trình nóng và lạnh để tích hợp có thể là rào cản kỹ thuật lớn, hệ thống ống dẫn dài làm giảm tính hấp dẫn về mặt kinh tế khi phải tăng thêm chi phí đầu tư.

Hơn nữa, các doanh nghiệp công nghiệp thường khá e 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 này có thể dẫn tới các ràng buộc mới, hạn chế tính linh hoạt trong sản xuất.

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

Thường có một giới hạn dưới về cả năng lượng và công suất khiến việc tích hợp một nguồn hoặc bồn chứa 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 hoặc bồn chứa không thể mở rộng, 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 cho quy trình gia nhiệt sẽ bao gồm lắp đặt các thiết bị trao đổi nhiệt cùng với lưu lượng sản phẩm ở một bên và dòng chất gia nhiệt ở bên kia.

Trong 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 coi đây là rủi ro. Một giải pháp luôn khả thi là lắp đặt một mạch trung gian để chuyển 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 và bồn tiếp nhận nhiệt.

- Trong một số quá trình, vận hành không chính xác có thể giải phóng lượng nhiệt dư thừa lớn có tiềm năng 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 nên luôn được vận hành ở 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 máy bơm nhiệt để nâng nhiệt độ lên mức phù hợp.

## 1.5 Cơ sở lý luận của các giải pháp bơm nhiệt

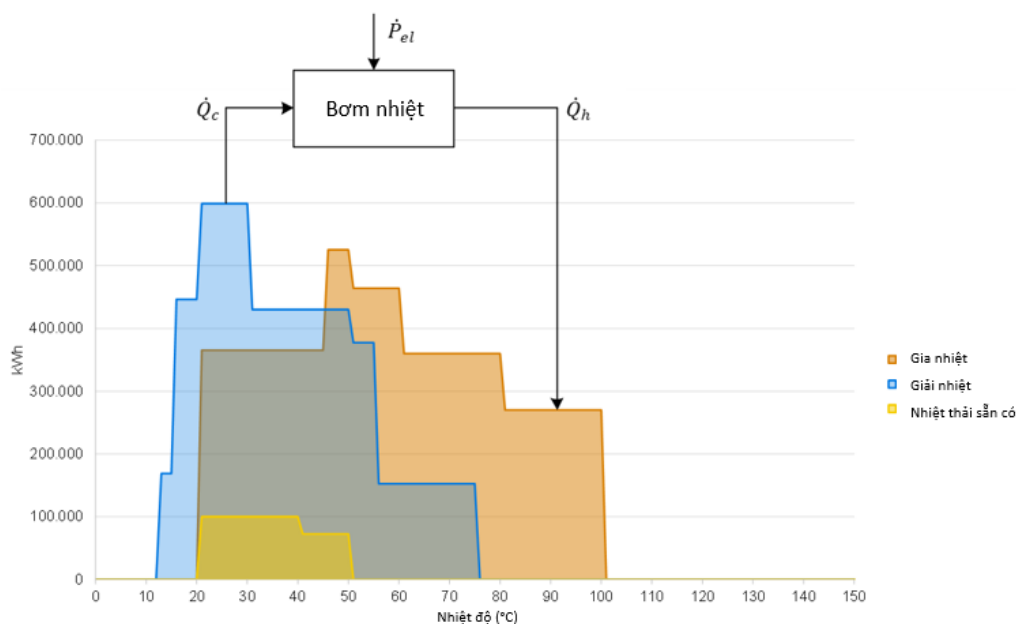
Trong nhiều ngành công nghiệp, hầu hết nhiệt thải có sẵn đều ở mức nhiệt độ tương đối thấp, khoảng 30 - 60°C, ví dụ:

- Trong tháp giải nhiệt
- Trong các thiết bị ngưng tụ của hệ thống làm 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, áp dụng máy bơm nhiệt có thể nâng nhiệt độ của nhiệt thải lên tới 80 – 90°C, khoảng nhiệt có tiềm năng sử dụng cao hơn nhiều. Máy bơm nhiệt cũng có khả năng làm mát một số quá trình. 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 11 dưới đây.



Hình 11. Ví dụ về tiềm năng thu hồi nhiệt bao gồm một bơm nhiệt

Đối với trường hợp được minh họa trong hình 11, phần lớn nhu cầu gia nhiệt trong nhà máy có thể được đáp ứng bằng nhiệt thải khi tích hợp một bơm nhiệt có thể sản xuất ra 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), sẽ phải lắp đặt thêm như sau:

- Một vòng nước làm mát thu nhiệt thải từ các nguồn khác nhau.

Vòng nước làm mát này sẽ được lắp đặt song song với một hệ thống glycol hiện có, có thể làm mát một số quá trình xuống nhiệt độ mục tiêu thấp hơn.

- Một vòng nước nóng cung cấp nhiệt được sản xuất cho các quá trình khác nhau.

Vòng nước nóng này sẽ được lắp đặt song song với hệ thống cung cấp hơi nước hiện có, có thể gia nhiệt cho các quá trình nhiệt độ mục tiêu cao hơn so với nhiệt độ do bơm nhiệt cung cấp (90°C).

- Trạm bơm nhiệt tích hợp vòng nước làm mát và vòng nước nóng, sản xuất nhiệt với 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 trong tải làm nóng và làm mát cho nhiều 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 dây chuyền riêng lẻ - ví dụ cho các hệ thống sấy lớn, nơi 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, do 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 nếu giá điện tương đối cao và giá nhiên liệu tương đối rẻ, ví dụ 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 được sản xuất từ nguồn năng lượng đất 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 quả tốt (>3.5)
  - o Chênh lệch nhiệt độ giữa “nguồn” và “bể chứa” không nên vượt quá 50°C
- Lắp đặt đơn giản
  - o Ưu tiên bộ trao đổi nhiệt giữa nước với nước
- Kết hợp gia nhiệt và giải nhiệt
  - 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 năng suất, cải thiện chất lượng, v.v.
- Yêu cầu hoạt động trung hòa CO<sub>2</sub> từ khách hàng của doanh nghiệp
  - o Hoặc thậm chí yêu cầu doanh nghiệp chứng minh hiệu quả cải thiện năng lượng

Một khía cạnh quan trọng là có thể thiết lập lắp đặt bơm nhiệt cùng với máy phát điện mặt trời hoặc tuabin gió để cung cấp nhiệt từ bơm nhiệt, như vậy có thể được coi là giải pháp trung hòa carbon.

Giải pháp này đang thu hút rất nhiều sự chú ý ở châu Âu trong những năm gần đây, nơi mà chiến lược loại bỏ sử dụng nhiên liệu hóa thạch đã trở thành một trong những trọng tâm của ban quản lý của nhiều doanh nghiệp công nghiệp. Ở châu Âu, một phần lớn điện trong lưới điện được coi là trung hòa carbon nhờ ứng dụng rộng rãi của điện mặt trời, điện gió và năng lượng hạt nhân.

### 1.5.1 Tổng quan về các môi chất làm 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 tiến hành nhằm phát triển các bơm nhiệt có thể cung cấp nhiệt độ cao – ưu tiên tiêu thụ hơi nước.

Mặc dù việc phát triển rất hứa hẹn, vẫn còn nhiều hạn chế đáng kể trong các giải pháp hiện có.

Bảng 2 dưới đây cho thấy 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
Máy bơm nhiệt truyền thống dựa trên amoniac (NH <sub>3</sub> )	x			
Máy bơm nhiệt mới và môi chất làm lạnh CO <sub>2</sub>	x	x	Nhà máy thử nghiệm 100 kW đang hoạt động	
Máy bơm nhiệt dựa trên các dẫn xuất carbon	x	x	Nhà máy thử nghiệm 1,5 MW đang hoạt động	Nhà máy thử nghiệm 2 MW đang hoạt động

Máy bơm nhiệt với môi chất làm lạnh tổng hợp mới	x	Nhà máy thử nghiệm 2 MW đang hoạt động		
Máy bơm nhiệt dạng hỗn 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)

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 lên tới 95°C, đây được coi là “công nghệ có sẵn tốt nhất” (BAT) trong việc ứng dụng công nghệ bơm nhiệt này.
- Các bơm nhiệt CO<sub>2</sub> sẽ hiệu quả cho một số mục đích, nhưng cần có sự trượt nhiệt độ lớn cho môi chất dẫn nhiệt cả ở phía lạnh và phía ấm của bơm nhiệt để đạt hiệu suất tốt.
- Ngoài châu Âu – ví dụ tại Nhật Bản – có các giải pháp cung cấp nhiệt ở nhiệt độ cao hơn (và cho sản xuất hơi nước), điều này về mặt kỹ thuật rất thú vị, nhưng sẽ rất khó khăn về mặt môi trường vì các giải pháp này sử dụng môi chất làm lạnh có khả năng làm suy giảm ozone đáng kể.

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, do đó 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 yêu cầu nhiệt thải ở nhiệt độ cao, do đó rất ít 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 là đơn giá nhiệt sẽ cao.

Đối với một số mục đích quy mô lớn (>10 MW), có thể xem xét các bơm nhiệt sản xuất hơi nước quy mô lớn mới của các nhà cung cấp quốc tế như MAN, Siemens, v.v. Ví dụ trong các doanh nghiệp hóa chất lớn, cần gia nhiệt 8.760 giờ mỗi năm và giá trị COP từ 2-3, phương án này có thể được chấp nhận.

Đối với những trường hợp này, có thể xem xét các bơm nhiệt sản xuất hơi nước cho hoạt động tải cơ bản, nhưng CAPEX hiện tại cho lắp đặt tương đối cao. Đồng thời cần lắp đặt cả lò hơi điện để đáp ứng cho nhu cầu cao điểm.

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

Tính chất và nhiệt độ của nhiệt thải/nhiệt thừa và việc làm mát các quá trình "nóng" là rất khác nhau giữa các ngành công nghiệp. Bảng 3 dưới đây cho thấy một số ví dụ về các nguồn nhiệt điển hình trong các ngành. Tuy nhiên, ngay cả trong một ngành cụ thể, các phân ngành nhỏ có thể sẽ có tính chất khác nhau.

Loại ngành	Quá trình	Nhiệt độ
<b>Ngành thực phẩm và dịch vụ ăn uống</b>	Lò sấy	100-200°C
	Bay hơi	40-70°C
	Lò đun	100°C
	Tháp giải nhiệt	30-40°C
	Công đoạn làm mát	30-80°C
	Lò hơi (khí thải)	100-250°C
	Nước thải	15-40°C
	Khí nén	60-80°C
<b>Ngành công nghiệp hóa chất</b>	Lò sấy	100-200°C
	Bay hơi	40-70°C
	Chưng cất	80-100°C
	Tháp giải nhiệt	30-40°C
	Công đoạn làm mát	30-80°C
	Lò hơi (khí thải)	100-250°C
	Nước thải	15-40°C
	Khí nén	60-80°C
<b>Ngành công nghiệp xi măng</b>	Lò quay	900°C
	Xyclon	400°C
	Nghiền thô	100°C
	Nghiền xi măng	60°C
	Làm mát khí thải	350°C
	Làm nguội clanke	600°C
	Khí nén	60-80°C
<b>Ngành dệt may</b>	Sấy	100-200°C
	Nhuộm	50-80°C
	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	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
	Tiền sấy	60-150°C
	Tráng men	60-80°C
	Nước thải	15-80°C
	Khí nén	60-80°C
<b>Ngành sắt - thép</b>	Lò hồ quang	400-800°C
	Lò cảm ứng	600-1200°C
	Lò nung phôi	200-600°C
	Làm mát khuôn đúc	80-150°C
	Nước làm mát	50-80°C
	Khí thải từ bộ làm sạch	60-80°C
	Nước thải	15-40°C
	Khí nén	60-80°C

Bảng3. Ví dụ về các nguồn nhiệt thải trong các ngành công nghiệp khác nhau

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

Trên thực tế, thu hồi nhiệt và ứng dụng 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:

- Tối ưu hóa các hệ thống trao đổi nhiệt hiện có
- Quy trình làm mát được coi như một nguồn nhiệt
- Tận dụng các nguồn nhiệt thải ấm
- Quá trình được tích hợp bơm nhiệt
- Kết hợp gia nhiệt và giải nhiệt
- Dây chuyền tích hợp MVR
- Các sơ đồ thu hồi nhiệt tập trung
- Vận hành và bảo trì các hệ thống trao đổi nhiệt

Các ví dụ được thu thập từ các doanh nghiệp công nghiệp châu Âu với thời gian hoàn vốn, do đó, có thể khác với các doanh nghiệp công nghiệp Việt Nam. Tuy nhiên, các cơ hội kỹ thuật tương tự với những gì đã được xác định về tiềm năng tại Việt Nam và này có thể được sao chép rộng rãi.

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

Nhiều quá trình và hệ thống 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 tiết trùng trong ngành chế biến thực phẩm đều được xây dựng với khả năng thu hồi nhiệt giữa lưu lượng sản phẩm lạnh khi vào đơn vị tiết trùng và lưu lượng sản phẩm nóng khi rời khỏi đơn vị.

