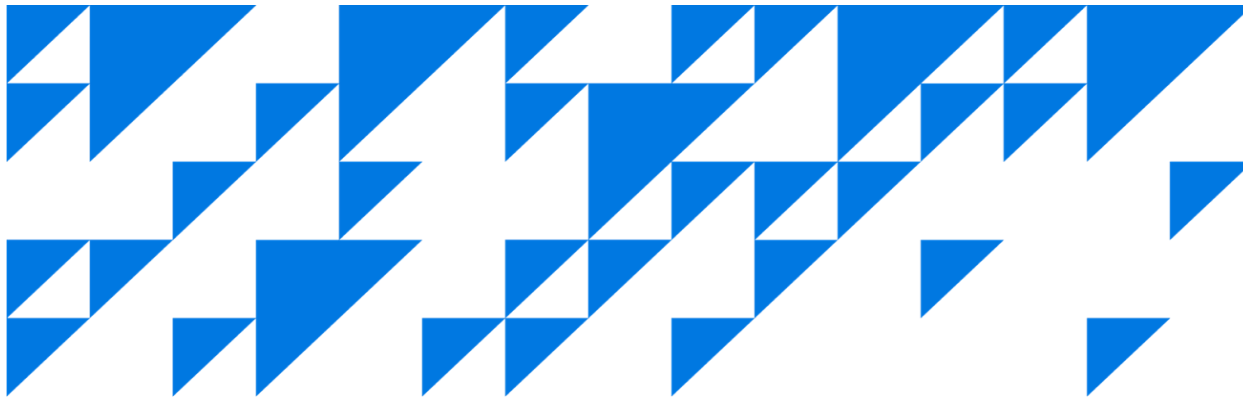




Cơ quan Năng lượng Đan Mạch

Báo cáo Ấn danh tại công ty sản xuất xi măng

Công ty Cổ phần Giải pháp Công nghệ Việt Nam, tháng 5, 2026

MỤC LỤC

GIỚI THIỆU VỀ BỐI CẢNH	3
TÓM TẮT	5
1 VỀ DOANH NGHIỆP	9
1.1 Giới thiệu về công ty	9
1.2 Mô tả quy trình	11
1.3 Mô tả hệ thống tiện ích phụ trợ	13
1.4 Cơ cấu tiêu thụ Năng lượng (2021-2025):	16
2 PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH CÁC DỰ ÁN HIỆU QUẢ NĂNG LƯỢNG	18
2.1 Cách thức xác định và phát triển các dự án HQNL	18
2.2 Đánh giá dự án Hiệu quả năng lượng (HQNL)	20
2.3 Quy trình phát triển và triển khai các dự án HQNL được xác định	28
2.4 Phản hồi từ doanh nghiệp	29
3 CÁC DỰ ÁN HQNL ĐƯỢC XÁC ĐỊNH	30
4 CÁC DỰ ÁN HQNL ĐƯỢC LỰA CHỌN (PHÂN LOẠI CẤP ĐỘ A)	36
4.1 Xây dựng hệ thống quản lý năng lượng theo tiêu chuẩn ISO 50001:2018	36
4.2 Lắp đặt hệ thống điện mặt trời (có xem xét tích hợp BESS)	39
4.3 Lắp đặt biến tần cho MNK kết hợp bộ điều khiển trung tâm cho hệ thống khí nén	43
4.4 Cải tạo đường ống “Lắp đặt đường ống phân cấp áp suất cho hệ thống khí nén”	47
4.5 Lắp đặt hệ thống bóng làm sạch tự động HydroBall, thiết bị khử cặn điện tử và bộ điều khiển tự động cho bơm nước tuần hoàn và quạt gió tháp giải nhiệt theo áp suất chân không bình ngưng	52
4.6 Giải pháp thu hồi nhiệt thải (>100oC) bằng ứng dụng công nghệ máy lạnh hấp thụ phục vụ cho hệ thống điều hòa không khí cho các phụ tải khu vực phòng điều khiển và trạm điện (DC1 - DC4)	57
4.7 Giải pháp ứng dụng Machine Learning để tối ưu hoá vận hành sản xuất	64
5 PHỤ LỤC	71
5.1 Phân tích hiệu quả tài chính lắp đặt hệ thống điện mặt trời	71
5.2 Phân tích hiệu quả đầu tư của giải pháp Thay thế bóng đèn Halogen sang Led pha	74
5.3 Phân tích hiệu quả đầu tư của giải pháp “Lắp đặt biến tần cho MNK kết hợp bộ điều khiển trung tâm cho hệ thống khí nén”	76
5.4 Phân tích tiềm năng TKNL khi thực hiện giải pháp “Duy trì thường xuyên kiểm tra, khắc phục tình trạng rò rỉ khí nén”	79
5.5 Phân tích hiệu quả đầu tư của giải pháp “Cải tạo đường ống “Lắp đặt đường ống phân cấp áp suất cho hệ thống khí nén”	80
5.6 Phân tích giải pháp: “Tối ưu áp suất chân không bình ngưng của hệ thống thu hồi nhiệt cho dây chuyền 1”	83
5.7 Phân tích hiệu quả thay thế các động cơ hiệu suất thấp IE1 bằng các động cơ hiệu suất cao (IE3-IE4) khi có cơ hội	84

5.8	Phân tích hiệu quả thu hồi nhiệt thải (>100oC) bằng ứng dụng công nghệ máy lạnh hấp thụ phục vụ cho hệ thống điều hòa không khí cho các phụ tải khu vực phòng điều khiển và trạm điện (DC1 - DC4).....	86
5.9	Phân tích hiệu quả ứng dụng Machine Learning để tối ưu hoá vận hành sản xuất	88
5.10	Phân tích hiệu quả giải pháp áp dụng hệ thống quản lý năng lượng ISO 50001:2018.....	91
5.11	Phân tích hiệu quả giải pháp dịch chuyển phụ tải, kiểm soát peak load, phối hợp WHR.....	93

Giới thiệu về bối cảnh

Vào ngày 13 tháng 3 năm 2019, Thủ tướng Chính phủ đã ban hành Quyết định số 280/QĐ-TTg phê duyệt Chương trình quốc gia về sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả (VNEEP) giai đoạn 2019–2030.

Chương trình VNEEP triển khai đồng bộ các hoạt động trong lĩnh vực sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả, thể hiện cam kết của các cấp chính quyền, hiệp hội, doanh nghiệp, tổ chức và cá nhân đối với việc sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả nói riêng và ứng phó với biến đổi khí hậu, bảo vệ môi trường nói chung.

Chương trình Hợp tác năng lượng Việt Nam–Đan Mạch Giai đoạn 3 (DEPP3) trong giai đoạn 2020–2025 triển khai nhiều hoạt động thiết thực và hiệu quả, đóng góp đáng kể vào quá trình chuyển dịch năng lượng của Việt Nam theo hướng tăng trưởng xanh, giảm phát thải carbon thông qua phát triển hệ thống năng lượng xanh, vận hành hệ thống điện linh hoạt, thực thi hiệu quả các chính sách và giải pháp thúc đẩy sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả.

Một trong những hoạt động quan trọng thúc đẩy hiệu quả năng lượng là thực hiện kiểm toán năng lượng trong nhiều ngành công nghiệp tại Việt Nam.

Tài liệu này là bản tóm tắt ấn danh của một báo cáo kiểm toán năng lượng cụ thể, được thực hiện trong khuôn khổ Chương trình DEPP3, do Công ty Cổ phần Giải pháp Công nghệ Việt Nam (VETS) thực hiện, phối hợp với chuyên gia quốc tế đến từ Viegand Maagøe.

Báo cáo này trình bày tóm tắt kết quả đánh giá và kiểm toán năng lượng chuyên sâu tại một doanh nghiệp sản xuất xi măng quy mô lớn ở Việt Nam. Cơ sở công nghiệp được đánh giá thuộc nhóm cơ sở sử dụng năng lượng trọng điểm quốc gia, hiện đang vận hành cấu hình bốn dây chuyền lò quay theo phương pháp khô, có tích hợp hệ thống phát điện từ nhiệt thải (WHR - Waste Heat Recovery). Quá trình kiểm toán tuân thủ nghiêm ngặt các hướng dẫn kiểm toán chuẩn mực quốc tế, kết hợp phân tích chuỗi dữ liệu vận hành trong giai đoạn 5 năm (2021–2025) cùng các kỹ thuật đo đạc thực địa chuyên sâu.

Mục tiêu cốt lõi của báo cáo là định lượng dòng chảy năng lượng, xác định các điểm nghẽn về hiệu suất (bottlenecks) và đề xuất các dự án hiệu quả năng lượng (EE) có tính khả thi cao về kỹ thuật lẫn tài chính. Kết quả phân tích chỉ ra rằng cơ cấu năng lượng của cơ sở phụ thuộc chủ yếu vào nhiệt năng từ than đá (chiếm 86–93% tổng năng lượng), trong khi điện lưới và điện tự phát WHR đóng vai trò cung cấp động lực cho các phụ tải cơ năng.

Phương pháp tiếp cận đi sâu vào việc khảo sát hiện trạng tiêu thụ năng lượng của toàn bộ dây chuyền cốt lõi và các hệ thống tiện ích phụ trợ, từ đó nhận diện các điểm nghẽn về mặt

công nghệ, rò rỉ nhiệt động lực học, cũng như các lỗ hổng trong công tác quản lý vận hành. Thông qua các công cụ phân tích hiện đại như Lập bản đồ năng lượng (Energy Mapping), báo cáo đã xác định được tiềm năng tiết kiệm năng lượng rất lớn. Bằng việc định lượng chi tiết các tiềm năng tiết kiệm (tính bằng kWh, tấn than, và tỷ lệ phần trăm) cùng việc phân tích chi phí - lợi ích vòng đời dự án (LCC), báo cáo cung cấp một danh mục các dự án hiệu quả năng lượng (Energy Efficiency - EE) khả thi nhất. Qua đó, tài liệu này đóng vai trò như một la bàn chiến lược, trang bị cho ban lãnh đạo doanh nghiệp nền tảng dữ liệu khoa học để đưa ra các quyết định đầu tư chính xác, hướng tới mục tiêu hiện thực hóa mô hình sản xuất tuần hoàn và phát triển bền vững trong bối cảnh nền kinh tế xanh.

Tóm tắt

Đối tượng chính là một nhà máy xi măng tích hợp quy mô lớn tại khu vực miền Bắc Việt Nam, với 4 dây chuyền sản xuất đồng bộ. Doanh nghiệp hoạt động theo mô hình công ty TNHH nhiều thành viên, ngành nghề chính là sản xuất xi măng, vôi và thạch cao, vận hành liên tục 24/7 với 3 ca/ngày cho khối sản xuất.

Cơ cấu tổ chức được chia thành ba khối chính: Khối Sản xuất (cơ khí, điện, vận hành dây chuyền và phòng điều khiển trung tâm), Khối Kinh doanh (vật tư, kế toán, kinh doanh) và Khối Nội chính (hành chính, an toàn, QC), dưới sự điều hành trực tiếp của Giám đốc nhà máy. Doanh nghiệp đã áp dụng một số hệ thống quản lý theo tiêu chuẩn quốc tế như ISO 9001, ISO 14001, ISO 14064-1, ISO 14067, tạo nền tảng thuận lợi để xây dựng hệ thống quản lý năng lượng theo ISO 50001.

Cơ sở sở hữu hạ tầng sản xuất quy mô lớn với 4 dây chuyền công nghệ hiện đại, nâng tổng công suất thiết kế lên mức 10,5 triệu tấn/năm. Để đáp ứng quy mô này, chuỗi cung ứng nguyên liệu đầu vào phải xử lý một khối lượng vật chất khổng lồ, bao gồm đá vôi, đất sét, đá vôi sạch, than đá, cùng các phụ gia điều chỉnh (quặng sắt, quặng hời, silic), thạch cao nhân tạo và phụ gia khoáng (tro bay, xi thép, sét đen). Tổng lượng nguyên liệu thô tiêu thụ trong năm 2024 được ghi nhận đạt mức 145.513,49 tấn/năm.

Đặc thù sản xuất của Dây chuyền 3 và 4 tập trung hoàn toàn vào việc nung luyện clinker nguyên liệu, trong khi Dây chuyền 1 và 2 gánh vác khâu nghiền mịn thành xi măng thương phẩm. Khối lượng sản xuất này đi kèm với cường độ phát thải carbon rất lớn. Thống kê năm 2024 cho thấy hoạt động tiêu thụ 433.979.656 kWh điện năng và 1.224.438 tấn than đã tạo ra tổng lượng phát thải khí nhà kính tương đương 3.310.441 tấn CO₂ (quy đổi mức năng lượng 801.626 TOE).¹ Bối cảnh này đặt doanh nghiệp trước áp lực tối ưu hóa nghiêm ngặt.

Năng lượng tiêu thụ trong dây chuyền chủ yếu phục vụ sản xuất clinker. Cơ cấu năng lượng chuyển đổi cho thấy nhiệt năng từ than chiếm khoảng 86–93% tổng năng lượng, còn điện lưới, điện WHR và dầu DO chiếm tỷ trọng nhỏ hơn. Tổng năng lượng tiêu thụ tăng đột biến năm 2022, sau đó giảm và ổn định dần giai đoạn 2023–2025, phản ánh quá trình ổn định vận hành và/hoặc tối ưu hóa sản xuất.

Tình hình chung về tiêu thụ năng lượng tại nhà máy:

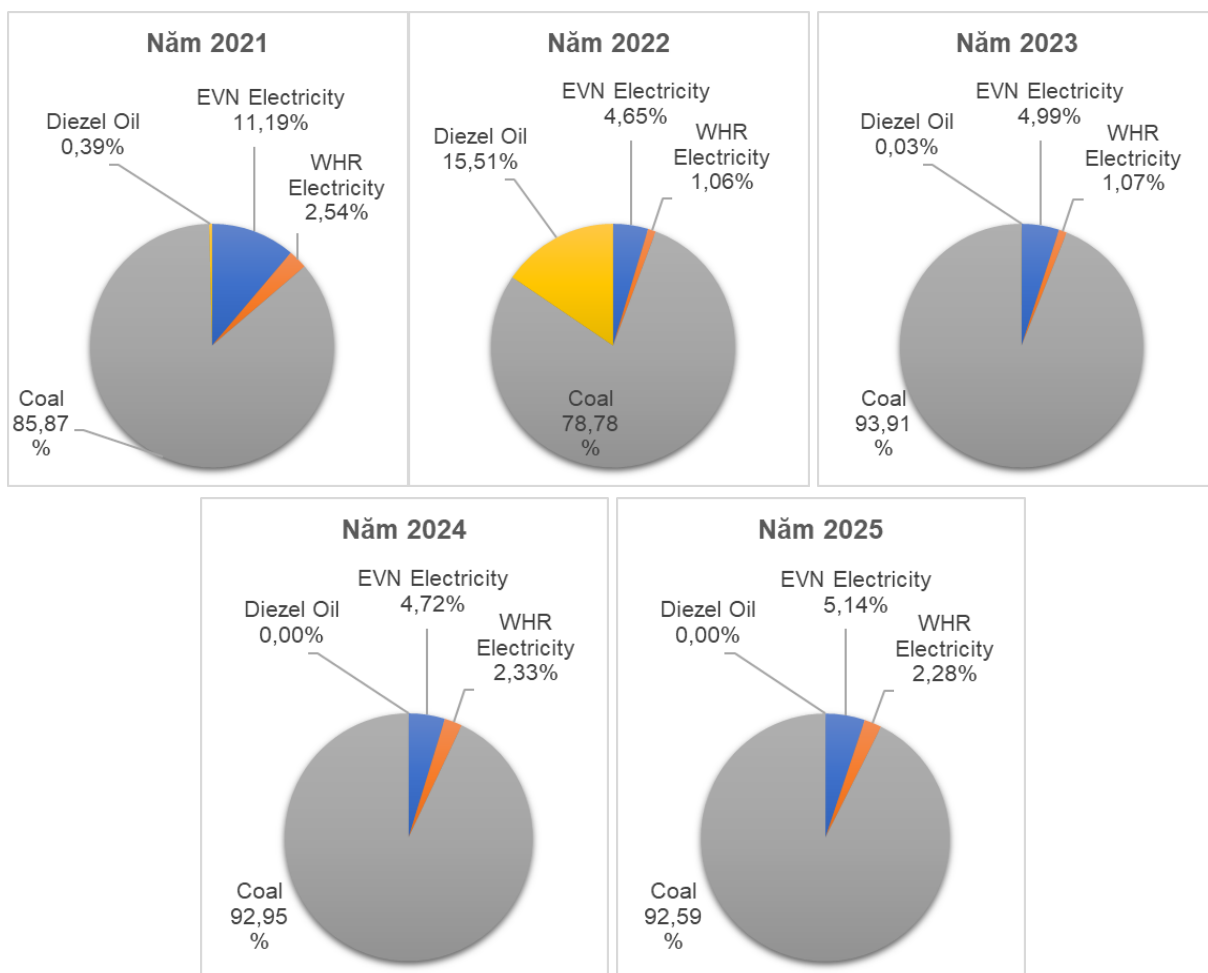
- Dưới đây là số liệu phân tích chi tiết về tình hình tiêu thụ các dạng năng lượng của Công ty trong giai đoạn 5 năm (2021 – 2025):

Bảng 1.1. Cơ cấu tiêu thụ năng lượng của công ty trong giai đoạn 2021–2025

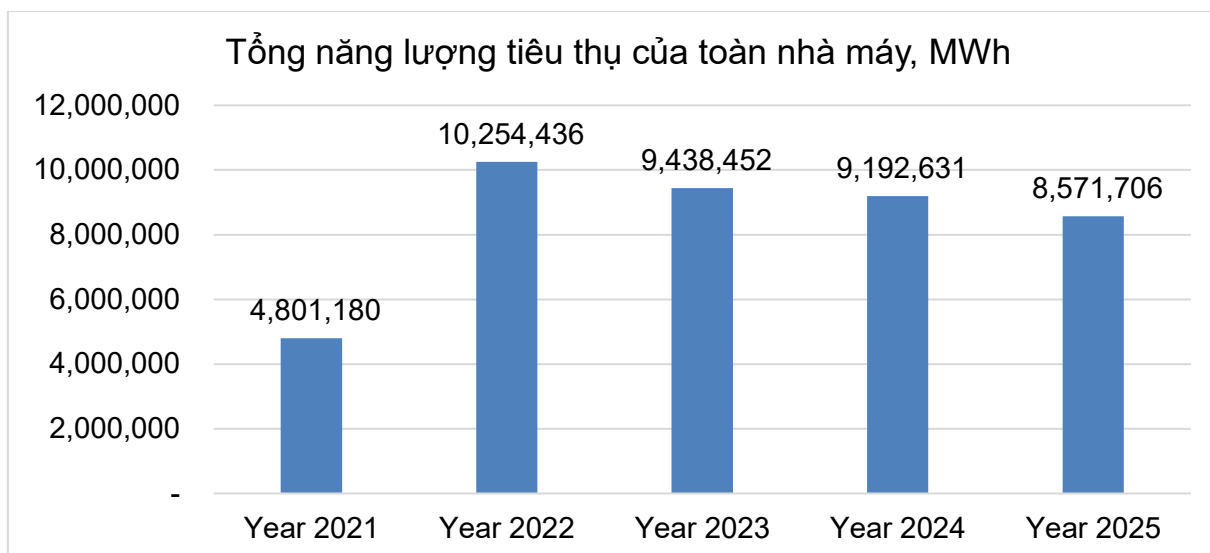
STT	Loại năng lượng	Đơn vị	Năng lượng tiêu thụ	Quy đổi	Tỷ lệ (%)
				(kWh)	
Năm 2021					
1	Điện EVN	MWh	537.250.010	537.250.010	11,19%
2	Điện WHR	MWh	122.184.540	122.184.540	2,54%
3	Than	Tấn	590.853	4.122.972.234	85,87%
4	Dầu DO	Lít	1.834.231	18.773.150	0,39%
5	Nước	M3	-	-	0,00%
Tổng				4.801.179.934	100,00%
Năm 2022					
1	Điện EVN	MWh	476.416.710	476.416.710	5,50%
2	Điện WHR	MWh	108.771.532	108.771.532	1,26%
3	Than	Tấn	1.157.729	8.078.632.962	93,23%
4	Dầu DO	1000 Lít	155.411	1.590.614	0,02%
5	Nước	M3	2.092.467	-	0,00%
Tổng				8.665.411.818	100,00%
Năm 2023					
1	Điện EVN	MWh	471.190.566	471.190.566	4,99%
2	Điện WHR	MWh	101.156.220	101.156.220	1,07%
3	Than	Tấn	1.270.207	8.863.504.446	93,93%
4	Dầu DO	1000 Lít	254	2.601	0,00%
5	Nước	M3	3,318,844	-	0,00%
Tổng				9.435.853.833	100,00%
Năm 2024					
1	Điện EVN	MWh	433.979.656	433.979.656	4,72%
2	Điện WHR	MWh	214.522.803	214.522.803	2,33%
3	Than	Tấn	1.224.438	8.544.128.364	92,95%
4	Dầu DO	1000 Lít		-	0,00%
5	Nước	M3		-	0,00%
Tổng				9.192.630.823	100,00%
Năm 2025					

STT	Loại năng lượng	Đơn vị	Năng lượng tiêu thụ	Quy đổi	Tỷ lệ (%)
				(kWh)	
1	Điện EVN	MWh	440.176.418	440.176.418	5,14%
2	Điện WHR	MWh	195.199.469	195.199.469	2,28%
3	Than	Tấn	1137336	7.936.330.608	92,59%
4	Dầu DO	1000 Lít		-	0,00%
5	Nước	M3		-	0,00%
Tổng				8.571.706.495	100,00%

(*) Ghi chú: Dữ liệu năng lượng tiêu thụ năm 2025 được tổng hợp cho giai đoạn từ tháng 01 đến tháng 10 năm 2025.



Hình 1.1. Biểu đồ cơ cấu tiêu thụ năng lượng trong toàn Công ty giai đoạn 2021- 2025



Hình 1.2. Biểu đồ tiêu thụ năng lượng trong toàn Công ty giai đoạn 2021- 2025

Tiềm năng tiết kiệm năng lượng

Sau khi khảo sát và đánh giá hiện trạng sử dụng và quản lý năng lượng tại công ty, nhóm kiểm toán nhận thấy nhà máy có tiềm năng tiết kiệm năng lượng tại các hệ thống: máy móc sản xuất, hệ thống cung cấp và phân phối điện, hệ thống máy nén khí, hệ thống lò, v.v. Dựa trên phân tích và tính toán chi tiết, tiềm năng tiết kiệm tại công ty được xác định như sau:

Trên cơ sở các phân tích chi tiết, tổng tiềm năng tiết kiệm năng lượng của nhà máy được ước tính đạt khoảng **34.581.192,4 kWh điện/năm** và **20.815,4 tấn than/năm**, với giá trị tiết kiệm khoảng **122.813,40 triệu đồng/năm**. Để khai thác tiềm năng này, cần đầu tư khoảng **316.001 triệu đồng** cho các giải pháp kỹ thuật được đề xuất.

Việc triển khai các giải pháp tiết kiệm năng lượng phù hợp sẽ góp phần hỗ trợ Nhà máy đạt được các mục tiêu chiến lược, bao gồm:

- Giảm chi phí năng lượng trong giá thành sản xuất;
- Nâng cao hiệu quả vận hành và độ tin cậy thiết bị;
- Giảm phát thải khí nhà kính, phù hợp với định hướng sản xuất xanh;
- Từng bước áp dụng hệ thống quản lý năng lượng (ví dụ ISO 50001) và các thông lệ quản lý năng lượng tiên tiến.

Danh sách các cơ hội tiết kiệm năng lượng được trình bày chi tiết trong các phần sau.

1 Về doanh nghiệp

1.1 Giới thiệu về công ty

- Lĩnh vực hoạt động: Sản xuất xi măng
 - Đơn vị được kiểm toán là một nhà máy xi măng tích hợp (clinker và xi măng) vận hành 4 dây chuyền sản xuất hiện đại, sử dụng công nghệ lò quay phương pháp khô, có hệ thống WHR phát điện từ khí thải nóng. Nhà máy thuộc loại hình công ty TNHH nhiều thành viên, hoạt động từ năm 2016, ngành nghề chính là sản xuất xi măng, vôi và thạch cao
 - Về tổ chức, cơ cấu quản lý chia thành 3 khối chính: Khối Sản xuất (cơ khí, điện, sản xuất, vận hành trung tâm), Khối Kinh doanh (vật tư, kế toán, bán hàng) và Khối Nội chính (hành chính và QC), dưới sự điều hành trực tiếp của Giám đốc nhà máy. Mô hình này đảm bảo phân công chức năng rõ ràng nhưng hệ thống quản lý năng lượng hiện tại chủ yếu tích hợp trong các phòng ban, chưa vận hành đầy đủ theo chuẩn ISO 50001.
 - Nguyên liệu chính: Đá vôi, đất sét, đá vôi sạch, than, phụ gia điều chỉnh (quặng sắt, quặng hời, silic), thạch cao nhân tạo và các phụ gia khoáng (như tro bay, xỉ thép, xỉ, sét đen,...).
- + Tổng lượng nguyên liệu sử dụng năm 2024: 145.513,49 tấn/năm
- Dây chuyền 1: 4.275.086,4 tấn/năm;
 - Dây chuyền 2: 4.044.921 tấn/năm;
 - Dây chuyền 3: 3.343.749 tấn/năm;
 - Dây chuyền 4: 3.923.441 tấn/năm.
- + Sản phẩm chính: Clinker, Xi măng

Bảng 1.1. Dữ liệu tổng sản lượng sản xuất năm 2024

Stt	Thông tin		Đơn vị	Năm 2024
1	Dây chuyền 1	Clinker	Tấn	620.000
2		Xi măng	Tấn	2.636.201
3	Dây chuyền 2	Clinker	Tấn	570.000
4		Xi măng	Tấn	2.465.184
5	Dây chuyền 3	Clinker	Tấn	2.153.563
6		Xi măng	Tấn	-
7	Dây chuyền 4	Clinker	Tấn	2.558.356
8		Xi măng	Tấn	-

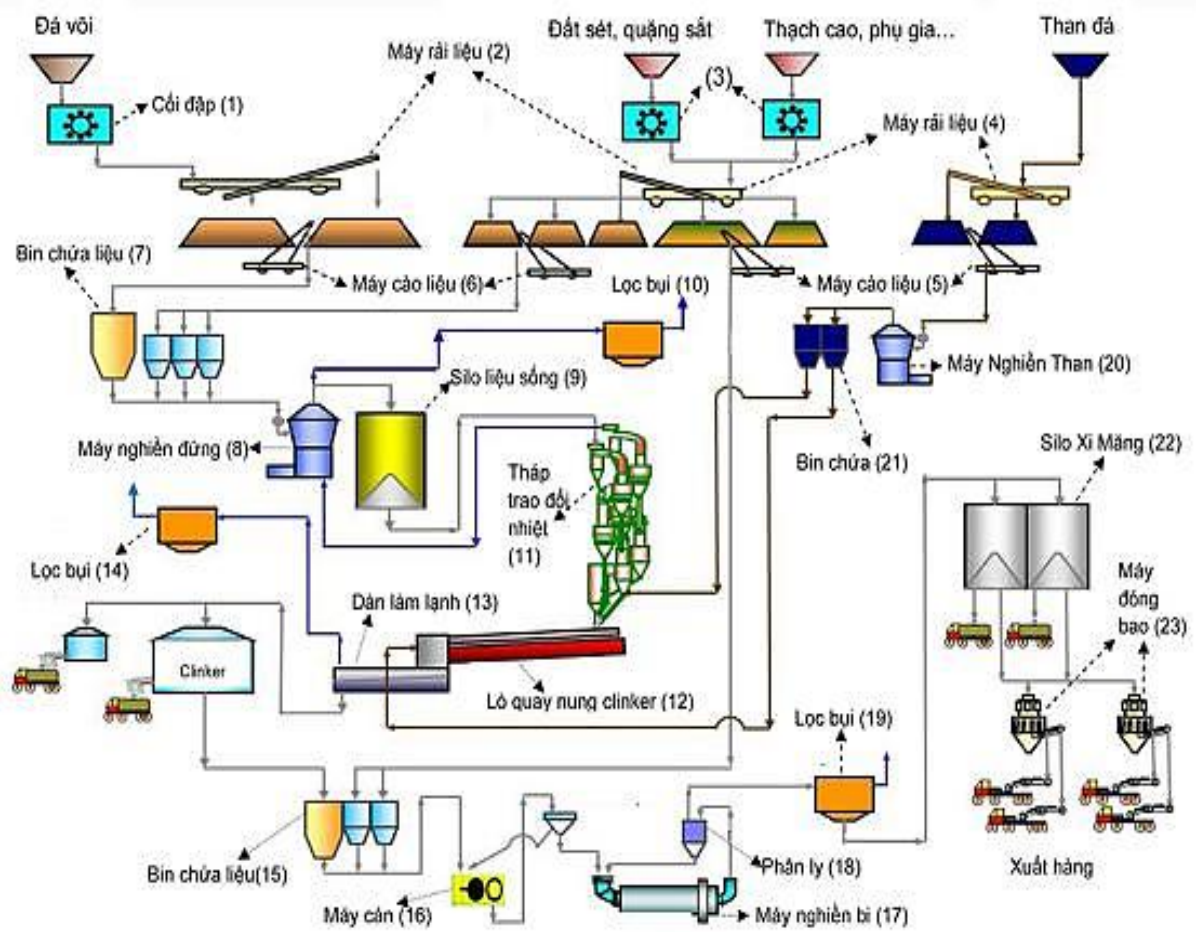
Bảng 1.2. Tổng năng lượng tiêu thụ năm 2024 (Điện, than)

Fuel	Unit	Dây chuyền 1	Dây chuyền 2	Dây chuyền 3	Dây chuyền 4
Electricity used	kWh	221.049.989	190.123.028	175.698.090	188.884.080
Electricity EVN	kWh	166.154.736	143.920.128	123.904.792	-
Electricity production	kWh	46.347.213	44.768.440	55.686.202	67.720.948
Coal	tấn	321.601	304.357	301.772	357.740

Bảng 1.3. Phát thải carbon năm 2024

STT	Loại năng lượng	Đơn vị	Năng lượng tiêu thụ	Phát thải CO ₂ (Tấn CO ₂)	Quy đổi TOE (TOE)
1	Điện năng (EVN)	kWh	433.979.656	286.079	66.963
2	Than	Tấn	1.224.438	3.024.362	734.663
Tổng				3.310.441	801.626

1.2 Mô tả quy trình



Hình 1.3. Sơ đồ quy trình công nghệ



Hình 1.4. Sơ đồ quy trình sản xuất của dây chuyền 1 và 2

Mô tả các công đoạn trong quy trình công nghệ:

Quy trình sản xuất xi măng tại Dây chuyền 1 và Dây chuyền 2 của Nhà máy Xi măng, bao gồm đầy đủ các công đoạn từ chuẩn bị nguyên liệu đến sản xuất xi măng thành phẩm. Các bước chính như sau:

(1) Chuẩn bị và xử lý nguyên liệu:

- Nguyên liệu chính bao gồm đá vôi, đá sét và các phụ gia điều chỉnh được khai thác hoặc tiếp nhận từ bên ngoài. Nguyên liệu được đập sơ bộ, sau đó vận chuyển và lưu trữ tại kho đồng nhất nhằm đảm bảo ổn định thành phần hóa học trước khi đưa vào công đoạn nghiền liệu.

(2) Nghiền liệu và đồng nhất bột liệu:

- Nguyên liệu sau khi được định lượng theo tỷ lệ phối liệu sẽ được đưa vào máy nghiền đứng để nghiền thành bột liệu mịn. Trong quá trình nghiền, vật liệu được sấy bằng khí nóng từ hệ thống lò nung nhằm giảm độ ẩm. Bột liệu sau nghiền được đưa vào silo đồng nhất để đảm bảo tính ổn định trước khi cấp vào hệ thống nung clinker.

(3) Nung clinker:

- Bột liệu từ silo đồng nhất được cấp vào tháp trao đổi nhiệt (preheater), nơi vật liệu được gia nhiệt nhờ dòng khí nóng đi ngược chiều. Sau đó, vật liệu đi vào buồng tiền nung (calciner), nơi diễn ra phần lớn phản ứng phân hủy CaCO_3 . Vật liệu tiếp tục được đưa vào lò quay để hoàn tất các phản ứng tạo khoáng clinker ở nhiệt độ cao (khoảng 1.450°C).