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 đã thay đổi đáng kể như lưu lượng sản phẩm và nhiệt độ, khiến thiết bị không 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 còn 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 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 có 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 tiêu chuẩn tốt nhất cho môi trường và thiết bị trao đổi nhiệt cụ thể. Bảng 4 dưới đây



minh họa ví dụ về các tiêu chuẩn thiết kế 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 (Sheel & Tube)	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
Cánh tản nhiệt (Fin)	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 thực tiễn tốt nhất cho các công nghệ trao đổi nhiệt khác nhau*

Nên luôn luôn xem xét lại các thiết bị trao đổi nhiệt hiện có và kiểm tra xem chúng đang hoạt động với delta-T như thế nào, từ đó quyết định xem có tồn thất đáng kể trong tiềm năng thu hồi nhiệt do hiệu suất kém của thiết bị trao đổi nhiệt 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**

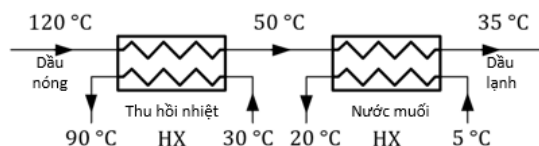
Tại một nhà máy sản xuất thực phẩm và dầu mỹ phẩm, phần cuối cùng của dây chuyền sản xuất bao gồm việc làm mát dầu từ 120°C xuống nhiệt độ ≈35°C.

Hiện tại, công đoạn làm mát này diễn ra trong hai giai đoạn sử dụng hai thiết bị trao đổi nhiệt 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 phải sử dụng thiết bị trao đổi nhiệt giai đoạn thứ hai bằng nước biển.

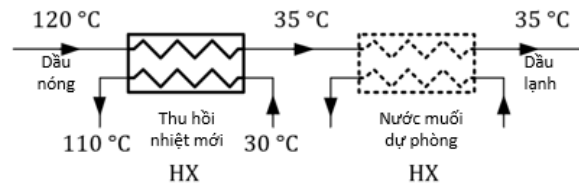
Hoạt động hiện tại của hệ thống được minh họa trong hình 12 dưới đây.



*Hình 12. Hệ thống trước khi tiến hành thu hồi nhiệt.*

Bằng cách thêm nhiều 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 tấm lên 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 13 dưới đây.



Hình 13. Hình ảnh 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 kinh tế hàng năm [k€/năm]	CAPEX [k€]	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 nhà máy sản xuất dầu thực vật

Trong trường hợp giai đoạn làm mát thứ hai được thực hiện bằng 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 giảm đi rất ngắn (< 6 tháng).

## 2.2 Coi quá trình làm mát như một nguồn nhiệt

Nhìn chung, quá trình gia nhiệt trong các doanh nghiệp công nghiệp hầu như luôn đi kèm một quá trình làm mát, giải phóng một lượng nhiệt nhất định cần thiết cho quá trình gia nhiệt ban đầu. Phần nhiệt còn lại của 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 thập nhiệt có thể được sử dụng 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 (“line walk”) và lập bản đồ các dây chuyền đang được làm mát và nhiệt độ mà nhiệt có thể giải phóng – tức là để điền vào các hàng “nóng cần được làm mát” trong bảng 4 trên đây.

Trong quá trình lập bản đồ này, cần phân biệt giữa quá trình làm mát thực hiện bằng các thiết bị máy lạnh và quá trình làm mát được thực hiện qua các tháp giải nhiệt (“làm mát tự nhiên”).

Quá trình làm mát thường xảy 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 quá trình làm mát**

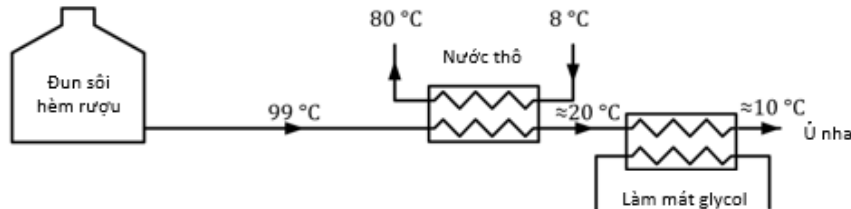
Trong sản xuất bia, một dung dịch đường mạch nha (gọi là “hèm rượu”) và hoa bia được đun sôi trong khoảng một giờ với nhu cầu nhiệt cao.

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 quá trình đun sôi và trước khi chuyển đến các dây chuyền lên men.

Tại một nhà máy bia, nước thô ở 8°C đã được làm nóng đến 80°C bằng cách làm mát hèm rượu nóng, (hình 13). Nước sản xuất được làm nóng (heated raw water) được sử dụng cho các mẻ bia tiếp theo và được lưu trữ trong các bể nước nóng để cân bằng khác biệt về thời gian giữa các dây chuyền. Việc làm nóng nước sản xuất làm mát

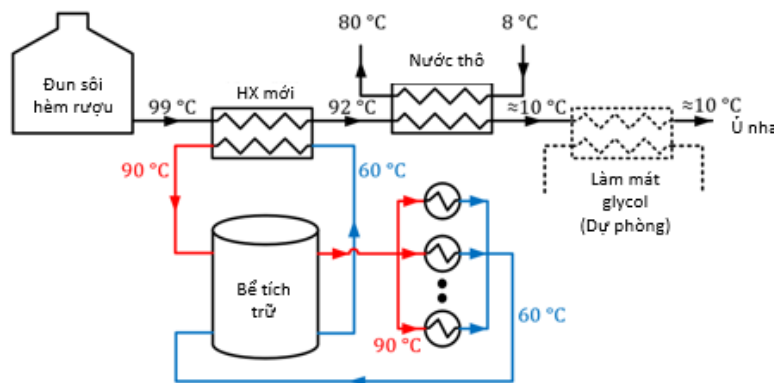
hèm rượu đã đun sôi xuống  $\approx 20^{\circ}\text{C}$  và thiết bị trao đổi nhiệt làm mát hèm rượu bổ sung làm mát xuống  $10\text{-}15^{\circ}\text{C}$  với vòng làm mát tuần hoàn bằng glycol.

Giải pháp hiện có được minh họa trong hình 14 dưới đây.



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

Một hệ thống thu hồi nhiệt mới cần được giới thiệu tại đơn vị 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  $62^{\circ}\text{C}$  lên  $90^{\circ}\text{C}$  trong khi làm mát hèm rượu đã đun sôi từ  $99^{\circ}\text{C}$  xuống  $92^{\circ}\text{C}$  như minh họa trong hình 15 dưới đây.



Hình 15. Hệ thống sau khi thu hồi nhiệt.

Vòng nước được làm nóng cũng được cung cấp nhiệt từ quá 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 sản xuất đã được làm mát xuống nhiệt độ yêu cầu  $10\text{-}15^{\circ}\text{C}$  bởi thiết bị trao đổi nhiệt nước thô hiện có.

Do đó, giải pháp thu hồi nhiệt giúp tiết kiệm cả nhiên liệu cho hệ thống gia nhiệt và điện cho các hệ thống làm mát. Ví dụ phương án 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 kinh tế hàng năm [k€/năm]	CAPEX [k€]	Thời gian hoàn vốn [năm]
2750	750	3500	120	90	0.8

Bảng 6. Các chỉ số chính cho 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 quá trình gia nhiệt 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 Sử 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 ẩm, ấm.
- Trong một số ngành công nghiệp thực phẩm, các máy sấy tạo ra lượng lớn không khí ẩm, ấm.
- Trong ngành công nghiệp xi măng, lò nung và máy làm mát clanke thải không khí ẩm ra môi trường.
- V.v.

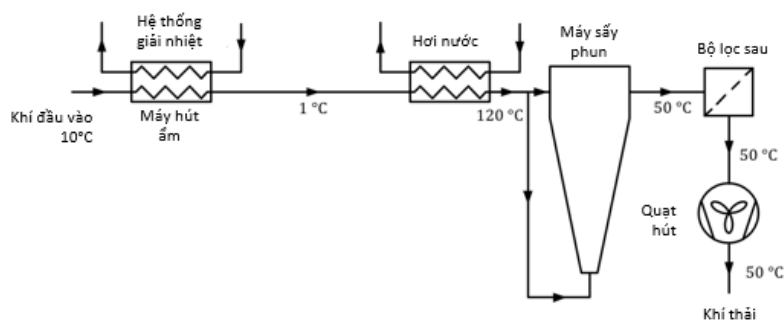
Sử dụng các nguồn nhiệt như vậy rất hiệu quả khi các nguồn nhiệt khác chứa bụi từ quá trình sấy, yêu cầu làm sạch trước khi sử dụng.

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

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

Trong quá trình này, nước bay hơi từ sản phẩm dưới dạng độ ẩm trong không khí được đưa đến ống khói thải. Tại điểm đầu vào 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 sưởi. 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 16 dưới đây.



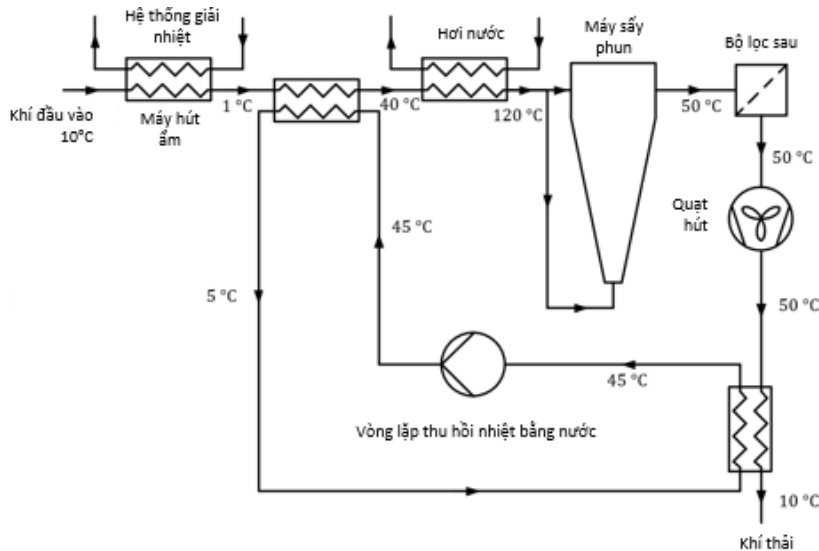
Hình 16. Hệ thống trước khi thu hồi nhiệt.

Để giảm tiêu thụ hơi nước, một hệ thống thu hồi nhiệt liên kết lồng được đưa vào để truyền nhiệt từ không khí thải ấm, ẩm sau bộ lọc túi đến đun nóng lại không khí được hút ẩm vào máy sấy.

Do đó, hai thiết bị trao đổi nhiệt mới được bổ sung trong dây chuyền, trong đó một bộ nằm 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. Không khí thải làm nóng nước, sau đó nước được bơm đến đầu vào nơi nó thực hiện tiền gia nhiệt 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  $120^\circ\text{C}$ . Không khí thải được thải vào khí quyển ở  $\approx 10\text{ K}$  cao hơn nhiệt độ không khí đầu vào.

Nguyên lý của giải pháp này được thể hiện trong hình 17 dưới đây.



Hình 17. 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 kinh tế hàng năm [k€/năm]	CAPEX [k€]	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 ngành công nghiệp phải lắp đặt bộ lọc túi tương đối đắt tại đầu ra để không làm tắc nghẽn bộ trao đổi nhiệt với bụi. Dù vậy, nhiều doanh nghiệp công nghiệp Việt Nam đã lắp đặt giải pháp trên.

## 2.4 Quá trình tích hợp bơm nhiệt

Trong các quy trình như dây chuyền sấy phun được minh họa ở trên, tiềm năng thu hồi nhiệt giữa đầu vào và đầu ra có thể được tăng cường bằng cách sử dụng nhiệt thải như một nguồn nhiệt cho bơm nhiệt, sản xuất nhiệt ở nhiệt độ cao hơn nhiều.

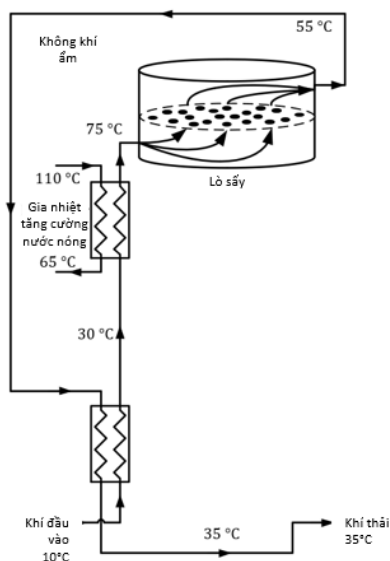
Thông thường, các bơm nhiệt truyền thống có thể cung cấp nhiệt lên đến 90°C, từ đó tạo ra cơ hội bao phủ một tỷ lệ lớn hơn của quá trình gia nhiệt bằng cách sử dụng nhiệt thải.

Như đã giải thích trong các phần trước của hướng dẫn, lợi ích này đi kèm với chi phí điện phát sinh thêm cho việc 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 ở cuối quy trình ủ nha. Thực tế phổ biến sử dụng lò sấy với diện tích lớn, nơi không khí nóng ở  $\approx 75^{\circ}\text{C}$  được thổi qua một lớp ngũ cốc để đảm bảo sấy đồng đều. Không khí nóng khô đi vào máy sấy sẽ loại bỏ nước từ ngũ cốc, khiến không khí trở nên ẩm hơn ở nhiệt độ thấp hơn và sau đó được dẫn ra ngoài khí quyển.