(4) Làm nguội clinker:

- Clinker sau khi ra khỏi lò quay được làm nguội nhanh trong ghi làm nguội bằng không khí cưỡng bức. Quá trình này giúp ổn định cấu trúc khoáng của clinker và đồng thời thu hồi nhiệt để tái sử dụng trong hệ thống lò nung.

(5) Nghiền xi măng:

- Clinker sau khi làm nguội được trộn với thạch cao và các phụ gia khoáng theo tỷ lệ nhất định, sau đó được nghiền trong hệ thống nghiền xi măng để đạt độ mịn yêu cầu. Xi măng sau nghiền được vận chuyển đến các silo chứa.

(6) Lưu trữ và xuất sản phẩm:

- Xi măng thành phẩm được lưu trữ trong các silo và được xuất ra thị trường dưới dạng xi măng rời hoặc đóng bao thông qua hệ thống đóng bao tự động. Ngoài ra, một phần clinker cũng có thể được xuất trực tiếp tùy theo nhu cầu thị trường.

1.3 Mô tả hệ thống tiện ích phụ trợ

❖ Hệ thống cung cấp điện:

Nhà máy được cấp điện từ lưới điện quốc gia qua cấp điện áp 110 kV, phân phối về các máy biến áp trung/hạ thế. Hệ thống trạm biến áp được thiết kế để đáp ứng dòng khởi động của các động cơ máy nghiền: tại Dây chuyền 1 & 2, có 9 máy biến áp 2000KVA-6.3/0.4KV và 2 máy biến áp 1800KVA-6.3/0.6KV hoạt động 24/7.

Điểm nhấn công nghệ của cơ sở là tổ hợp máy phát điện từ thu hồi nhiệt thải (WHR). Các lò hơi thu hồi nhiệt (HRSG) được đặt tại đỉnh tháp preheater (AQC) và đầu xả khí cooler (SP) để đun sôi nước thành hơi quá nhiệt, quay tuabin phát điện.

Cụ thể:

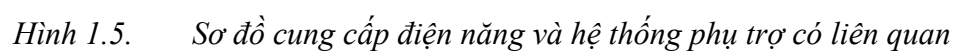
- Dây chuyền 1 và 2 được trang bị hệ thống WHR với công suất 7 MW/dây chuyền;
- Dây chuyền 3 và 4 được trang bị hệ thống WHR với công suất 9 MW/dây chuyền.

Điện sản sinh từ WHR hòa trực tiếp vào lưới nội bộ, ưu tiên nuôi các phụ tải như quạt ID và máy nén khí, đóng vai trò như một bộ đệm giảm thiểu sản lượng điện mua từ EVN.

Ngoài ra, để đảm bảo độ tin cậy cung cấp điện, nhà máy trang bị các máy phát điện diesel dự phòng nhằm duy trì hoạt động của các phụ tải quan trọng trong trường hợp xảy ra sự cố hoặc mất điện lưới.

Bảng 1.4. Thông số trạm biến áp

STT	Tên Thiết Bị	Số lượng	Tổng công suất (KVA)	Thời gian hoạt động (h/ngày)
I	Dây chuyền 1&2			
1	Máy biến áp 1250KVA-6.3/0.4KV	5	6.250	24
2	Máy biến áp 1000KVA-6.3/0.4KV	1	1.000	24
3	Máy biến áp 1800KVA-6.3/0.6KV	2	3.600	24
4	Máy biến áp 1600KVA-6.3/0.4KV	4	6.400	24
5	Máy biến áp 2000KVA-6.3/0.4KV	9	18.000	24
6	Máy biến áp 1400KVA-6.3/0.4KV	1	1.400	24
II	Dây chuyền 3&4			
1	Máy biến áp 1000KVA-6.3/0.4KV	2	2.000	24
2	Máy biến áp 1600KVA-6.3/0.4KV	1	1.600	24
3	Máy biến áp NL 2000KVA-6.3/0.4KV	9	18.000	24
4	Máy biến áp 1800KVA-6.3/0.6KV	2	3.600	24

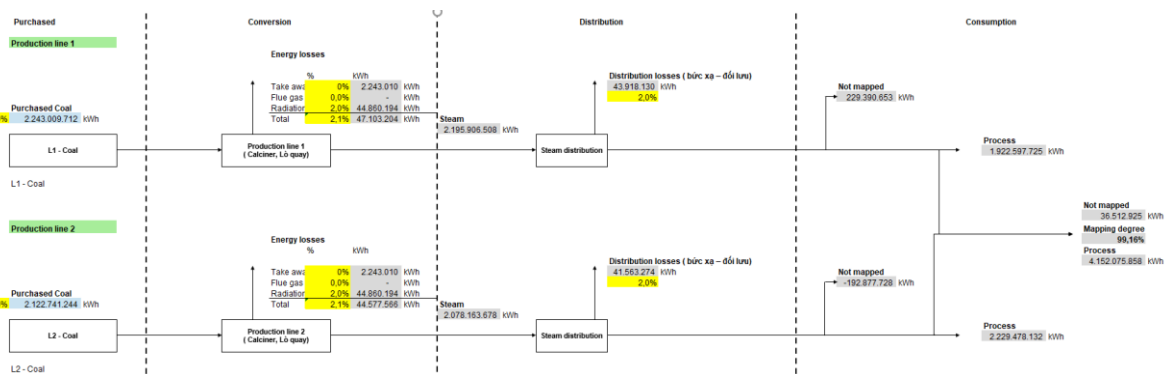


❖ Hệ thống cung cấp than:

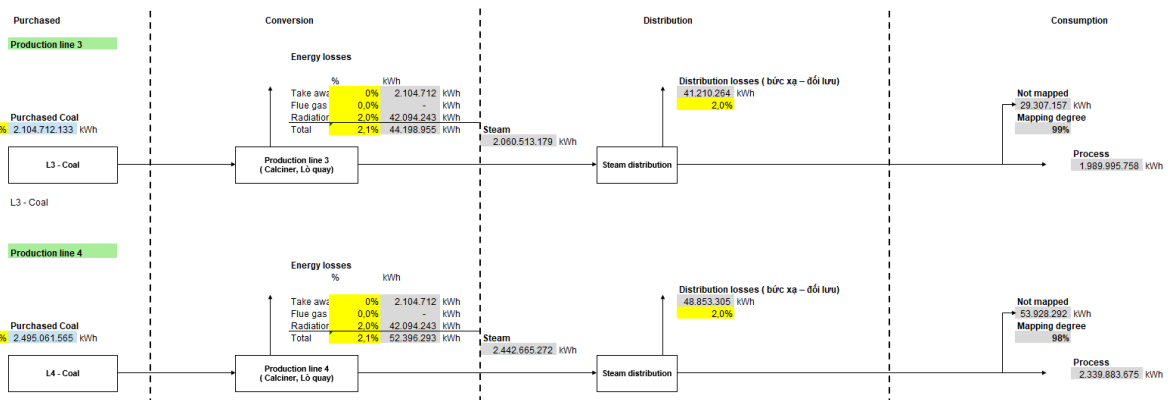
Hệ thống cung cấp than của Nhà máy được tổ chức theo chuỗi liên hoàn, đảm bảo cung cấp nhiên liệu ổn định và liên tục cho các công đoạn nung clinker.

Cấu trúc tiêu thụ than hoạt động theo một vòng lặp khép kín. Than cám nhập khẩu/nội địa được nghiền mịn thành than bột, sấy khô bằng khí nóng dư thừa và lưu trữ tại silo trung gian. Hệ thống vận chuyển khí động sử dụng dòng khí áp lực cao từ quạt Roots blower để "bắn" than bột qua đường ống định lượng thẳng vào calciner và vôi đốt lò. Tính đồng nhất của lưu lượng than bột và áp suất khí vận chuyển quyết định trực tiếp đến hình dáng ngọn lửa và cường độ truyền nhiệt trong lò quay.

Nhìn chung, hệ thống cung cấp than của Nhà máy được thiết kế khép kín, tự động hóa cao, đáp ứng tốt yêu cầu về ổn định cấp liệu và an toàn vận hành, góp phần đảm bảo hiệu quả cho quá trình nung clinker.



Hình 1.6. Sơ đồ mô tả dòng năng lượng cung cấp và tiêu thụ than trong Nhà máy (Dây chuyền 1&2)



Hình 1.7. Sơ đồ mô tả dòng năng lượng cung cấp và tiêu thụ than trong Nhà máy (Dây chuyền 3&4)

1.4 Cơ cấu tiêu thụ Năng lượng (2021-2025):

Phân tích hồ sơ năng lượng trong 5 năm cho thấy sự áp đảo tuyệt đối của nhiên liệu hóa thạch, đồng thời phản ánh tính chu kỳ của vận hành sản xuất. Dưới đây là bảng thống kê tổng thể sự dịch chuyển năng lượng từ nguồn số liệu vận hành nội bộ:

Bảng 1.5. Bảng thống kê tổng thể sự dịch chuyển năng lượng

Loại năng lượng	Đơn vị	Năm 2021	Năm 2022	Năm 2023	Năm 2024	Năm 2025 (*)
Điện EVN	MWh	537.250	476.416	471.190	433.979	440.176
Điện WHR	MWh	122.184	108.771	101.156	214.522	195.199
Tỷ trọng Điện EVN	%	11,19%	5,50%	4,99%	4,72%	5,14%
Tỷ trọng Điện WHR	%	2,54%	1,26%	1,07%	2,33%	2,28%
Than (Nhiệt năng)	Tấn	590.853	1.157.729	1.270.207	1.224.438	1.137.336
Tỷ trọng Than	%	85,87%	93,23%	93,93%	92,95%	92,59%
Dầu DO	1000 Lít	1.834	155	0,25	-	-
Nước	M3	-	2.092.467	3.318.844	-	-

Ghi chú: Dữ liệu năm 2025 mới chỉ tính đến tháng 10

Biến động tăng vọt lượng than vào năm 2022 và sự ổn định dần từ 2023-2025 cho thấy những điều chỉnh sâu sắc về chiến lược sản xuất hoặc biến đổi nhiệt trị của nguồn than đầu vào. Cơ cấu 93% năng lượng từ than khẳng định rằng bất kỳ giải pháp vi mô nào liên quan đến hệ thống sử dụng than (chẳng hạn nhằm hạn chế tổn thất bức xạ vỏ lò hoặc tối ưu hóa phối liệu) cũng sẽ đem lại giá trị tài chính vĩ mô.

Về mặt tiêu thụ nội bộ giữa các dây chuyền trong năm 2024, tổng lượng điện EVN được tiêu thụ chủ yếu tại Dây chuyền 1 (166 triệu kWh) và Dây chuyền 2 (143 triệu kWh), trong khi Dây chuyền 3 và 4 tận dụng tỷ trọng lớn từ WHR và sự phối hợp tải tối ưu. Sản lượng điện WHR sản xuất trong năm 2024 đạt đỉnh ở Dây chuyền 4 (67,7 triệu kWh) và Dây chuyền 3 (55,6 triệu kWh).

2 Phương pháp xác định các dự án hiệu quả năng lượng

2.1 Cách thức xác định và phát triển các dự án HQNL

Sự thành công của bất kỳ đợt kiểm toán năng lượng nào cũng phụ thuộc hoàn toàn vào phương pháp luận (Methodology) được áp dụng. Để đảm bảo độ chính xác của dữ liệu và tính khả thi của các đề xuất, nhóm chuyên gia đã tuân thủ nghiêm ngặt phương pháp luận đa tầng theo chuẩn DEEP3 của Đan Mạch, tuân thủ quy định hiện hành (Thông tư 25/2020/TT-BCT) kết hợp các hướng dẫn kỹ thuật của chương trình DEEP3 và khung tiêu chuẩn quốc tế ISO 50002 (Tiêu chuẩn về Kiểm toán năng lượng) do UNIDO khuyến nghị.

Phương pháp này đòi hỏi phải nhìn toàn bộ hệ thống một cách tổng thể (Systems Approach), thay vì xem từng thiết bị riêng lẻ. Cụ thể, cần phân tích mối liên hệ nhiệt động giữa các dòng vật chất và năng lượng trong toàn bộ nhà máy, dựa trên cách tiếp cận hệ thống và sử dụng bản đồ năng lượng (Energy Mapping).

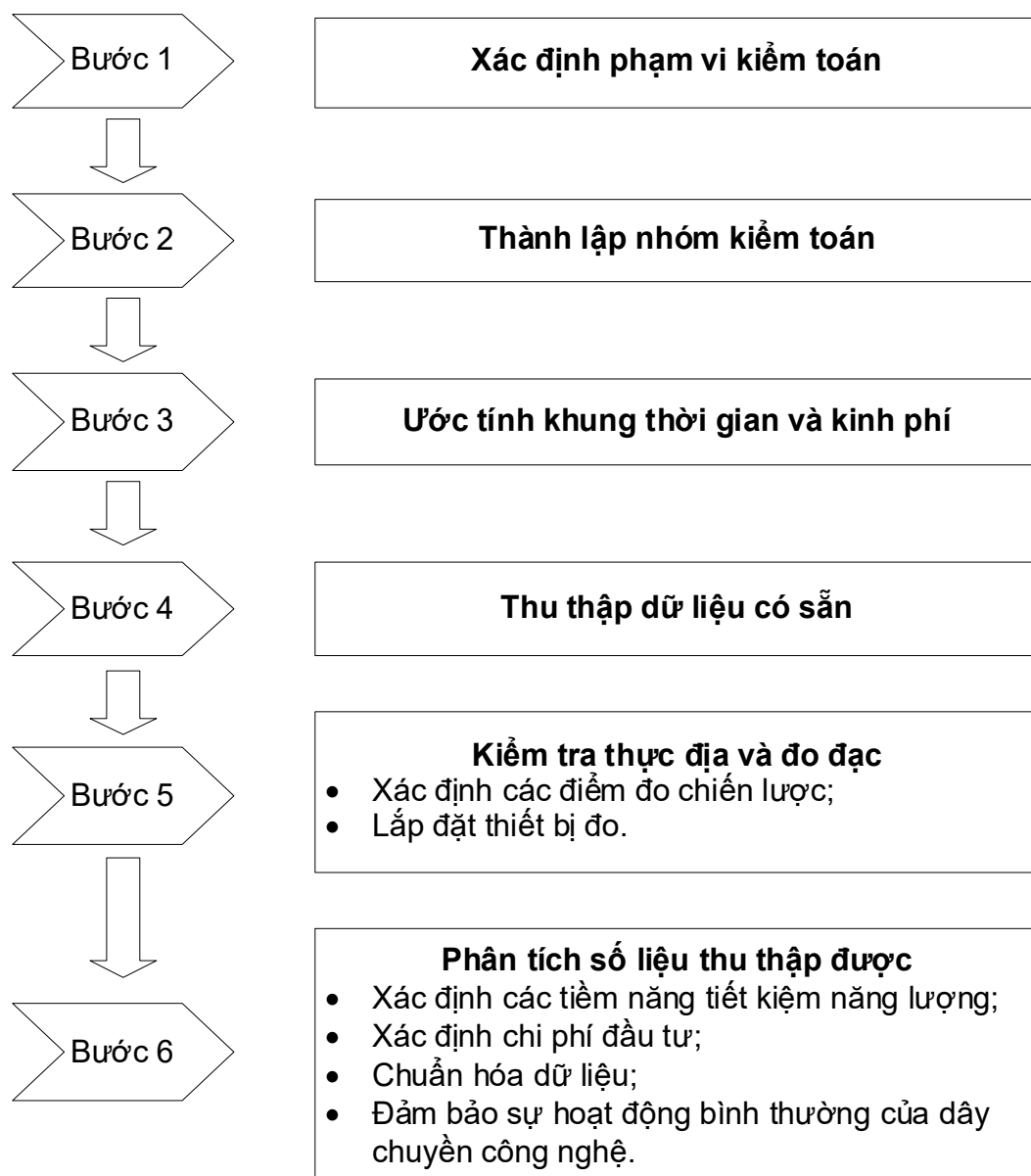
Các bước chính gồm: xác định phạm vi, thành lập nhóm kiểm toán, thu thập dữ liệu lịch sử 3–5 năm, khảo sát và đo đạc hiện trường, xây dựng bản đồ cân bằng vật chất – năng lượng theo công đoạn và dây chuyền, phân tích KPI và so sánh với chuẩn ngành, từ đó xác định và phân loại các cơ hội HQNL.

Cấu trúc tiêu thụ năng lượng được phân tích chi tiết theo loại năng lượng (điện lưới, điện WHR, than, nhiên liệu phụ) và theo khu vực tiêu thụ chính (nghiên, vận chuyển, lò – ghi, khí nén, chiếu sáng, phụ trợ). Các khu vực sử dụng năng lượng trọng yếu (SEU) được nhận diện để ưu tiên phân tích sâu và đề xuất giải pháp.

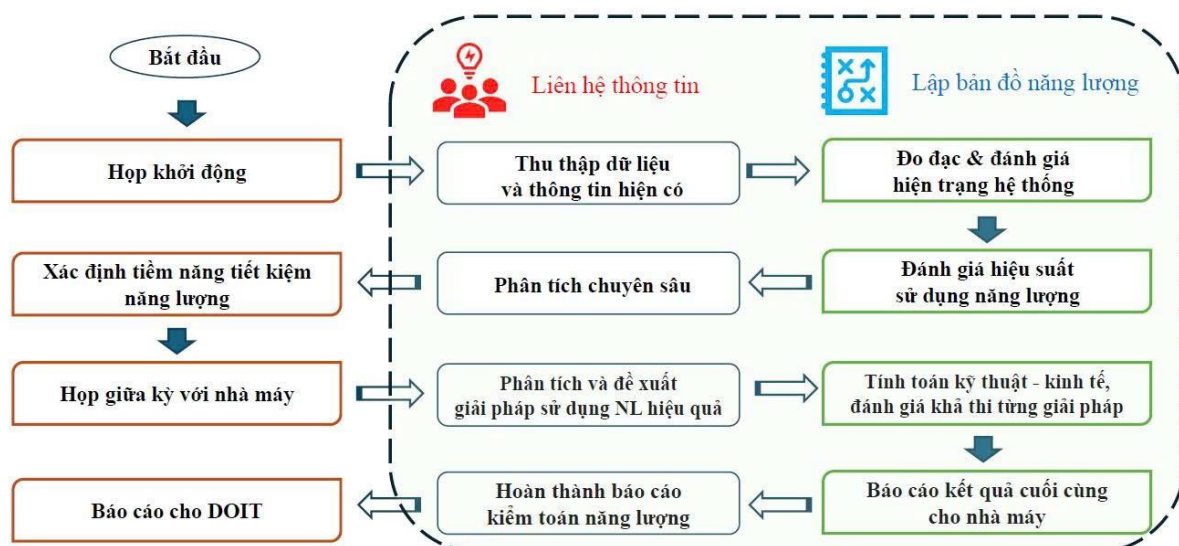
❖ Quy trình thực hiện kiểm toán năng lượng:

Quy trình kiểm toán năng lượng trong dự án được thực hiện tuân thủ các quy định hiện hành của Việt Nam, đồng thời tích hợp các phương pháp tiên tiến từ các chương trình quốc tế.

Quy trình kiểm toán năng lượng được thực hiện theo hướng dẫn của Thông tư 25/2020/TT-BCT ngày 29 tháng 9 năm 2020. Cụ thể như hình ảnh bên dưới:



Hình 2.1. Quy trình kiểm toán năng lượng theo Thông tư 25



Hình 2.2. Quy trình kiểm toán năng lượng theo chương trình DE3

Ngoài việc tuân thủ các thủ tục kiểm toán năng lượng theo Thông tư 25/2020/TT-BCT, phương pháp luận được áp dụng trong dự án này cũng được điều chỉnh phù hợp với các hướng dẫn kỹ thuật của DEPP3, với các nội dung chính bao gồm:

- Cách tiếp cận dựa trên hệ thống, tập trung vào các khu vực tiêu thụ năng lượng chính;
- Phát triển bản đồ năng lượng để đánh giá dòng năng lượng và xác định các điểm thất thoát;
- Phân tích các chỉ số hiệu suất năng lượng (KPI) cho từng quy trình và dây chuyền sản xuất;
- Xác định và phân loại các cơ hội tiết kiệm năng lượng theo mức độ ưu tiên (Cấp A, Cấp B);
- Đánh giá các giải pháp không chỉ dựa trên tiềm năng tiết kiệm năng lượng mà còn xem xét tính khả thi về mặt kỹ thuật và tác động vận hành..

Việc tích hợp các hướng dẫn quốc gia với cách tiếp cận của chương trình DEPP3 đảm bảo tuân thủ quy định đồng thời nâng cao chiều sâu phân tích và tính ứng dụng thực tiễn của các giải pháp được đề xuất.

❖ Công cụ lập bản đồ năng lượng (Energy Mapping)

Công cụ lập bản đồ năng lượng (Energy Mapping) là phương pháp phân tích trung tâm trong báo cáo này. Công cụ này chuyển hóa các con số rời rạc thành một sơ đồ số hóa dòng năng lượng luân chuyển toàn nhà máy. Nhóm tư vấn đã xây dựng sơ đồ năng lượng tổng thể cho Nhà máy nhằm trực quan hóa mô tả dòng năng lượng từ đầu vào đến các khâu tiêu thụ chính, bao gồm:

- Cân bằng năng lượng giữa các công đoạn (nghiền liệu, lò nung, làm nguội clinker, nghiền xi măng, phụ trợ)
- Đánh giá hiệu suất sử dụng năng lượng của từng hệ thống
- Xác định các điểm tổn thất năng lượng và cơ hội cải tiến

Phương pháp này chia tách dòng chảy năng lượng thành hai nhánh chính:

- Dòng Nhiệt năng (Thermal Energy flow): Khảo sát đo đếm chỉ ra rằng dòng nhiệt (từ than) thất thoát chủ yếu ở 3 khu vực: (1) Bức xạ và đối lưu qua vỏ lò quay và tháp tiền nung do suy giảm chất lượng gạch chịu lửa cách nhiệt; (2) Nhiệt lượng mang đi bởi khí thải ống khói chưa được hệ thống WHR thu hồi triệt để; (3) Nhiệt thất thoát mang theo bởi clinker nóng khi ra khỏi thiết bị làm nguội do trao đổi nhiệt với không khí thứ cấp chưa đạt mức tối ưu.

- Dòng Điện năng (Electrical Energy flow): Điểm nóng (hotspot) tiêu thụ điện hội tụ tại hệ thống máy nghiền (Raw mill & Finish mill) do đặc tính tổn hao năng lượng do ma sát cơ học là cực lớn; hệ thống quạt hút ID (Induced Draft Fan) công suất hàng MW phục vụ kiểm soát khí động học lò nung; và các hệ thống phụ trợ (khí nén, bơm nước làm mát). Việc ánh xạ sơ đồ chỉ ra rõ ràng khoảng cách (gap) giữa năng lượng đầu vào và công hữu ích sinh ra, từ đó định lượng chính xác tiềm năng tiết kiệm.

Nhờ Energy Mapping, nhóm chuyên gia đã bóc tách rõ ràng Suất tiêu hao điện (kWh/tấn) và Suất tiêu hao nhiệt (kcal/kg) (các EnPIs) cho từng cụm thiết bị. Sơ đồ năng lượng cũng giúp Ban quản lý năng lượng của Nhà máy có cái nhìn tổng thể về dòng năng lượng trong toàn bộ dây chuyền sản xuất, từ đó hỗ trợ việc ra quyết định và xây dựng lộ trình tối ưu hóa sử dụng năng lượng trong dài hạn.

Đánh giá hiệu suất năng lượng tại Nhà máy được thực hiện thông qua việc so sánh mức tiêu thụ năng lượng thực tế với các giá trị chuẩn (benchmark) trong nước và quốc tế, đồng thời tính toán các chỉ số hiệu suất năng lượng (KPI) cho từng công đoạn sản xuất.

Cụ thể, nhóm tư vấn tập trung đánh giá:

- Suất tiêu hao điện và nhiệt của các dây chuyền sản xuất clinker và xi măng
- Hiệu suất của các hệ thống tiêu thụ năng lượng chính như lò nung, nghiền liệu, nghiền xi măng, hệ thống khí nén, quạt và bơm
- Hiệu quả thu hồi và sử dụng năng lượng từ hệ thống WHR
- Trên cơ sở đó, các khu vực có hiệu suất thấp hoặc chưa tối ưu được xác định, làm tiền đề đề xuất các giải pháp tiết kiệm năng lượng.

Kết quả Benchmarking với dữ liệu ngành (Vietnam Cement Industry Average) cho thấy một bức tranh tích cực đan xen:

- Suất tiêu hao điện nung clinker: Cơ sở đạt hiệu suất tuyệt vời, thấp hơn trung bình ngành từ 8–17% và vận hành cực kỳ ổn định qua 5 năm.
- Suất tiêu hao điện nghiền xi măng: Đạt mức tương đương trung bình ngành. Tuy nhiên, phân tích độ lệch chuẩn cho thấy Dây chuyền 1 tiêu thụ nhiều điện năng hơn so với thiết kế, là dấu hiệu cảnh báo mài mòn cơ khí tại máy nghiền hoặc suy giảm lực ly tâm tại bộ phân ly.
- Suất tiêu hao nhiệt nung clinker: Dù hệ thống WHR đã giúp thu hồi nhiệt đáng kể, việc lập bản đồ năng lượng phát hiện một vùng đáng chú ý: tổn thất nhiệt bức xạ qua vỏ lò và sự lãng phí các dòng khí thải nhiệt độ trung bình (65°C - 150°C) thoát ra tại các khu vực lọc bụi, silo và nghiền. Không gian tối ưu hóa nhiệt động lực học tại đây là rất lớn.

Quá trình phân tích và đánh giá chi tiết được thực hiện dựa trên việc tổng hợp dữ liệu đo đạc, dữ liệu vận hành và kết quả khảo sát hiện trường, nhằm xây dựng cơ sở kỹ thuật cho các giải pháp tiết kiệm năng lượng.

Các nội dung phân tích chính bao gồm:

- Phân tích cơ cấu tiêu thụ năng lượng theo từng công đoạn sản xuất (nghiên liệu, lò nung, làm nguội clinker, nghiền xi măng và hệ thống phụ trợ)
- Đánh giá các chỉ số hiệu suất năng lượng (KPI) và so sánh với các giá trị tham chiếu (benchmark)
- Xây dựng sơ đồ năng lượng chi tiết cho từng khu vực và hệ thống

Bên cạnh đó, mức tiêu thụ năng lượng của các thiết bị và hệ thống chính cũng được phân tích, bao gồm:

- Dây chuyền sản xuất clinker: lò nung, calciner, hệ thống làm nguội clinker
- Dây chuyền nghiền xi măng: máy nghiền, phân ly, vận chuyển
- Hệ thống khí nén, hệ thống làm mát, hệ thống quạt và bơm
- Hệ thống thu hồi nhiệt (WHR) và các phụ tải điện chính

Báo cáo đã phân tích chuỗi dữ liệu và cơ cấu tiêu thụ năng lượng qua các năm, mang lại những insight quan trọng. Thứ nhất, có một sự bùng nổ về khối lượng tiêu thụ than sau năm 2021 (tăng gần gấp đôi, từ hơn 590 ngàn tấn lên ngưỡng duy trì trên 1.1 đến 1.2 triệu tấn/năm). Sự gia tăng này đẩy tỷ trọng nhiệt năng lên ngưỡng chiếm hơn 92% tổng cơ cấu năng lượng quy đổi. Thứ hai, sự phụ thuộc gần như tuyệt đối vào than cám (một dạng năng lượng hóa thạch có hệ số phát thải cực cao) đã trực tiếp sinh ra hơn 3 triệu tấn CO₂ trong năm 2024, tạo ra một rủi ro tài chính đáng kể nếu các sắc thuế carbon quốc tế được áp dụng (CBAM). Tuy nhiên, lượng điện mua từ EVN có xu hướng giảm nhẹ và được bù đắp bởi hệ thống WHR nội bộ, chứng tỏ năng lực tự chủ điện năng của doanh nghiệp đang được cải thiện.

Quá trình phân tích này giúp xác định nguyên nhân gây tổn thất năng lượng, đánh giá mức độ ảnh hưởng và làm rõ tiềm năng cải thiện của từng hệ thống.

Việc xác định các cơ hội tiết kiệm năng lượng được thực hiện trên cơ sở kết quả đánh giá hiệu suất và phân tích chi tiết các hệ thống trong Nhà máy.

Nhóm tư vấn tiến hành:

- Nhận diện các cơ hội tối ưu vận hành và cải tiến công nghệ
- Đề xuất các giải pháp tiết kiệm năng lượng phù hợp với từng hệ thống và điều kiện thực tế

Các giải pháp tập trung vào:

- Tối ưu hóa vận hành dây chuyền sản xuất
- Nâng cao hiệu suất thiết bị
- Ứng dụng công nghệ tiên tiến (ví dụ: Machine Learning, tự động hóa)

- Tận dụng năng lượng dư thừa và năng lượng tái tạo

Đối với mỗi giải pháp, nhóm tư vấn thực hiện:

- Ước tính tiềm năng tiết kiệm năng lượng và chi phí
- Đánh giá sơ bộ chi phí đầu tư
- Phân tích hiệu quả kinh tế (thời gian hoàn vốn, IRR, NPV nếu cần)

Cuối cùng, các giải pháp được xếp hạng ưu tiên dựa trên các tiêu chí:

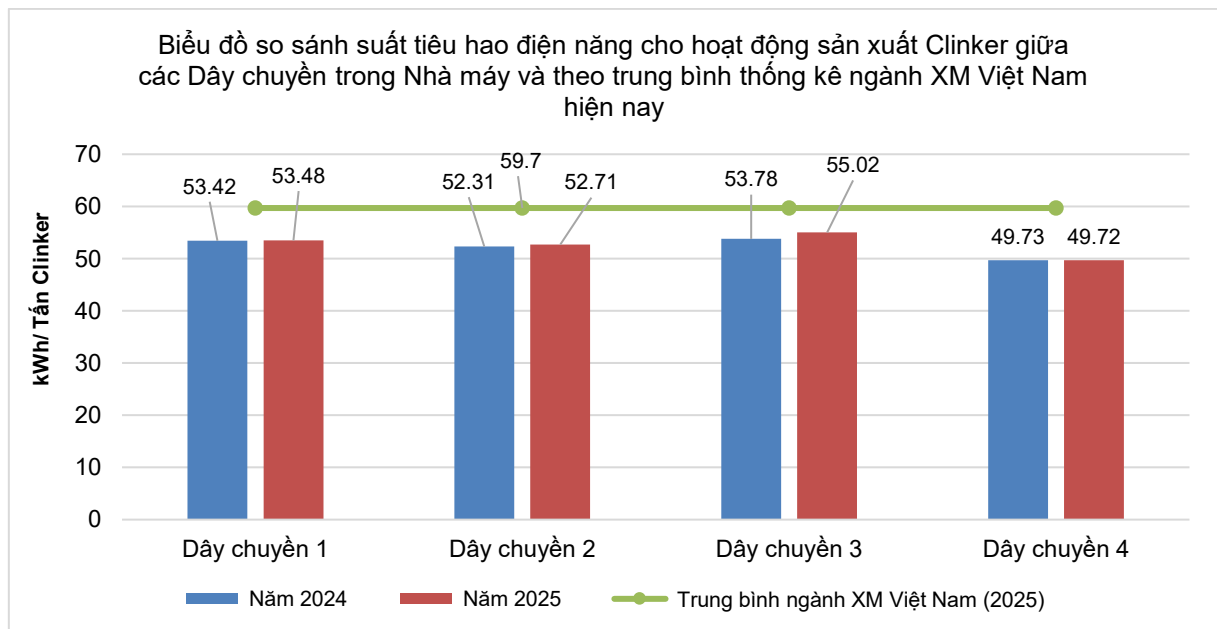
- Mức độ tiết kiệm năng lượng
- Tính khả thi kỹ thuật
- Chi phí đầu tư
- Thời gian hoàn vốn

Qua đó, xây dựng danh mục các dự án tiết kiệm năng lượng có tính khả thi cao, làm cơ sở cho kế hoạch triển khai trong giai đoạn tiếp theo.

Suất tiêu hao năng lượng:

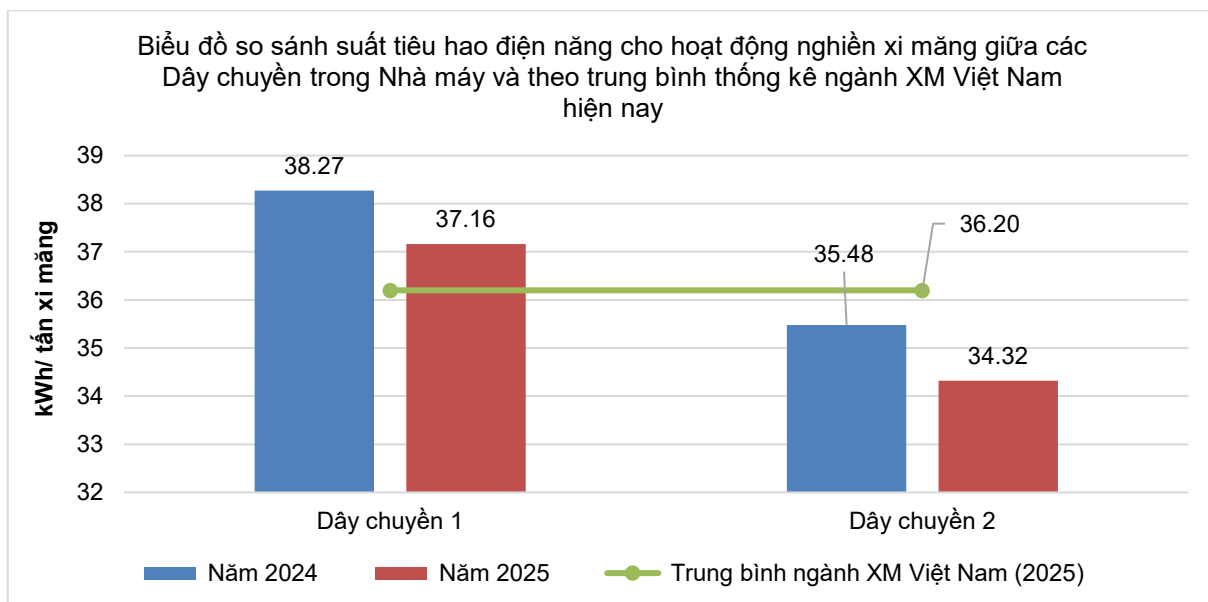
Do đặc thù sản xuất xi măng gồm hai nhóm sản phẩm chính là clinker và xi măng, điện năng được tách thành hai phần để đánh giá riêng:

a) Suất tiêu hao điện cho sản xuất clinker



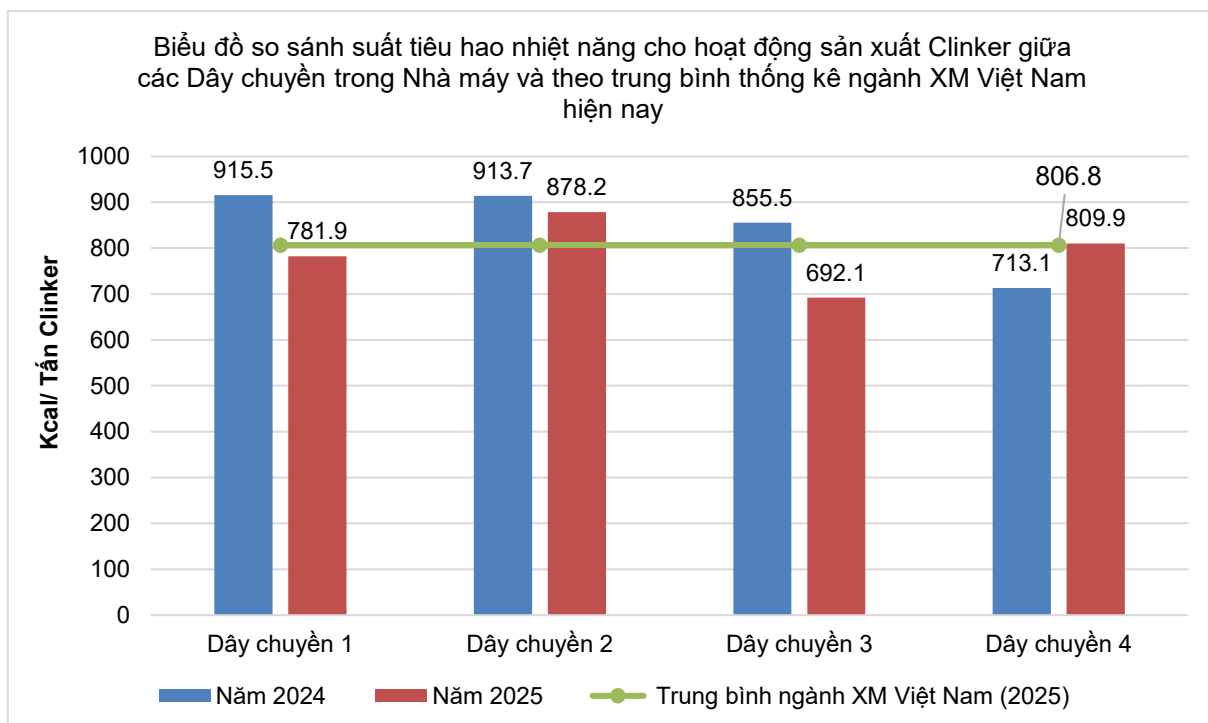
Hình 2.3. Biểu đồ so sánh suất tiêu hao điện năng cho hoạt động sản xuất Clinker giữa các Dây chuyền trong Nhà máy và theo trung bình thống kê ngành XM Việt Nam hiện nay

b) Suất tiêu hao điện cho nghiền xi măng

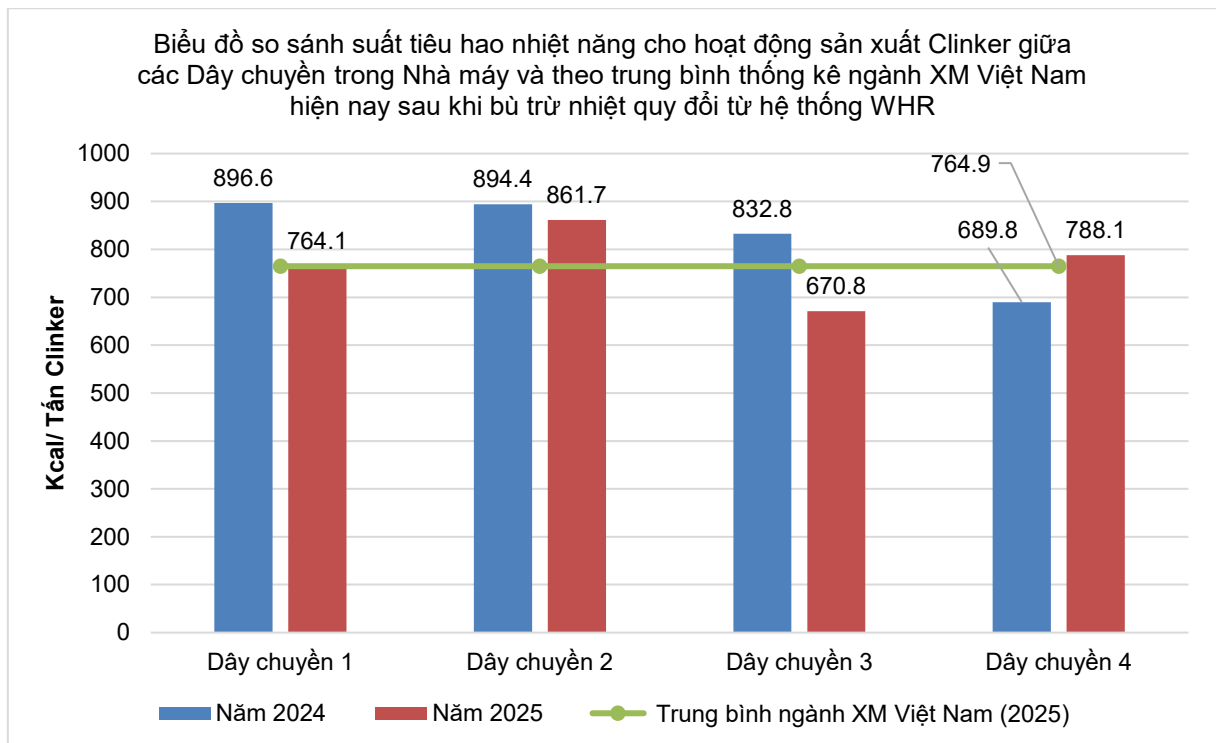


Hình 2.4. Biểu đồ so sánh suất tiêu hao điện năng cho hoạt động nghiền xi măng giữa các Dây chuyền trong Nhà máy và theo trung bình thống kê ngành XM Việt Nam hiện nay

c) Suất tiêu hao nhiệt năng cho sản xuất clinker



Hình 2.5. Biểu đồ so sánh suất tiêu hao nhiệt năng cho hoạt động sản xuất Clinker giữa các Dây chuyền trong Nhà máy và theo trung bình thống kê ngành XM Việt Nam hiện nay



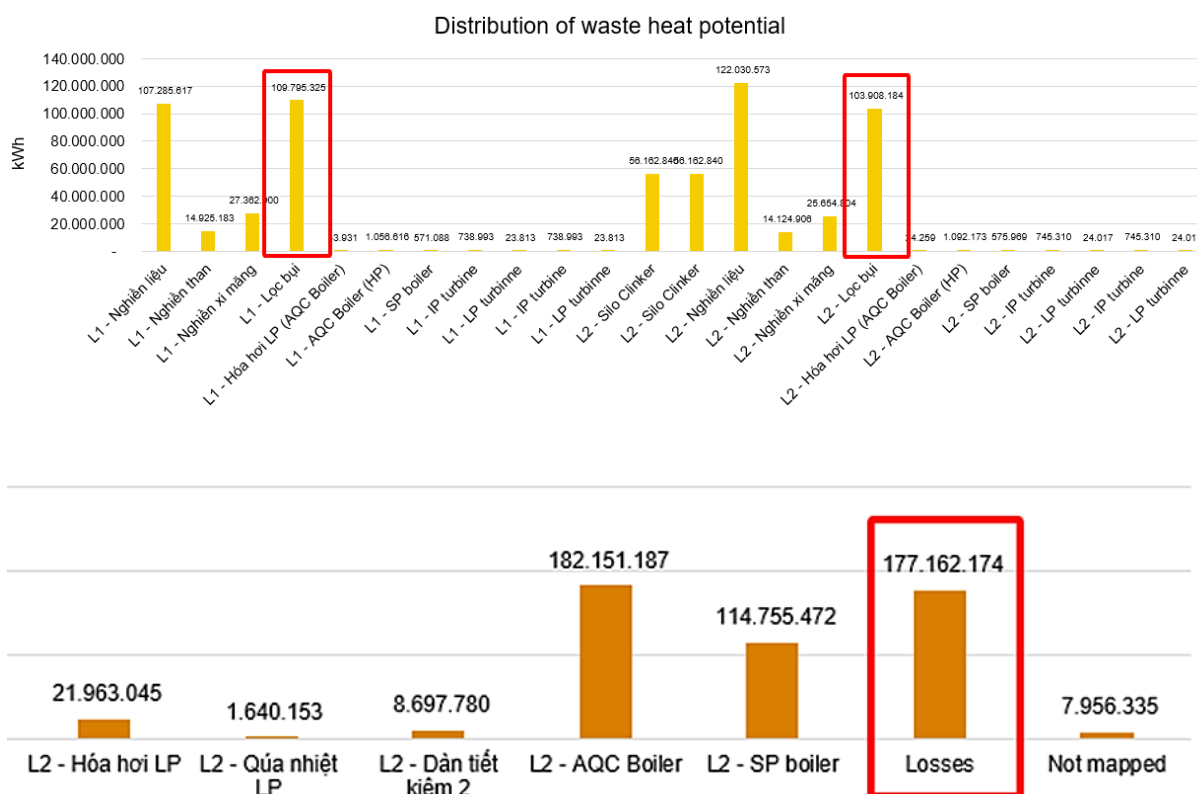
Hình 2.6. Biểu đồ so sánh suất tiêu hao nhiệt năng cho hoạt động sản xuất Clinker giữa các Dây chuyền trong Nhà máy và theo trung bình thống kê ngành XM Việt Nam hiện nay sau khi bù trừ nhiệt quy đổi từ hệ thống WHR

Nhìn chung, Nhà máy có hiệu quả sử dụng năng lượng tốt hơn mức trung bình ngành, đặc biệt ở công đoạn sản xuất clinker với suất tiêu hao điện thấp hơn 8–17% và vận hành ổn định qua các năm. Công đoạn nghiền xi măng cũng đạt mức tương đương hoặc tốt hơn trung bình ngành, tuy nhiên vẫn tồn tại chênh lệch giữa các dây chuyền, trong đó dây chuyền 1 còn tiềm năng tối ưu.

Về tiêu hao nhiệt, hiệu quả vận hành giữa các dây chuyền chưa đồng đều nhưng đã có sự cải thiện rõ rệt trong năm 2025, đặc biệt ở dây chuyền 1 và 3. Việc tận dụng nhiệt thải thông qua hệ thống WHR góp phần đáng kể trong việc giảm tiêu hao năng lượng tổng thể, giúp nhà máy tiệm cận mức hiệu quả tốt. Tuy nhiên, vẫn còn dư địa cải thiện, chủ yếu ở tối ưu vận hành lò nung và công đoạn nghiền xi măng. Do đó, việc triển khai đồng bộ các giải pháp tiết kiệm năng lượng, kết hợp với áp dụng hệ thống quản lý năng lượng theo tiêu chuẩn ISO 50001:2018, sẽ giúp nâng cao khả năng kiểm soát, giảm biến động và tối ưu suất tiêu hao năng lượng toàn nhà máy.

Để xác định tiềm năng tiết kiệm năng lượng, nhóm tư vấn đã kết hợp phân tích hệ thống bằng công cụ Bản đồ năng lượng (Energy Mapping) với đánh giá chuyên gia.

Những phát hiện chính từ phân tích sơ đồ năng lượng bao gồm:



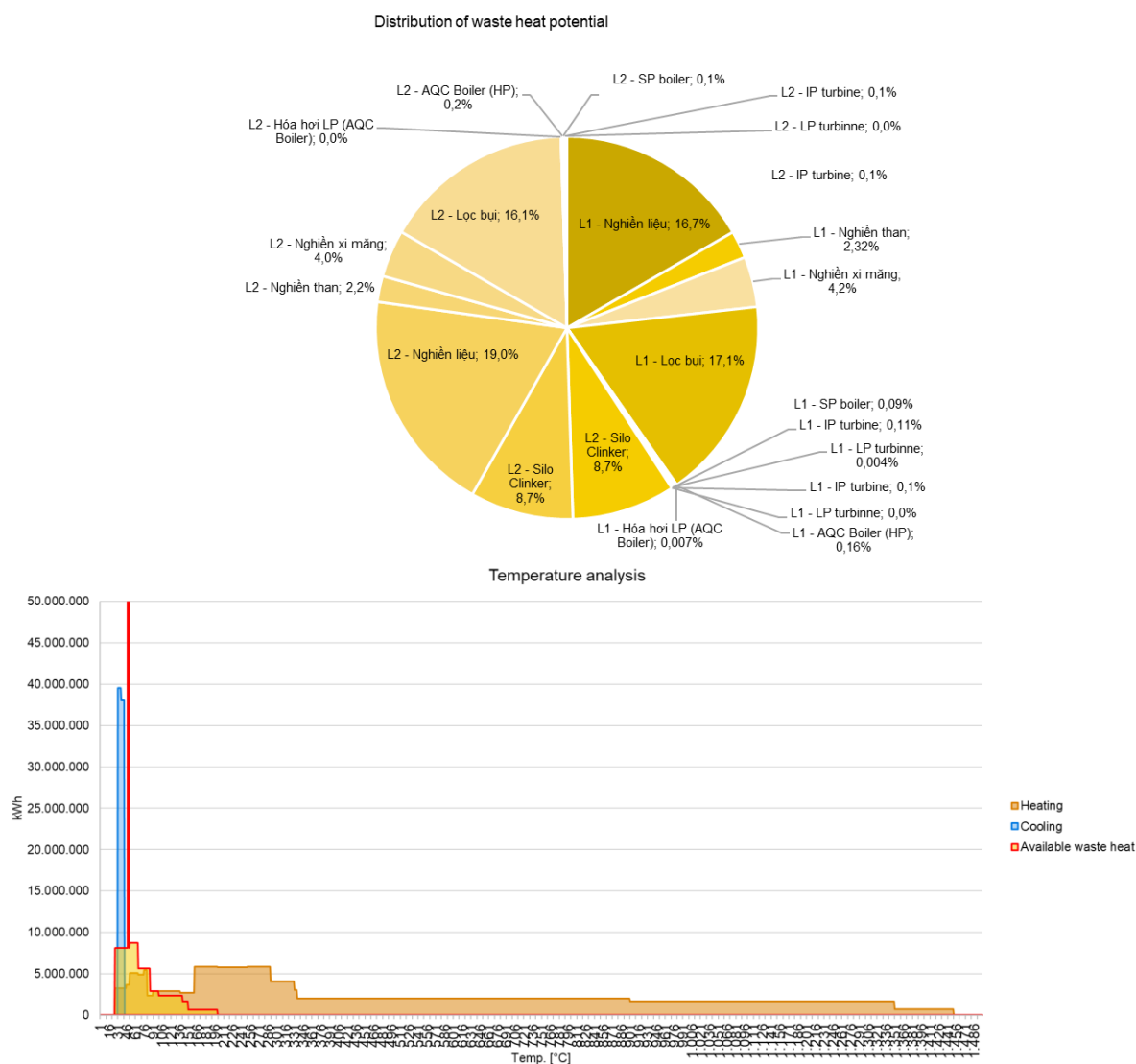
Hình 2.7. Nhận diện tiềm năng TKNL từ mapping

Kết quả phân tích sơ đồ năng lượng cho thấy các phụ tải điện lớn tập trung chủ yếu tại các hệ thống như nghiền liệu, nghiền xi măng, quạt công suất lớn và hệ thống khí nén. Trong đó, hệ thống khí nén và các thiết bị vận hành liên tục (quạt, bơm) chiếm tỷ trọng tiêu thụ điện đáng kể, cho thấy tiềm năng tối ưu thông qua cải thiện chế độ vận hành và nâng cao hiệu suất thiết bị.

Đối với năng lượng nhiệt, phần lớn nhiệt được cung cấp cho quá trình nung clinker tại lò quay và calciner. Tuy nhiên, vẫn tồn tại tổn thất nhiệt đáng kể qua khí thải, bức xạ và các công đoạn làm nguội clinker. Mặc dù nhà máy đã trang bị hệ thống thu hồi nhiệt thải (WHR), một phần nhiệt dư vẫn chưa được tận dụng triệt để, đặc biệt tại các dòng khí thải và khu vực làm nguội.

Ngoài ra, do trong nhà máy đồng thời tồn tại các quá trình cần gia nhiệt và làm mát, cùng với nhiều nguồn nhiệt thải khác nhau, nên tiềm năng tối ưu hóa thông qua thu hồi và tái sử dụng nhiệt là đáng kể. Việc xây dựng sơ đồ năng lượng giúp trực quan hóa dòng năng lượng trong toàn bộ dây chuyền, từ đó hỗ trợ công tác quản lý, kiểm soát và đề xuất các giải pháp tiết kiệm năng lượng như tối ưu vận hành, cải tiến công nghệ và nâng cao hiệu suất hệ thống.

Quá trình lập bản đồ năng lượng cũng phát hiện một tỷ lệ năng lượng 'Chưa phân bổ' (Not Mapped) nhất định, cho thấy doanh nghiệp cần nâng cấp hệ thống công tơ đo đếm phân xưởng để kiểm soát tổn thất chính xác hơn.



Hình 2.8. Nhận diện tiềm năng thu hồi nhiệt thải và tối ưu nhiệt giữa các quá trình (vùng khoanh đỏ)

Thông qua các phương pháp phân tích hệ thống nêu trên, nhóm tư vấn đã đề xuất danh mục các giải pháp tiết kiệm năng lượng tiềm năng (List level B) như trình bày tại Chương 3 của báo cáo.

Tiềm năng tiết kiệm năng lượng do nhóm tư vấn đề xuất là rất lớn. Việc thực hiện các giải pháp này sẽ góp phần giảm đáng kể chi phí năng lượng. Theo đánh giá, các giải pháp nêu trên có tính khả thi cao về mặt kỹ thuật và kinh tế. Dựa vào danh mục đề xuất, nhóm tư vấn sẽ phối hợp cùng Nhà máy lựa chọn các giải pháp cần nghiên cứu đầu tư tiếp theo (Danh mục level A). Chi phí đầu tư sẽ được ước tính sơ bộ và tính toán chi tiết trong giai đoạn đầu tư.

Bảng 2.1 Danh mục level A – Các giải pháp TKNL cần đầu tư

STT	Mô tả	Tiết kiệm năng lượng than (tấn)	Tiềm năng tiết kiệm (kWh)	Ước tiết kiệm chi phí (Triệu VNĐ)	Chi phí đầu tư (Triệu VNĐ)	Hoàn vốn (năm)
1	Xây dựng, áp dụng và chứng nhận Hệ thống quản lý năng lượng theo tiêu chuẩn ISO 50001:2018	2.448,88	1.296.654	8.648	3.000	0,35
2	Giải pháp lắp đặt hệ thống điện mặt trời		14.134.437	30.945	172.250	5,57
3	Lắp đặt biến tần cho MNK kết hợp bộ điều khiển trung tâm cho hệ thống khí nén		590.358	1.150,02	3.600,00	3,13
4	Cải tạo đường ống “Lắp đặt đường ống phân cấp áp suất cho hệ thống khí nén”		836.437,63	1.629,38	4.500,00	2,76
5	Lắp đặt hệ thống bóng làm sạch tự động HydroBall, thiết bị khử cặn điện tử và bộ điều khiển tự động cho bơm nước tuần hoàn và quạt gió tháp giải nhiệt theo áp suất chân không bình ngưng		2.447.672	4.768,07	3.000	0,63
6	Giải pháp thu hồi nhiệt thải (>100oC) bằng ứng dụng công nghệ máy lạnh hấp thụ phục vụ cho hệ thống điều hòa không khí cho các phụ tải khu vực phòng điều khiển và trạm điện (DC1 - DC4)		1.296.480,00	2.525,54	9.000,00	3,56
7	Giải pháp ứng dụng Machine Learning để tối ưu hoá vận hành sản xuất	18.366,6	12.966.543,13	71.175,25	116.600,00	1,64
Tổng		20.815,45	33.568.582	120.841	311.950	2,58

2.2 Đánh giá dự án Hiệu quả năng lượng (HQNL)

Việc đánh giá từng giải pháp tiết kiệm năng lượng được thực hiện dựa trên một khung đánh giá có cấu trúc rõ ràng. Việc đánh giá này xem xét nhiều yếu tố, bao gồm mức tiết kiệm năng lượng, hiệu quả tài chính và tác động môi trường, nhằm đảm bảo phân tích toàn diện cho từng giải pháp được đề xuất.

Đối với mỗi giải pháp, mức tiết kiệm năng lượng được ước tính bằng cách so sánh mức tiêu thụ năng lượng cơ sở với hiệu suất dự kiến sau cải tiến. Tính khả thi về tài chính được đánh giá thông qua các chỉ số chính như thời gian hoàn vốn, Tỷ suất hoàn vốn nội bộ (IRR), và Giá trị hiện tại ròng (NPV), xét đến cả chi phí đầu tư ban đầu và khoản tiết kiệm dài hạn. Bên cạnh đó, lợi ích môi trường được định lượng thông qua mức giảm phát thải CO₂ và quy đổi sang đơn vị TOE (tấn dầu quy đổi), đảm bảo phù hợp với các mục tiêu phát triển bền vững.

Các tính toán chi tiết cho từng giải pháp HQNL được trình bày trong phần phụ lục.

Phần 1: Giải pháp tiết kiệm năng lượng về kỹ thuật:

2.2.1 Hệ thống cung cấp điện

- **Lắp đặt hệ thống điện mặt trời trên mặt đất**

Dữ liệu đầu vào:

- Công suất lắp đặt dự kiến: 10.000 kWp;
- Sản lượng điện trung bình 1 năm: 14.134.437 kWh;
- Chi phí lắp đặt: theo 3 phương án (không lưu trữ, lưu trữ 10MWh và lưu trữ 20MWh);
- Tuổi thọ của giải pháp: 20 năm.

Tóm tắt kết quả tính toán hiệu quả kinh tế:

- Năng lượng tiết kiệm: 14.134.437 kWh/năm;
- Chi phí tiết kiệm hàng năm: 30.945 triệu VNĐ/năm;
- Chi phí đầu tư dự án: 172.250 triệu VNĐ;
- Thời gian hoàn vốn: 5,6 năm.

Kết luận: Giải pháp có tiềm năng tiết kiệm năng lượng và giảm chi phí vận hành đáng kể cho Công ty, đồng thời góp phần giảm phát thải khí nhà kính. Tuy nhiên, đây là giải pháp có quy mô lớn, Công ty nên phát triển lộ trình triển khai phù hợp dựa trên cơ sở kết quả kiểm toán năng lượng này. Để nâng cao hiệu quả đầu tư, Công ty có thể tìm kiếm nguồn vốn hỗ trợ từ chương trình hỗ trợ đầu tư tiết kiệm năng lượng của Bộ Công Thương, các chương trình hỗ trợ tài chính từ tổ chức phi chính phủ hoặc đầu tư theo hình thức chia sẻ lợi nhuận từ hiệu quả tiết kiệm năng lượng thông qua các Công ty dịch vụ năng lượng (ESCO).

2.2.2 Hệ thống chiếu sáng

- **Thay thế các bóng halogen công suất 70W và 150W bằng các bóng đèn Led hiệu suất cao**

Dữ liệu đầu vào:

- Công suất đèn:
 - + Halogen 70W (thực tế 85W) → LED 30W
 - + Halogen 150W (thực tế 170W) → LED 70W
- Số lượng:
 - + 4.362 bóng (70W)
 - + 149 bóng (150W)
- Thời gian vận hành: 3.650 giờ/năm
- Hệ số sử dụng đồng thời: 80%
- Giá điện trung bình: 1.948 VNĐ/kWh.

Tóm tắt kết quả tính toán hiệu quả kinh tế:

- Tổng điện năng tiết kiệm: 744.045 kWh/năm
- Tổng chi phí tiết kiệm: 1.449 triệu VNĐ/năm
- Tổng chi phí đầu tư: 2.841 triệu VNĐ
- Thời gian hoàn vốn: 1,96 năm.

Kết luận: Giải pháp có tính khả thi cao, công nghệ đơn giản, dễ triển khai và mang lại hiệu quả tiết kiệm điện rõ rệt. Đây là giải pháp chi phí đầu tư trung bình – hoàn vốn nhanh – rủi ro thấp, phù hợp triển khai đồng loạt trong toàn nhà máy.

2.2.3 Hệ thống khí nén

- **Giải pháp 1: Lắp đặt bộ biến tần điều khiển (VFD) cho hệ thống máy nén khí kết hợp với bộ điều khiển trung tâm cho hệ thống khí nén**

Dữ liệu đầu vào:

- Số lượng hệ thống khí nén khảo sát: 6 hệ thống (D31 – D36)
- Tổng công suất lắp đặt: 480 – 720 kW/hệ thống
- Áp suất vận hành hiện tại: ~0,65 – 0,68 MPa
- Áp suất sau cải tạo: ~0,62 MPa
- Thời gian vận hành: liên tục (~85 – 99% tải)

- Tỷ lệ chạy không tải (unload): ~30%
- Giá điện trung bình: 1.948 VNĐ/kWh.

Tóm tắt kết quả tính toán hiệu quả kinh tế:

- Năng lượng tiết kiệm mỗi năm: 590.358 kWh/năm;
- Chi phí tiết kiệm mỗi năm: 1.150 triệu VNĐ/năm;
- Chi phí đầu tư dự án: 3.600 triệu VNĐ;
- Thời gian hoàn vốn: 3,13 năm.

Kết luận: Giải pháp có tiềm năng tiết kiệm năng lượng đáng kể và phù hợp triển khai, đặc biệt hiệu quả tại các hệ thống có phụ tải lớn và thời gian vận hành cao (như D35, D34). Tuy nhiên, cần xem xét ưu tiên đầu tư theo từng khu vực để tối ưu hiệu quả tài chính, do một số hệ thống có thời gian hoàn vốn dài hơn.

○ **Giải pháp 2: Thường xuyên kiểm tra và sửa chữa rò rỉ khí nén**

Dữ liệu đầu vào:

- Số lượng hệ thống khí nén: 6 hệ thống (D31 – D36)
- Số lượng máy nén khí: 4 – 6 máy/hệ thống
- Tổng công suất lắp đặt: 480 – 720 kW/hệ thống
- Điện năng tiêu thụ năm cơ sở: ~2,1 – 4,6 triệu kWh/năm/hệ thống
- Tỷ lệ thất thoát do rò rỉ ước tính: ~1%
- Giá điện trung bình: 1.948 VNĐ/kWh.

Tóm tắt kết quả tính toán hiệu quả kinh tế:

- Tổng điện năng tiết kiệm: 182.732 kWh/năm
- Tổng chi phí tiết kiệm: 356 triệu VNĐ/năm
- Tổng chi phí đầu tư: 120 triệu VNĐ.
- Thời gian hoàn vốn: 0.34 năm.

Lợi ích bổ sung:

- Giảm tải cho hệ thống máy nén khí;
- Giảm tổn thất khí nén và nâng cao độ ổn định áp suất;
- Giảm phát thải khoảng ~120 tấn CO₂/năm.

Kết luận: Đây là giải pháp chi phí thấp – hiệu quả cao – hoàn vốn rất nhanh, cần được ưu tiên triển khai ngay. Việc kiểm soát và khắc phục rò rỉ không chỉ giúp tiết kiệm năng lượng mà còn cải thiện độ tin cậy và tuổi thọ của toàn bộ hệ thống khí nén.

○ **Giải pháp 3: Lắp đặt đường ống phân phối áp suất cho hệ thống khí nén**

Dữ liệu đầu vào:

- Số lượng hệ thống khí nén: 6 hệ thống (D31 – D36)
- Số lượng máy nén khí: 4 – 6 máy/hệ thống
- Tổng công suất lắp đặt: 480 – 720 kW/hệ thống
- Điện năng tiêu thụ năm cơ sở: ~2,1 – 4,6 triệu kWh/năm/hệ thống
- Áp suất vận hành hiện tại: ~0,65 – 0,68 MPa
- Tỷ lệ phụ tải áp thấp: ~45 – 60%
- Áp suất sau cải tạo (nhóm thấp áp): ~0,50 MPa.

Tóm tắt kết quả tính toán hiệu quả kinh tế:

- Tổng điện năng tiết kiệm: 836.438 kWh/năm
- Tổng chi phí tiết kiệm: 1.629 triệu VNĐ/năm
- Tổng chi phí đầu tư: 4.500 triệu VNĐ
- Thời gian hoàn vốn: 2,14 – 4,82 năm.

Lợi ích bổ sung:

- Giảm tải vận hành cho nhóm máy nén khí áp suất cao;
- Giảm tổn thất do tiết lưu và hạn chế hiện tượng tạo khí nén dư áp;
- Giảm tỷ lệ rò rỉ khí nén do giảm áp suất trên phần lớn mạng phân phối;
- Nâng cao độ ổn định áp suất cho từng nhóm phụ tải theo nhu cầu thực tế;
- Giảm hao mòn thiết bị, kéo dài tuổi thọ máy nén khí và các thiết bị sử dụng khí nén;
- Tạo điều kiện thuận lợi cho công tác quản lý, giám sát và tối ưu vận hành hệ thống khí nén theo từng cấp áp suất;
- Giảm phát thải khoảng 551,38 tấn CO₂/năm.

Kết luận: Giải pháp có hiệu quả tiết kiệm năng lượng tương đối cao, phù hợp với đặc thù phụ tải phân tán theo nhiều mức áp suất trong nhà máy xi măng. Việc phân cấp áp suất giúp tối ưu vận hành toàn hệ thống khí nén và mang lại hiệu quả bền vững.