Nguyên lý này được minh họa trong hình 18 dưới đây.

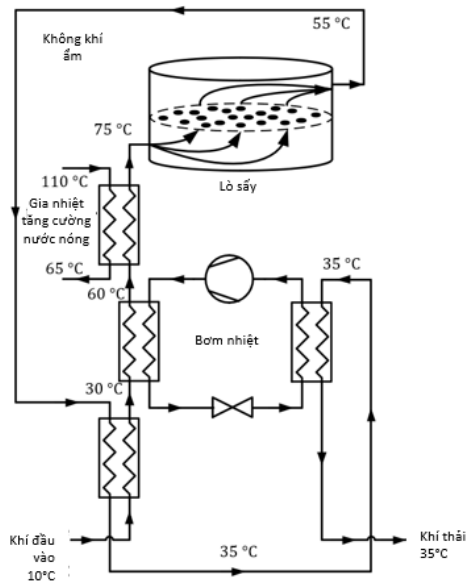


Hình 18. Hệ thống sấy mạch nha trước khi lắp đặt bơm nhiệt để thu hồi nhiệt.

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

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

Dưới đây, giải pháp thu hồi nhiệt 2 giai đoạn được minh họa như sau.



Hình 19. 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 đắt đỏ với thời gian hoàn vốn tổng thể khoảng 5 năm.

Tiết kiệm khí đốt tự nhiên [MWh/năm]	Tăng điện tiêu thụ [MWh/năm]	Tổng tiết kiệm năng lượng [MWh/năm]	Tiết kiệm kinh tế hàng năm [k€/năm]	CAPEX [k€]	Thời gian hoàn vốn [năm]
60000	16000	44000	970	5100	5.3

Bảng 8. Các chỉ số chính cho việc lắp đặt bơm nhiệt tích hợp quy trình trong lò sấy mạch nha.

Các giải pháp tương tự có thể được bổ sung cho nhiều loại giải pháp khác nhau và nhiều doanh nghiệp công nghiệp châu Âu hiện đang cân nhắc các giải pháp này để loại bỏ việc 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 làm lạnh toàn diện được vận hành để làm mát dây chuyền trong khi cũng cần nhiệt ở nhiệt độ tương đối thấp (<50°C), chẳng hạn như để tiền gia nhiệt cho các quy trình và nguyên liệu thô hoặc để gia nhiệt nước phục vụ việc vệ sinh (hệ thống CIP)

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

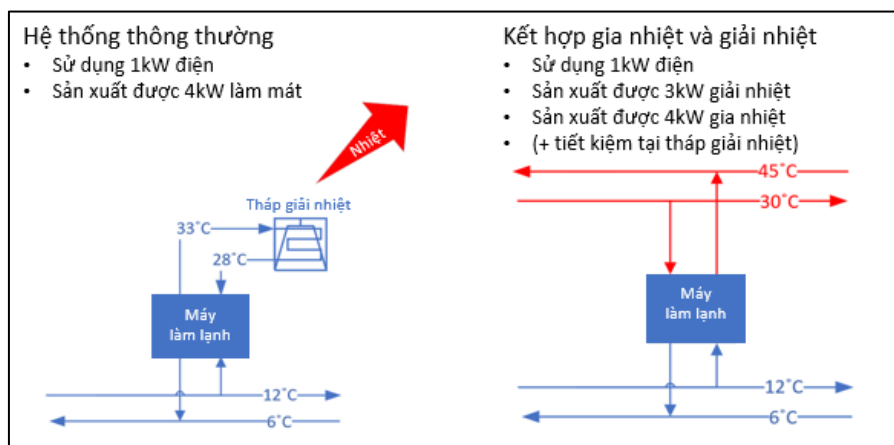
Những tham số vận hành như vậy sẽ làm giảm hiệu suất (COP) của hệ thống làm lạnh, do đó, làm tăng mức tiêu thụ điện. Tuy nhiên các bài toán kinh tế - kỹ thuật thường rất đơn giản và hiệu quả.

Các giải pháp tương tự cũng có thể tận dụng nhiệt thải trong các bộ làm mát dầu và các thiết bị làm giảm siêu nhiệt trong hệ thống làm 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 đơn vị có quá trình làm lạnh đòi hỏi vận hành các hệ thống làm lạnh lớn cùng lúc với lò hơi sử dụng nhiên liệu hóa thạch để sản xuất nước nóng.

Hình 20 dưới đây cho thấy dữ liệu chính cho một giải pháp trong đó áp suất trong bộ ngưng tụ của hệ thống làm lạnh sản xuất nước lạnh ở 6°C được tăng lên một mức (gần 50°C) để nước có thể được gia nhiệt đến 45°C.



Hình 20. Ví dụ về việc kết hợp gia nhiệt và giải nhiệt trong một công ty dược phẩm

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

- 1 kW điện (để sản xuất 4 kW làm lạnh)
- 4 kW nhiên liệu để làm nóng

Bằng cách kết hợp làm nóng và làm lạnh, hệ thống mới tiêu thụ 1 kW điện nhưng lại sản xuất được 3 kW làm lạnh và 4 kW làm nóng. Như vậy, đầu ra làm lạnh giảm 1 kW (tức là 25%) khi sản xuất 4 kW làm nóng.

## 2.6 Quy trình tích hợp MVR (Bay hơi nén khí cơ học)

Một số dây chuyền sản xuất hơi công nghiệp khi gia nhiệt và đun sôi sản phẩm, chẳng hạn như:

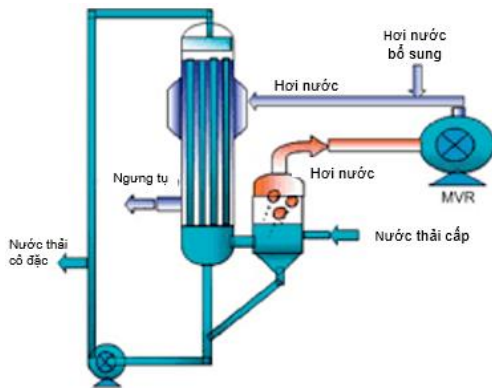
- Đun sôi hèm rượu trong các nhà máy bia
- Các đường bay hơi trong các ngành công nghiệp hóa chất và nguyên liệu thực phẩm
- Các cột chưng cất trong ngành công nghiệp dược phẩm và hóa chất

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

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

Nguyên lý của MVR được minh họa trong hình 21 dưới đây.





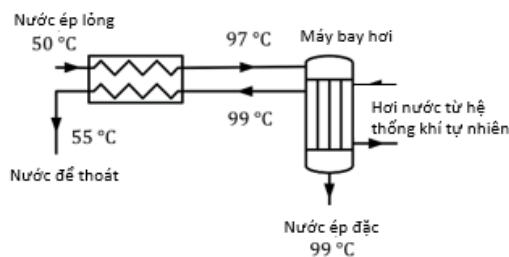
Hình 21. Nguyên lý của bay hơi nén khí (MVR).

Các giải pháp MVR có thể được xem xét như một loại bơm nhiệt – tuy nhiên với COP cực kỳ cao do mức nâng nhiệt độ thấp qua máy nén. Thường thì có thể đạt giá trị COP từ 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 lập quy trình bốc hơi để cô đặc nước ép từ nguyên liệu thô. Một lượng nhỏ nước ép sẽ được đưa vào các thiết bị bốc hơi, nơi nước được bốc hơi để tạo ra 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 bằng hơi từ hệ thống trung tâm, xem minh họa nguyên lý trong hình 22 dưới đây.

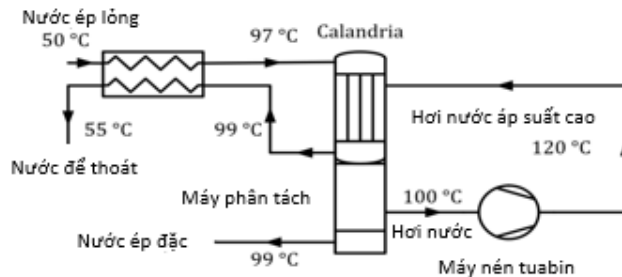


Hình 22. Nguyên lý của thiết bị bay hơi truyền thống

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

Trong giải pháp này, hơi bay từ sản phẩm 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 dây chuyền bay hơi nhưng lúc này sẽ được coi như nguồn nhiệt cho quá trình bay hơi, tức là làm phương tiện gia nhiệt ở phía bên kia của bộ trao đổi nhiệt.

Giải pháp này được minh họa trong Hình 23 dưới đây.



Hình 23. Hệ thống thiết bị bay hơi với tích hợp giải pháp MVR.

Hơi tái nén sau khi đã được sử dụng để bay hơi sản phẩm mới vào, nó được thải hoặc có thể sử dụng cho các mục đích thu hồi nhiệt khác trước khi thải. Quá trình bay hơi yêu cầu một cấu hình hoàn toàn mới sử dụng thiết bị bay hơi màng rơi, trong đó phần tử này được gọi là calandria. Hệ thống MVR hoạt động như một bơm nhiệt giúp giảm thiểu việc sử dụng năng lượng một cách đáng kể.

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 điện tiêu thụ [MWh/năm]	Tổng tiết kiệm năng lượng [MWh/năm]	Tiết kiệm kinh tế hàng năm [k€/năm]	CAPEX [k€]	Thời gian hoàn vốn [năm]
27500	5500	22000	770	6700	8.7

Bảng 9. Các chỉ số chính cho việc lắp đặt thiết bị bay hơi MVR

Tuy nhiên, các giải pháp phức tạp như vậy vẫn được thiết lập vì lý do khác ngoài giảm tiêu thụ năng lượng, chẳng hạn 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 máy MVR, thời gian hoàn vốn cho giải pháp MVR sẽ ngắn hơn nhiều so với tính toán trong bảng 9 trên.

## 2.7 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 châu Âu là thiết lập các hệ thống thu hồi nhiệt tập trung. Trong đó nhiệt thải được thu từ nhiều nguồn và sử dụng trong các bơm nhiệt để sản xuất nước nóng cho quá trình gia nhiệt ở nhiều khu vực của cơ sở.

Các nguồn nhiệt thải thường được thu thập bao gồm:

- Nhiệt từ hệ thống khí nén (làm mát dầu)
- Nhiệt từ các hệ thống làm lạnh (bộ ngưng tụ, bộ làm mát dầu và bộ khử quá nhiệt)
- Nhiệt từ các dây chuyền làm mát
- Cuối cùng, nhiệt thải từ lò hơi

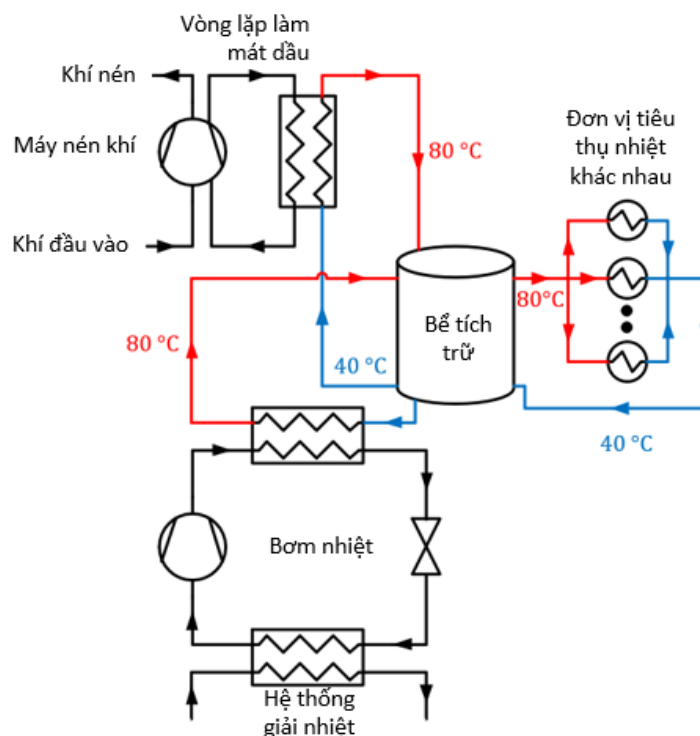
Giải pháp này phù hợp với những yêu cầu gia nhiệt ở nhiệt độ thấp. Một hệ thống phân phối nước nóng có thể được thiết lập để bao phủ hoàn toàn hoặc một phần nhu cầu nhiệt nhất định trong Nhà máy.

Như vậy, giải pháp này chủ yếu phù hợp cho các doanh nghiệp công nghiệp thực phẩm, hóa chất và dược phẩm, và không phù hợp trong các doanh nghiệp công nghiệp với dây chuyền 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 quá trình sản xuất yêu cầu một dải rộng về nhiệt độ và cụm chức năng phụ trợ. Các cụm chức năng phụ trợ bao gồm gia nhiệt, giải nhiệt, điện và khí nén. Một số quá 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 cấu trúc phụ trợ để giảm mức sử dụng năng lượng cục bộ – cả điện cho giải nhiệt và nhiên liệu hóa thạch cho gia nhiệt. Giải pháp này được minh họa trong hình 24 dưới đây.