2.2.4 Hệ thống thu hồi nhiệt phát điện (WHR)

- **Lắp đặt hệ thống bóng làm sạch tự động HydroBall, thiết bị khử cặn điện tử và bộ điều khiển tự động cho bơm nước tuần hoàn và quạt gió tháp giải nhiệt theo áp suất chân không bình ngưng**

Dữ liệu đầu vào:

- Hiện trạng vận hành: Tổn thất nhiệt tại bình ngưng hệ thống phát điện thu hồi nhiệt (WHR) lớn ($>50\%$), áp suất chân không khó duy trì ở mức thấp do cấu cặn và giới hạn của việc điều khiển bơm/quạt thủ công
- Tổng điện năng phát của hệ thống: 52,67 triệu kWh/năm
- Lượng điện tự dùng hiện tại của hệ thống WHR: 2,84 triệu kWh/năm ($\sim 5,39\%$)
- Tiềm năng giảm điện tự dùng: 12%
- Hiệu suất hệ thống tăng dự kiến: 4%
- Giá điện trung bình: 1.948 VNĐ/kWh

Tóm tắt kết quả tính toán hiệu quả kinh tế:

- Điện năng tiết kiệm (giảm tự dùng): 340.968 kWh/năm
- Điện năng tăng thêm (do tăng hiệu suất): 2.106.704 kWh/năm
- Tổng lợi ích điện năng quy đổi: 2,45 triệu kWh/năm
- Tổng chi phí tiết kiệm: 4.768 triệu VNĐ/năm
- Giảm phát thải: 225 tấn CO_2 /năm
- Chi phí đầu tư: 3.000 triệu VNĐ
- Thời gian hoàn vốn: 7,5 tháng ($\sim 0,63$ năm)
- Mức giảm phát thải CO_2 dự kiến: 224,77 tấn CO_2 /năm.

Lợi ích bổ sung:

- Cải thiện áp suất chân không bình ngưng từ khoảng -85,7 kPa lên -92,5 kPa, giúp nâng hiệu suất hệ thống WHR khoảng 3–5%;
- Giảm 10–15% điện năng tiêu thụ của hệ thống nước tuần hoàn và tháp giải nhiệt;
- Duy trì hiệu quả trao đổi nhiệt ổn định, hạn chế cấu cặn và giảm tần suất vệ sinh thiết bị;
- Giảm chi phí bảo trì, nâng cao tuổi thọ thiết bị và tăng độ ổn định vận hành hệ thống;
- Góp phần giảm phát thải khí nhà kính và nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng toàn nhà máy.

Kết luận: Giải pháp mang lại hiệu quả kép với tính khả thi kỹ thuật và kinh tế cao, tính đổi mới tốt và hoàn vốn rất nhanh, mang lại lợi ích kép vừa giảm điện tự dùng vừa tăng sản lượng điện phát. Việc trang bị thiết bị khử cặn điện tử kết hợp cùng công nghệ làm sạch tự động giúp duy trì bề mặt trao đổi nhiệt của bình ngưng luôn sạch, ngăn ngừa triệt để lớp cấu cặn. Nhờ đó, áp suất chân không của hệ thống được cải thiện tối đa, vừa làm tăng sản lượng điện phát ra từ

tuabin, vừa giảm thiểu điện năng tự dùng của cụm bơm và quạt tháp giải nhiệt. Với thời gian hoàn vốn chưa tới 8 tháng, đây là giải pháp ưu tiên hàng đầu cần được doanh nghiệp triển khai ngay.

2.2.5 Hệ thống máy sản xuất

- **Giải pháp 1: Thay thế các động cơ IE1 hiệu suất thấp bằng các động cơ hiệu suất cao (IE3-IE4)**

Dữ liệu đầu vào: *(Tính toán mẫu cho một số động cơ tiêu biểu tại Line 1 và Line 2)*

- Line 1 (IE1 → IE4):
 - + Công suất: 160 kW (1 động cơ – máy đập 221CR01)
 - + Hiệu suất: 93,8% → 96,6%
- Line 2 (IE2 → IE4):
 - + Công suất: 90 kW × 2 động cơ (băng tải 322BC02 & 522BC08MT01)
 - + Hiệu suất: 93,0% → 96,1%
- Thời gian vận hành: 8.640 giờ/năm
- Hệ số sử dụng: 70%
- Giá điện trung bình: 1.948 VNĐ/kWh.

Tóm tắt kết quả tính toán hiệu quả kinh tế:

- Tổng điện năng tiết kiệm: 85.833 kWh/năm
 - + Line 1: 52.415 kWh/năm
 - + Line 2: 33.418 kWh/năm
- Tổng chi phí tiết kiệm: 167 triệu VNĐ/năm
 - + Line 1: 102 triệu VNĐ/năm
 - + Line 2: 65 triệu VNĐ/năm
- Tổng chi phí đầu tư: 1.090 triệu VNĐ
- Thời gian hoàn vốn:
 - + Line 1: 4,41 năm
 - + Line 2: 9,83 năm
 - + Trung bình: 6,5 năm.

Lợi ích bổ sung:

- Giảm tổn thất điện năng và chi phí vận hành trong suốt vòng đời thiết bị;
- Giảm nhiệt lượng tỏa ra, nâng cao độ ổn định và độ tin cậy vận hành;
- Kéo dài tuổi thọ động cơ nhờ giảm hao mòn cơ khí và tổn thất nhiệt;

- Giảm phát thải khoảng 85,83 tấn CO₂/năm;
- Phù hợp triển khai theo lộ trình thay thế khi đại tu hoặc hỏng hóc nhằm tối ưu chi phí đầu tư và hạn chế ảnh hưởng sản xuất.

Kết luận: Giải pháp giúp nâng cao hiệu suất thiết bị và giảm tổn thất điện năng, tuy nhiên thời gian hoàn vốn tương đối dài, do chi phí đầu tư cao. Vì vậy, nên triển khai theo hướng thay thế khi có cơ hội (hỏng hóc, đại tu) thay vì đầu tư đồng loạt.

- **Giải pháp 2: Giải pháp thu hồi nhiệt thải (>100oC) bằng ứng dụng công nghệ máy lạnh hấp thụ phục vụ cho hệ thống điều hòa không khí cho các phụ tải khu vực phòng điều khiển và trạm điện (DC1 - DC4)**
- *(Áp dụng điển hình cho hệ thống điều hoà không khí – Dây chuyền 1)*

Dữ liệu đầu vào:

- Công suất lạnh:
 - + Trước: 580 RT
 - + Sau: 630 RT
- Công suất điện tiêu thụ:
 - + Trước: 328 kW
 - + Sau: 180 kW
- Thời gian vận hành: 24 giờ/ngày; 365 ngày/năm
- Điện năng tiêu thụ:
 - + Trước: 2.873.280 kWh/năm
 - + Sau: 1.576.800 kWh/năm
- Giá điện trung bình: 1.948 VNĐ/kWh.

Tóm tắt kết quả tính toán hiệu quả kinh tế:

- Điện năng tiết kiệm: 1.296.480 kWh/năm
- Chi phí tiết kiệm: 2.525,5 triệu VNĐ/năm
- Chi phí đầu tư: 9.000 triệu VNĐ
- Thời gian hoàn vốn: 3,2 năm.

Kết luận: Giải pháp tận dụng nhiệt thải để sản xuất lạnh giúp giảm mạnh điện tiêu thụ của hệ thống HVAC, đồng thời nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng tổng thể của nhà máy. Với IRR ~24,65% và NPV dương, đây là giải pháp khả thi về kinh tế – hiệu quả rõ rệt – phù hợp triển khai cho các dây chuyền có nguồn nhiệt thải ổn định.

Phần 2: Giải pháp tiết kiệm năng lượng về quản lý:

2.2.6 Giải pháp quản lý và tối ưu hóa năng lượng

- **Giải pháp 1: Các giải pháp học máy (Machine Learning) để tối ưu hóa hoạt động sản xuất**

Nguyên lý – Lợi ích – Tính mới của giải pháp Machine Learning

- Ứng dụng AI/ML để phân tích dữ liệu vận hành theo thời gian thực, từ đó tối ưu phối liệu, tối ưu vận hành lò nung và hệ thống nghiền, đồng thời dự báo và tự động điều chỉnh các thông số quan trọng. Nhờ đó giúp giảm tiêu hao nhiệt và điện, hạn chế dao động vận hành và nâng cao hiệu suất toàn hệ thống.
- Giải pháp mang lại nhiều lợi ích rõ rệt như giảm khoảng 3–5% năng lượng tiêu thụ, tăng độ ổn định vận hành và giảm sự phụ thuộc vào kinh nghiệm của người vận hành.
- Đây là giải pháp tiên tiến, đã được triển khai tại nhiều nhà máy xi măng lớn trên thế giới (ABB, FLSmidth, Schneider...), phù hợp với xu hướng chuyển đổi số và tối ưu năng lượng dựa trên dữ liệu (AI-driven operation).

Dữ liệu đầu vào:

- Tổng điện tiêu thụ năm 2024:
 - + DC1: 221,5 triệu kWh
 - + DC2: 188,7 triệu kWh
 - + DC3: 117,8 triệu kWh
 - + DC4: 120,4 triệu kWh
- Tổng than tiêu thụ:
 - + DC1: 321.601 tấn
 - + DC2: 304.357 tấn
 - + DC3: 301.772 tấn
 - + DC4: 296.708 tấn
- Giá điện: 1.948 VNĐ/kWh
- Giá than: 2,5 triệu VNĐ/tấn
- Tiềm năng tối ưu:
 - + Giảm điện: ~2%
 - + Giảm than: ~1,5%.

Tóm tắt kết quả tính toán hiệu quả kinh tế:

- Tổng điện năng tiết kiệm: 12.966.543 kWh/năm

- Tổng than tiết kiệm: 18.366 tấn/năm
- Tổng chi phí tiết kiệm: 71.175 triệu VNĐ/năm
- Chi phí đầu tư: 116.600 triệu VNĐ
- Thời gian hoàn vốn: 1,55 – 1,71 năm

Kết luận: Giải pháp tác động lớn nhất trong các giải pháp đề xuất, với tiềm năng tiết kiệm cao, hoàn vốn nhanh và mang tính chiến lược dài hạn. Nên ưu tiên triển khai ở quy mô toàn nhà máy.

○ **Giải pháp 2: Xây dựng hệ thống quản lý năng lượng theo tiêu chuẩn ISO 50001:2018**

Dữ liệu đầu vào:

- Tổng điện tiêu thụ năm 2024: 648.327.157 kWh
- Tổng than tiêu thụ: 1.224.438 tấn
- Giá điện: 1.948 VNĐ/kWh
- Giá than: 2,5 triệu VNĐ/tấn
- Tiềm năng cải thiện:
 - + Giảm điện: ~0,2%
 - + Giảm than: ~0,2%

Tóm tắt kết quả tính toán hiệu quả kinh tế:

- Điện năng tiết kiệm: ~1.296.654 kWh/năm
- Than tiết kiệm: ~2.449 tấn/năm
- Chi phí tiết kiệm: ~8.648 triệu VNĐ/năm
- Chi phí đầu tư: ~3.000 triệu VNĐ
- Thời gian hoàn vốn: 0,37 năm (~4–5 tháng).

Kết luận: Giải pháp chi phí trung bình – hiệu quả cao – hoàn vốn rất nhanh, đóng vai trò nền tảng để duy trì và tối ưu hiệu quả của tất cả các giải pháp TKNL khác. Nên ưu tiên triển khai sớm ở cấp toàn nhà máy.

2.3 Quy trình phát triển và triển khai các dự án HQNL được xác định

Các giải pháp chính được lựa chọn để đưa vào đề xuất nghiên cứu đầu tư sau khi thực hiện kiểm toán năng lượng được trình bày trong danh sách Mức A (Bảng 2.2). Để đạt được mục tiêu chuyển đổi nhà máy trở thành một nhà máy tiết kiệm năng lượng, các giải pháp đề xuất cần trải qua một số giai đoạn then chốt.

Quy trình bắt đầu từ báo cáo kiểm toán năng lượng, cung cấp cái nhìn tổng quan về tiềm năng tiết kiệm năng lượng của nhà máy. Tiếp theo là giai đoạn tiền khả thi nhằm xác định và lựa chọn từ hai đến ba giải pháp quan trọng nhất. Giai đoạn khả thi sau đó sẽ đánh giá các phương án này để xác định giải pháp có tính khả thi cao nhất cho việc đầu tư. Sau khi có quyết định đầu tư, quy trình sẽ chuyển sang giai đoạn đấu thầu hoặc báo giá cạnh tranh, tiếp theo là đánh giá hồ sơ dự thầu hoặc mua sắm.

Giai đoạn lắp đặt và chạy thử cần được giám sát chặt chẽ bởi phía nhà máy để đảm bảo các quyết định thiết kế quan trọng được đưa ra trong giai đoạn khả thi và đấu thầu được thực hiện đúng. Sau khi giải pháp được lắp đặt và đi vào vận hành, cần tiến hành đánh giá toàn diện để thu thập và ghi nhận dữ liệu mới về hiệu suất năng lượng. Bước cuối cùng này nhằm đảm bảo rằng giải pháp không chỉ hoạt động như mong đợi mà còn mang lại mức tiết kiệm năng lượng như dự kiến.

2.4 Phản hồi từ doanh nghiệp

Sau phần trình bày và thảo luận, phía nhà máy đã đồng ý với kết quả kiểm toán năng lượng và tất cả các giải pháp tiết kiệm năng lượng được đề xuất. Bên cạnh đó, nhà máy cũng mong muốn được Ban dự án phối hợp và hỗ trợ các bước tiếp theo nhằm đảm bảo thực hiện thành công các giải pháp tiết kiệm năng lượng. Việc tiếp nhận các đề xuất năng lượng xanh từ DEEP3 hoàn toàn phù hợp với chiến lược dài hạn của doanh nghiệp nhằm cải thiện hiệu suất vận hành, gia tăng độ tin cậy của thiết bị, và hướng tới mục tiêu phát triển bền vững, giảm thiểu phát thải khí nhà kính.

3 Các dự án HQNL được xác định

Thông qua phân tích Energy Mapping và chẩn đoán thực địa, nhóm chuyên gia đã tổng hợp hàng loạt nhóm giải pháp hiệu quả năng lượng sơ bộ (Danh mục Level B) nhằm can thiệp toàn diện từ hành vi vận hành đến cải tạo cơ khí hạng nặng. Nếu triển khai toàn bộ danh mục dự án Mức B, cơ sở có thể tiết kiệm 34.581.192,4 kWh điện và 20.815,4 tấn than mỗi năm. Tuy nhiên, để đảm bảo dòng tiền đầu tư được phân bổ tối ưu, báo cáo đã áp dụng bộ lọc tiêu chí khắt khe về tính khả thi kỹ thuật (Technical feasibility), NPV dương, IRR vượt rào cản tài chính và mức độ giảm phát thải carbon. Sau quá trình sàng lọc, phân loại các dự án HQNL được phân loại thành:

- Cấp độ A: các giải pháp ưu tiên, đã được phân tích chi tiết về kỹ thuật, năng lượng và tài chính, có tiềm năng tiết kiệm lớn và khả thi về vận hành.
- Cấp độ B: danh mục đầy đủ các cơ hội tiết kiệm năng lượng được xác định trong quá trình kiểm toán, cần tiếp tục nghiên cứu ở mức sơ bộ/chi tiết trong các giai đoạn tiếp theo.

Tiêu chí ưu tiên bao gồm: quy mô tiết kiệm năng lượng và chi phí, thời gian hoàn vốn, mức độ sẵn sàng về kỹ thuật, tác động đến sản xuất và bảo trì, tương thích với hệ thống hiện hữu, rủi ro kỹ thuật – vận hành, và đóng góp vào mục tiêu phát triển bền vững và giảm phát thải của doanh nghiệp. Kết quả là 7 giải pháp cấp độ A được lựa chọn để nghiên cứu tiếp và đề xuất đầu tư được nêu ở Bảng 2.1.

Bảng 3.1. Danh mục tổng thể (level B)

STT	Giải pháp TKNL	Tiết kiệm năng lượng ước tính		Tiền tiết kiệm (triệu VNĐ/năm)	Chi phí đầu tư (triệu VNĐ)	Thời gian hoàn vốn (năm)
		Điện năng (kWh)	Than (tấn)			
I. Nhóm giải pháp quản lý						

STT	Giải pháp TKNL		Tiết kiệm năng lượng ước tính		Tiền tiết kiệm (triệu VNĐ/năm)	Chi phí đầu tư (triệu VNĐ)	Thời gian hoàn vốn (năm)
			Điện năng (kWh)	Than (tấn)			
1	Tiếp tục thường xuyên và định kỳ thực hiện các hoạt động tuyên truyền, giáo dục và phổ biến kiến thức về tiết kiệm năng lượng cho nhân viên trong Công ty		Khuyến nghị				
2	Quản lý tải và tối ưu hóa giá điện		Truyền tải, kiểm soát tải đỉnh, kết hợp WHR chuyển 4% điện năng tiêu thụ cao điểm sang khung giờ khác giúp tiết kiệm 3.004,3 (triệu đồng) (*)				
3	Xây dựng hệ thống Quản lý Năng lượng theo tiêu chuẩn ISO 50001:2018		1.296.654	2.449	8.648	3.000	0,35
4	Các giải pháp học máy (Machine Learning) để tối ưu hóa hoạt động sản xuất	Dây chuyền 1	4.430.090	4.824	20.689.85	31,800	1,54
		Dây chuyền 2	3.773.771	4.565	18.764.69	31,800	1,69
		Dây chuyền 3	2.355.562	4.527	15.905.09	26,500	1,67
		Dây chuyền 4	2.407.120	4.451	15.815.62	26,500	1,68
	Tổng tiết kiệm năng lượng của giải pháp		12.966.543	18.367	71.175,25	116.600	1,64
II. Hệ thống cung cấp điện							
5	Giải pháp lắp đặt hệ thống điện mặt trời - sử dụng ví dụ điển hình về hệ thống điện mặt trời 10MWp không có bộ lưu trữ		14.134.437		30.944,52	172.250	5,57
III. Hệ thống khí nén							
6	Trang bị hệ thống đo lường và giám sát lưu lượng để hỗ trợ phân tích dựa trên dữ liệu và tối ưu hóa hoạt động		Khuyến nghị				

STT	Giải pháp TKNL		Tiết kiệm năng lượng ước tính		Tiền tiết kiệm (triệu VNĐ/năm)	Chi phí đầu tư (triệu VNĐ)	Thời gian hoàn vốn (năm)
			Điện năng (kWh)	Than (tấn)			
7	Chuẩn hóa và tối ưu hóa áp suất hoạt động của hệ thống dựa trên yêu cầu sử dụng thực tế		Khuyến nghị				
8	Lắp đặt bộ điều khiển biến tần (VFD) cho hệ thống điện xoay chiều kết hợp với bộ điều khiển trung tâm cho hệ thống khí nén.	Hệ thống MNK DC1 – D31	84.934,92		165,45	600	3,86
		Hệ thống MNK DC1 – D32	79.470,75		154,81	600	4,14
		Hệ thống MNK DC2 – D33	48.868,52		95,2	600	7,04
		Hệ thống MNK DC2 – D34	100.062,18		194,92	600	3,24
		Hệ thống MNK DC3 – D35	194.713,10		379,3	600	1,62
		Hệ thống MNK DC4 – D36	82.308,08		160,34	600	3,9
	Tổng tiết kiệm năng lượng của giải pháp		590.357,55	-	1.150,02	3,600.00	3,13
9	Thường xuyên kiểm tra và sửa chữa rò rỉ khí nén	Hệ thống MNK DC1 – D31	23.084		44,97	20	0,44
		Hệ thống MNK DC1 – D32	26.490		51,6	20	0,39
		Hệ thống MNK DC2 – D33	20.980		40,87	20	0,49
		Hệ thống MNK DC2 – D34	33.354		64,97	20	0,31
		Hệ thống MNK DC3 – D35	33.097		64	20	0,31
		Hệ thống MNK DC4 – D36	45.727		89,07	20	0,22
	Tổng tiết kiệm năng lượng của giải pháp		182,732		356	120	0.34
10	Cải tạo đường ống: "Lắp đặt đường ống	Hệ thống MNK DC1 – D31	109.074		212,48	750	3,7
		Hệ thống MNK DC1 – D32	143.047		278,66	750	2,79

STT	Giải pháp TKNL		Tiết kiệm năng lượng ước tính		Tiền tiết kiệm (triệu VNĐ/năm)	Chi phí đầu tư (triệu VNĐ)	Thời gian hoàn vốn (năm)
			Điện năng (kWh)	Than (tấn)			
phân phối áp suất cho hệ thống khí nén"	Hệ thống MNK DC2 – D33	84.967		165,52	750	4,82	
	Hệ thống MNK DC2 – D34	180.112		350,86	750	2,2	
	Hệ thống MNK DC3 – D35	134.044		261,12	750	2,99	
	Hệ thống MNK DC4 – D36	185.193		360,76	750	2,14	
	Tổng tiết kiệm năng lượng của giải pháp		836.437,60		1.629,40	4.500,00	2,76
IV. Hệ thống chiếu sáng							
11	Tối ưu hóa hệ thống chiếu sáng dựa trên khu vực và nhu cầu sử dụng thực tế		Khuyến nghị				
12	Triển khai các giải pháp điều khiển tự động (cảm biến hiện diện, cảm biến ánh sáng)		Khuyến nghị				
13	Nâng cao hiệu quả hoạt động thông qua việc vệ sinh hệ thống chiếu sáng thường xuyên		Khuyến nghị				
14	Thay thế bóng đèn halogen 70W và 150W bằng bóng đèn LED hiệu suất cao		744.045		1.449	2.841	1,96
V. Hệ thống thu hồi nhiệt thải (WHR)							
15	Tối ưu hóa hệ thống làm mát clinker		Giảm 1–3% lượng tiêu thụ năng lượng nhiệt trong hệ thống lò nung thông qua tối ưu hóa phân phối khí vào ghi lò, giảm lượng khí dư thừa và nâng cao hiệu quả thu hồi nhiệt. (*)				

STT	Giải pháp TKNL	Tiết kiệm năng lượng ước tính		Tiền tiết kiệm (triệu VNĐ/năm)	Chi phí đầu tư (triệu VNĐ)	Thời gian hoàn vốn (năm)
		Điện năng (kWh)	Than (tấn)			
16	Lắp đặt hệ thống làm sạch tự động HydroBall, thiết bị tẩy cặn điện tử và bộ điều khiển tự động cho bơm nước tuần hoàn và quạt tháp giải nhiệt dựa trên áp suất chân không của bình ngưng – Ví dụ điển hình cho Dây chuyền 1	2.447.672		4.768,07	3.000	0,63
VI. Hệ thống sản xuất						
17	Tối ưu hóa hệ thống khí và giảm lượng khí thải giả	Tiến hành kiểm tra rò rỉ, tối ưu hóa nồng độ O ₂ /CO, giảm tổn thất áp suất và chuẩn hóa hoạt động của quạt để đạt được mức giảm 1–3% lượng tiêu thụ nhiệt của lò nung. (*)				
18	Tối ưu hóa bộ phận gia nhiệt sơ bộ và bộ phận nung vôi	Giảm chênh lệch áp suất lọc xoáy (ΔP), cải thiện sự phân bố vật liệu, ổn định quá trình đốt cháy và tối ưu hóa việc kiểm soát O ₂ /CO để đạt được mức giảm 2–5% lượng tiêu thụ năng lượng nhiệt. (*)				
19	Tối ưu hóa độ ẩm và quá trình sấy khô nguyên liệu thô	Quản lý độ ẩm nguyên liệu theo mùa, tối ưu hóa thành phần hỗn hợp nguyên liệu và tận dụng việc thu hồi khí nóng để giảm 1–4% năng lượng tiêu thụ trong quá trình sấy và nghiền. (*)				
20	Tối ưu hóa hệ thống quạt	Xem xét lại các điểm vận hành, áp dụng biến tần (VFD) và giảm tổn thất hệ thống để đạt được mức tiết kiệm điện năng từ 3–5% trong hệ thống quạt. (*)				
21	Tối ưu hóa quá trình nghiền xi măng	Tối ưu hóa hiệu quả phân loại, thông gió, tải trọng tuần hoàn và chất trợ nghiền để giảm 2–4% lượng điện năng tiêu thụ trong quá trình nghiền. (*)				
22	Giảm tổn thất nhiệt của vỏ lò	Áp dụng phương pháp quét nhiệt và giám sát/kiểm soát điểm nóng để giảm tổn thất nhiệt từ 0,5–2%. (*)				

STT	Giải pháp TKNL	Tiết kiệm năng lượng ước tính		Tiền tiết kiệm (triệu VNĐ/năm)	Chi phí đầu tư (triệu VNĐ)	Thời gian hoàn vốn (năm)
		Điện năng (kWh)	Than (tấn)			
23	Chuẩn bị nhiên liệu và tối ưu hóa độ mịn của quá trình đốt cháy	Giảm khoảng 1–3% tiêu hao nhiệt lò nung thông qua cải thiện độ mịn than, ổn định cháy và tăng hiệu quả trao đổi nhiệt (*)				
24	Sàng lọc khả năng sẵn sàng nhiên liệu thay thế	Tiềm năng thay thế nhiệt sơ bộ khoảng 5–15% TSR trong giai đoạn đầu(*)				
25	Giảm hệ số clinker và tối ưu hóa danh mục sản phẩm	Tiềm năng giảm khoảng 3–8% năng lượng nhiệt quy đổi/tấn xi măng (*)				
26	Thay thế động cơ IE1 hiệu suất thấp bằng động cơ hiệu suất cao (IE3-IE4) khi có thể – Ví dụ điển hình	85.833		167	1.090	6,52
27	Giải pháp thu hồi nhiệt thải (>100oC) bằng ứng dụng công nghệ máy lạnh hấp thụ phục vụ cho hệ thống điều hòa không khí cho các phụ tải khu vực phòng điều khiển và trạm điện (DC1 - DC4)	1.296.480,00		2.525,54	9.000,00	3,56
Tổng tiết kiệm năng lượng cho toàn bộ nhà máy		34.581.192,40	20.815,40	122.813,40	316.001	2,57

(*): Những mục đánh dấu * chỉ mang tính chất tham khảo, được ước tính giả định theo kinh nghiệm, tham khảo từ các tài liệu chuyên ngành và dữ liệu được sử dụng để ước tính qua phân tích Energy Mapping, phân tích mức tiêu thụ nhiệt theo quy trình, SEC nhiệt theo dây chuyền.

4 Các dự án HQNL được lựa chọn (phân loại cấp độ A)

Việc phê duyệt đầu tư và áp dụng đồng bộ 7 dự án Cấp độ A trong Bảng 2.1 được chứng minh sẽ mang lại sự lợi xác về mặt năng lượng cho nhà máy. Với tiềm năng tiết kiệm ước tính 33.568.582 kWh điện và 20,815.4 tấn than mỗi năm, doanh nghiệp sẽ tiết kiệm được 120.841 triệu VNĐ hàng năm, trong khi chỉ yêu cầu một gói đầu tư kỹ thuật trị giá 311.950 triệu VNĐ. Dưới đây là phần phân tích kỹ thuật chuyên sâu về nguyên lý hoạt động và tính khả thi của từng dự án được đề xuất.

4.1 Xây dựng hệ thống quản lý năng lượng theo tiêu chuẩn ISO 50001:2018

Mô tả dự án:

- Hiện trạng:

Hiện tại, Nhà máy đã triển khai nhiều hoạt động quản lý và tối ưu hóa năng lượng trong thực tế vận hành, đồng thời bước đầu hình thành cơ chế theo dõi và kiểm soát tiêu thụ năng lượng tại một số công đoạn chính. Tuy nhiên, hệ thống quản lý năng lượng hiện tại vẫn chưa được chuẩn hóa và tích hợp đầy đủ theo cấu trúc của ISO 50001:2018.

Bên cạnh đó, việc theo dõi, đánh giá và kiểm soát tiêu thụ năng lượng giữa các dây chuyền và công đoạn vẫn còn phân tán. Các chỉ số đánh giá hiệu quả năng lượng (EnPI), đường cơ sở năng lượng và cơ chế quản lý các khu vực sử dụng năng lượng trọng điểm (SEU) chưa được xây dựng một cách đồng bộ và hệ thống.

Một số nội dung vẫn còn tiềm năng cải thiện bao gồm:

- + Tăng cường cơ chế theo dõi và đánh giá hiệu quả năng lượng theo hướng liên tục và đồng bộ giữa các dây chuyền;
- + Tiếp tục chuẩn hóa quy trình quản lý, vận hành và báo cáo năng lượng theo định hướng ISO 50001:2018;
- + Hoàn thiện việc xác định, theo dõi và quản lý các khu vực sử dụng năng lượng trọng điểm (SEU);
- + Xây dựng mục tiêu, chỉ tiêu và kế hoạch năng lượng dài hạn gắn với hoạt động cải tiến liên tục.

Do đó, việc tiếp tục hoàn thiện hệ thống quản lý năng lượng theo tiêu chuẩn ISO 50001:2018 sẽ giúp Nhà máy nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng một cách bền vững, đồng thời tăng cường khả năng duy trì và mở rộng các kết quả tiết kiệm năng lượng trong dài hạn.

Giải pháp đề xuất:

- Nguyên lý và cách tiếp cận

Hệ thống quản lý năng lượng theo ISO 50001:2018 được xây dựng dựa trên chu trình cải tiến liên tục (PDCA), bao gồm các bước chính:

- + Thiết lập chính sách năng lượng;

- + Hoạch định năng lượng (Energy Planning);
- + Triển khai và vận hành;
- + Kiểm tra, đánh giá và cải tiến liên tục.



Hình 4.1. Mô hình quản lý năng lượng theo tiêu chuẩn ISO 50001:2018

- Nội dung triển khai chính

(1) Cam kết của lãnh đạo cấp cao

Ban lãnh đạo nhà máy đóng vai trò then chốt trong việc triển khai hệ thống, với các cam kết:

- + Xây dựng chính sách năng lượng và mục tiêu tiết kiệm năng lượng dài hạn (ví dụ: giảm 3–5% trong 3–5 năm);
- + Bố trí nguồn lực (nhân sự, tài chính) cho hoạt động quản lý năng lượng;
- + Tăng cường giám sát tiêu thụ năng lượng tại các khu vực chính;
- + Thúc đẩy nhận thức sử dụng năng lượng tiết kiệm trong toàn nhà máy.

(2) Thiết lập cơ cấu tổ chức quản lý năng lượng

Thành lập Ban Quản lý năng lượng với cơ cấu rõ ràng, bao gồm:

- + Đại diện lãnh đạo;
- + Người quản lý năng lượng;
- + Nhóm quản lý năng lượng tại các bộ phận.

Ban QLNL chịu trách nhiệm triển khai, giám sát và duy trì hệ thống quản lý năng lượng trong toàn nhà máy.

(3) Hoạch định năng lượng

- + Xây dựng đường cơ sở năng lượng (EnB):
Làm cơ sở so sánh và đánh giá hiệu quả trước – sau khi triển khai các giải pháp.
- + Xây dựng chỉ số hiệu quả năng lượng (EnPI):
Ví dụ: kWh/t clinker, kcal/kg clinker, kWh/t xi măng,...

- + Xác định các khu vực sử dụng năng lượng trọng điểm (SEU):
 - Hệ thống quạt ID;
 - Hệ thống nghiền than;
 - Hệ thống nghiền liệu;
 - Hệ thống nghiền xi măng;
 - Hệ thống lò quay.

(4) Nhận diện cơ hội tiết kiệm năng lượng

Dựa trên kết quả kiểm toán năng lượng và phân tích dữ liệu, Ban QLNL sẽ:

- + Xác định và cập nhật danh mục các giải pháp TKNL;
- + Đánh giá tính khả thi và hiệu quả của từng giải pháp;
- + Ưu tiên triển khai theo mức độ hiệu quả và khả năng đầu tư.

(5) Xây dựng mục tiêu, chỉ tiêu và kế hoạch hành động

- + Thiết lập mục tiêu năng lượng (ví dụ: giảm $\geq 0,5\%$ điện năng tiêu thụ/năm);
- + Xây dựng chỉ tiêu cụ thể cho từng bộ phận;
- + Lập kế hoạch hành động với:
 - Phân công trách nhiệm rõ ràng;
 - Mốc thời gian thực hiện;
 - Phương pháp đo lường và xác nhận kết quả.

Lợi ích dự kiến

Việc triển khai hệ thống quản lý năng lượng theo ISO 50001:2018 mang lại các lợi ích chính:

- Tiết kiệm khoảng 0,1 – 3% tổng năng lượng tiêu thụ hàng năm;
- Giảm chi phí vận hành và bảo trì thiết bị;
- Nâng cao hiệu quả giám sát và kiểm soát năng lượng;
- Tăng tính ổn định và tối ưu hóa vận hành hệ thống;
- Hỗ trợ tích hợp với các hệ thống quản lý khác (ISO 9001, ISO 14001).

Đánh giá và kết luận

- Giải pháp xây dựng hệ thống quản lý năng lượng theo ISO 50001:2018 là giải pháp mang tính nền tảng và lâu dài, giúp nhà máy chuyển từ quản lý năng lượng thụ động sang chủ động và có hệ thống.
- Mặc dù mức tiết kiệm năng lượng trực tiếp không lớn như các giải pháp công nghệ, nhưng đây là giải pháp có tính bền vững cao, giúp duy trì và tối ưu hiệu quả của tất cả các giải pháp tiết kiệm năng lượng khác trong toàn nhà máy.

- Do đó, giải pháp được đánh giá rất cần thiết và nên ưu tiên triển khai sớm trong lộ trình quản lý năng lượng của Nhà máy Xi măng.

4.2 Lắp đặt hệ thống điện mặt trời (có xem xét tích hợp BESS)

❖ Mô tả dự án

Hiện trạng:

Nhà máy có nhu cầu sử dụng điện năng rất lớn, với phụ tải vận hành tương đối ổn định và liên tục giữa các giờ trong ngày. Các khu vực tiêu thụ điện chính bao gồm: nghiền liệu, nghiền than, lò nung, làm nguội clinker, nghiền xi măng và hệ thống quạt công suất lớn. Đặc điểm phụ tải này phù hợp với mô hình khai thác điện mặt trời theo hướng **tự sản – tự tiêu**, do sản lượng điện phát ra vào ban ngày có thể được hấp thụ trực tiếp trong quá trình sản xuất.

Bên cạnh đó, qua khảo sát sơ bộ, Nhà máy có quỹ mặt bằng mái tương đối lớn. Tuy nhiên, phần lớn kết cấu mái hiện hữu chưa được thiết kế để chịu thêm tải trọng của hệ thống pin mặt trời, giá đỡ và tải trọng gió bổ sung. Ngoài ra, môi trường sản xuất xi măng có đặc thù bụi mịn cao, làm gia tăng nguy cơ suy giảm hiệu suất tấm pin và tăng chi phí vận hành, bảo trì.



Hình 4.2. Hình ảnh vị trí khu đất khả thi lắp đặt hệ thống điện mặt trời tại Nhà máy Xi măng

Do đó, phương án điện mặt trời mái nhà tuy khả thi nhưng chưa phải là tối ưu nếu xét tổng thể về kỹ thuật và chi phí vòng đời.

Trên cơ sở đó, phương án phù hợp hơn là **triển khai hệ thống điện mặt trời mặt đất**, tận dụng quỹ đất trống hoặc khu vực sau khai thác mỏ. Giải pháp này cho phép:

- Chủ động bố trí mặt bằng và tối ưu hướng/góc nghiêng tấm pin;
- Thuận lợi trong công tác vệ sinh, bảo trì;
- Dễ dàng tích hợp hệ thống lưu trữ năng lượng (BESS) và điều khiển vận hành.

Điều kiện bức xạ mặt trời:

Dữ liệu vi khí hậu khu vực cho thấy bức xạ mặt trời trung bình đạt khoảng **4,07 kWh/m²/ngày**, là mức phù hợp để khai thác điện mặt trời hiệu quả. Các tháng có bức xạ cao tập trung từ tháng 4 đến tháng 8, thuận lợi cho việc phát điện trong giai đoạn phụ tải sản xuất cao.

	Đơn vị	Vị trí dữ liệu khí hậu	Địa điểm cơ sở	Nguồn
Vĩ độ		19.8	20.1	
Kinh độ		105.8	105.9	
Vùng khí hậu		1A - Rất nóng - Ấm		Đất+NASA
Cao độ	m	5	12	Đất - Bản đồ
Nhiệt độ thiết kế cấp nhiệt	°C	12.1		Đất
Nhiệt độ thiết kế làm lạnh	°C	34.1		Đất
Biên độ nhiệt độ trái đất	°C	8.2		NASA

Tháng	Bức xạ mặt trời hàng ngày - đường ngang				Tốc độ gió m/Thứ nhì	Độ cấp nhiệt - ngày 18 °C			Độ làm lạnh - ngày 10 °C
	Nhiệt độ ngoài trời °C	Độ ẩm tương đối %	Lượng mưa mm	kWh/m ² /bng		Nhiệt độ trái đất °C	°C-bng	°C-bng	
Tháng Giêng	17.8	85.5%	21.70	2.95	101.1	1.8	18.1	6	242
Tháng Hai	18.1	88.8%	18.76	3.19	100.9	1.7	19.9	0	227
Tháng Ba	20.1	90.4%	38.13	3.99	100.6	1.5	22.5	0	313
Tháng Tư	24.1	90.0%	49.50	4.60	100.2	1.7	26.0	0	423
Tháng Năm	27.2	84.9%	138.88	5.05	99.9	1.6	28.2	0	533
Tháng Sáu	29.4	79.5%	132.30	4.95	99.6	1.8	29.1	0	582
Tháng Bảy	29.2	81.8%	156.55	4.96	99.6	1.7	29.3	0	595
Tháng Tám	28.3	85.8%	234.98	4.64	99.7	1.4	28.7	0	567
Tháng Chín	26.9	86.0%	276.60	4.28	100.1	1.6	27.5	0	507
Tháng Mười	25.2	82.7%	192.51	3.68	100.6	1.7	25.0	0	471
Tháng Mười Một	22.3	80.9%	64.80	3.41	100.9	1.8	22.0	0	369
Tháng Mười Hai	18.7	81.0%	25.11	3.06	101.2	1.7	18.8	0	270
Hàng năm	24.0	84.7%	1,349.82	4.07	100.4	1.7	24.6	6	5,099
Nguồn	Đất	Đất	NASA	NASA	NASA	Đất	NASA	Đất	Đất
Đo tại					m	10	0		

Hình 4.3. Bảng tra các thông số vi khí hậu tại khu vực đặt nhà máy xi măng

Ngoài ra:

- Nhiệt độ trung bình năm: ~24°C
- Tốc độ gió trung bình: ~1,7 m/s

Các yếu tố này cho thấy điều kiện vận hành ổn định, hỗ trợ hiệu suất hệ thống điện mặt trời.

Cơ chế chính sách:

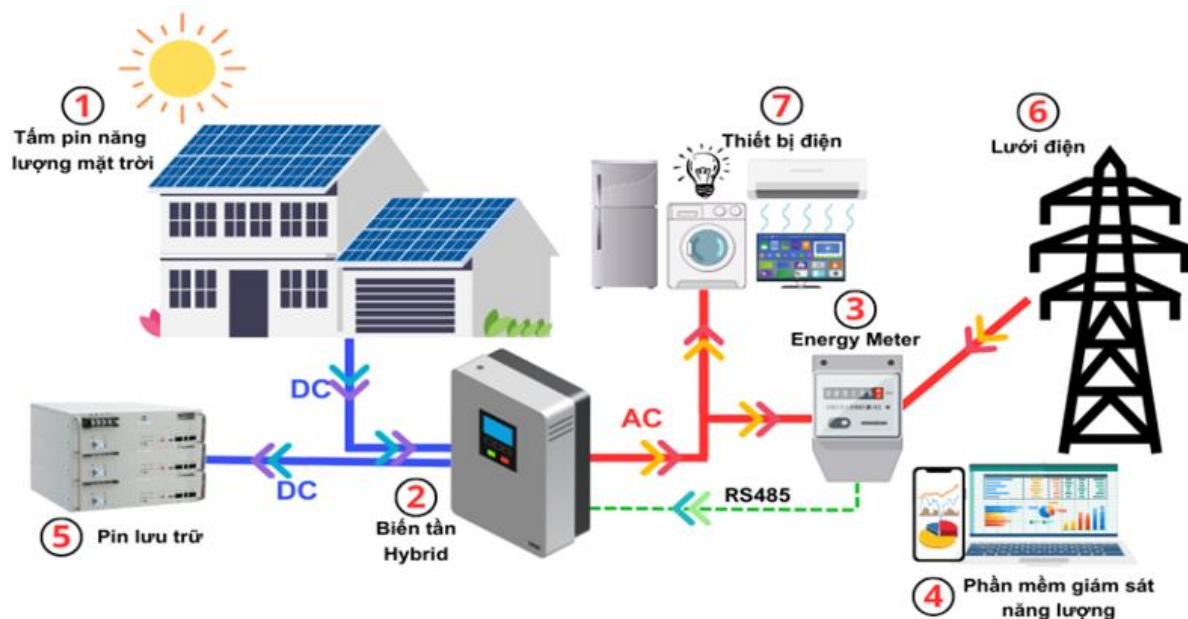
Hiện nay, môi trường pháp lý tại Việt Nam đang ngày càng thuận lợi cho phát triển điện năng lượng tái tạo, đặc biệt theo định hướng của Nghị định 58/2025/NĐ-CP, với các điểm chính:

- Khuyến khích phát triển năng lượng tái tạo;
- Ưu tiên mô hình tự sản – tự tiêu;
- Khuyến khích tích hợp hệ thống lưu trữ năng lượng (BESS);
- Mở rộng phạm vi triển khai cho điện mặt trời mặt đất;
- Yêu cầu tích hợp hệ thống giám sát, đo đếm và quản lý năng lượng.

Những yếu tố này tạo cơ sở thuận lợi cho Nhà máy triển khai dự án cả về kỹ thuật và pháp lý.

❖ **Giải pháp đề xuất**

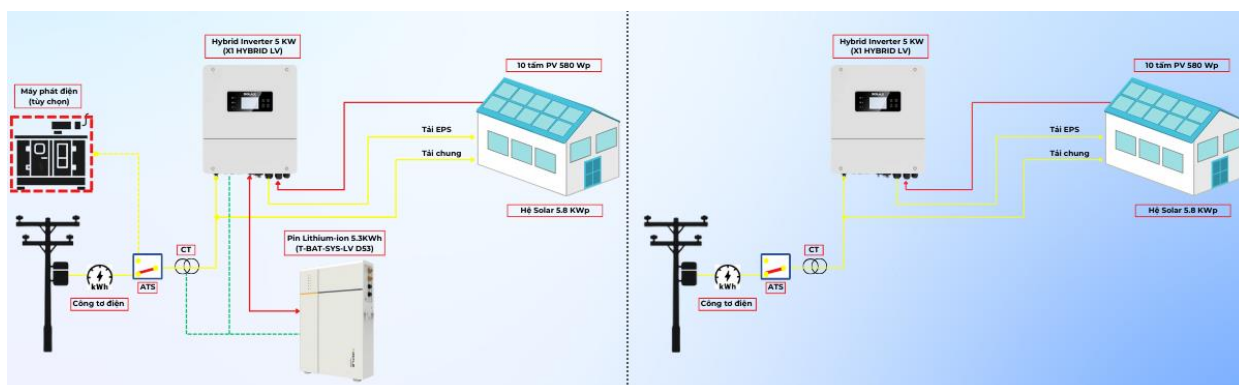
Hệ thống điện mặt trời hoạt động theo nguyên lý chuyển đổi bức xạ mặt trời thành điện năng thông qua các tấm pin quang điện. Điện năng sinh ra dưới dạng dòng điện một chiều (DC), sau đó được chuyển đổi thành dòng xoay chiều (AC) thông qua inverter để cấp cho phụ tải.



Hình 4.4. Sơ đồ nguyên lý vận hành hệ thống điện mặt trời

Phương án vận hành:

- Phương án 1 – Không BESS:
 - + Điện mặt trời được sử dụng trực tiếp cho phụ tải;
 - + Giảm điện năng mua từ lưới vào ban ngày;
 - + Hệ thống đơn giản, chi phí đầu tư thấp.
- Phương án 2 – Có BESS:
 - + Lưu trữ điện dư vào pin;
 - + Xả điện vào giờ cao điểm hoặc ban đêm;
 - + Tăng tỷ lệ tự tiêu thụ và tính linh hoạt vận hành.



Hình 4.5. Hình ảnh So sánh sơ đồ có và không có BESS

Đánh giá lựa chọn phương án:

- Với đặc điểm:
 - + Phụ tải nền lớn;

- + Vận hành 24/7;
 - + Không có hiện tượng dừng đồng thời;
- Khả năng hấp thụ điện mặt trời tại chỗ rất cao.
- Do đó:
 - + Nếu công suất hệ thống $\leq$ phụ tải ban ngày → **không cần BESS**;
 - + BESS chỉ cần thiết khi:
 - Có điện dư;
 - Cần cắt đỉnh phụ tải;
 - Hoặc tối ưu biểu giá điện.

❖ **Tiềm năng tiết kiệm năng lượng**

Với quy mô điển hình **10 MWp**, sản lượng điện mặt trời ước tính:

- Sản lượng điện: ~14,13 triệu kWh/năm
- Giảm tương ứng lượng điện mua từ lưới;
- Giảm phát thải CO₂ đáng kể.

❖ **Thách thức và các vấn đề cần xem xét**

Mặc dù có tiềm năng lớn, giải pháp vẫn cần làm rõ:

- Khả năng tích hợp với hệ thống điện hiện hữu;
- Giới hạn công suất đầu nối;
- Hiệu quả kinh tế khi có/không có BESS;
- Ảnh hưởng của bụi đến hiệu suất tấm pin;
- Chi phí đầu tư và thời gian hoàn vốn;
- Chiến lược vận hành tối ưu (EMS, ML...).

❖ **Kết luận và định hướng triển khai**

Giải pháp điện mặt trời là một trong những giải pháp có tiềm năng lớn giúp Nhà máy:

- Giảm chi phí điện năng dài hạn;
- Chủ động nguồn năng lượng;
- Giảm phát thải CO₂;
- Phù hợp xu hướng chuyển dịch năng lượng bền vững.

Trong giai đoạn tiếp theo, cần thực hiện:

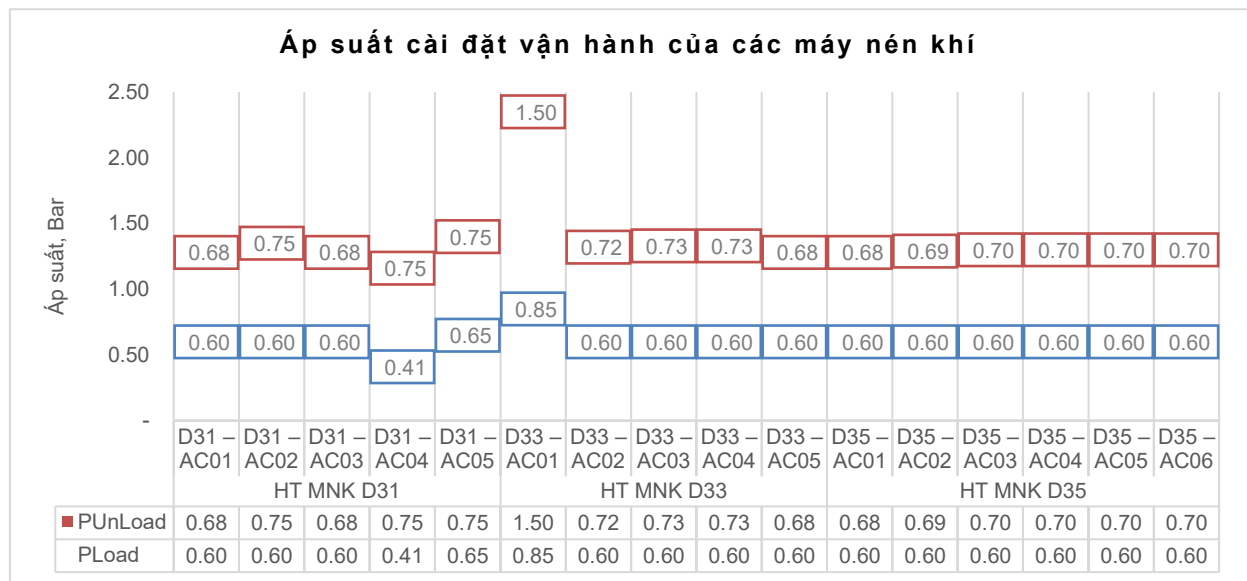
- Nghiên cứu tiền khả thi (Pre-FS);
- Khảo sát chi tiết mặt bằng và đầu nối;
- Tối ưu quy mô công suất;

- Đánh giá chi tiết hiệu quả tài chính.

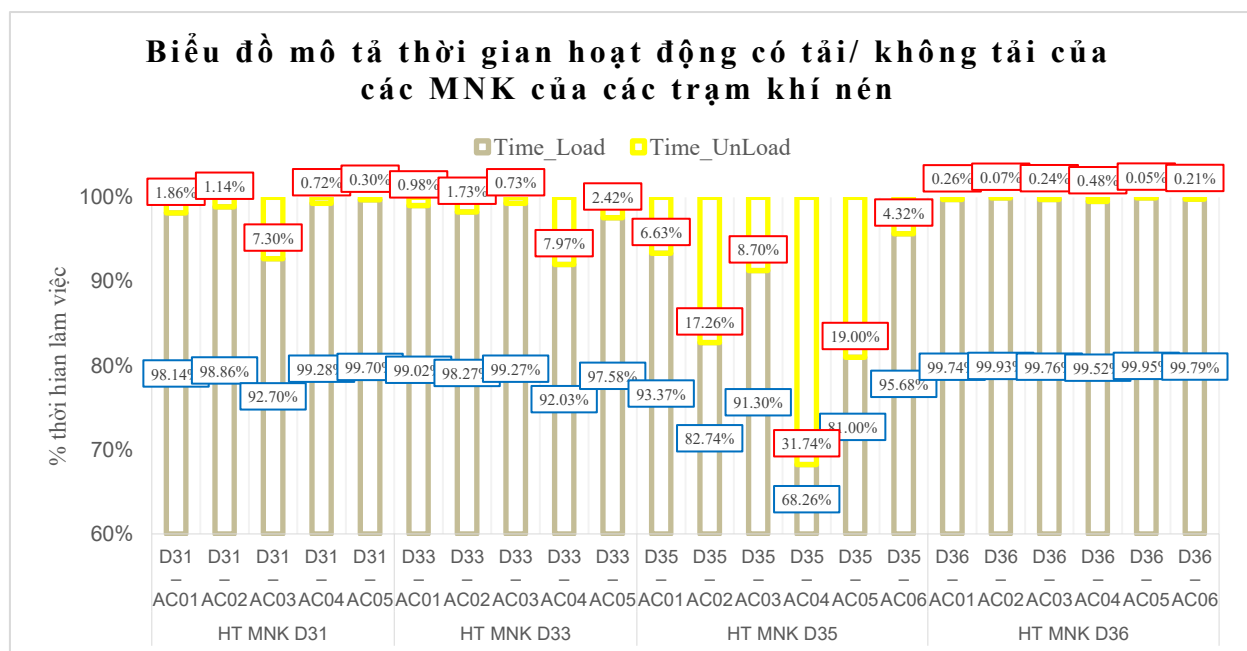
4.3 Lắp đặt biến tần cho MNK kết hợp bộ điều khiển trung tâm cho hệ thống khí nén

a. Hiện trạng và vấn đề

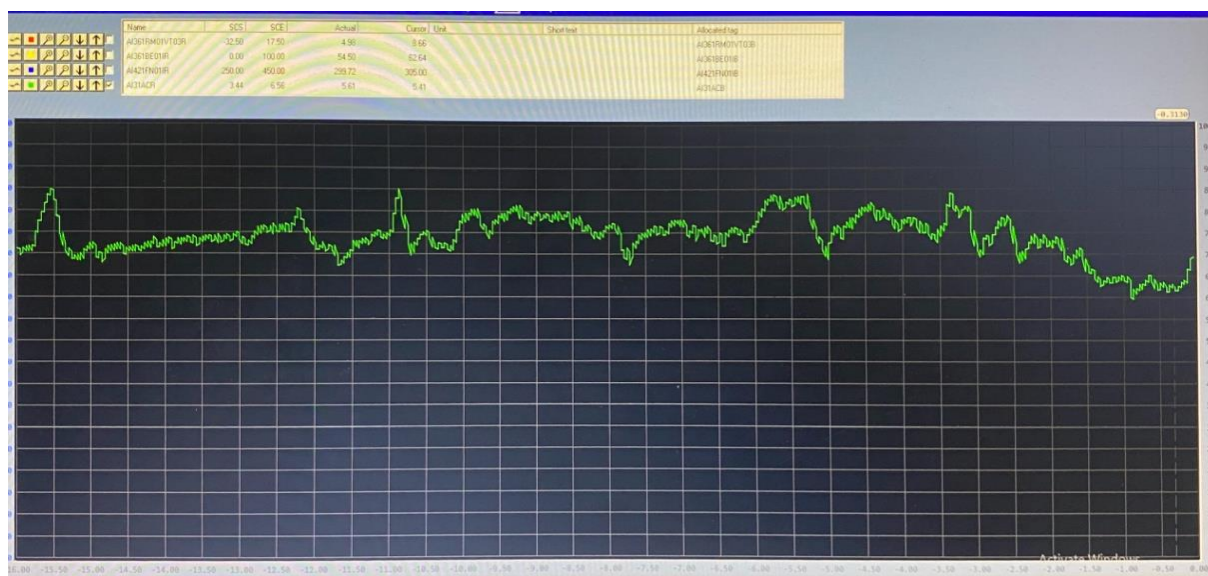
Hệ thống khí nén của Nhà máy hiện gồm nhiều trạm máy nén khí phân bố theo các dây chuyền sản xuất, với số lượng lớn máy nén khí trực công suất 110–120 kW, áp suất làm việc khoảng 0,6–0,74 MPa, vận hành 24 giờ/ngày. Bảng thống kê thiết bị cho thấy hầu hết các trạm đều bố trí nhiều máy nén có cùng dải công suất và năng suất, phục vụ nhu cầu khí nén liên tục của từng dây chuyền.



Hình 4.6. Mô tả áp suất cài đặt vận hành của các MNK hiện nay tại nhà máy



Hình 4.7. Thời gian hoạt động Load/ UnLoad của các MNK



Hình 4.8. Biểu đồ trend áp suất của hệ thống khí nén D31 – Dây chuyền 1

Qua phân tích số liệu vận hành của các máy nén khí tại các trạm, có thể ghi nhận một số điểm tích cực, như:

- Trước hết, các máy nén khí phần lớn hoạt động ở chế độ có tải với tỷ trọng cao, cho thấy hệ thống đang được khai thác tương đối hiệu quả và đáp ứng tốt nhu cầu sử dụng khí nén của các dây chuyền sản xuất.
- Bên cạnh đó, áp suất cài đặt của các máy nhìn chung khá đồng đều, đồng thời số giờ vận hành giữa các máy trong cùng một trạm cũng tương đối cân bằng, phản ánh việc phân bổ vận hành đã có sự điều tiết nhất định.

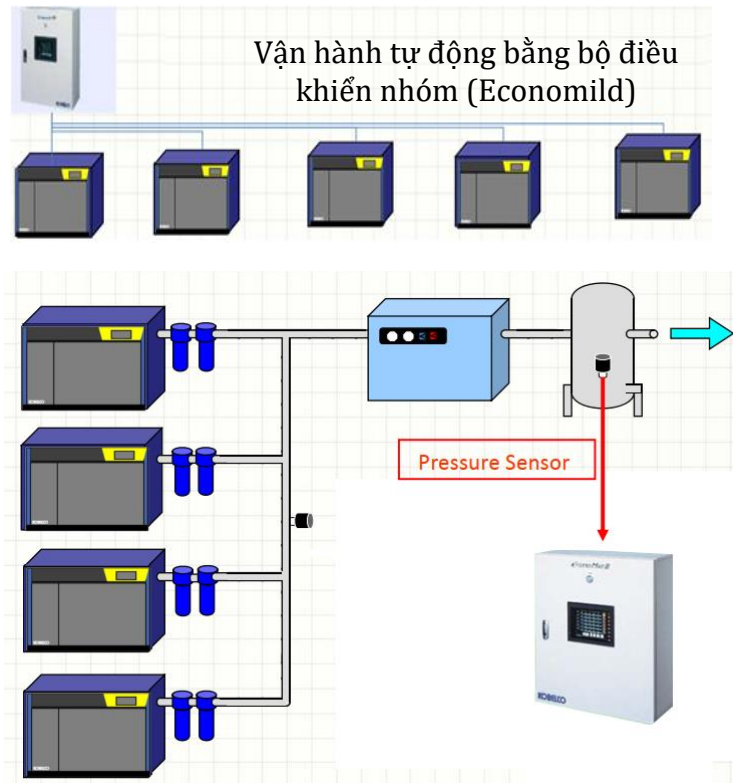
Tuy nhiên, hệ thống vẫn tồn tại một số hạn chế cần được xem xét:

- Xuất hiện sự không đồng đều về áp suất cài đặt tại một số máy;
- Dao động áp suất trong quá trình vận hành còn tương đối lớn;
- Tồn tại thời gian chạy không tải đáng kể (5–30%) ở một số máy;
- Phân bổ tải giữa các máy chưa tối ưu, một số máy có thời gian vận hành thấp hơn 20–30%.

Các vấn đề này chủ yếu xuất phát từ việc hệ thống chưa có khả năng điều tiết lưu lượng khí nén một cách linh hoạt theo nhu cầu thực tế. Do đó, để nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng cho hệ thống khí nén, cần thiết phải bổ sung giải pháp cho phép điều chỉnh tải liên tục và tối ưu hóa chế độ vận hành toàn trạm. Trên cơ sở đó, giải pháp đề xuất là lắp đặt 1–2 máy nén khí biến tần cho mỗi trạm, kết hợp với bộ điều khiển trung tâm nhằm điều phối vận hành, ổn định áp suất và giảm thiểu thời gian chạy không tải của các máy nén khí.

b. Mô tả giải pháp

Giải pháp đề xuất là bổ sung 1–2 máy nén khí biến tần cho mỗi trạm máy nén khí, kết hợp với bộ điều khiển trung tâm nhằm tối ưu hóa chế độ vận hành của toàn hệ thống.



Hình 4.9. Mô tả hoạt động của bộ điều khiển trung tâm

Nguyên lý hoạt động:

- Các máy nén khí hiện hữu vận hành ở chế độ tải nền, ưu tiên chạy gần điểm hiệu suất tối ưu;
- Máy nén khí biến tần (VSD) đảm nhận vai trò điều chỉnh lưu lượng theo nhu cầu thực tế;
- Bộ điều khiển trung tâm thực hiện:
 - + Giám sát áp suất hệ thống;
 - + Điều phối số lượng máy hoạt động;
 - + Tối ưu thứ tự vận hành và chế độ luân phiên;
 - + Giảm thiểu tình trạng chạy không tải.

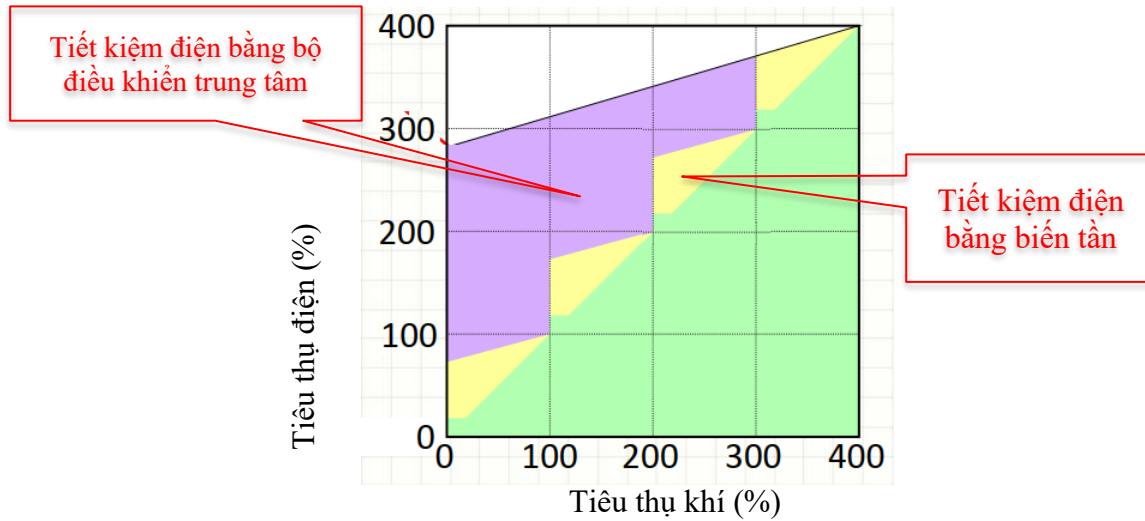
Với cấu hình này, hệ thống chuyển từ điều khiển gián đoạn sang điều khiển liên tục, giúp:

- Ổn định áp suất;
- Giảm dao động;
- Tối ưu hóa hiệu suất toàn trạm.

c. Hiệu quả tiết kiệm năng lượng dự kiến

Việc bổ sung máy nén khí biến tần kết hợp với bộ điều khiển trung tâm dự kiến mang lại hiệu quả tiết kiệm năng lượng cho hệ thống khí nén thông qua việc tối ưu hóa chế độ vận hành và giảm các tổn thất hiện hữu.

Mô tả vận hành 3 Máy Standard + 1 máy biến tần



Hình 4.10. Mô tả tiềm năng TKNL khi kết hợp biến tần và bộ điều khiển trung tâm

Giải pháp mang lại hiệu quả tiết kiệm thông qua các cơ chế chính:

- Giảm áp suất cài đặt:
 - + Giảm 0,02 – 0,05 MPa → tiết kiệm khoảng 2 – 5% điện năng;
- Giảm thời gian chạy không tải:
 - + Giảm tổn thất từ 5–30% hiện trạng → tiết kiệm khoảng 3 – 8%;
- Tối ưu vận hành toàn trạm:
 - + Điều phối máy hợp lý → tiết kiệm thêm 2 – 4%.

Do đó, tổng tiềm năng tiết kiệm: khoảng 5 – 15% điện năng hệ thống khí nén (tùy từng trạm).

Giải pháp không làm thay đổi nhu cầu sử dụng khí nén mà tập trung vào giảm điện năng tiêu thụ để tạo ra cùng một lượng khí nén.

d. Kết luận và định hướng triển khai

Giải pháp lắp đặt biến tần kết hợp bộ điều khiển trung tâm cho hệ thống khí nén là giải pháp có tính khả thi cao, mang lại hiệu quả tiết kiệm năng lượng rõ rệt và giúp nâng cao độ ổn định vận hành.

Trong giai đoạn tiếp theo, cần:

- Thực hiện khảo sát chi tiết từng trạm;
- Lựa chọn cấu hình thiết bị phù hợp;
- Lập báo cáo tiền khả thi (Pre-FS);
- Triển khai thí điểm tại một trạm trước khi nhân rộng.

4.4 Cải tạo đường ống “Lắp đặt đường ống phân cấp áp suất cho hệ thống khí nén”

a. Hiện trạng

Hệ thống khí nén của Nhà máy hiện đang được vận hành với mức áp suất tương đối cao, phổ biến trong khoảng:

- 0,68 – 0,75 MPa (ngưỡng không tải)
- 0,60 – 0,65 MPa (ngưỡng có tải)

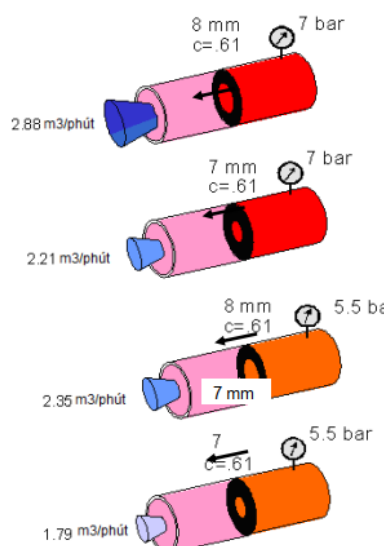
Trong khi đó, dữ liệu vận hành thực tế cho thấy áp suất hệ thống vẫn dao động theo thời gian, phản ánh sự không đồng đều về nhu cầu sử dụng khí nén giữa các nhóm phụ tải.