Hình 24. Hệ thống sau khi thực hiện thu hồi nhiệt.

Một yếu tố trong giải pháp là tận dụng nhiệt thải từ hệ thống khí nén. Khi sản xuất khí nén, 70-80% mức tiêu thụ điện bị mất dưới dạng nhiệt trong các máy nén khí nơi nhiệt sinh từ quá trình nén được làm mát để bảo vệ máy nén. Nhiệt này có thể được thu thập ở  $\approx 80^\circ\text{C}$  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 này. Nguồn năng lượng cho bơm nhiệt là bộ ngưng tụ trong hệ thống làm lạnh. Bơm nhiệt nâng nhiệt độ lên  $80^\circ\text{C}$  từ  $35^\circ\text{C}$  trong bộ ngưng tụ. Bơm nhiệt này cũng giúp tiết kiệm điện cho hệ thống làm 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 trong tải nhiệt và nhiệt thải sẵn có. Các thiết bị tiêu thụ nhiệt khác nhau yêu cầu nhiệt nhỏ hơn hoặc bằng  $80^\circ\text{C}$  có thể được cung 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 điện tiêu thụ [MWh/năm]	Tổng tiết kiệm năng lượng [MWh/năm]	Tiết kiệm kinh tế hàng năm [k€/năm]	CAPEX [k€]	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 với bơm nhiệt trong một nhà máy sữa*

Thời gian hoàn vốn tương đối dài, một phần vì giải pháp này là cải tiến thêm vào nhà máy hiện có. Trong trường hợp có thêm nhu cầu mới về làm nóng 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 dần.
- 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 giải pháp nên được thực hiện cẩn thận, có tài liệu rõ ràng và theo từng bước.

Thông thường, công việc này sẽ tuân theo các giai đoạn chính như sau:

- Giai đoạn kiểm toán hoặc sàng lọc: Thu thập dữ liệu và đánh giá ngay tiềm năng tiết kiệm năng lượng.
- Giai đoạn nghiên cứu tiền khả thi: Phát triển các giải pháp ưu tiên để nắm rõ các khoản đầu tư (CAPEX) và chi phí vận hành (OPEX), có thể so sánh với các phương án thay thế.
- Giai đoạn nghiên cứu khả thi: Phát triển giải pháp ưu tiên tới mức có đủ căn cứ để ban quản lý 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 tài liệu khác được xây dựng trong khuôn khổ hợp tác giữa Việt Nam và Đan Mạch<sup>4</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>5</sup> và hướng dẫn bổ sung<sup>6</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 phải cung cấp cái nhìn tổng quan về nhu cầu gia nhiệt và làm mát trong cơ sở, 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 LPG
  - o Than đá
  - o Sinh khối
  - o V.v,
- Mức tiêu thụ điện năng hàng năm
- Giá năng lượng hiện tại.

Dựa trên các con số tổng quan này, cần lập bảng phân tích mức tiêu thụ năng lượng nhiệt và điện hàng năm cho các hoạt động chính và hệ thống phụ trợ. Việc này cần được thực hiện song song với việc thiết lập các lưu đồ chi tiết cho dây chuyền, mô tả các lưu lượng sản phẩm và các bước quy trình năng lượng được thêm vào hoặc loại bỏ.

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

---

<sup>4</sup> [Link to guidelines for pre-feasibility studies and feasibility studies.](#)

<sup>5</sup> [Link to Circular 25](#)

<sup>6</sup> [Link to energy audit guideline](#)

### 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 cực kỳ 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, thiết lập biểu đồ nhiệt độ/tải cho toàn bộ cơ sở (xem hình 6 và 7 ở trên) và đánh giá ngay tiềm năng thu hồi nhiệt.

Trong giai đoạn này, cũng cần lập sơ đồ tổng quan về hệ thống phụ trợ hiện tại:

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

Việc thiết lập cơ sở chi tiết này là cần thiết để có sự hiểu biết đầy đủ về 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 cần xác định các giải pháp thu hồi nhiệt cụ thể và đánh giá các ước tính ban đầu về tính khả thi cả về kỹ thuật và kinh tế của chúng.

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

- Tích hợp các quy trình gia nhiệt, làm mát và dòng nhiệt thải nào.
- Hệ thống thu hồi nhiệt nên là trung tâm hay phân tán hoặc kết hợp cả hai.
- Nên tích hợp hệ thống phụ trợ nào vào các giải pháp.
- Cần lắp đặt hoặc tăng kích thước bộ trao đổi nhiệt nào.

Cần xác định các rào cản kỹ thuật ngay lập tức như thiếu tính đồng bộ, khoảng cách giữa “nguồn” 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 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/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 tài liệu hóa các kết quả sau:

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

Quá trình sàng lọc/kiểm toán năng lượng nên được trình bày ở cấp độ quản lý để thảo luận các nghiên cứu điều chỉnh các giải pháp được đề xuất với các kế hoạch khác của cơ sở (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 cần được xem xét.

Mục tiêu của công việc 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 cho ban lãnh đạo công ty thảo luận thêm.

Hướng dẫn chung về công tác tiền khả thi đã được xây dựng trong các nghiên cứu hợp tác giữa Đan Mạch và Việt Nam, nội dung này nên được sử dụng để trình bày các trường hợp kinh doanh liên quan.

### 3.2.1 Thiết kế cơ sở

Tại giai đoạn này, cần xác định thiết kế cơ sở cho dự án, tức là các dự án kinh doanh sẽ được tính toán dựa trên những kỳ vọng nào về các hoạt động hiện tại và tương lai.

Một cơ sở thiết kế thường bao gồm:

- Tóm tắt về hiện trạng hoạt động và bất kỳ thách thức nào thúc đẩy dự án cải tạo
- Kỳ vọng về sản lượng hiện tại và tương lai cho khu vực liên quan
- 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 bất kỳ dự đoán chi phí giảm phát thải CO<sub>2</sub> nào
- Kỳ vọng về yêu cầu trung hòa carbon từ khách hàng và trong chuỗi cung ứng

Các câu hỏi khác có thể quan trọng cho cơ sở thiết kế và nhìn chung, khuyến khích tài liệu hóa dữ liệu trong một bản ghi nhớ hoặc báo cáo làm cơ sở cho bất kỳ công việc nào tiếp theo.

### 3.2.2 Phương án giải pháp

Có khả năng, một loạt các loại 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 các quy trình và hoạt động đơn vị riêng lẻ.

- Các giải pháp khác sẽ tích hợp việc sử dụng nhiệt thải giữa các quy trình và hoạt động đơn vị khác nhau

Vì vậy, các giải pháp khác nhau có thể mang tính chất đối đầu với nhau.

Cần lưu ý rằng các nhà cung cấp các dây chuyền và hoạt động đơn vị cụ thể thường có các giải pháp tiêu chuẩn để thu hồi nhiệt, nơi phát triển các giải pháp tương tự có thể gia tăng rủi ro cho tình hình hiện tại.

Vì vậy, phải xác định được sự cân bằng giữa việc thu hồi nhiệt trên các quy trình và hoạt động của các thiết bị riêng lẻ và giải pháp định hướng phụ trợ hơn - nơi nhiệt thải và quá trình giải nhiệt được thu gom và sử dụng trong hệ thống phân phối nhiệt hiện có hoặc 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 dây chuyền tiêu thụ nhiều nhiệt nhất để hỏi về khả năng có giải pháp thu hồi nhiệt. Nếu các giải pháp này có liên quan và nếu thời gian hoàn vốn hấp dẫn - thường là vậy, thì vẫn nên so sánh với các giải pháp khác.

Bước thứ hai trong giai đoạn tiền khả thi sẽ là xem xét các giải pháp trong đó các quá trình làm mát 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 quá trình ở nhiệt độ dưới 100°C.

Đối với mỗi giải pháp đã xác định, cần xác định khoản đầu tư (CAPEX), chi phí vận hành và tiết kiệm (OPEX) để tính toán thời gian hoàn vốn đơn giản. Điều này sẽ liên quan đến 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 điện cần thiết, thường là một phần quan trọng của các giải pháp thu hồi nhiệt.

### 3.2.3 Lợi ích phi năng lượng

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 khu máy giải nhiệt và gia nhiệt bị 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 thông qua giải pháp thu hồi nhiệt không?
- Có thể tiết kiệm công suất tại các khu làm lạnh và tháp giải nhiệt để tránh mở rộng thông qua 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 lợi ích phi năng lượng nên được đánh giá từ góc độ kinh tế ở giai đoạn 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/ trường hợp thay thế liên quan, nên đánh giá giá trị hiện tại ròng (NPV) để so sánh tổng chi phí đầu tư và vận hành trong một khoảng thời gian thích hợp (ví dụ 10 năm).

Đánh giá NPV yêu cầu mỗi phương án thay thế phải được đánh giá bởi:

- Khoản đầu tư (CAPEX)
- Chi phí vận hành (OPEX) cho
  - o Năng lượng
  - o Bảo trì bảo dưỡng



- Nhân công
- Các vấn đề liên quan khác

Thông thường, phương pháp tiếp cận NPV cho phép so sánh các giải pháp có CAPEX cao với chi phí vận hành thấp (OPEX) với các giải pháp có CAPEX thấp với OPEX cao.

Ở giai đoạn này, cũng có thể thích hợp để bắt đầu trao đổi với các ngân hàng về các phương án tài chính, vì một số cơ hội vay 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 liên quan cần được trình bày bao gồm dữ liệu CAPEX, OPEX, NPV, ROI và thời gian hoàn vốn.

### 3.2.5 Hợp với cấp lãnh đạo/quản lý

Trên cơ sở nghiên cứu tiền khả thi, nên tổ chức một cuộc họp với ban quản lý của công ty để trình bày kết quả từ phân tích và kết luận về một trường hợp ưu tiên cho công việc tiếp theo.

## 3.3 Nghiên cứu khả thi

Mục đích của giai đoạn khả thi là trình bày một giải pháp ưu tiên cuối cùng cho ban quản lý 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 khoản đầu tư (CAPEX) và chi phí vận hành (OPEX). Hướng dẫn nghiên cứu khả thi cung cấp lời khuyên chung về cách thực hiện nghiên cứu khả thi. Dưới đây là một số khuyến nghị cụ thể về nghiên cứu khả thi của 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 giải quyết 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
- Công việc xây dựng
- Công việc liên quan tới điện
- Công việc lắp đặt đường ống và hệ thống ống nước
- 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 đầu tư và chi phí vận hành, thường cần trao đổi với các nhà cung cấp liên quan.

Đối với một số lĩnh vực – ví dụ như điện và cơ khí - công ty có thể đã có sẵn các nhà cung cấp ưu tiên.

Đối với các dự án đầu tư lớn, có thể cần đến các nhà tư vấn bên ngoài để chuẩn bị nghiên cứu khả thi và tài liệu mời thầu.

### **3.3.3 Thiết kế giải pháp sơ bộ**

Nên xây dựng bản vẽ và mô phỏng hình 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 nên được mô tả về chi phí đầu tư và chi phí vận hành để ban quản lý 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 việc phát triển dự án để giải pháp ưu tiên có thể được trình bày – khi quá trình đấu thầu ở giai đoạn sau giúp lựa chọn nhà cung cấp với giải pháp có lợi nhất.

### **3.3.4 Tài chính**

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

Cần chuẩn bị một báo cáo tổng hợp 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 từ các tổ chức tài chính có liên quan, ban quản lý 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