Về đặc thù sử dụng:

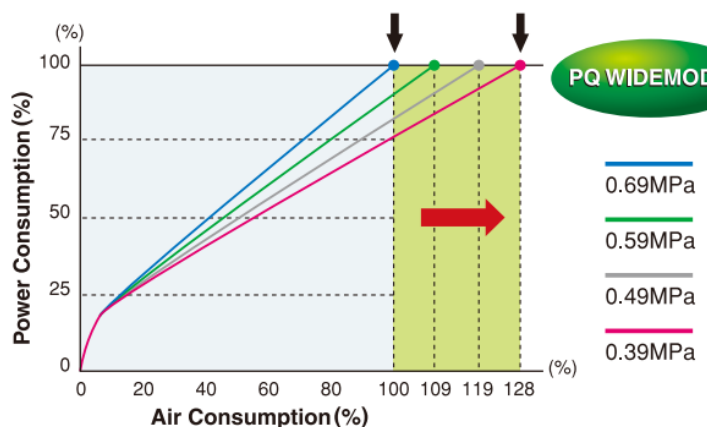
- Các thiết bị trong Nhà máy không yêu cầu cùng một mức áp suất;
- Một số phụ tải chỉ cần áp suất thấp (instrument air, air slide, van điều khiển...);
- Một số phụ tải đặc thù cần áp suất cao (lọc bụi xung khí, súng khí, búa khí...).

Tuy nhiên, hiện nay toàn bộ hệ thống vẫn được vận hành ở một mức áp suất cao chung, dẫn đến:

- Gia tăng tổn thất tiết lưu tại các van giảm áp;
- Tăng lượng khí nén giả tại các điểm rò rỉ;
- Làm tăng công suất tiêu thụ điện của máy nén khí.



Nhu cầu khí nén giả tăng khi tăng áp suất làm việc



- ① Reducing the operating pressure from 0.69MPa to 0.39MPa, the power consumption is decreased about 79% of 0.69MPa.
- ② With the excess power from depressurization, you can increase the air flow to 128 of the rating. At that time, the power consumption reaches 100%. If you wish to us maximum performance, PQ WIDEMODE ON is recommended.

Hiệu suất MNK giảm khi tăng áp suất làm việc MNK

Hình 4.11. Ví dụ điển hình về việc tăng nhu cầu khí nén giả và hiệu suất của MNK khi tăng áp suất làm việc

Thực tế, Nhà máy đã lắp đặt một số van giảm áp tại các điểm sử dụng. Tuy nhiên, đây mới là giải pháp giảm áp cục bộ ở phía tiêu thụ, trong khi nguồn khí nén vẫn được tạo ra ở mức áp cao ngay từ đầu. Điều này đồng nghĩa với việc hệ thống vẫn đang “sản xuất khí nén áp cao rồi mới hạ

áp”, nên chưa loại bỏ được phần tiêu hao năng lượng phát sinh do vận hành ở mức áp suất cao hơn nhu cầu thực tế của phần lớn phụ tải.

Do đó, để đánh giá sâu hơn, có thể phân nhóm các thiết bị sử dụng khí nén theo hai hệ chính:

- **Hệ khí nén phục vụ sản xuất Clinker**
- **Hệ khí nén phục vụ dây chuyền Xi măng**

Dưới đây là bảng liệt kê theo kinh nghiệm đánh giá hệ thống khí nén trong nhà máy xi măng, dùng để phân loại sơ bộ các nhóm phụ tải và mức áp suất yêu cầu. Các giá trị này mang tính định hướng, cần được hiệu chỉnh theo khảo sát thực tế tại từng điểm dùng khí.

Bảng 4.1. Hệ khí nén phục vụ sản xuất Clinker

Stt	Thiết bị / nhóm thiết bị	Mô tả sử dụng	Áp suất yêu cầu (MPa)	Tỷ lệ nhu cầu (%)
1	Van điều khiển khí nén trên hệ lò, tháp trao đổi nhiệt, làm nguội clinker	Đóng/mở, điều tiết van chấp hành	0,45 – 0,55	15 – 20
2	Lọc bụi xung khí thông thường (bag filter)	Xung khí giữ bụi túi lọc	0,55 – 0,65	10 – 15
3	Lọc bụi tĩnh điện, lọc bụi phân ly và các điểm cần xung/lực khí lớn	Làm sạch, chấp hành van, cơ cấu yêu cầu áp cao hơn	0,60 – 0,70	15 – 20
4	Búa khí, súng khí chống bám tại silo, chute, cyclone	Phá bám dính vật liệu	0,55 – 0,65	10 – 15
5	Cơ cấu damper, flap valve, diverter gate	Điều chỉnh dòng khí, dòng liệu	0,45 – 0,55	10 – 15
6	Instrument air cho thiết bị đo lường, positioner	Cấp khí sạch cho thiết bị đo và điều khiển	0,40 – 0,50	10 – 15
7	Hệ cấp liệu, cấp than, cơ cấu chấp hành phụ trợ	Điều khiển van, xi lanh khí nén	0,45 – 0,55	5 – 10
8	Vệ sinh, thổi khí cục bộ	Làm sạch đầu đo, thiết bị, điểm bám bụi	0,50 – 0,60	5 – 10

Bảng 4.2. Hệ khí nén phục vụ dây chuyền Xi măng

Stt	Thiết bị / nhóm thiết bị	Mô tả sử dụng	Áp suất yêu cầu (MPa)	Tỷ lệ nhu cầu (%)
1	Van điều khiển trên nghiền xi măng, phân ly, silo	Đóng/mở, điều tiết van	0,45 – 0,55	15 – 20

Stt	Thiết bị / nhóm thiết bị	Mô tả sử dụng	Áp suất yêu cầu (MPa)	Tỷ lệ nhu cầu (%)
2	Lọc bụi xung khí thông thường	Giữ bụi túi lọc	0,55 – 0,65	15 – 20
3	Lọc bụi phân ly, các điểm cần khí xung áp cao	Làm sạch, chấp hành tại các vị trí yêu cầu áp cao hơn	0,60 – 0,70	10 – 15
4	Air slide, máng khí động, trợ lưu vật liệu bột	Hỗ trợ vận chuyển vật liệu bột	0,35 – 0,50	20 – 25
5	Hệ đóng bao, xuất xi măng, xi lanh khí nén	Chấp hành cơ cấu cơ khí, đóng mở	0,50 – 0,60	10 – 15
6	Instrument air	Cấp khí sạch cho thiết bị đo và điều khiển	0,40 – 0,50	10 – 15
7	Hệ chống bám silo xi măng, súng khí, búa khí	Phá bám và trợ xả liệu	0,50 – 0,60	5 – 10
8	Vệ sinh, thổi khí cục bộ	Làm sạch thiết bị, đầu đo, đường ống	0,50 – 0,60	5 – 10

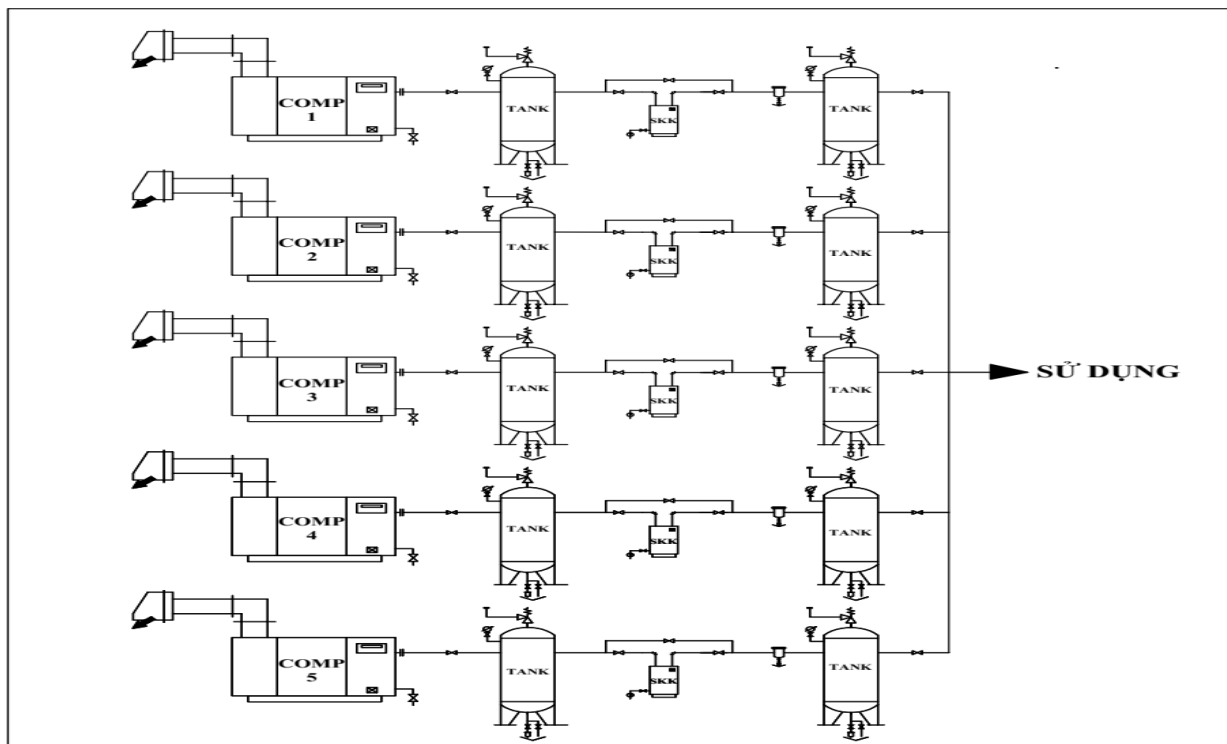
Bảng 4.3. Bảng tổng hợp nhu cầu khí nén theo cấp áp suất

Stt	Cấp áp suất	Áp suất yêu cầu	Tỷ lệ nhu cầu – Hệ Clinker (%)	Tỷ lệ nhu cầu – Hệ Xi măng (%)	Nhận xét
1	Áp suất thấp	< 0,55 Mpa (Max)	40 – 55	50 – 65	Chủ yếu gồm instrument air, van điều khiển thông thường, air slide, cơ cấu chấp hành phụ trợ
2	Áp suất cao	> 0,55 Mpa (Min)	45 – 60	35 – 50	Chủ yếu gồm lọc bụi xung khí, lọc bụi tĩnh điện/phân ly, súng khí, búa khí và các phụ tải đặc thù yêu cầu áp cao

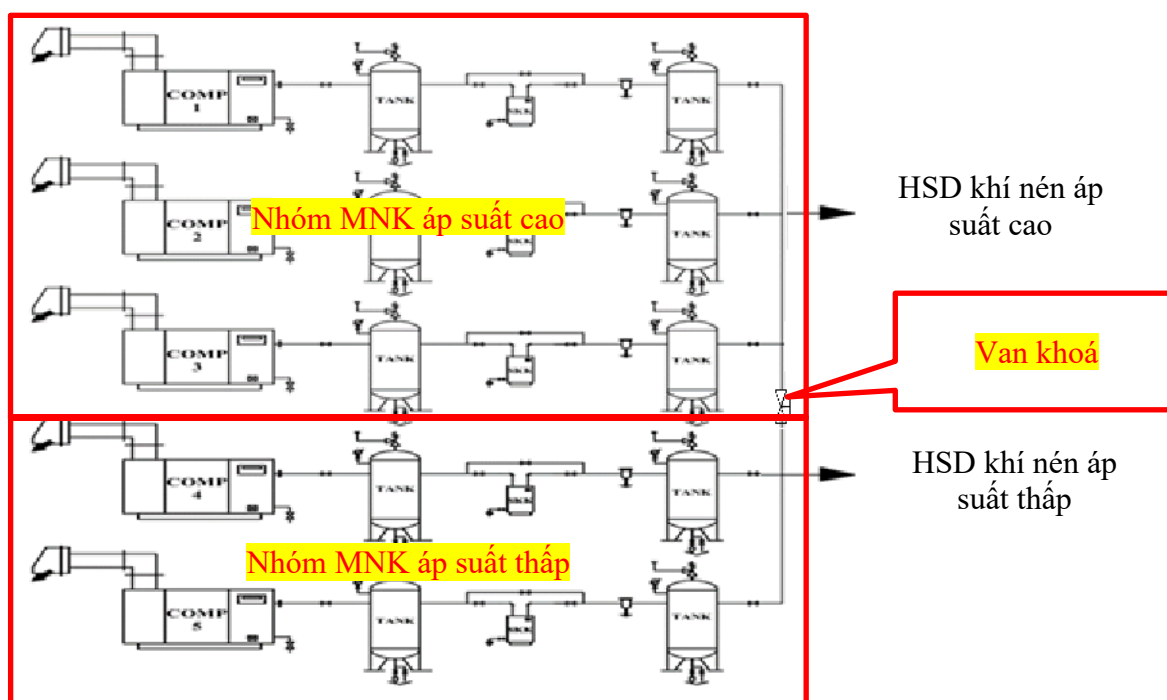
Như vậy, việc duy trì toàn bộ hệ thống khí nén ở cùng một mức áp suất cao để đáp ứng cho tất cả các phụ tải là chưa thực sự hợp lý về mặt năng lượng. Đây là cơ sở để xem xét giải pháp phân chia hệ thống khí nén thành hệ áp suất thấp và hệ áp suất cao, phù hợp hơn với đặc điểm tiêu thụ thực tế của từng nhóm thiết bị.

b. Mô tả giải pháp

Phương án cải tạo được mô tả như sau:



Hình 4.12. Hiện trạng phòng MNK hiện tại



Hình 4.13. Bố trí lại nhóm MNK theo nhóm áp suất cao và áp suất thấp

Giải pháp đề xuất là giữ nguyên cấu hình tổng thể của các trạm máy nén khí hiện hữu, đồng thời tổ chức lại phương thức cấp khí nén theo hai cấp áp suất riêng biệt, gồm:

- **Hệ khí nén áp suất cao:** cấp cho các phụ tải thực sự cần áp suất cao;
- **Hệ khí nén áp suất thấp:** cấp cho các phụ tải còn lại có nhu cầu áp suất thấp hơn.

Theo đó, tùy thuộc vào cơ cấu nhu cầu sử dụng khí nén của từng khu vực, các máy nén khí trong mỗi phòng máy sẽ được phân nhóm vận hành thành nhóm áp suất cao và nhóm áp suất thấp. Số lượng máy nén khí trong từng nhóm không cố định mà được xác định trên cơ sở tỷ lệ phụ tải thực tế của từng hệ thống, nhằm đảm bảo vừa đáp ứng đủ nhu cầu sử dụng, vừa hạn chế vận hành dư công suất.

Về mặt hạ tầng, hệ thống đường ống phân phối khí nén hiện hữu vẫn được giữ lại để tiếp tục sử dụng cho một trong hai cấp áp suất (áp suất cao hoặc áp suất thấp tùy theo phương án lựa chọn và mức độ thuận lợi của từng khu vực). Đồng thời, lắp đặt bổ sung một hệ thống đường ống phân phối mới để cấp cho nhóm phụ tải còn lại. Cách tiếp cận này cho phép tận dụng tối đa hệ thống hiện có, giảm khối lượng cải tạo và hạn chế ảnh hưởng đến hoạt động sản xuất trong quá trình triển khai.

Tại các điểm giao thoa hoặc các khu vực có khả năng liên thông giữa hai hệ, sẽ bố trí van khóa cô lập và các điểm kết nối phù hợp để tách bạch rõ ràng hai mạng khí nén, tránh tình trạng khí từ hệ áp cao bù sang hệ áp thấp hoặc ngược lại, làm mất ý nghĩa của giải pháp. Việc phân tách rõ hai cấp áp suất cũng tạo điều kiện thuận lợi cho công tác quản lý, vận hành và theo dõi hiệu quả năng lượng của từng hệ riêng biệt.

Về nguyên lý vận hành, nhóm máy nén khí áp suất cao sẽ chỉ phục vụ cho các phụ tải yêu cầu áp cao như các thiết bị lọc bụi đặc thù, một số cơ cấu chấp hành hoặc các điểm cần lực tác động lớn. Trong khi đó, nhóm máy nén khí áp suất thấp sẽ cấp khí cho phần lớn các phụ tải thông thường như instrument air, van điều khiển, air slide, cơ cấu chấp hành thông dụng và các điểm sử dụng không đòi hỏi áp suất cao. Nhờ đó, Nhà máy không còn phải duy trì toàn bộ hệ thống ở cùng một mức áp suất cao như hiện nay.

Giải pháp này cho phép giảm áp suất tạo khí nén cho phần lớn phụ tải, từ đó giảm điện năng tiêu thụ của các máy nén khí, đồng thời hạn chế tổn thất do tiết lưu qua van giảm áp, giảm lượng khí nén giả và giảm mức độ rò rỉ của hệ thống. Đây là giải pháp phù hợp với hiện trạng Nhà máy vì vẫn tận dụng được thiết bị và mạng phân phối hiện có, trong khi từng bước tổ chức lại hệ thống khí nén theo đúng nhu cầu áp suất thực tế của từng nhóm phụ tải.

c. Hiệu quả tiết kiệm năng lượng dự kiến

Mối liên hệ giữa áp suất và tiêu thụ năng lượng:

- Giảm 1 bar ($\sim 0,1$ MPa) $\rightarrow$ tiết kiệm $\sim 6 - 10\%$ điện năng
- Giảm từ 0,60 MPa xuống 0,45 MPa $\rightarrow$ tiết kiệm khoảng 8 – 12%.

Giảm tổn thất hệ thống:

- Giảm rò rỉ khí nén;
- Giảm tổn thất qua van tiết lưu;
- Giảm lượng khí nén giả.

Tối ưu vận hành máy nén khí:

- Máy vận hành gần điểm hiệu suất tối ưu;

- Giảm tải không cần thiết;
- Tăng tuổi thọ thiết bị.

Bảng 4.4. Bảng dự kiến tiềm năng TKNL của giải pháp phân chia hệ áp cao – áp thấp

Stt	HT MNK	Nhóm áp suất	Áp suất hiện tại (MPa)	Áp suất sau cải tạo (MPa)	Tỷ lệ sử dụng (%)	% TKNL dự kiến	% TKNL chung của
1	D31	Áp cao	0,60	0,60	55	0	4,05
2		Áp thấp	0,60	0,45	45	9	
3	D33	Áp cao	0,60	0,60	55	0	4,05
4		Áp thấp	0,60	0,45	45	9	
5	D35	Áp cao	0,60	0,60	55	0	4,05
6		Áp thấp	0,60	0,45	45	9	
7	D36	Áp cao	0,60	0,60	55	0	4,05
8		Áp thấp	0,60	0,45	45	9	
9	D32	Áp cao	0,60	0,60	40	0	5,40
10		Áp thấp	0,60	0,45	60	9	
11	D34	Áp cao	0,60	0,60	40	0	5,40
12		Áp thấp	0,60	0,45	60	9	

4.5 Lắp đặt hệ thống bóng làm sạch tự động HydroBall, thiết bị khử cặn điện tử và bộ điều khiển tự động cho bơm nước tuần hoàn và quạt gió tháp giải nhiệt theo áp suất chân không bình ngưng

❖ Hiện trạng và vấn đề

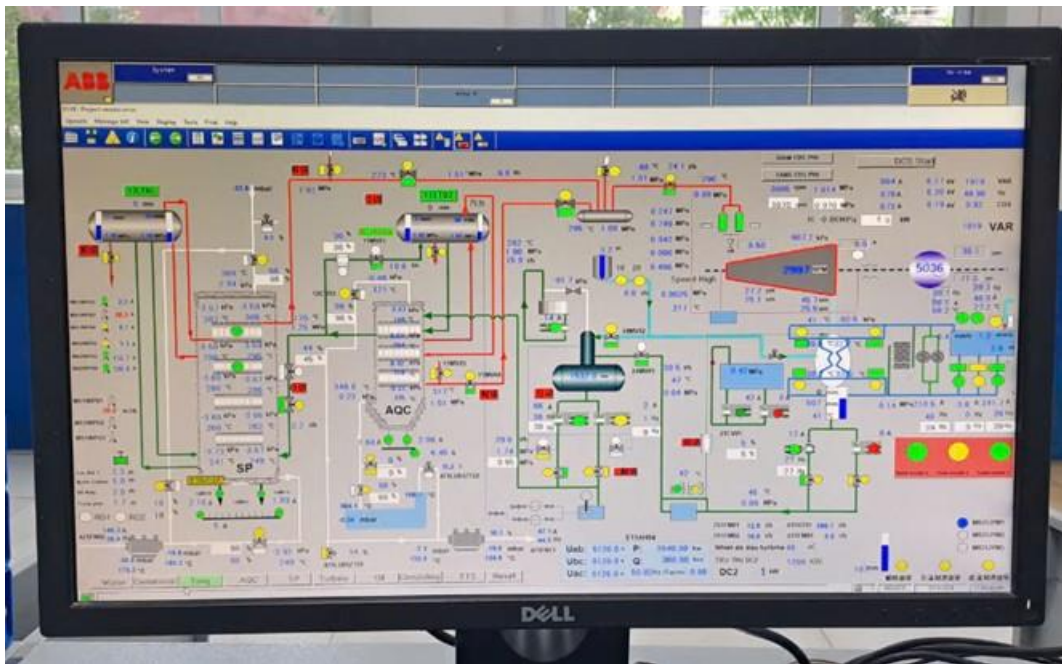
Hệ thống thu hồi nhiệt phát điện (WHR) của Nhà máy đang vận hành theo chu trình Rankine hơi nước, trong đó bình ngưng đóng vai trò quan trọng quyết định hiệu suất toàn hệ thống. Tuy nhiên, qua phân tích vận hành thực tế, vẫn tồn tại một số hạn chế như sau:

- Tổn thất nhiệt tại bình ngưng lớn (trên 50%), làm giảm hiệu suất phát điện của hệ thống;
- Áp suất chân không chưa được duy trì ổn định ở mức tối ưu, phụ thuộc nhiều vào:
 - + Nhiệt độ nước làm mát;
 - + Tình trạng cặn cặn trong ống trao đổi nhiệt;
- Hiện tượng cặn cặn trong bình ngưng làm giảm hệ số truyền nhiệt, dẫn đến suy giảm hiệu suất trao đổi nhiệt theo thời gian;

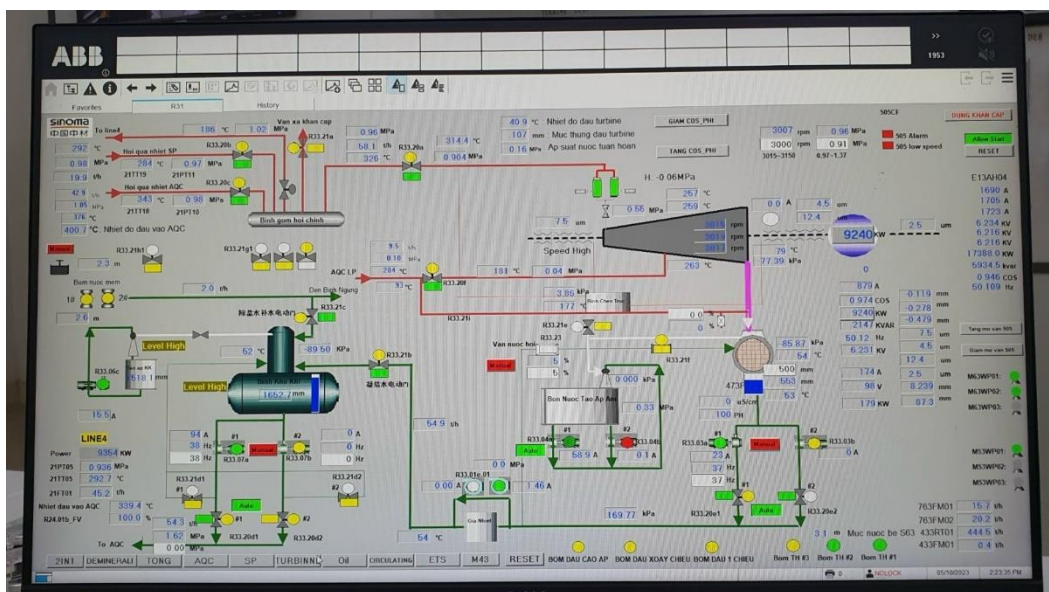
- Công tác vệ sinh định kỳ (6 tháng/lần) chưa đủ để duy trì hiệu quả vận hành tối ưu;
- Hệ thống bơm và quạt tháp giải nhiệt đã có biến tần, nhưng hiện chủ yếu vận hành thủ công, chưa có cơ chế điều khiển tự động theo điều kiện thực tế.

Các vấn đề trên dẫn đến:

- Áp suất ngưng tụ cao hơn mức tối ưu;
- Giảm hiệu suất tuabin hơi;
- Tăng tiêu hao nhiệt trên mỗi kWh điện phát ra.



Hình 4.14. Màn hình DCS hệ thống thu hồi nhiệt dây chuyền 1



Hình 4.15. Màn hình DCS hệ thống thu hồi nhiệt dây chuyền 4



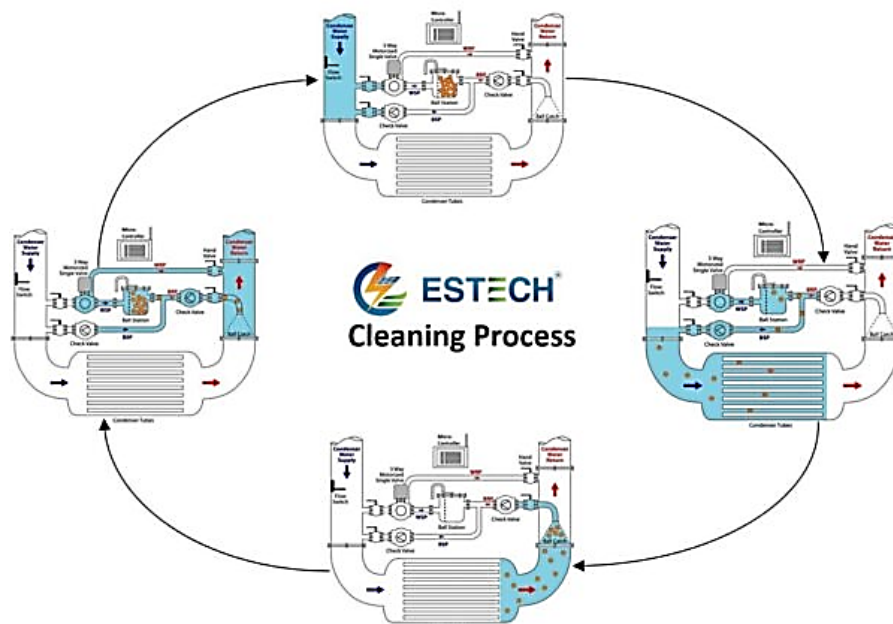
Hình 4.16. Bình ngưng hệ thống thu hồi nhiệt

❖ Mô tả giải pháp

Giải pháp đề xuất nhằm duy trì áp suất chân không tối ưu và nâng cao hiệu quả trao đổi nhiệt của bình ngưng, bao gồm 3 nhóm giải pháp chính:

(1) Lắp đặt hệ thống làm sạch ống tự động (Hydroball ATCS)

Hệ thống sử dụng các quả bóng cao su xóp di chuyển tuần hoàn trong ống trao đổi nhiệt để làm sạch cặn liên tục trong quá trình vận hành.



Hình 4.17. Minh họa nguyên lý hoạt động hệ thống làm sạch ống tự động Hydroball ATCS

Nguyên lý:

- Bông cao su được bơm vào dòng nước làm mát;
- Di chuyển qua các ống trao đổi nhiệt;
- Ma sát với thành ống để loại bỏ cặn;
- Được thu hồi và tuần hoàn lại hệ thống.

(2) Lắp đặt thiết bị khử cặn điện tử

Thiết bị sử dụng sóng điện từ/xung kích để:

- Thay đổi cấu trúc kết tinh của muối khoáng (CaCO_3 , MgCO_3 ...);
- Ngăn ngừa hình thành lớp cặn bám trên bề mặt trao đổi nhiệt.

👉 Giải pháp này giúp:

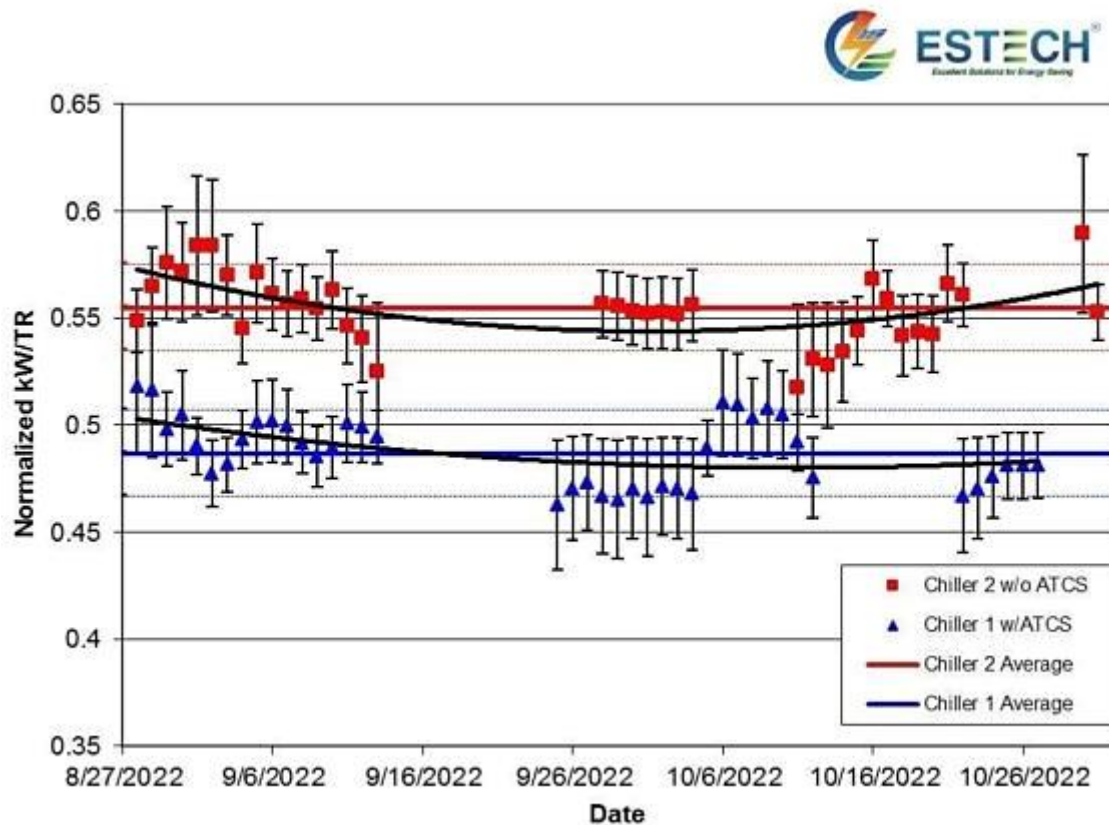
- Duy trì bề mặt trao đổi nhiệt sạch trong thời gian dài;
- Giảm tần suất vệ sinh cơ học.

(3) Tự động hóa điều khiển bơm và quạt tháp giải nhiệt

- Sử dụng **PLC/EMS** để điều khiển biến tần của:
 - + Bơm nước tuần hoàn;
 - + Quạt tháp giải nhiệt;
- Tối ưu vận hành theo các tín hiệu:
 - + Áp suất chân không bình ngưng;
 - + Nhiệt độ nước làm mát;
 - + Điều kiện môi trường (nhiệt độ, độ ẩm).

👉 Hệ thống sẽ tự động:

- Điều chỉnh lưu lượng nước và gió;
- Duy trì áp suất chân không ở mức tối ưu;
- Giảm tiêu thụ điện phụ trợ.



Hình 4.18. So sánh mẫu chiller lắp và không lắp hệ thống rửa bình ngưng tự động trong cùng 1 hệ thống

❖ Hiệu quả tiết kiệm năng lượng dự kiến

Giải pháp mang lại hiệu quả thông qua các cơ chế sau:

(1) Cải thiện hiệu suất trao đổi nhiệt

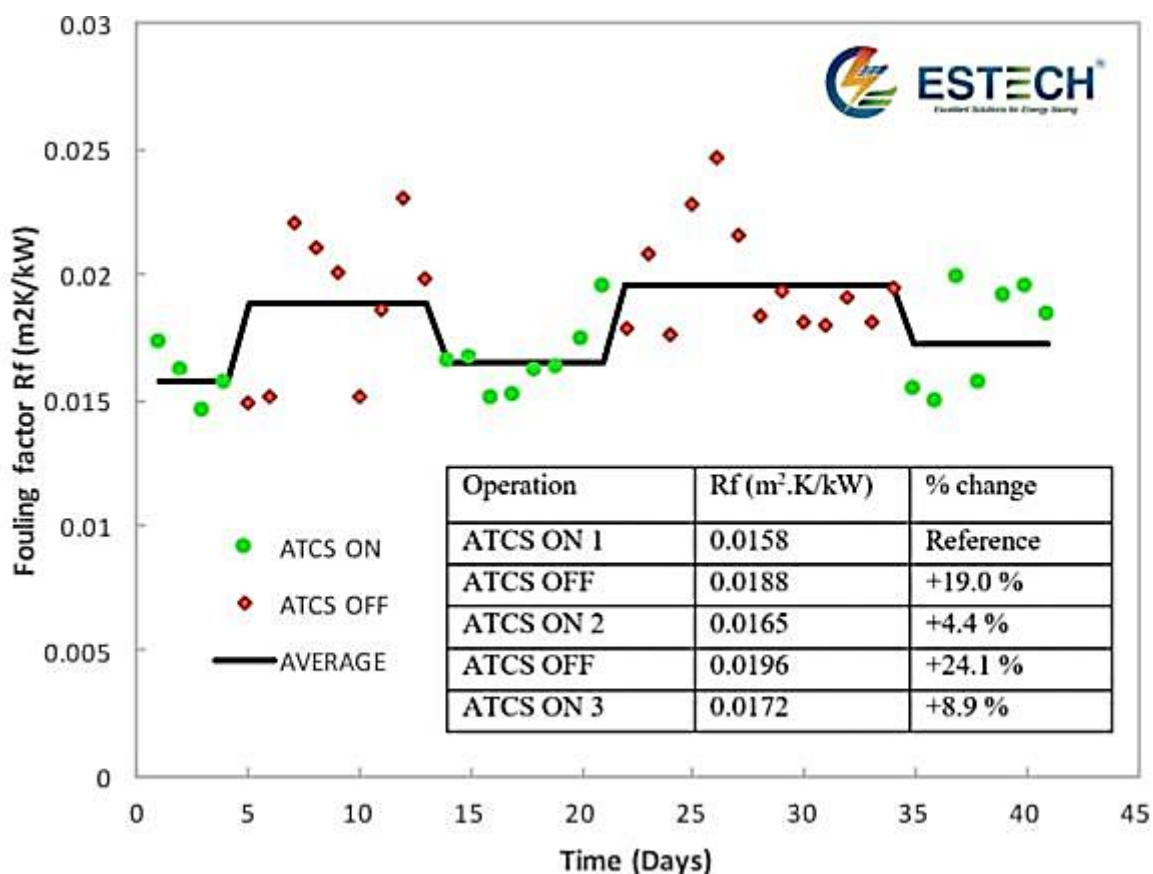
- Giảm cáu cặn → tăng hệ số truyền nhiệt;
- Giảm nhiệt độ ngưng tụ → giảm áp suất ngưng tụ.

(2) Tăng hiệu suất tuabin hơi

- Khi áp suất chân không giảm (chân không tốt hơn) → tăng chênh lệch enthalpy;
- Tăng sản lượng điện phát ra từ cùng một lượng nhiệt đầu vào.

(3) Giảm điện năng tiêu thụ phụ trợ

- Tối ưu vận hành bơm và quạt;
- Tránh vận hành dư tải.
- Tổng hợp tiềm năng tiết kiệm:
 - + Tăng sản lượng điện phát: ~2 – 5%
 - + Giảm điện phụ trợ hệ làm mát: ~5 – 10%
 - + Giảm tiêu hao nhiệt toàn hệ thống WHR



Hình 4.19. Hiệu suất mẫu chiller khi bật và khi tắt ATCS

4.6 Giải pháp thu hồi nhiệt thải (>100°C) bằng ứng dụng công nghệ máy lạnh hấp thụ phục vụ cho hệ thống điều hòa không khí cho các phụ tải khu vực phòng điều khiển và trạm điện (DC1 - DC4).

a. Hiện trạng điều hòa không khí nhà máy xi măng

Phần lớn các Nhà máy xi măng hiện nay sử dụng loại máy lạnh kiểu máy nén điều hòa không khí các trạm điện, phòng làm việc,..nhà máy.



Hình 4.20. Hệ thống điều hòa cục bộ được bố trí tại các khu vực quanh nhà máy

Hiện nay, hệ thống điều hòa không khí tại Nhà máy xi măng được bố trí theo dạng cục bộ, phân tán tại các khu vực như:

- Phòng điều khiển trung tâm (CCR);
- Phòng điện, phòng biến tần;
- Phòng điều khiển động cơ;
- Khu vực tủ MCC và các trạm điện.

Các hệ thống này chủ yếu sử dụng máy lạnh nén điện độc lập, chưa có sự tối ưu tổng thể.

Trong quá trình vận hành, tồn tại một số vấn đề chính như sau:

- Tiêu thụ điện năng lớn: Do sử dụng máy lạnh nén truyền thống, toàn bộ năng lượng làm lạnh được tạo ra từ điện, trong khi Nhà máy lại có sẵn nguồn nhiệt thải lớn chưa được tận dụng. Điều này dẫn đến chi phí điện năng cho làm mát tương đối cao.
- Vận hành phân tán, khó kiểm soát: Các thiết bị điều hòa hoạt động độc lập, không có hệ thống điều khiển trung tâm, dẫn đến khó khăn trong việc theo dõi hiệu suất, tối ưu vận hành và phát hiện bất thường.
- Làm việc trong môi trường khắc nghiệt: Đặc thù của nhà máy xi măng là môi trường nhiều bụi, nhiệt độ cao, khiến các dàn trao đổi nhiệt dễ bị bám bẩn, giảm hiệu suất trao đổi nhiệt và làm tăng tiêu thụ điện năng.
- Thiết bị hoạt động non tải hoặc quá tải cục bộ: Do thiết kế theo từng khu vực riêng lẻ, nhiều thiết bị hoạt động không đúng điểm hiệu suất tối ưu (COP thấp), hoặc phải chạy liên tục để đảm bảo điều kiện nhiệt độ, gây lãng phí năng lượng.
- Khó tận dụng nguồn nhiệt thải sẵn có: Mặc dù Nhà máy có nhiều nguồn nhiệt thải từ các công đoạn sản xuất (lò quay, calciner, khí thải...), nhưng các hệ thống điều hòa hiện tại không có khả năng tận dụng nguồn năng lượng này.
- Chi phí bảo trì và tuổi thọ thiết bị: Việc vận hành liên tục trong môi trường bụi và nhiệt độ cao làm tăng tần suất bảo trì, giảm tuổi thọ thiết bị và tăng chi phí vận hành.

Kết quả xây dựng từ Energy Mapping cho hoạt động năng lượng của Nhà máy với dữ liệu nhiệt thải chúng tôi sơ bộ được kết quả như sau:

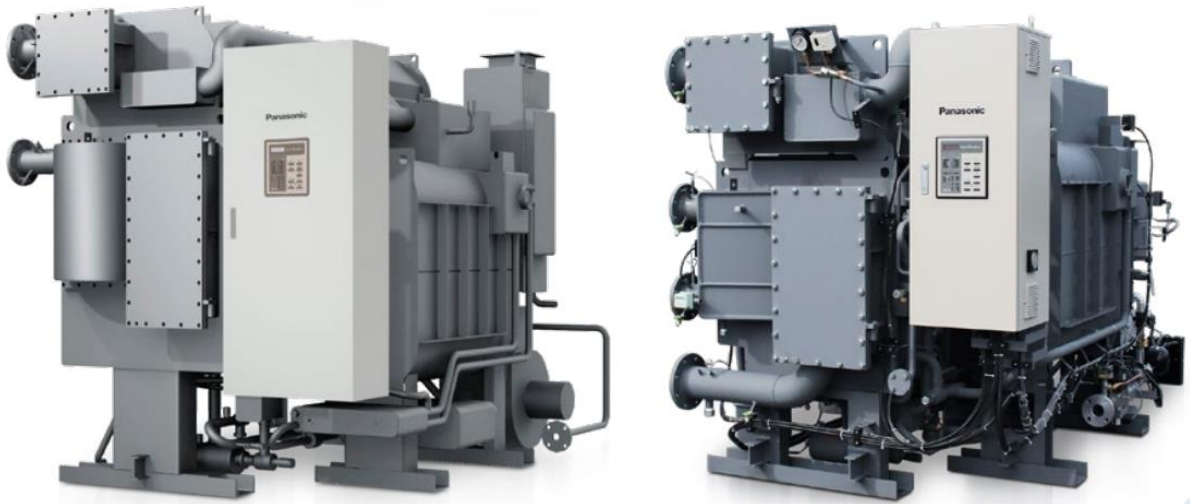
Waste heat potential							
Section	Process	Medium	Stream no	Temp. In °C	Temp. Out °C	Total	
						kWh	
Production line 1 - Dây chuyền chính Main product line	L1 - Silo Clinker	Product	L1.3.6	140	50	46.526.296	
	L1 - Nghiền liệu	Air	L1.2.1.3	85	25	107.285.617	
	L1 - Nghiền than	Air	L1.2.3.2	65	25	14.925.183	
	L1 - Nghiền xi măng	Air	L1.4.2.2	100	25	27.362.900	
	L1 - Lọc bụi	Air	X2.5	150	25	109.795.325	
Production line 1 - Dây chuyền phụ Điện năng tự sản xuất - Auxiliary line for self-generated electricity	L1 - Hóa hơi LP (AQC Boiler)	Water	X3.3	200	25	43.931	
	L1 - AQC Boiler (HP)	Water	X9.2	330	25	1.056.616	
	L1 - SP boiler	Water	X10.2	290	25	571.088	
	L1 - IP turbine	Steam	X11.2	300	25	738.993	
	L1 - LP turbine	Steam	X5.2	136	25	23.813	
	L1 - IP turbine	Steam	X11.1	49	48	198.332.826	
	L1 - LP turbine	Steam	X5.1	49	48	22.261.848	
Production line 2 - Dây chuyền chính Main product line	L2 - Silo Clinker	Product	L2.3.6	140	50	56.162.140	
	L2 - Nghiền liệu	Air	L2.2.1.3	85	25	52.970.613	
	L2 - Nghiền than	Air	L2.2.3.2	65	25	4.110.333	
	L2 - Nghiền xi măng	Air	L2.4.2.2	100	25	76.775.190	
	L2 - Lọc bụi	Air	E2.5	150	25	103.306.184	
Production line 2 - Dây chuyền phụ Điện năng tự sản xuất - Auxiliary line for self-generated electricity	L2 - Hóa hơi LP (AQC Boiler)	Water	E3.3	136	25	24.259	
	L2 - AQC Boiler (HP)	Water	E9.2	160	25	337.582	
	L2 - SP boiler	Water	E10.2	335	25	728.115	
	L2 - IP turbine	Steam	E11.2	300	25	745.310	
	L2 - LP turbine	Steam	E5.2	90	25	12.462	
	L2 - IP turbine	Steam	E11.1	49	48	200.027.978	
	L2 - LP turbine	Steam	E5.1	49	48	39.278	
TOTAL						1.024.766.581	

Hình 4.21. Dữ liệu các nguồn nhiệt thải từ mô hình energy mapping

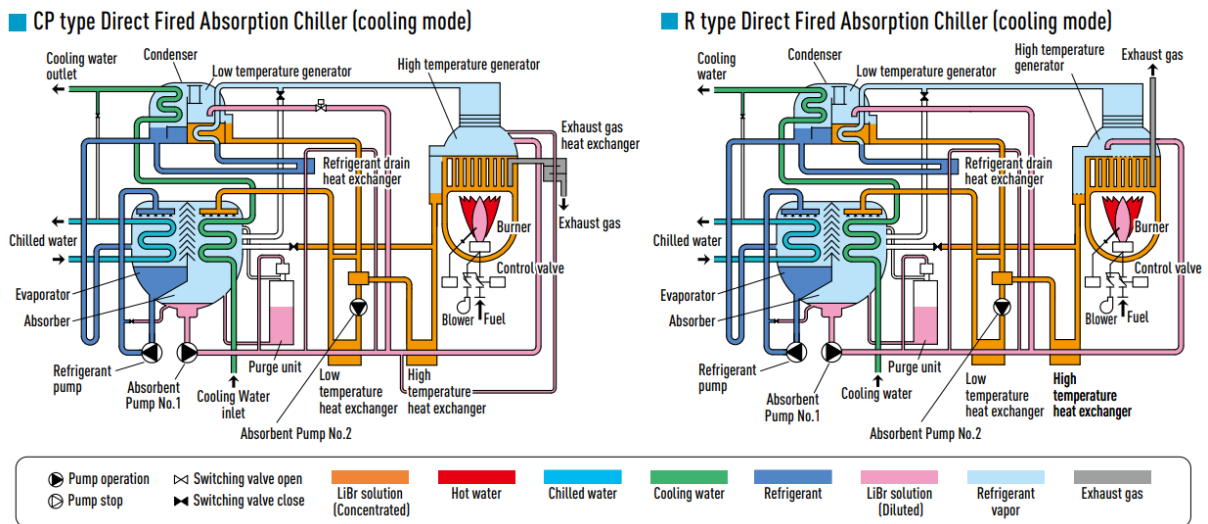
Từ kết quả energy mapping cho thấy Nhà máy hiện có nhiều nguồn nhiệt thải dưới dạng dòng khí nóng (air) phát sinh từ các công đoạn sản xuất chính, đặc biệt tại các khu vực như lọc bụi, nghiền xi măng, nghiền liệu, nghiền than và silo clinker. Các dòng khí này mang theo lượng nhiệt đáng kể do đặc thù vận hành ở nhiệt độ cao và lưu lượng lớn.

Nhiệt độ của các dòng khí thải này thường nằm trong khoảng 65–150°C, trong đó một số dòng như khí sau lọc bụi hoặc khí từ hệ nghiền có thể đạt mức cao hơn và tương đối ổn định theo thời gian vận hành. Đây là đặc điểm rất quan trọng, bởi các dòng khí thải không chỉ có nhiệt độ phù hợp mà còn có lưu lượng lớn và liên tục, tạo điều kiện thuận lợi cho việc thu hồi nhiệt thông qua các bộ trao đổi nhiệt khí – nước.

Đặc điểm của hệ thống máy lạnh hấp thụ:



Hình 4.22. Hình ảnh máy lạnh hấp thụ



Hình 4.23. Mô tả chu trình hoạt động của hệ thống máy lạnh hấp thụ

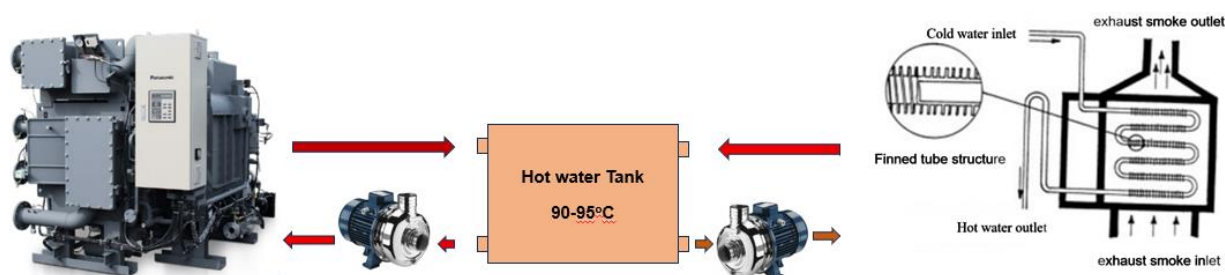
Model Name			QAW-CP***FC		QBW-CP***FC				
			180	210	240	280	320		
Cooling capacity		kW	633	738	844	985	1,125		
		USRT	180	210	240	280	320		
Heating capacity		kW	421	491	561	655	748		
		kcal/h	361,980	422,310	482,640	563,080	643,520		
Chilled water	Temperature (Inlet→Outlet)		°C	12→7					
	Flow rate		m³/h	109	127	145	169	194	
	Pressure drop		kPa	35.9	36.5	37.7	75.0	76.1	
	Connection diameter (JIS)		A	125			150		
Hot water	Temperature (Inlet→Outlet)		°C	56.7→60					
	Flow rate		m³/h	109	127	145	169	194	
	Pressure drop		kPa	35.9	36.5	37.7	75.0	76.1	
	Connection diameter (JIS)		A	125			150		
Cooling water	Temperature (Inlet→Outlet)		°C	32→37					
	Flow rate		m³/h	180	210	240	280	320	
	Pressure drop		kPa	70.6	76.4	84.2	78.2	82.7	
	Connection diameter (JIS)		A	150			200		
Power supply	Power			3 phases, 380 V, 50 Hz					
	Total current (50/60Hz)		A	18.1	19.9	21.7	21.7	25.4	
	Power capacity (50/60Hz)		kVA	11.8	13.3	14.7	14.7	17.8	
Fuel System	Fuel connection diameter		Gas	A	50	100			
			Diesel oil	A	15 x2				
	Gas Consumption	Cooling	LHV gas calorific value	kW	444	519	593	692	791
		Heating	LHV gas calorific value	kW	444	519	593	692	791
	Diesel oil consumption		Cooling	L/h	43.9	51.1	58.5	68.2	77.9
			Heating	L/h	44.4	51.8	59.2	69.1	79.0
Dimension	Length (L)		mm	3,780	3,800		4,970	5,000	
	Width (W)		mm	2,240	2,460				
	Height (H)		mm	2,280	2,340		2,360		
	Tube extracting space		mm	3,430	3,440		4,510		
Weight	Operating weight		ton	8.0	10.2	10.5	12.5	13.3	
	Total shipping weight		ton	7.2	9.2	9.4	11.2	11.9	
Shipping method				1 piece					
Holding water amount		Chilled/Hot water	L	280	380	415	490	535	
		Cooling water	L	500	610	670	770	840	

Hình 4.24. Thông số kỹ thuật của hệ thống máy lạnh hấp thụ

Đối chiếu giữa hai nhóm thông tin cho thấy giải pháp có tính phù hợp về mặt nhiệt độ nguồn nhiệt. Cụ thể, các nguồn nhiệt thải có nhiệt độ từ 85°C trở lên là tương đối phù hợp để xem xét thu hồi trực tiếp hoặc gián tiếp thông qua mạch nước nóng. Đối với các dòng có nhiệt độ thấp hơn, khả năng áp dụng sẽ phụ thuộc vào lưu lượng, mức ổn định nhiệt và hiệu quả của hệ trao đổi nhiệt. Trong đó, các dòng khí thải từ khu vực lọc bụi, nghiền xi măng và một số công đoạn xử lý clinker là những nguồn có tiềm năng tốt hơn do vừa có nhiệt độ tương đối phù hợp, vừa có công suất nhiệt thải lớn.

Ngoài ra, máy lạnh hấp thụ có đặc điểm tiêu thụ điện rất thấp, chủ yếu cho bơm và điều khiển, trong khi năng lượng chính được cung cấp từ nhiệt thải. Vì vậy, đối với Nhà máy xi măng – nơi đã có sẵn các nguồn nhiệt dư nhưng vẫn phải sử dụng điện cho nhu cầu làm mát hoặc điều hòa – thì giải pháp này có ý nghĩa rõ rệt về mặt tiết kiệm điện năng.

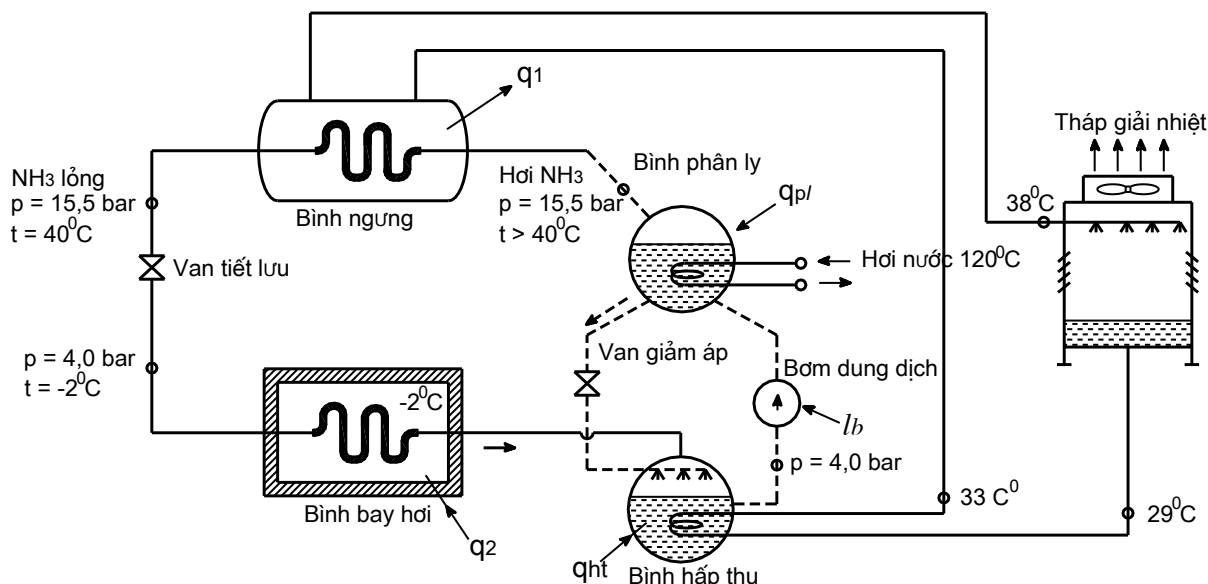
b. Mô tả giải pháp



Hình 4.25. Mô tả hoạt động thu hồi nhiệt cho hệ thống

Khói thải nóng từ các công đoạn sản xuất được dẫn qua **bộ trao đổi nhiệt khí – nước**. Tại đây, nhiệt từ dòng khí thải được truyền cho nước tuần hoàn, làm nhiệt độ nước tăng lên đến khoảng **90–95°C**. Sau khi truyền nhiệt, khói thải hạ nhiệt và tiếp tục được đưa ra hệ thống quạt hút/ống khói như hiện trạng.

Phần nước nóng sau thu hồi được dẫn đến **generator** của chiller hấp thụ. Tại đây, nước nóng đóng vai trò là **nguồn nhiệt vận hành chu trình hấp thụ**, thay thế cho điện năng nén như ở máy lạnh cơ học truyền thống. Chiller hấp thụ sau đó tạo ra **nước lạnh 7/12°C**, cấp đến các dàn AHU/FCU hoặc các phụ tải lạnh công nghệ trong Nhà máy.



Hình 4.26. Mô tả chu trình hoạt động của hệ thống lạnh hấp thụ (Absorption Chiller)

Song song với đó, chiller hấp thụ cần một **mạch nước giải nhiệt** để thải phần nhiệt dư ra môi trường thông qua **tháp giải nhiệt**. Như vậy, toàn bộ hệ thống hình thành ba vòng tuần hoàn chính:

- Vòng thu hồi nhiệt khói thải → nước nóng
- Vòng nước lạnh → cấp cho phụ tải

- Vòng nước giải nhiệt → tháp giải nhiệt

Về bản chất, giải pháp này không tạo thêm nguồn năng lượng mới, mà tận dụng nguồn nhiệt dư sẵn có để thay thế một phần điện năng đang dùng cho điều hòa/làm lạnh. Đây là hướng sử dụng năng lượng hợp lý, đặc biệt phù hợp với các nhà máy xi măng có lượng khí thải nóng lớn và nhu cầu làm mát ổn định.

c. Tính toán tiềm năng TKNL với hệ thống máy lạnh hấp thụ:

Bảng 4.5. Hiện trạng công suất điện điều hòa thông thường của các trạm điện

Vị trí lắp TB	Công suất lạnh ghi trên dàn nóng BTU (kW)	Công suất điện dàn nóng COP =1,9 - (kW)	Công suất điện ghi trên dàn lạnh (kW)	Thời gian làm việc trong năm (h/năm)
Điều hòa trạm LS04	240.000Btu (120 Kx2)	37	(1,1 x 2)	24/7
Điều hòa trạm LS05	760.000Btu (200Kx3) + (160Kx1)	118	(2,2 x 4)	24/7
Điều hòa trạm LS06	500.000Btu (200 Kx2) + (120x1)	78	(2,2 x 2) + (1,1 x 1)	24/7
Điều hòa trạm LS07	160.000Btu	24	(2,2 x 1)	24/7
Điều hòa trạm LS08	320.000Btu (160Kx2)	48	(2,2x 2)	24/7
Cộng	1.980.000 Btu (580 kW lạnh)	305 kW _e	23 kW _e	
Tổng		328 kW_e		

Bảng 4.6. Bảng tính toán công suất tiêu thụ của hệ thống máy lạnh hấp thụ

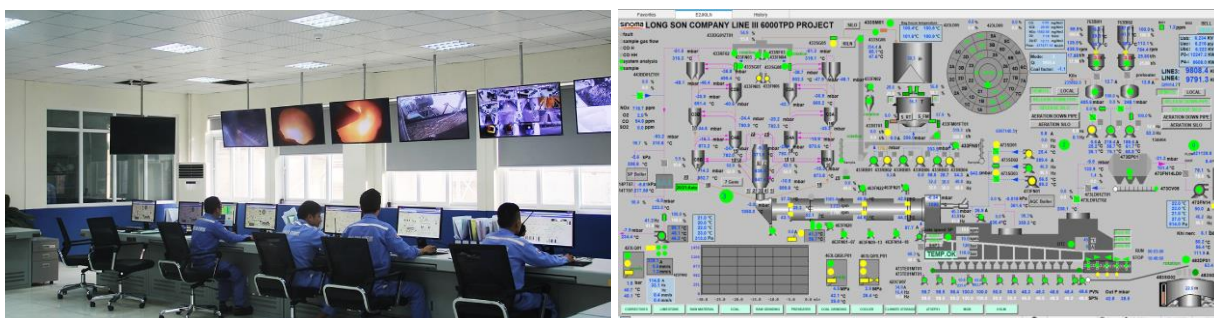
Mô tả	Qty	Công suất lạnh	Công suất điện
Máy lạnh hấp thụ sử dụng nước nóng	01	633 kW(180 RT)	11,8 kW
AHU, 160 Pa, 10000 m ³ /h	12	200.000 BTU (16,67RT)	8,8 kW
Bơm nước nóng tuần hoàn 90-95°C	02	120 m ³ /h; H=48 m	11 kW
Bơm nước lạnh tuần hoàn 7oC	01	120 m ³ /h; H=48 m	11 kW
Bơm nước giải nhiệt	01	215 m ³ /h; H=27 m	11 kW
Quạt ly tâm 160oC	01	8618 kg/h	22 kW

Mô tả	Qty	Công suất lạnh	Công suất điện
Tháp giải nhiệt 300 RT	01	120 m3/h	7,5 kW
Cộng			180 kW

4.7 Giải pháp ứng dụng Machine Learning để tối ưu hoá vận hành sản xuất

a. Hiện trạng và vấn đề

Hiện nay, hoạt động vận hành tại các dây chuyền sản xuất xi măng của Nhà máy chủ yếu dựa trên hệ thống điều khiển truyền thống (DCS/SCADA) kết hợp với kinh nghiệm của đội ngũ vận hành viên. Mặc dù hệ thống đã được trang bị đầy đủ các thiết bị đo lường và thu thập dữ liệu với tần suất cao, tuy nhiên việc khai thác và sử dụng dữ liệu vẫn còn nhiều hạn chế.



Hình 4.27. Hoạt động giám sát và điều khiển tại phòng ĐKTT Nhà máy xi măng & Giao điện hệ thống DCS với mật độ dữ liệu vận hành lớn

Thực tế cho thấy, Nhà máy đang ở trạng thái “giàu dữ liệu nhưng nghèo thông tin phân tích” – tức là có rất nhiều dữ liệu vận hành được ghi nhận, nhưng chưa chuyển hóa hiệu quả thành thông tin hữu ích để phục vụ ra quyết định. Hàng nghìn tín hiệu vận hành như nhiệt độ, áp suất, lưu lượng, thành phần khí, tải thiết bị, tiêu hao năng lượng... liên tục biến động theo thời gian, nhưng chưa được phân tích một cách có hệ thống để nhận diện quy luật và xu hướng.

Trong bối cảnh đó, vai trò của kinh nghiệm vận hành trở nên đặc biệt quan trọng. Các quyết định điều chỉnh như:

- Tăng/giảm lượng than cấp cho calciner và lò quay;
- Điều chỉnh lưu lượng gió (id fan, fd fan, gió ba);
- Kiểm soát nhiệt độ vùng cháy;
- Cân bằng giữa tiêu hao nhiên liệu và chất lượng clinker;
- Phần lớn vẫn dựa vào kinh nghiệm tích lũy và cảm nhận của vận hành viên.

Cách tiếp cận này dẫn đến một số tồn tại chính:

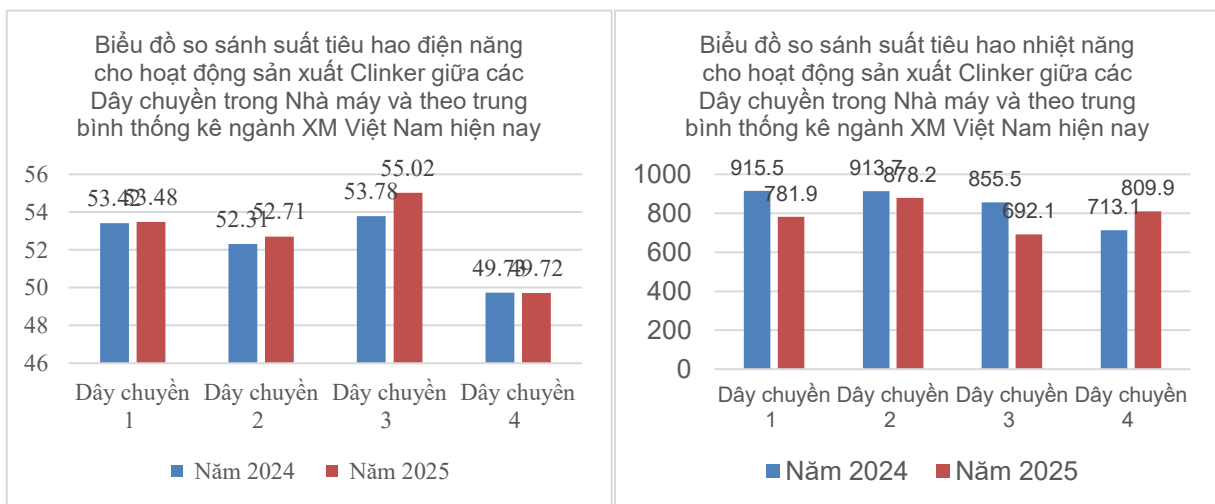
- Phụ thuộc lớn vào con người: Hiệu quả vận hành không đồng đều giữa các ca/kíp, phụ thuộc vào trình độ và kinh nghiệm từng cá nhân.

- Tính phản ứng là chủ yếu: Hệ thống chỉ xử lý khi sai lệch đã xảy ra, chưa có khả năng dự báo trước để phòng ngừa.
- Xu hướng vận hành an toàn (bảo thủ): Để đảm bảo ổn định, các thông số thường được duy trì ở mức “an toàn”, dẫn đến tiêu hao năng lượng cao hơn mức tối ưu.
- Khó tối ưu đồng thời nhiều mục tiêu: Việc cân bằng giữa tiêu hao nhiệt, tiêu thụ điện, sản lượng và chất lượng sản phẩm là bài toán phức tạp, vượt quá khả năng xử lý thủ công.
- Chưa tận dụng hiệu quả dữ liệu lịch sử: Dữ liệu vận hành tích lũy trong thời gian dài chưa được khai thác để xây dựng mô hình dự báo hoặc tối ưu hóa.

Đặc biệt, đối với hệ thống lò nung – công đoạn tiêu thụ năng lượng lớn nhất, các yếu tố như biến động nguyên liệu đầu vào, điều kiện môi trường và trạng thái thiết bị có ảnh hưởng rất lớn đến hiệu quả vận hành. Tuy nhiên, mối quan hệ giữa các yếu tố này mang tính phi tuyến và phức tạp, rất khó nhận biết chỉ bằng quan sát hoặc kinh nghiệm.

Kết quả là:

- Tiêu hao năng lượng (than, điện) chưa đạt mức tối ưu;
- Dao động vận hành vẫn tồn tại, ảnh hưởng đến độ ổn định hệ thống;
- Chất lượng sản phẩm chưa thực sự ổn định tuyệt đối;
- Tiềm năng tiết kiệm năng lượng còn lớn nhưng chưa được khai thác.