### Giới thiệu

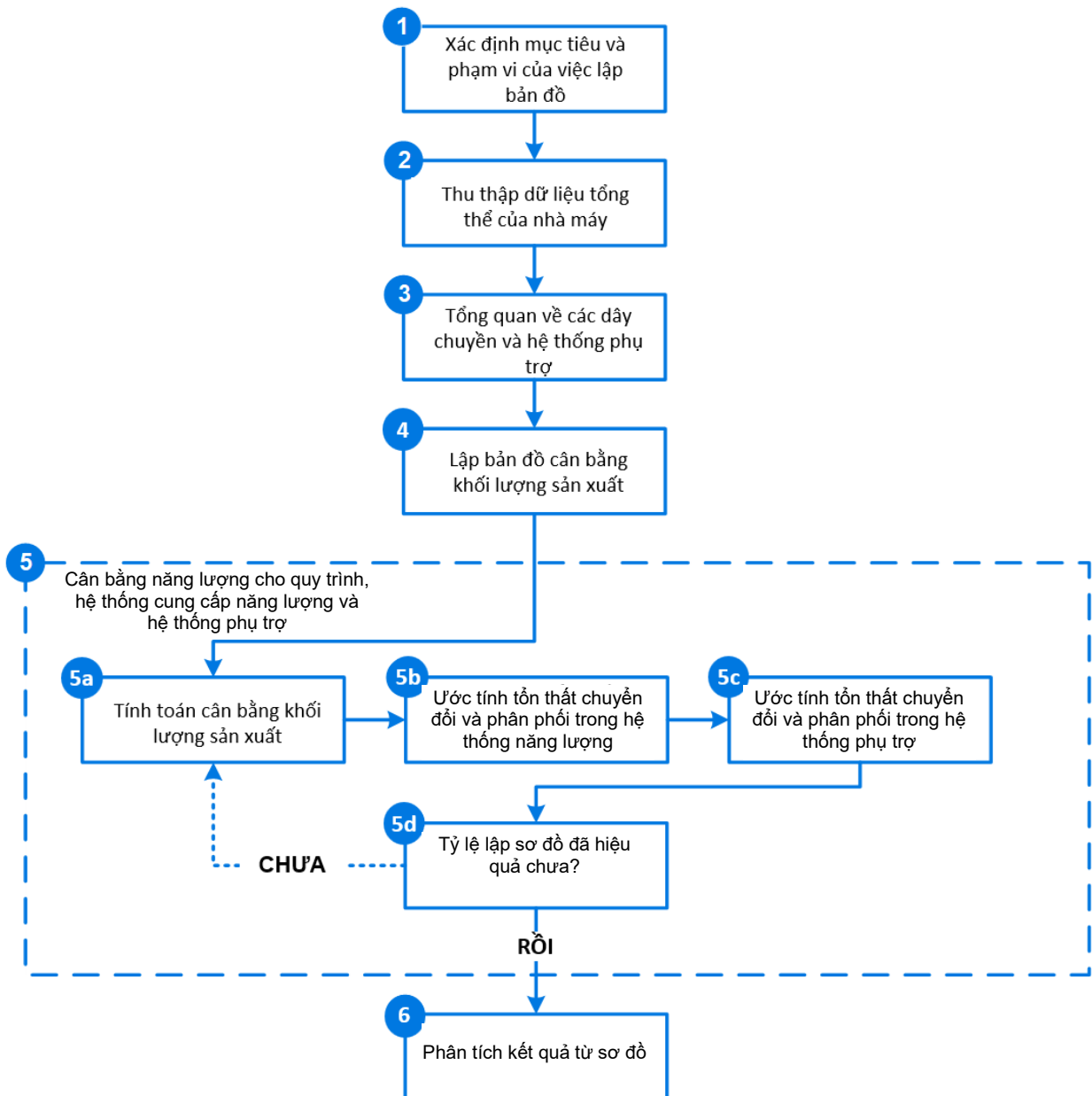
Việc lập một sơ đồ năng lượng chi tiết, cẩn thận và rõ ràng việc sử dụng năng lượng trong một doanh nghiệp công nghiệp là một cơ sở quan trọng trong việc phát triển dự án.

Tuy nhiên, trong nhiều dự án quốc tế, thực tế cho thấy các kiểm toán viên năng lượng gặp phải nhiều thách thức lớn ở bước này. Một phần do công việc không được cấu trúc và định nghĩa rõ ràng về kết quả đầu ra, một phần do các kiểm toán viên năng lượng thường e ngại đưa ra kết luận nếu không có dữ liệu đo lường chi tiết và chính xác.

Với bối cảnh như vậy, hướng dẫn này nhằm mục đích thiết lập một phương pháp lập sơ đồ rõ ràng, mang lại kết quả cụ thể từng giai đoạn, đồng thời hỗ trợ, hướng dẫn các kiểm toán viên năng lượng về các hoạt động cụ thể cần thực hiện.

Hướng dẫn bao gồm một mẫu lập sơ đồ năng lượng ở định dạng Excel, kèm theo hướng dẫn sử dụng mô tả cách thiết lập sơ đồ trong thực tế và cách sử dụng các kết quả để phát triển các dự án. Dữ liệu và quy trình trong mẫu lập sơ đồ năng lượng chỉ mang tính minh họa và không đại diện cho dữ liệu thực tế từ một địa điểm sản xuất cụ thể.

Hình 1 cho thấy sơ đồ quy trình tổng thể của quy trình lập sơ đồ năng lượng, có thể được sử dụng để theo dõi các bước trong quá trình lập sơ đồ năng lượng. Nó cũng làm nổi bật quy trình lặp đi lặp lại của việc thiết lập cân bằng năng lượng, trong đó mức độ lập sơ đồ được sử dụng như một chỉ số để xác định khi nào nên chuyển sang phân tích kết quả. Cách tiếp cận đơn giản hóa này có thể giúp kiểm toán viên tiết kiệm rất nhiều thời gian trong việc thực hiện các kế hoạch đo lường tốn thời gian trên tất cả các thiết bị, và thay vào đó tập trung vào việc có được cái nhìn tổng quan về nhu cầu năng lượng thực tế dựa trên thông tin sẵn có và các giả định. Điều này cho phép kiểm toán viên ưu tiên các phân tích và kế hoạch đo lường tốn thời gian hơn vào các quy trình và thiết bị ban đầu được cho là có tiềm năng tiết kiệm lớn nhất. Việc thiết lập cân bằng năng lượng và khối lượng cho một quy trình cũng thường là một bước cần thiết để xác định các thông số cần đo lường.



Ảnh 1: Biểu đồ quá trình lập sơ đồ năng lượng

## Xác định phạm vi và mục tiêu

Bước đầu tiên của việc lập sơ đồ năng lượng là xác định rõ phạm vi và mục đích của việc lập sơ đồ năng lượng. Tùy vào quy mô của công ty, thời gian thực hiện và chiến lược tổng thể của công ty, phạm vi và mục tiêu của bản đồ có thể khác nhau. Do đó, cần cân nhắc các câu hỏi trước và sau khi bắt đầu lập sơ đồ năng lượng:

- Mục tiêu là lập sơ đồ toàn bộ đơn vị hay chỉ tập trung vào một số khu vực nhất định?
  - Khu vực địa lý như thế nào?
  - Một số khu vực sản xuất có mức độ quan tâm cao hơn?
- Mức độ chi tiết nào có thể đạt được với thời gian lập sơ đồ năng lượng hiện có?
- Động lực chính để thực hiện việc lập sơ đồ năng lượng là gì?
  - Có phải chỉ để đạt được cái nhìn tổng quan chi tiết về tiêu thụ năng lượng?

- Có phải là kinh tế? Lập bản đồ có cần được chuẩn bị để xử lý các đánh giá kinh tế không?
- Có phải là môi trường? Mô hình có cần chuẩn bị để xử lý việc tiết kiệm CO2 không?

## Dữ liệu tổng quan về đơn vị

Khi phạm vi đã được xác định, bước tiếp theo của việc lập sơ đồ năng lượng là có được cái nhìn tổng quan về dữ liệu tổng thể của đơn vị. Dữ liệu này thường dễ dàng thu thập ở hầu hết các cơ sở. Dữ liệu tổng quan bao gồm tất cả lượng tiêu thụ năng lượng sơ cấp đã mua và lượng sản phẩm sản xuất. Ngoài các đầu ra, các đầu vào chính (nguyên liệu thô) cho quy trình sản xuất cũng nên được thu thập ở bước này. Trong mẫu lập sơ đồ năng lượng, một ví dụ về việc thu thập dữ liệu tổng quan như vậy được hiển thị trong trang tính “Dữ liệu hàng năm”.

Trang tính này sẽ hoạt động như một trang nhập liệu cho các trang tính cân bằng khối lượng và lập bản đồ phụ trợ sau này. Do đó, việc chuyển đổi đơn vị đo lường nên được thực hiện trong trang tính này để tránh các phép tính không cần thiết ở các trang tính sau. Cần đảm bảo tính nhất quán của các đơn vị đo lường trong tất cả các loại dữ liệu. Đối với thời gian, năng lượng và khối lượng, các đơn vị được khuyến nghị là:

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

Duy trì nhất quán về các đơn vị sẽ giúp công việc và so sánh tiếp theo trở nên dễ dàng hơn.

Dữ liệu tổng quan của đơn vị nên được thu thập càng sớm càng tốt và nhiều lần, thậm chí trước khi thực hiện một chuyến làm việc thực địa tại đơn vị để có được sự hiểu biết rõ hơn về quy mô sản xuất của công ty và nhu cầu năng lượng tổng thể của họ.

Yearly data	
<b>Energy Data</b>	<b>Year</b>
Purchased Electricity	20.000.000 kWh/y
Purchased Natural Gas Steam boiler	20.000.000 kWh/y
Purchased Coal	18.000.000 kWh/y
<b>Total Purchased Energy</b>	<b>58.000.000 kWh/y</b>
<b>Production data</b>	
Material X	160.000 Ton/y
Material Y	20.000 Ton/y
Material Z	40.000 Ton/y
Material W	5.000 Ton/y
Material V	10.000 Ton/y
Material Q	15.000 Ton/y
<b>Total Raw materials</b>	<b>250.000 Ton/y</b>
Additives production line 1	10.000 Ton/y
Additives production line 2	- Ton/y
<b>Total Additives</b>	<b>10.000 Ton/y</b>
<b>Final product data</b>	
Final product 1	100.000 Ton/y
Final product 2	80.000 Ton/y
<b>Total final product</b>	<b>180.000 Ton/y</b>

Ảnh 2: Tổng quan về việc thu thập dữ liệu cơ sở. Xem bảng "Yearly data" (Dữ liệu hàng năm) trong mẫu Excel.

## Tạo cái nhìn tổng quan về quy trình sản xuất, hệ thống phụ trợ và hệ thống hỗ trợ

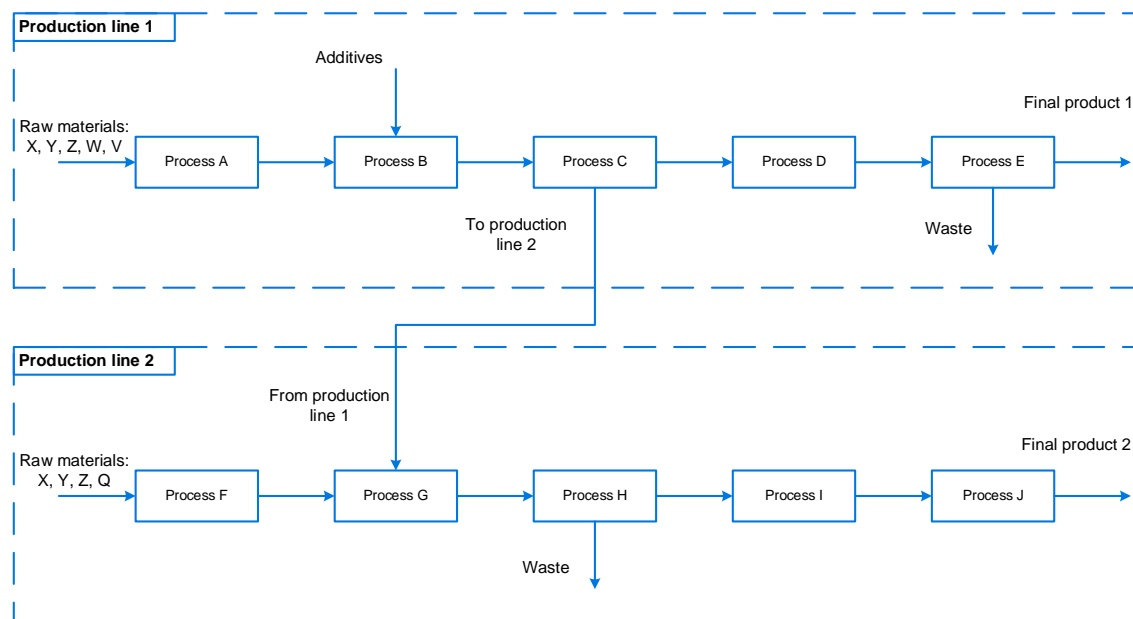
Sau khi đã thu thập dữ liệu tổng thể của cơ sở và xác định mục tiêu và phạm vi, cần tạo ra một cái nhìn tổng quan về các quy trình sản xuất, hệ thống phụ trợ và hệ thống hỗ trợ. Về cơ bản đây là các bản phác thảo đầu tiên của những gì sẽ trở thành nội dung trong việc cân bằng dòng chảy khối lượng và lập sơ đồ phụ trợ (Utility Mapping) trong mẫu Excel.

Các bản tổng quan này nên được thực hiện dựa trên ảnh chụp màn hình, sơ đồ luồng, các đợt kiểm toán trước đây, xu hướng sản xuất, các chuyến đi khảo sát cơ sở, v.v. Bản tổng quan đầu tiên này cũng có thể được thực hiện trên giấy hoặc bằng chương trình vẽ như Visio, sau đó sẽ được chuyển sang các bảng tính Excel. Hình 3 minh họa một bản phác thảo đơn giản trong Visio từ ví dụ trong mẫu Excel.

Đối với các quy trình sản xuất, mục tiêu là tạo ra một cái nhìn tổng quan cơ bản về toàn bộ các dòng lưu chuyển sản xuất tại đơn vị. Ở bước này, cần tập trung vào việc bao gồm tất cả các quy trình theo đúng thứ tự liên quan đến nhau, nhưng không nhất thiết phải có số liệu về đầu vào và đầu ra của từng bước. Mỗi quy trình nên được gán nhãn và mỗi dòng chảy quy trình nên được đánh số để có cái nhìn tổng thể

tốt về hệ thống. Các luồng sản xuất được lập bản đồ trong trang tính “Cân bằng dòng chảy khối lượng” (Mass flow balance) trong mẫu Excel.

Ngoài việc tạo ra cái nhìn tổng quan về các quy trình sản xuất, ta đồng thời nên chuẩn bị một cái nhìn tổng quan về cả các cấu trúc phụ trợ tại đơn vị. Một lần nữa, trọng tâm ở giai đoạn này là đạt được cái nhìn tổng thể toàn diện một cách định tính hơn là định lượng các tổn thất và hiệu suất. Việc này nên được thực hiện cho tất cả các hệ thống phụ trợ tại cơ sở (tức là hệ thống sưởi, làm mát, không khí nén, v.v.). Các cấu trúc phụ trợ được lập bản đồ trong trang tính “Lập bản đồ phụ trợ” trong mẫu Excel.



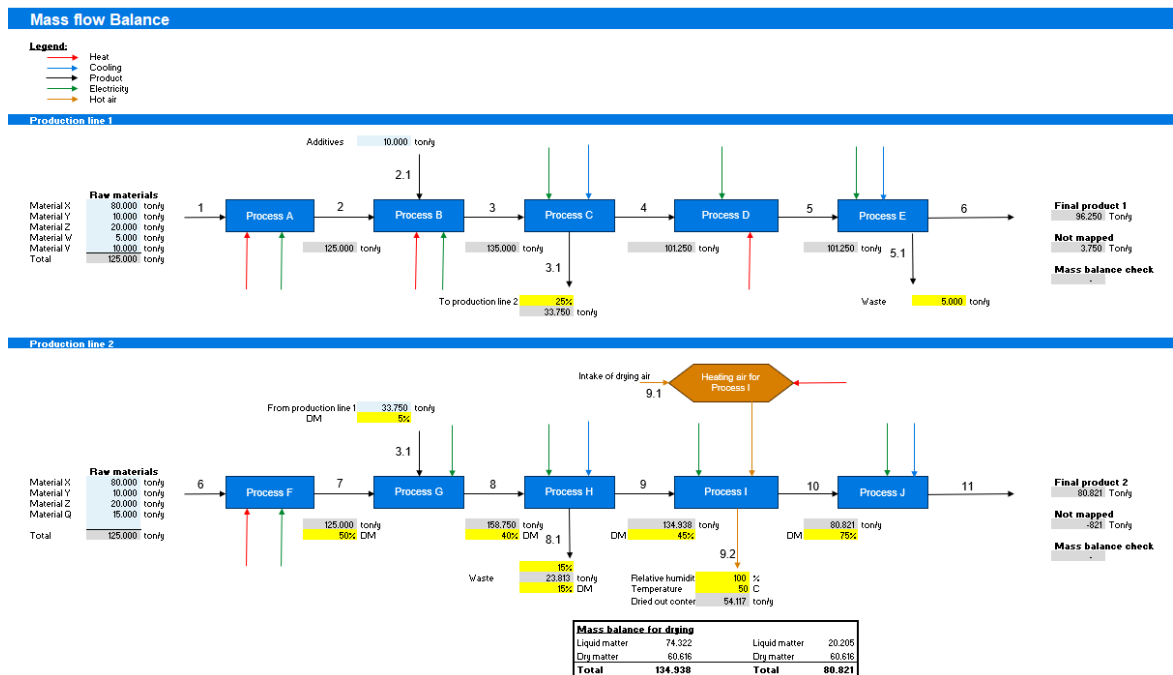
Hình 3: Tổng quan về dòng quy trình đơn giản của ví dụ mẫu.

## Cân bằng khối lượng sản xuất (Mass Balance)

Bước tiếp theo là thiết lập cân bằng khối lượng sản xuất dựa trên sơ đồ luồng quy trình đã tạo trước đó. **Error! Reference source not found.** dưới đây minh họa điều này và được thực hiện trong trang tính “Mass flow balance” (Cân bằng dòng chảy khối lượng) trong mẫu lập bản đồ. Mỗi bước của quy trình được biểu thị bằng một hộp. Ví dụ cho thấy một đơn vị có hai dây chuyền sản xuất khác nhau tạo ra hai sản phẩm khác nhau từ danh sách nguyên liệu thô. Mỗi dây chuyền sản xuất bao gồm 5 quy trình với các đầu vào của phụ gia và năng lượng khác nhau. Cũng có thể thấy rằng 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, cần thực hiện các bước sau:

1. Dữ liệu hàng năm về nguyên liệu thô được nhập từ trang tính “Yearly data”(Dữ liệu hàng năm).
2. Đánh giá từng quy trình để xác định liệu có bất kỳ sự bổ sung hay loại bỏ nào của vật liệu.
3. Nếu có bất kỳ sản phẩm hoặc phụ gia nào được thêm vào hoặc loại bỏ trong quá trình, dữ liệu nên được thu thập từ công ty nếu có thể hoặc ước tính.
  - a. Ước tính thường có thể được thực hiện bằng cách tham khảo ý kiến của nhân viên vận hành tại cơ sở.
  - b. Đối với một số quy trình, việc tính toán cân bằng khối lượng có thể yêu cầu thêm thông tin về sản phẩm. Trong mẫu lập bản đồ năng lượng, có một ví dụ về dây chuyền sản xuất 2, trong đó cân bằng khối lượng được thiết lập từ việc biết tỷ lệ chất khô giữa các bước của quy trình.

- c. Quá trình này có thể đòi hỏi sự hiểu biết chi tiết hơn về quy trình so với kiến thức của kiểm toán viên, do đó việc tham gia của nhân viên vận hành hoặc sản xuất có kiến thức sâu rộng về quy trình trong bước này có thể là một lợi thế.
4. Tất cả các dòng chảy có sự bổ sung sản phẩm hoặc loại bỏ sản phẩm đều được đánh số.
  - a. Cần nhớ phải bao gồm cả các dòng chảy chất thải vì chúng có thể trở nên quan trọng cho các phân tích sau này.
5. Cần tiếp tục tiến hành lập bản đồ năng lượng và không bị mắc kẹt trong việc cố gắng đạt được một giá trị một cách chi tiết quá mức mà tốn nhiều thời gian ở giai đoạn này. Nếu mức độ không chắc chắn của một giá trị được coi là rất cao, kiểm toán viên năng lượng nên ghi chú lại như một điểm tập trung tiềm năng cho phân tích sau này.
6. Khi tất cả các quy trình đã được lập bản đồ, lượng sản phẩm cuối cùng được tính toán có thể được so sánh với dữ liệu thực tế về sản xuất cuối cùng. Điều này có thể được sử dụng để chỉ ra liệu có lỗi đáng kể nào trong cân bằng khối lượng hay không.
  - a. Ngoài ra, cũng cần kiểm tra cho từng dây chuyền sản xuất về tất cả các nguyên liệu đầu vào và sản phẩm đầu ra, đảm bảo rằng chúng cân bằng (Trong mẫu Excel, việc này được thực hiện ở các ô T25 và T52 cho hai dây chuyền sản xuất tương ứng).



Hình 4: Tổng quan về cân bằng dòng khối lượng của quá trình. Xem bảng “Mass flow balance” (Cân bằng dòng khối lượng) trong mẫu Excel.

## Cân bằng năng lượng cho quy trình sản xuất, hệ thống phụ trợ và hỗ trợ.

Ngoài cân bằng khối lượng, cần thiết lập cân bằng năng lượng cho quy trình, tiện ích và các hệ thống hỗ trợ. Mục tiêu là thiết lập các bảng cho từng loại phụ trợ, trong đó liệt kê tất cả các đối tượng tiêu thụ năng lượng. Điều này được minh họa trong Hình 4 và có thể thấy trong trang tính “Process mapping” (Lập bản đồ quy trình) trong mẫu Excel. Bắt đầu với cân bằng năng lượng quy trình, cách tiếp cận được khuyến nghị như sau:

1. Bước đầu tiên là đánh giá đầu vào năng lượng cho từng quy trình ở mức độ định tính, xem xét cả tiêu thụ năng lượng nhiệt và điện. Điều này dễ thực hiện nhất là bằng cách vẽ các luồng năng



lượng đi vào trên cân bằng khối lượng đã tạo trước đó. Điều này cũng có thể thấy trong **Error!**

**Reference source not found..**

2. Tiếp theo, cần tính toán mức tiêu thụ năng lượng cụ thể trong mỗi bước quy trình công nghệ. Mỗi quá trình được liệt kê trong các bảng tiêu thụ năng lượng tương ứng và một số thông tin cơ bản về “Phần”, “Chất” và “Dòng số” được ghi chú để dễ dàng tham chiếu sau này.
3. Đối với việc lập bản đồ năng lượng nhiệt, có thể cần thêm thông tin về luồng quá trình. Trong mọi trường hợp, cần có thông tin về nhiệt độ và trong một số trường hợp cũng có thể cần áp suất và công suất nhiệt hoặc enthalpy nhiệt. Việc lập bản đồ có thể được thực hiện theo ba phương pháp khác nhau (các ví dụ về cả ba phương pháp đều có trong mẫu Excel):

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

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

- **KPI (Định mức tiêu thụ):** nhu cầu năng lượng được tính toán dựa trên KPI cho đơn vị cụ thể, nếu đơn vị có sẵn các thông tin định mức tiêu thụ như vậy.

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

- **Đo lường:** Với phương pháp đo lường, nhu cầu năng lượng từ một thành phần sẽ được đo trong một khoảng thời gian và giá trị đo được sẽ được ngoại suy thành mức tiêu thụ hàng năm. Cũng có thể là mức tiêu thụ năng lượng cho một quy trình cụ thể được công ty sản xuất ghi lại.

4. Cần nhớ rằng năng lượng tiềm năng của các luồng chất thải quy trình cũng nên được lập bản đồ trong quá trình lập bản đồ năng lượng nhiệt.
5. Đối với việc lập bản đồ năng lượng điện, mức tiêu thụ điện của các thiết bị quy trình phải được tính toán. Việc tính toán này cũng có thể dựa trên ba phương pháp khác nhau (các ví dụ về cả ba phương pháp này một lần nữa được hiển thị trong mẫu Excel):

- **Công suất:** Với phương pháp công suất, nhu cầu điện được tính toán dựa trên công suất, thời gian hoạt động và ước tính tải.

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

t = thời gian hoạt động hàng năm tính bằng giờ [h]

$\gamma$  = Hệ số tải

p = công suất tính bằng kW [kW]

- **KPI:** Phương pháp tiếp cận giống với phần năng lượng nhiệt, dựa trên định mức tiêu thụ.

$$[KPI] \left[ \frac{kWh}{tấn} \right] \times \dot{m} \left[ \frac{tấn}{năm} \right] = \dot{P}_{đơn vị} \left[ \frac{kWh}{năm} \right]$$

- **Đo lường:** Phương pháp tiếp cận giống với phần năng lượng nhiệt.

$$\dot{P}_{đơn vị} \left[ \frac{kWh}{năm} \right] = \text{giá trị đo được}$$

6. Mẫu Excel được thiết lập với định dạng có điều kiện để chỉ ra nơi người tiêu thụ lớn nhất trong mỗi loại năng lượng. Ô E6 có thể được sử dụng để xác định ngưỡng cho các cụm thiết bị tiêu thụ năng lượng quan trọng (Significant Energy Users). Điều này có thể thay đổi tùy thuộc vào quy mô của cơ sở và số lượng luồng quy trình.
7. Ở cột CO đến MK, một phân tích nhiệt độ được thiết lập để phân tích kết quả trong giai đoạn sau.
8. Một lần nữa, điều quan trọng là phải tiếp tục tiến hành lập bản đồ năng lượng và không bị mắc kẹt trong việc cố gắng đạt được một giá trị một cách quá mức chi tiết mà tốn nhiều thời gian ở giai đoạn này. Nếu mức độ không chắc chắn của một giá trị được coi là rất cao, kiểm toán viên năng lượng nên ghi chú lại như một điểm tập trung tiềm năng cho phân tích sau này.
9. Các bảng trong mẫu Excel được thiết lập để có thể xử lý lên đến 100 quy trình trong mỗi danh mục. Phần lớn các hàng này bị ẩn để giữ được cái nhìn tổng quan tốt hơn. Để biết hướng dẫn về cách hiển thị một số hàng, xin vui lòng xem phần phụ lục 7.1.

## Process Mapping

*NB: See Appendix in User guide for help on how to add additional rows to the tables*

Definition of Significant Energy User: 15%

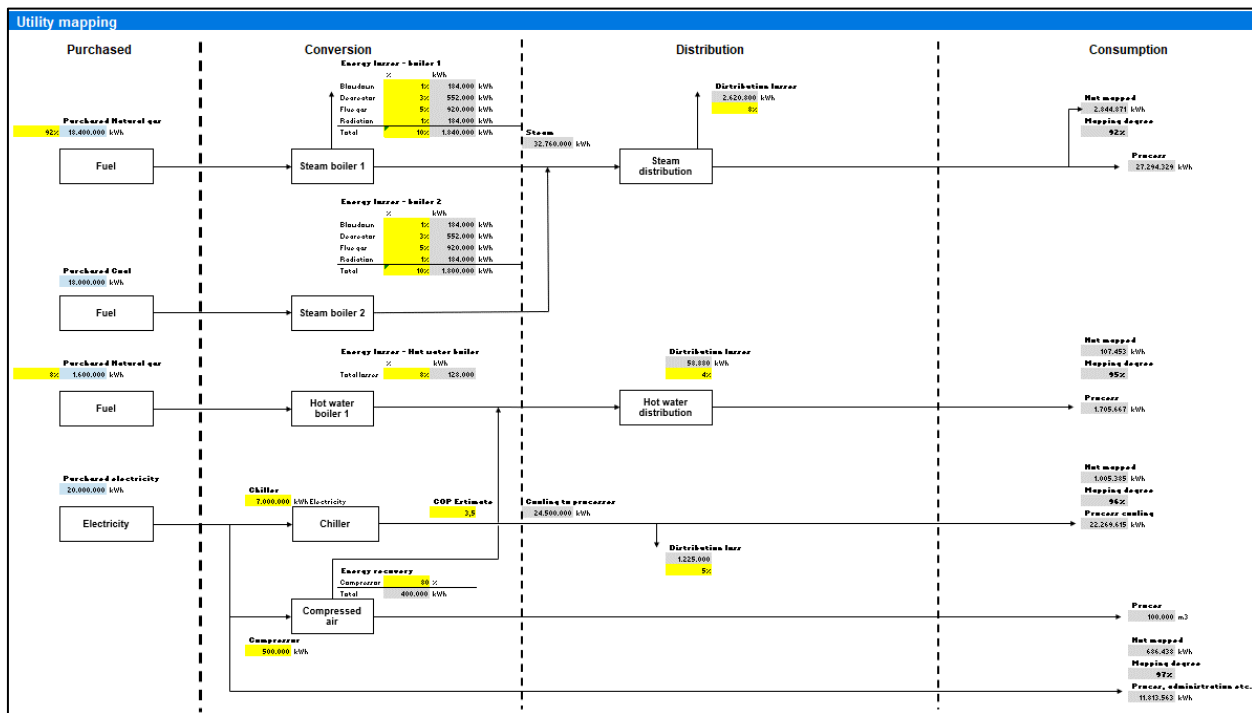
Heating consumption															
Section	Process	Medium	Stream no	Utility system	Temp. In °C	Temp. Out °C	Mass flow t/yr	Dry matter %	Cp kJ/KgK	KPI kWh/ton	Flow approach	KPI approach	Measurement	Total kWh	Share of total
											kWh	kWh	kWh		
Production line 1	Process A	Product	1	Steam	20	50	125.000	5.0%	4,06		4.228.440			4.228.440	14,6%
Production line 1	Process B	Product	2	Steam	50	100	135.000	5.0%	4,08	100,00		13.500.000		13.500.000	46,6%
Production line 1	Process D	Product	4	Hot water	45	50	101.250	5.0%	4,07			800.000	800.000	800.000	2,8%
Production line 2	Process F	Product	6	Steam	20	60	125.000	50,0%	3,00		4.168.389			4.168.389	14,4%
Production line 2	Heating air for Process I	Product	9.1	Steam	20	80	134.938	44,9%	3,17	40,00		5.397.500		5.397.500	18,6%
Support system 1	Support system 1	Water	11	Hot water	20	50	28.000	0,0%	4,18		905.667			905.667	3,1%
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
<b>TOTAL</b>											9.302.496	18.897.500	800.000	<b>28.999.996</b>	100%

Cooling consumption															
Section	Process	Medium	Stream no	Utility system	Temp. In °C	Temp. Out °C	Mass flow t/yr	Dry matter %	Cp kJ/KgK	KPI kWh/ton	Flow approach	KPI approach	Measurement	Total kWh	Share of total
											kWh	kWh	kWh		
Production line 1	Process C	Product	3	Glycol	75	20	135.000	5.0%	4,07		8.386.860			8.386.860	37,7%
Production line 1	Process E	Product	5	Glycol	30	12	101.250	5.0%	4,05	30,00		3.037.500		3.037.500	13,6%
Production line 2	Process H	Product	8	Glycol	55	15	158.750	5.0%	4,06			9.000.000	9.000.000	9.000.000	40,4%
Production line 2	Process J	Product	10	Glycol	50	15	80.821	75,0%	2,35		1.845.256			1.845.256	8,3%
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
<b>TOTAL</b>											10.232.115	3.037.500	9.000.000	<b>22.269.615</b>	100%

Waste heat potential															
Section	Process	Medium	Stream no	Temp. In °C	Temp. Out °C	Mass flow t/yr	Dry matter %	Cp kJ/KgK	KPI kWh/ton	Flow approach	KPI approach	Measurement	Total kWh	Share of total	
										kWh	kWh	kWh			
Production line 1	Process E	Product	5.1		50	20	5.000	0,0%	4,18		174.167		174.167	6,4%	
Production line 2	Process H	Product	8.1		40	20	23.813	0,0%	4,18		552.979		552.979	20,3%	
Production line 2	Process I	Air	9.2		50	20	54.117	0,0%	1,01			2.000.000	2.000.000	73,3%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
									4,18				-	0,0%	
<b>TOTAL</b>											727.146	-	2.000.000	<b>2.727.146</b>	100%

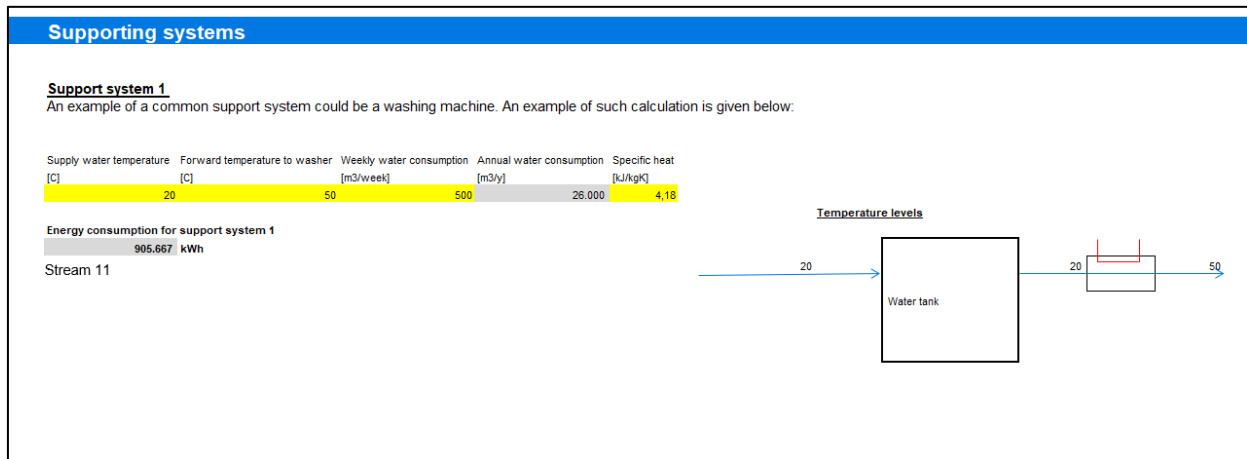


- Nếu mức độ lập bản đồ được coi là đủ, kiểm toán viên có thể tiến hành thiết lập và phân tích kết quả.
- Mức độ đủ có thể khác nhau nhiều tùy thuộc vào quy mô của đơn vị và mức độ chi tiết. Dựa trên kinh nghiệm quốc tế, mức độ lập bản đồ ít nhất là 90% thường được coi là đủ. Tuy nhiên, dù ở bất kỳ mức độ nào, điều rất quan trọng là phải suy nghĩ một cách cẩn thận về lý do tại sao nó không chính xác và những hậu quả tiềm ẩn có thể xảy ra.



Bảng 5: Tổng quan về bản đồ phụ trợ. Xem bảng "Utility mapping" trong file mẫu Excel.

Ngoài cân bằng năng lượng ở cấp quy trình và phụ trợ, nhiều cơ sở sản xuất cũng có các hệ thống hỗ trợ khác nhau. Các hệ thống này cũng cần phải được lập bản đồ để có cái nhìn tổng thể về mức tiêu thụ năng lượng tại một địa điểm. Ví dụ có thể bao gồm các hệ thống làm sạch tại chỗ (CIP), máy rửa (thùng chứa, hộp, chai, v.v.), hệ thống thông gió, các đơn vị đóng gói, v.v. Vì các hệ thống này sẽ không được hiển thị trong lưu đồ quy trình, nên một trang riêng trong mẫu Excel được dành riêng cho việc xử lý các hệ thống này, trang "Supporting systems" (Hệ thống hỗ trợ). Trong mẫu Excel, một ví dụ đã được cung cấp và được minh họa trong Hình 6 dưới đây. Trong ví dụ này, hơi nước được sử dụng để đun nóng nước cho một máy giặt tại cơ sở. Mức tiêu thụ năng lượng này cũng được chuyển sang các bảng tổng quan về lập bản đồ quy trình.



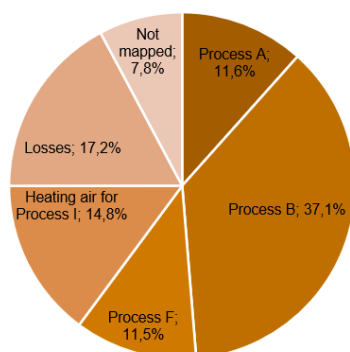
Hình 6: Tổng quan về hệ thống hỗ trợ. Xem bảng "Supporting systems" trong file mẫu Excel.

## Phân tích và hiểu kết quả

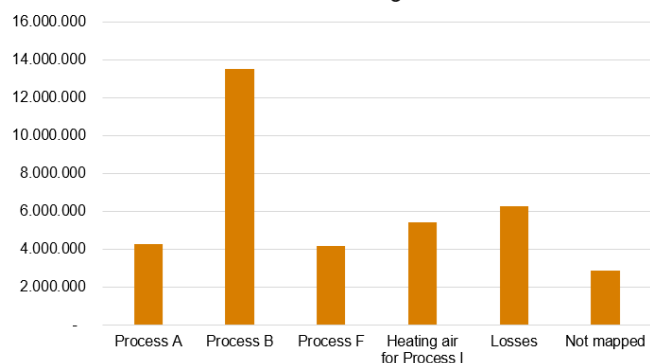
Khi đạt được mức độ lập bản đồ đủ, bước tiếp theo là trình bày kết quả một cách dễ hiểu. Để sử dụng bản đồ năng lượng một cách hiệu quả, cần phải xem xét cách trình bày kết quả và cách sử dụng kết quả một cách hiệu quả để phát triển các dự án tiết kiệm năng lượng. Việc phát triển các dự án nên bắt đầu bằng việc hiểu rõ mức tiêu thụ năng lượng của các quy trình trước khi chuyển sang hệ thống phụ trợ. Do đó, cần phải hiểu rõ mục đích thực tế của việc sử dụng năng lượng trong các quy trình cụ thể.

Để dễ dàng có được cái nhìn tổng quan về toàn bộ đơn vị, các biểu đồ tròn và biểu đồ cột được tạo ra cho từng loại phụ trợ tại đơn vị. Ví dụ, một cái nhìn tổng quan về mức tiêu thụ nhiệt cho ví dụ cụ thể được hiển thị trong Hình 7. Các biểu đồ này cung cấp cái nhìn tổng quan tốt về sự phân bố mức tiêu thụ nhiệt cho toàn bộ cơ sở và giúp dễ dàng xác định các đối tượng tiêu thụ năng lượng chính tại cơ sở. Trong ví dụ này, các biểu đồ chỉ được tạo ở cấp độ cơ sở, nhưng đối với các cơ sở lớn hơn, chúng cũng có thể được tạo ở cấp độ dây chuyền sản xuất hoặc cấp độ phân đoạn, để có cái nhìn chi tiết hơn về nơi tiêu thụ năng lượng. Các biểu đồ tổng quan được tạo ra cho từng hệ thống phụ trợ tại cơ sở.

Distribution of heating - steam



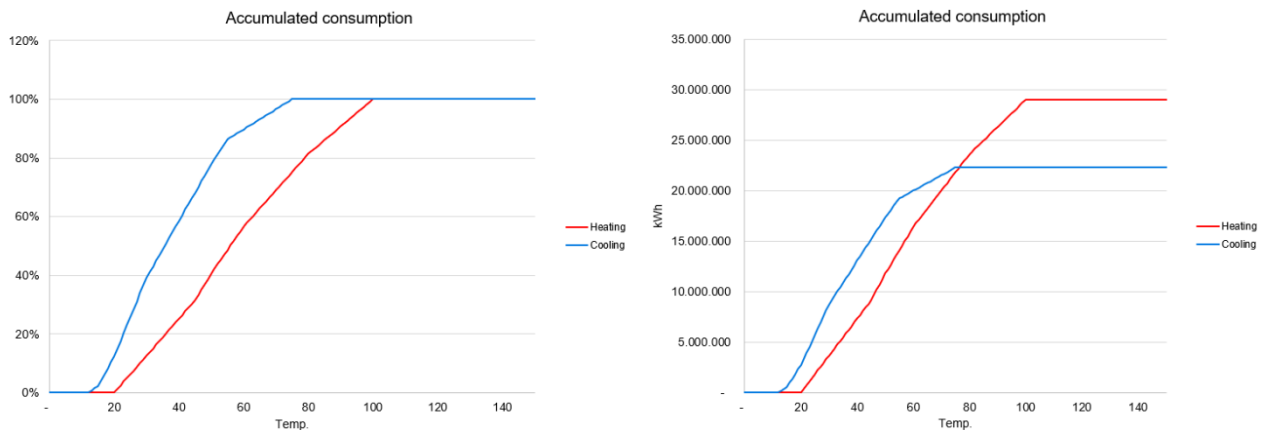
Distribution of heating - steam



Hình 7: Biểu đồ thể hiện kết quả tổng lượng nhiệt tiêu thụ. Xem mục "Result Overview" (Kết quả tổng quan) trong mẫu Excel.

Ngoài việc cung cấp cái nhìn tổng quan chung, việc kết nối mức tiêu thụ năng lượng với nhiệt độ thường cũng rất hữu ích. Điều này có thể giúp việc đánh giá tiềm năng thu hồi nhiệt và tích hợp các công nghệ như bơm nhiệt. Các biểu đồ này giúp cung cấp cái nhìn tổng quan tốt về các mức nhiệt độ mà tại đó năng lượng nhiệt được sử dụng. Ví dụ từ mẫu Excel được hiển thị trong Hình 8. Các kết luận từ những biểu đồ này có thể bao gồm:

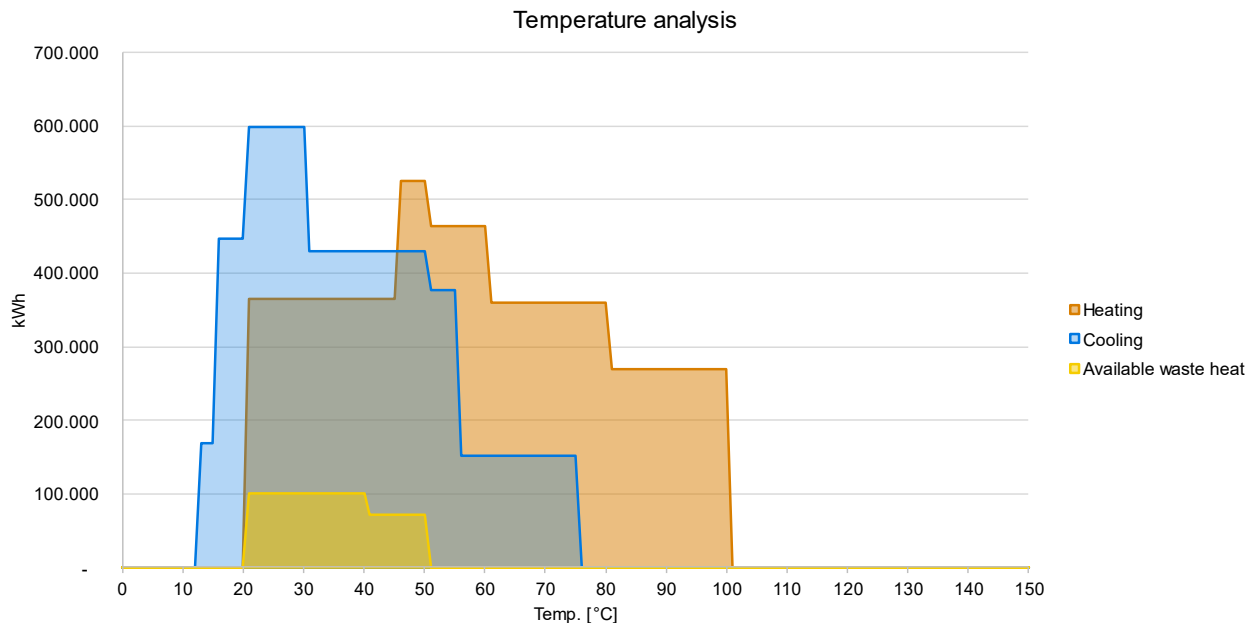
- 80% nhiệt lượng được sử dụng cho các quy trình dưới 80°C (khoảng 23 GWh) và toàn bộ nhiệt lượng dưới 100°C.
  - o Có thể sử dụng nước nóng thay vì hơi nước không?
  - o Có nguồn nhiệt nào tốt cho bơm nhiệt không?
- 20% công suất làm mát được sử dụng ở nhiệt độ trên 50°C (khoảng 4 GWh)
  - o Có tiềm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



Hình 8: Lượng nhiệt lượng tiêu thụ lũy kế. Xem mục "Result Overview" (Tổng quan kết quả) tại mẫu Excel.

Để có cái nhìn tổng quan tốt hơn về mối quan hệ giữa các mức nhiệt độ gia nhiệt và làm mát, có thể vẽ biểu đồ tổng hợp cho từng mức nhiệt độ. Điều này được minh họa trong mẫu Excel và Hình 9 dưới đây, nơi các luồng nhiệt thải đã được thêm vào. Phân tích này cho thấy lượng năng lượng được tiêu thụ ở mỗi mức độ nhiệt độ. Do đó, nó có thể được sử dụng để xác định tiềm năng thu hồi nhiệt. Biểu đồ có bốn khu vực riêng biệt:

- **Khu vực màu cam:** Nhiệt lượng yêu cầu tối thiểu về mặt lý thuyết cho hệ thống gia nhiệt
- **Khu vực màu xanh:** Nhiệt lượng yêu cầu tối thiểu về mặt lý thuyết cho hệ thống làm mát
- **Khu vực màu vàng:** Nhiệt thải có sẵn từ các quy trình
- **Khu vực màu xám chồng lên nhau:** Tiềm năng tối đa cho thu hồi nhiệt trực tiếp giữa các quy trình



Hình 9: Ví dụ về phân tích nhiệt độ. Xem trang tính "Result Overview" (Tổng quan kết quả) trong mẫu Excel.

Trong ví dụ từ mẫu Excel, có thể thấy rằng trong khoảng 20-75°C có tiềm năng cao để thực hiện thu hồi nhiệt. Bước tiếp theo là xác định các quy trình từ các bảng "Process Mapping" (Lập bản đồ quá trình) với các yêu cầu nhiệt độ chồng chéo nhau. Trong ví dụ này, có thể thấy rằng Quá trình C, ví dụ, có thể được kết hợp với Quá trình A và F:

Bảng 1: Các cơ hội thu hồi nhiệt tiềm năng

Process	Temperature in [°C]	Temperature out [°C]	Energy [MWh]	consumption
Process A	20	50	4.228	
Process F	20	60	4.168	
Process C	75	20	8.387	

Về năng lượng, các dòng này gần như khớp nhau hoàn toàn, tuy nhiên, sẽ không thể làm mát Quy trình C xuống đến 20°C. Vì vậy, một chênh lệch nhiệt độ tối thiểu nên được bổ sung để phản ánh các giới hạn vật lý. Giả sử chênh lệch nhiệt độ là 5°C, điều này có nghĩa là Quá trình C có thể được làm mát đến 25°C và 7.627 MWh có thể được thu hồi để gia nhiệt. Do đó, vẫn cần phải sử dụng phụ trợ làm mát và gia nhiệt ở cả hai đầu.

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

- **Khớp thời gian hoạt động:** Các quy trình có hoạt động cùng lúc không? Hay chúng được điều khiển theo từng mẻ? Chúng ta có cần một bể chứa tạm không?
- **Vị trí địa lý:** Các quy trình cách nhau bao xa? Các tiềm năng tiết kiệm năng lượng có đủ để đánh giá cho đầu tư vào đường ống không?

Vì vậy, việc cần thiết phải thực hiện đó là một phân tích kinh tế-kỹ thuật, ước tính chi phí đầu tư đầy đủ và tính toán thời gian hoàn vốn.

Khi tiêu thụ năng lượng đã được tối ưu hóa, hệ thống phụ trợ cần được đánh giá. Từ bảng lập bản đồ phụ trợ, cần đánh giá xem liệu có thể giảm thiểu hoặc thu hồi tổn thất năng lượng từ thiết bị không. Trong mẫu Excel, có thể thấy rằng nhiệt thải từ máy nén khí đã được sử dụng trong hệ thống nước nóng 60°C. Tuy nhiên, không có nhiệt được thu hồi từ máy làm lạnh. Có thể lắp đặt một bộ làm mát dầu hoặc bộ tách nhiệt trên máy làm lạnh để cung cấp thêm năng lượng cho hệ thống 60°C. Một lượng lớn nhiệt cũng bị mất trong các bộ ngưng tụ của máy làm lạnh, điều này có thể được nâng cấp lên nhiệt độ cao hơn với một bơm nhiệt. Đối với 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 điều này trong bộ tiết kiệm năng lượng 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 lấy từ các kết quả tìm kiếm trên Google, và chỉ nhằm mục đích trình bày tổng quan để nghiên cứu sâu hơn trong tài liệu kỹ thuật.

### 1. Thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống chùm ( Shell and tube):

- **Thiết Kế:** Gồm một vỏ ngoài (vỏ bình chứa bao ngoài) và các ống bên trong.
- **Đối tượng ứng dụng:**
  - Sử dụng rộng rãi trong nhà máy điện, chế biến hóa chất, nhà máy lọc dầu và hệ thống HVAC.
  - Lý tưởng cho các ứng dụng 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:**
  - Công kênh và chiếm nhiều không gian.
  - Dễ bị bám cặn và khó vệ sinh.

### 2. Thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống lồng ống ( Tube-in-Tube):

- **Thiết Kế:** Hai ống đồng tâm lồng nhau với chất lỏng chảy qua ống bên trong.
- **Đối tượng ứng 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 áp suất cao.

### 3. Trao Đổi Nhiệt Dạng Ống Kép:

- **Thiết Kế:** Gồm hai ống (trong và ngoài) chạy song song.
- **Đối tượng ứng dụng:**
  - Thường dùng cho các ứng dụng lưu lượng thấp như trong các thiết lập phòng thí nghiệm.
- **Lợi ích:**
  - Thi công đơn giản.
  - Dễ dàng bảo trì.
- **Hạn chế:**
  - Khả năng trao đổi nhiệt hạn chế.
  - Kém hiệu quả cho các quy trình quy mô lớn.

### 4. Thiết bị 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.
- **Đối tượng ứng dụng:**
  - Sử dụng trong 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 bám cặn.
  - Giới hạn ở áp suất trung bình.

### 5. Thiết bị trao đổi nhiệt dạng cánh:

- **Thiết Kế:** Các cánh kim loại được gắn vào ống hoặc tấm.
- **Đối tượng ứng dụng:**
  - Thường sử dụng cho điều hòa không khí, tản nhiệt ô tô và làm mát 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:**
  - Dễ bị cấu cặn.
  - Bảo trì rất phức tạp.

## 6. Trao Đổi Nhiệt Đoạn Nhiệt:

- **Thiết Kế:** Không có trao đổi nhiệt với môi trường xung quanh.
- **Đối tượng ứng 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. Thiết bị trao đổi nhiệt tích hợp hệ thống vệ sinh:

- Các thiết bị trao đổi nhiệt sáng tạo này tích hợp cơ chế để duy trì hiệu suất bằng cách tự làm sạch định kỳ. 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 suất cao để làm sạch hiệu quả **bộ làm mát không khí** và **bộ ngưng tụ không 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 Bóng làm sạch **Schmitz** được phun vào nước làm mát trong thiết bị trao đổi nhiệt.
    2. Các bóng làm sạch đi qua các ống, làm sạch hiệu quả bề mặt ống bên trong.
    3. Lý tưởng để bảo dưỡng thiết bị trao đổi nhiệt trong các bể xử lý<sup>2</sup>.
  - **Thiết bị trao đổi nhiệt tự làm sạch:**
    1. Dựa trên lớp hạt lưu hóa tuần hoàn qua các ống của thiết bị trao đổi nhiệt vỏ và ống thẳng đứng.
    2. Cung cấp tác động làm sạch liên tục, giảm bám bẩn và cải thiện hiệu suất<sup>3</sup>.

## 8. Thiết bị trao đổi nhiệt chống ăn mòn:

- Sự ăn mòn có thể ảnh hưởng đáng kể đến hiệu suất và tuổi thọ của thiết bị 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. Thích hợp cho thiết bị trao đổi nhiệt xử lý môi trường ăn mòn<sup>4</sup>.
  - **Thiết bị trao đổi nhiệt Silicon Carbide:**
    1. Tất cả các bộ phận tiếp xúc với nước đều được làm bằng **PFA**, **FFKM** và **cacbua silic**.
    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 mài mòn<sup>5</sup>.
  - **Thiết bị trao đổi nhiệt tấm than chì:**
    1. Được lắp ráp với **các tấm than chì Diabon** để có khả năng tương thích hóa học gần như phổ biến.
    2. Có khả năng chống axit clohydric, photphoric và flohydric cao.
    3. Thích hợp cho môi trường ăn mòn<sup>6</sup>.
  - **Thiết bị trao đổi nhiệt bằng nhựa (CALORPLAST):**
    1. CALORPLAST cung cấp các thiết bị trao đổi nhiệt dạng ngâm bằng nhựa, dạng khí-lồng, vỏ và ống, tấm ống và dạng khí-khí.
    2. Được thiết kế cho các phương tiện quan trọng, bao gồm axit vô cơ có nồng độ cao và các chất ăn mòn.
    3. Đảm bảo tuổi thọ, hiệu quả và tính bền vững trong môi trường ăn mòn<sup>7</sup>.

Việc lựa chọn thiết bị trao đổi nhiệt phụ thuộc vào các yếu tố như tính chất 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>123</sup>.