Hình 4.28. Suất tiêu hao điện, nhiệt biến động giữa các năm và không đồng đều

Từ những hạn chế trên có thể thấy, hệ thống hiện tại đang thiếu một công cụ có khả năng:

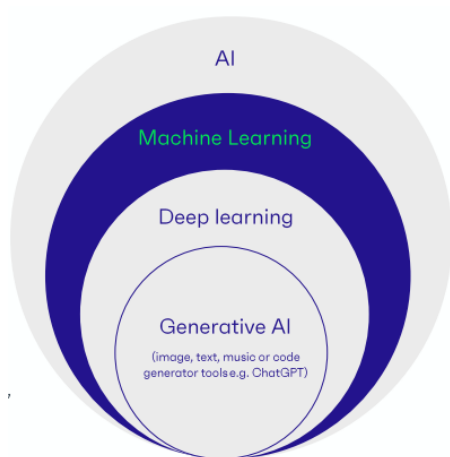
- Xử lý và phân tích dữ liệu quy mô lớn;
- Nhận diện các quy luật ẩn trong quá trình vận hành;
- Dự báo trước xu hướng biến động;
- Và hỗ trợ ra quyết định tối ưu theo thời gian thực.

Đây chính là cơ sở để xem xét áp dụng các giải pháp Machine Learning nhằm nâng cao hiệu quả vận hành và sử dụng năng lượng của Nhà máy.

b. Mô tả giải pháp

Từ những tồn tại nêu trên, có thể thấy rằng bài toán cốt lõi của Nhà máy không nằm ở việc thiếu dữ liệu hay thiếu thiết bị, mà nằm ở khả năng khai thác dữ liệu để hỗ trợ ra quyết định vận hành tối ưu. Đây chính là khoảng trống mà các phương pháp phân tích truyền thống và kinh nghiệm con người khó có thể đáp ứng đầy đủ.

Trong bối cảnh đó, Machine Learning (học máy) được xem là một công cụ phù hợp nhằm nâng cao khả năng phân tích và tối ưu hóa vận hành.



Machine Learning là một tập con của trí tuệ nhân tạo (AI), nằm trong cấu trúc phân cấp gồm: AI → Machine Learning → Deep Learning → Generative AI. Trong đó, AI là khái niệm bao trùm, Machine Learning tập trung vào việc học từ dữ liệu, Deep Learning là một nhánh chuyên sâu sử dụng mạng nơ-ron nhiều lớp, và Generative AI là lớp ứng dụng nâng cao có khả năng tạo sinh nội dung.

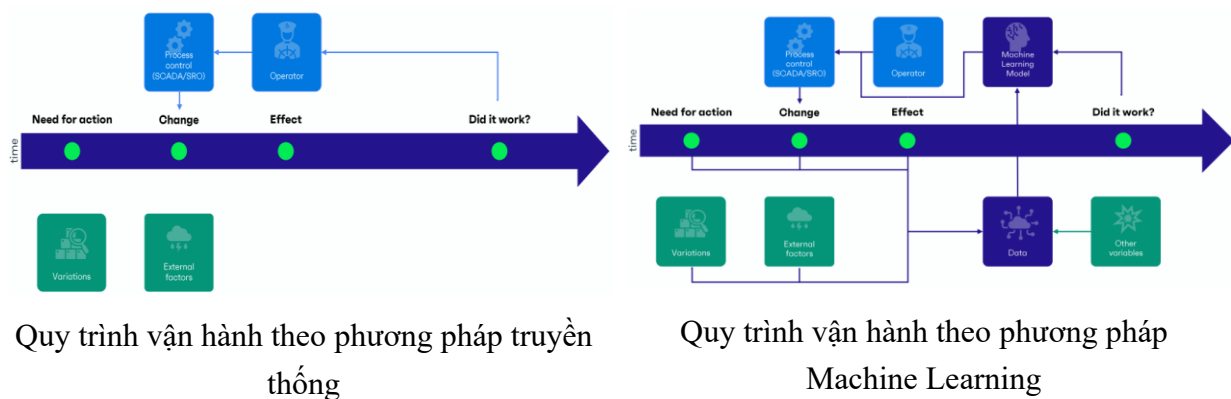
Trong phạm vi báo cáo, giải pháp tập trung ứng dụng Machine Learning/Deep Learning để tối ưu vận hành, không sử dụng các mô hình tạo sinh.

Machine Learning là một tập con của trí tuệ nhân tạo (AI), cho phép hệ thống học từ dữ liệu lịch sử và dữ liệu thời gian thực để nhận diện các quy luật, xu hướng và mối quan hệ phức tạp trong quá trình vận hành. Trên cơ sở đó, hệ thống có thể:

- Dự báo trước các trạng thái vận hành;
- Phát hiện các dấu hiệu bất thường;
- Và đề xuất hoặc tự động điều chỉnh các thông số vận hành theo hướng tối ưu.

Khác với phương pháp vận hành truyền thống mang tính phản ứng (chỉ xử lý khi sự cố xảy ra), Machine Learning cho phép chuyển đổi sang phương thức vận hành:

- Từ phản ứng → sang dự báo;
- Từ kinh nghiệm cá nhân → sang quyết định dựa trên dữ liệu;
- Từ vận hành bảo thủ → sang vận hành tối ưu liên tục.



Hình 4.29. So sánh sự khác biệt giữa quy trình vận hành theo phương pháp truyền thống & Machine Learning

Đặc biệt, đối với các hệ thống phức tạp như lò nung xi măng – nơi tồn tại nhiều mối quan hệ phi tuyến giữa nguyên liệu, nhiệt, khí và trạng thái thiết bị – Machine Learning có khả năng:

- Phát hiện các mối liên hệ mà con người khó nhận biết;
- Đánh giá đồng thời nhiều biến số;
- Và đưa ra phương án vận hành tối ưu theo thời gian thực.

Theo đó, việc áp dụng Machine Learning trong Nhà máy không nhằm thay thế hệ thống điều khiển hiện có, mà đóng vai trò như một lớp trí tuệ bổ sung, giúp:

- Nâng cao chất lượng quyết định vận hành;
- Giảm phụ thuộc vào kinh nghiệm cá nhân;
- Và khai thác hiệu quả nguồn dữ liệu sẵn có.

Thông qua việc triển khai giải pháp này, Nhà máy có thể giải quyết trực tiếp các “hiện trạng” hiện hữu như:

- Tối ưu tiêu hao năng lượng (than, điện);
- Giảm dao động và nâng cao độ ổn định vận hành;
- Cải thiện chất lượng sản phẩm;
- Và nâng cao hiệu quả sử dụng dữ liệu trong toàn bộ hệ thống sản xuất.

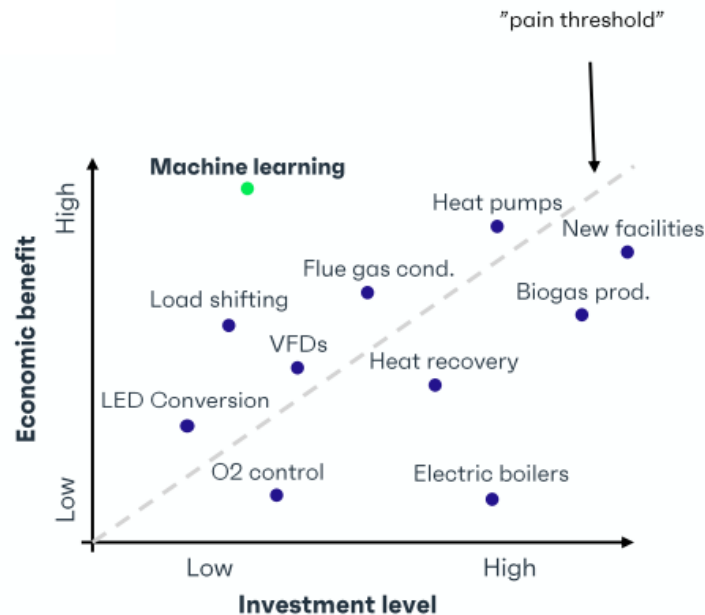
c. Phạm vi ứng dụng

Giải pháp Machine Learning được đề xuất triển khai trên toàn bộ 04 dây chuyền sản xuất của Nhà máy, tập trung vào các công đoạn có mức tiêu thụ năng lượng lớn và ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả vận hành, bao gồm:

- Hệ thống lò nung (calciner và lò quay);
- Hệ thống nghiền liệu;
- Hệ thống nghiền than;

- Hệ thống nghiền xi măng;
- Các hệ thống quạt và thiết bị phụ trợ tiêu thụ điện lớn.

Giải pháp tận dụng dữ liệu sẵn có từ hệ thống DCS/SCADA, do đó không yêu cầu đầu tư thay thế thiết bị công nghệ chính, mà tập trung vào tối ưu hóa vận hành các tài sản hiện hữu.



Hình 4.30. Vị trí của Machine Learning trong tương quan giữa hiệu quả kinh tế và mức đầu tư

Theo hình minh họa, Machine Learning nằm trong nhóm giải pháp có:

- Mức đầu tư trung bình nhưng hiệu quả kinh tế cao so với các giải pháp truyền thống như thu hồi nhiệt, biến tần hay nâng cấp thiết bị. Điều này cho thấy, ML là bước phát triển tiếp theo trong quá trình tối ưu hóa, giúp khai thác tối đa hiệu quả của hệ thống hiện có trước khi xem xét đầu tư lớn.

Do đó, phạm vi áp dụng của giải pháp không chỉ giới hạn ở một công đoạn riêng lẻ, mà có thể mở rộng trên toàn bộ dây chuyền sản xuất, đóng vai trò như một lớp tối ưu tổng thể cho hệ thống.

Giải pháp tận dụng hạ tầng hiện có, không yêu cầu đầu tư lớn vào thiết bị mới mà chủ yếu khai thác dữ liệu sẵn có.

d. Hoạt động cải thiện sau khi thực hiện

Việc triển khai giải pháp Machine Learning trong vận hành sản xuất không chỉ mang lại hiệu quả về mặt năng lượng mà còn tạo ra các giá trị toàn diện về kỹ thuật, kinh tế và quản lý vận hành.

❖ Lợi ích về năng lượng & kinh tế

- Giảm tiêu hao nhiên liệu (than): Thông qua tối ưu hóa quá trình cháy và phân bố nhiệt trong calciner và lò quay, giúp giảm tiêu hao nhiệt từ khoảng 2 – 5%.

- Giảm tiêu thụ điện: Tối ưu vận hành các thiết bị tiêu thụ điện lớn như quạt, máy nghiền, giúp tiết kiệm khoảng 3 – 7% điện năng.
- Khai thác hiệu quả nhiệt thu hồi: Tối ưu phối hợp giữa các công đoạn, nâng cao hiệu suất sử dụng nhiệt trong toàn hệ thống.

❖ Lợi ích về vận hành

- Ổn định quá trình sản xuất: Giảm dao động nhiệt độ, áp suất và các thông số vận hành quan trọng, đặc biệt tại hệ thống lò nung.
- Chuyển từ vận hành phản ứng sang vận hành dự báo: Hệ thống có khả năng dự báo xu hướng và cảnh báo sớm, giúp xử lý trước khi sự cố xảy ra.
- Giảm phụ thuộc vào kinh nghiệm cá nhân: Chuẩn hóa quyết định vận hành dựa trên dữ liệu, giảm sự khác biệt giữa các ca/kíp.
- Tối ưu đa mục tiêu: Đồng thời cân bằng giữa tiêu hao năng lượng, sản lượng và chất lượng sản phẩm.

❖ Lợi ích về chất lượng và sản lượng

- Nâng cao chất lượng clinker: Duy trì điều kiện vận hành ổn định, giảm biến động thành phần và tính chất sản phẩm.
- Tăng năng suất dây chuyền: Nhờ tối ưu hóa vận hành, sản lượng có thể tăng khoảng 3 – 10% mà không cần đầu tư thiết bị mới.
- Giảm tỷ lệ sản phẩm không đạt: Hạn chế sai lệch do biến động quá trình.

❖ Lợi ích về bảo trì và độ tin cậy thiết bị

- Phát hiện sớm bất thường: Nhận diện các dấu hiệu bất thường trong vận hành thiết bị (quạt, máy nghiền, lò nung...).
- Chuyển sang bảo trì theo tình trạng: Giảm phụ thuộc vào bảo trì định kỳ, tối ưu chi phí bảo dưỡng.
- Kéo dài tuổi thọ thiết bị: Giảm dao động và tải sốc trong vận hành.

❖ Lợi ích về chuyển đổi số và quản lý

- Nâng cao mức độ số hóa vận hành: Tận dụng dữ liệu để hỗ trợ ra quyết định.
- Tạo nền tảng cho nhà máy thông minh: Là bước chuyển quan trọng trong lộ trình chuyển đổi số.
- Minh bạch hóa vận hành: Các quyết định được hỗ trợ bởi dữ liệu và mô hình, dễ theo dõi và đánh giá.

e. Mức đầu tư dự kiến của giải pháp

Giải pháp Machine Learning là giải pháp tối ưu hóa vận hành dựa trên dữ liệu, do đó không yêu cầu đầu tư thay thế thiết bị công nghệ chính, mà chủ yếu tập trung vào hạ tầng số, phần mềm và triển khai mô hình. Nhìn chung, mức đầu tư ở mức trung bình nhưng hiệu quả mang lại cao, phù hợp với các nhà máy quy mô lớn.

❖ Các hạng mục đầu tư chính

Các hạng mục đầu tư của dự án bao gồm:

- Hạ tầng dữ liệu và lưu trữ:
 - + Máy chủ (server) hoặc nền tảng điện toán đám mây (cloud);
 - + Hệ thống lưu trữ dữ liệu lịch sử (historian);
 - + Nâng cấp kết nối dữ liệu từ DCS/SCADA (nếu cần).
- Phần mềm và nền tảng Machine Learning:
 - + Phần mềm phân tích dữ liệu và xây dựng mô hình;
 - + Công cụ trực quan hóa và dashboard vận hành;
 - + Giải pháp tích hợp với hệ thống điều khiển hiện hữu.
- Chi phí phát triển mô hình và triển khai:
 - + Thu thập, làm sạch và chuẩn hóa dữ liệu;
 - + Xây dựng mô hình học máy (dự báo, tối ưu);
 - + Hiệu chỉnh mô hình theo điều kiện thực tế của Nhà máy;
 - + Chạy thử nghiệm và đánh giá hiệu quả.
- Đào tạo và chuyển giao công nghệ:
 - + Đào tạo vận hành hệ thống cho kỹ sư và vận hành viên;
 - + Hướng dẫn sử dụng dashboard và các công cụ hỗ trợ quyết định

5 Phụ lục

5.1 Phân tích hiệu quả tài chính lắp đặt hệ thống điện mặt trời

Bảng 5.1. Phân tích hiệu quả tài chính lắp đặt hệ thống điện mặt trời

Stt	Diễn giải	ĐVT	Kết quả		
			PA1: Không có lưu trữ	PA2: Có lưu trữ 10MWh	PA2: Có lưu trữ 20MWh
I	Tiềm năng tiết kiệm				
1.1	Công suất hệ thống điện mặt trời điển hình	MWp	10	10	10
1.2	Công suất hệ thống lưu trữ	MWh	-	10	20
1.3	Sản lượng điện năm của hệ thống	kWh/năm	14.134.437	14.134.437	14.134.437
1.4	Tổng chi phí đầu tư dự kiến	Triệu VNĐ	172.250	212.000	265.000
1.5	Số ngày làm việc trong 1 năm	Ngày/ năm	360	360	360
1.6	Giá điện giờ bình thường	VNĐ/kWh	1.811	1.811	1.811
1.7	Giá điện giờ cao điểm	VNĐ/kWh	3.266	3.266	3.266
1.8	Giá điện giờ thấp điểm	VNĐ/kWh	1.146	1.146	1.146
1.9	Điện sản xuất từ điện mặt trời phân bổ vào giờ bình thường	%	74,00%	52,35%	9,05%
1.10	Điện sản xuất từ điện mặt trời phân bổ vào giờ cao điểm	%	26,00%	47,65%	90,95%
1.11	Điện sản xuất từ điện mặt trời phân bổ vào giờ thấp điểm	%	0,00%	0,00%	0,00%

Stt	Diễn giải	ĐVT	Kết quả		
			PA1: Không có lưu trữ	PA2: Có lưu trữ 10MWh	PA2: Có lưu trữ 20MWh
1.12	Công suất điện phân bổ từ hệ thống điện mặt trời tương ứng cho giờ bình thường	kWh/ năm	10.459.483	7.399.483	1.279.483
1.13	Công suất điện phân bổ từ hệ thống điện mặt trời tương ứng cho giờ cao điểm	kWh/ năm	3.674.954	6.734.954	12.854.954
1.14	Công suất điện phân bổ từ hệ thống điện mặt trời tương ứng cho giờ thấp điểm	kWh/ năm	-	-	-
1.15	Chi phí tiền tiết kiệm được từ hệ thống điện mặt trời	Triệu VNĐ	30.945	35.397	44.301
II	Phân tích hiệu quả kinh tế khi thực hiện giải pháp				
2.1	Năng lượng điện hệ thống sản xuất được trong 1 năm	kWh/năm	14.134.437	14.134.437	14.134.437
2.2	Số tiền tiết kiệm được từ TKNL	Triệu VNĐ	30.945	35.397	44.301
2.3	Chi phí đầu tư dự án	Triệu VNĐ	172.250	212.000	265.000
2.4	Vốn vay cho dự án dự kiến	Triệu VNĐ	-	-	-
2.5	Chi phí vận hành tăng do đầu tư cải tạo theo năm	Triệu VNĐ	200	300	400
2.6	Chi phí vận hành giảm do đầu tư cải tạo theo năm	Triệu VNĐ	-	-	-
2.7	Chi phí có được từ thanh lý thiết bị cũ	Triệu VNĐ	-	-	-
2.8	Chi phí tăng để loại bỏ thiết bị cũ	Triệu VNĐ	-	-	-

Stt	Diễn giải	ĐVT	Kết quả		
			PA1: Không có lưu trữ	PA2: Có lưu trữ 10MWh	PA2: Có lưu trữ 20MWh
2.9	Giá trị còn lại của dự án sau khi hết khấu hao	Triệu VNĐ	-	-	-
2.10	Tuổi thọ dự án	Năm	20	20	20
2.11	Thuế suất	%	20,00%	20,00%	20,00%
2.12	Hệ số triết khấu	%	12,00%	12,00%	12,00%
2.13	% lãi vay	%	12,00%	12,00%	12,00%
2.14	Thời hạn trả nợ	Năm	-	-	-
2.15	Thời gian hoàn vốn đơn giản	Năm	5,60	6,04	6,04
2.16	IRR	%	14,21%	13,01%	13,02%
2.17	NPV	Triệu VNĐ	24.331,7	13.558,2	17.129,4
2.18	Lượng điện sản xuất từ hệ thống pin NLMT quy đổi TOE	TOE/năm	2.180,9	2.180,9	2.180,9
2.19	Lượng phát thải CO2 tương ứng	Tấn CO2e/năm	9.317,4	9.317,4	9.317,4

5.2 Phân tích hiệu quả đầu tư của giải pháp Thay thế bóng đèn Halogen sang Led pha

Bảng 5.2. Bảng tính toán hiệu quả đầu tư của giải pháp Thay thế bóng đèn Halogen sang Led pha

STT	Thông số	Đơn vị	Giải pháp; Thay thế bóng đèn Halogen 70W sang Led pha 30W		Giải pháp; Thay thế bóng đèn Halogen 150W sang Led pha 70W	
			Halogen 70W	Đèn LED pha 30W	Halogen 150W	Đèn LED pha 70W
1	Dữ liệu cơ sở					
1.1	Công suất của bộ đèn (Bóng + Ballast)	W	85	30	170	70
1.2	Số bóng đèn	Bóng	4362	4362	149	149
1.3	Hệ số sử dụng đồng thời		80%	80%	80%	80%
1.4	Chi phí lắp đặt, vật tư (Cho 1 bóng đèn)	triệu VNĐ/ bóng	0	0,1	0	0
1.5	Chi phí bóng đèn (Tính cho 1 bóng đèn)	triệu VNĐ/ bóng		1		1.500.000
1.6	Vận hành trung bình 1 ngày	Giờ	10	10	10	10
1.7	Số ngày vận hành trong 1 năm	Ngày	365	365	365	365
1.8	Số giờ vận hành trong 1 năm	Giờ	3.650	3.650	3.650	3.650
1.9	Điện năng tiêu thụ	KWh	1.082.648	382.111	73.964	30.456
2	Tiềm năng tiết kiệm năng lượng					
2.1	Tiết kiệm điện năng hàng năm	KWh		700.537		43.508

STT	Thông số	Đơn vị	Giải pháp; Thay thế bóng đèn Halogen 70W sang Led pha 30W		Giải pháp; Thay thế bóng đèn Halogen 150W sang Led pha 70W	
			Halogen 70W	Đèn LED pha 30W	Halogen 150W	Đèn LED pha 70W
2.2	Giá điện trung bình	VNĐ/KWh	1.948,0	1.948,0	1.948	1.948
2.3	Chi phí tiền điện tiêu thụ của đèn hàng năm	triệu VNĐ	2.109,0	744,4	144.081.093	59.327.509
2.4	Tiết kiệm chi phí tiền điện hàng năm	triệu VNĐ		1.364,6		84.753.584
2.5	Tổng chi phí đầu tư	triệu VNĐ		2.617,2		223.500.000
2.6	Thời gian hoàn vốn	Năm		1,92		2,6
2.7	Tuổi thọ dự án	Năm		5,00		5,00
2.8	Thuế suất	&		12,0%		12,0%
2.9	Hệ số hoàn vốn nội tại IRR	%		43,6%		26,0%
2.10	Giá trị hiện tại thuần NPV (trong 5 năm, chiết khấu 12%/năm)	VNĐ		2.055,40		4.145
3	Môi trường					
3.1	Quy đổi TOE	TOE/ năm		167,1		11,4
3.2	Giảm phát thải CO ₂	tấn CO ₂ / năm		713,7		48,8

5.3 Phân tích hiệu quả đầu tư của giải pháp “Lắp đặt biến tần cho MNK kết hợp bộ điều khiển trung tâm cho hệ thống khí nén”

Bảng 5.3. Bảng tính toán hiệu quả đầu tư của giải pháp “Lắp đặt biến tần cho MNK kết hợp bộ điều khiển trung tâm cho hệ thống khí nén”

Stt	Diễn giải	ĐVT	Hệ thống khí nén					
			D31	D32	D33	D34	D35	D36
I	Tiềm năng tiết kiệm							
1.1	Số lượng MNK	Máy	5	4	5	4	6	6
1.2	Tổng công suất HT MNK theo định mức	kW	600	480	600	480	720	660
1.3	Công suất tiêu thụ của HT MNK theo năm cơ sở 2024	Máy	2.308.445	2.649.025	2.097.953	3.335.406	3.309.729	4.572.671
1.4	Áp suất trung bình của hệ thống	Mpa	0,68	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
1.5	Thời gian hoạt động có tải trung bình của hệ thống	%	97,74%	95,00%	97,24%	95,00%	85,39%	99,78%
1.6	Áp suất trung bình của hệ thống sau cải tạo	Mpa	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
1.7	Thời gian hoạt động có tải trung bình của hệ thống sau cải tạo	%	99,00%	99,00%	99,00%	99,00%	99,00%	99,78%
1.8	% tải của MNK hoạt động ở chế độ không tải (UnLoad)	%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%
1.9	% TKNL giảm sau khi thực hiện cải tạo	%	3,68%	3,00%	2,33%	3,00%	5,88%	1,80%
1.10	Tổng điện năng giảm được 1 năm	kWh/năm	84.935	79.471	48.869	100.062	194.713	82.308
1.11	Giá điện trung bình	Vnd/kWh	1.948	1.948	1.948	1.948	1.948	1.948

Stt	Diễn giải	ĐVT	Hệ thống khí nén					
			D31	D32	D33	D34	D35	D36
1.12	Tiền tiết kiệm được	Triệu Vnd/năm	165,45	154,81	95,20	194,92	379,30	160,34
II	Phân tích hiệu quả kinh tế khi thực hiện giải pháp							
2.1	Năng lượng điện hệ thống sản xuất được trong 1 năm	kWh/năm	84.935	79.471	48.869	100.062	194.713	82.308
2.2	Số tiền tiết kiệm được từ TKNL	Triệu VNĐ	165,45	154,81	95,20	194,92	379,30	160,34
2.3	Chi phí đầu tư dự án	Triệu VNĐ	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
2.4	Vốn vay cho dự án dự kiến	Triệu VNĐ	-	-	-	-	-	-
2.5	Chi phí vận hành tăng do đầu tư cải tạo theo năm	Triệu VNĐ	10	10	10	10	10	10
2.6	Chi phí vận hành giảm do đầu tư cải tạo theo năm	Triệu VNĐ	-	-	-	-	-	-
2.7	Chi phí có được từ thanh lý thiết bị cũ	Triệu VNĐ	-	-	-	-	-	-
2.8	Chi phí tăng để loại bỏ thiết bị cũ	Triệu VNĐ	-	-	-	-	-	-
2.9	Giá trị còn lại của dự án sau khi hết khấu hao	Triệu VNĐ	-	-	-	-	-	-
2.10	Tuổi thọ dự án	Năm	10	10	10	10	10	10
2.11	Thuế suất	%	20,00%	20,00%	20,00%	20,00%	20,00%	20,00%
2.12	Hệ số triết khấu	%	12,00%	12,00%	12,00%	12,00%	12,00%	12,00%

Stt	Diễn giải	ĐVT	Hệ thống khí nén					
			D31	D32	D33	D34	D35	D36
2.13	% lãi vay	%	12,00%	12,00%	12,00%	12,00%	12,00%	12,00%
2.14	Thời hạn trả nợ	Năm	-	-	-	-	-	-
2.15	Thời gian hoàn vốn đơn giản	Năm	3,86	4,14	7,04	3,24	1,62	3,99
2.16	IRR	%	18,60%	16,80%	5,65%	23,40%	50,37%	17,74%
2.17	NPV	Triệu VNĐ	170,5	122,4	- 147,1	303,7	1.137,1	147,3
2.18	Lượng điện sản xuất từ hệ thống pin NLMT quy đổi TOE	TOE/năm	13,1	12,3	7,5	15,4	30,0	12,7
2.19	Lượng phát thải CO2 tương ứng	Tấn CO2e/năm	56,0	52,4	32,2	66,0	128,4	54,3

5.4 Phân tích tiềm năng TKNL khi thực hiện giải pháp “Duy trì thường xuyên kiểm tra, khắc phục tình trạng rò rỉ khí nén”

Bảng 5.4. Bảng tính toán tiềm năng TKNL khi thực hiện giải pháp “Duy trì thường xuyên kiểm tra, khắc phục tình trạng rò rỉ khí nén”

Stt	Diễn giải	ĐVT	Hệ thống khí nén					
			D31	D32	D33	D34	D35	D36
1	Số lượng MNK	Máy	5	4	5	4	6	6
2	Tổng công suất HT MNK theo định mức	kW	600	480	600	480	720	660
3	Công suất tiêu thụ của HT MNK theo năm cơ sở 2024	Máy	2.308.445	2.649.025	2.097.953	3.335.406	3.309.729	4.572.671
4	% TKNL giảm sau khi khắc phục các vị trí rò rỉ	%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
5	Tổng điện năng giảm được 1 năm	kWh/năm	23.084	26.490	20.980	33.354	33.097	45.727
6	Giá điện trung bình	Vnd/kWh	1.948	1.948	1.948	1.948	1.948	1.948
7	Tiền tiết kiệm được	Triệu Vnd/năm	44,97	51,60	40,87	64,97	64,47	89,07
8	Chi phí đầu tư dự kiến	Triệu Vnd	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
9	Thời gian thu hồi vốn giản đơn	Năm	0,44	0,39	0,49	0,31	0,31	0,22
10	Điện năng tiết kiệm quy đổi theo TOE	TOE/năm	3,56	4,09	3,24	5,15	5,11	7,06
11	Lượng phát thải CO2 giảm sau khi thực hiện giải pháp	Tấn CO2e/năm	15,22	17,46	13,83	21,99	21,82	30,14

5.5 Phân tích hiệu quả đầu tư của giải pháp “Cải tạo đường ống “Lắp đặt đường ống phân cấp áp suất cho hệ thống khí nén”

Bảng 5.5. Bảng tính toán hiệu quả đầu tư của giải pháp “Cải tạo đường ống “Lắp đặt đường ống phân cấp áp suất cho hệ thống khí nén”

Stt	Diễn giải	ĐVT	Hệ thống khí nén					
			D31	D32	D33	D34	D35	D36
I	Tiềm năng tiết kiệm							
1.1	Số lượng MNK	Máy	5	4	5	4	6	6
1.2	Tổng công suất HT MNK theo định mức	kW	600	480	600	480	720	660
1.3	Công suất tiêu thụ của HT MNK theo năm cơ sở 2024	Máy	2.308.445	2.649.025	2.097.953	3.335.406	3.309.729	4.572.671
1.4	Áp suất trung bình của hệ thống	Mpa	0,68	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
1.5	% lưu lượng khí nén tiêu thụ cho các thiết bị thấp áp	%	45,00%	60,00%	45,00%	60,00%	45,00%	45,00%
1.6	Áp suất trung bình của hệ thống thấp áp sau cải tạo	Mpa	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
1.7	% TKNL giảm sau khi thực hiện cải tạo	%	4,73%	5,40%	4,05%	5,40%	4,05%	4,05%
1.8	Tổng điện năng giảm được 1 năm	kWh/năm	109.074	143.047	84.967	180.112	134.044	185.193
1.9	Giá điện trung bình	Vnd/kWh	1.948	1.948	1.948	1.948	1.948	1.948
1.10	Tiền tiết kiệm được	Triệu Vnd/năm	212,48	278,66	165,52	350,86	261,12	360,76

Stt	Diễn giải	ĐVT	Hệ thống khí nén					
			D31	D32	D33	D34	D35	D36
II	Phân tích hiệu quả kinh tế khi thực hiện giải pháp							
2.1	Năng lượng điện hệ thống sản xuất được trong 1 năm	kWh/năm	109.074	143.047	84.967	180.112	134.044	185.193
2.2	Số tiền tiết kiệm được từ TKNL	Triệu VNĐ	212,48	278,66	165,52	350,86	261,12	360,76
2.3	Chi phí đầu tư dự án	Triệu VNĐ	750,00	750,00	750,00	750,00	750,00	750,00
2.4	Vốn vay cho dự án dự kiến	Triệu VNĐ	-	-	-	-	-	-
2.5	Chi phí vận hành tăng do đầu tư cải tạo theo năm	Triệu VNĐ	10	10	10	10	10	10
2.6	Chi phí vận hành giảm do đầu tư cải tạo theo năm	Triệu VNĐ	-	-	-	-	-	-
2.7	Chi phí có được từ thanh lý thiết bị cũ	Triệu VNĐ	-	-	-	-	-	-
2.8	Chi phí tăng để loại bỏ thiết bị cũ	Triệu VNĐ	-	-	-	-	-	-

Stt	Diễn giải	ĐVT	Hệ thống khí nén					
			D31	D32	D33	D34	D35	D36
2.9	Giá trị còn lại của dự án sau khi hết khấu hao	Triệu VNĐ	-	-	-	-	-	-
2.10	Tuổi thọ dự án	Năm	10	10	10	10	10	10
2.11	Thuế suất	%	20,00%	20,00%	20,00%	20,00%	20,00%	20,00%
2.12	Hệ số triết khấu	%	12,00%	12,00%	12,00%	12,00%	12,00%	12,00%
2.13	% lãi vay	%	12,00%	12,00%	12,00%	12,00%	12,00%	12,00%
2.14	Thời hạn trả nợ	Năm	-	-	-	-	-	-
2.15	Thời gian hoàn vốn đơn giản	Năm	3,70	2,79	4,82	2,20	2,99	2,14
2.16	IRR	%	19,68%	28,08%	13,22%	36,67%	25,91%	37,82%
2.17	NPV	Triệu VNĐ	250,0	549,1	37,7	875,5	469,9	920,2
2.18	Lượng điện sản xuất từ hệ thống pin NLMT quy đổi TOE	TOE/năm	16,8	22,1	13,1	27,8	20,7	28,6
2.19	Lượng phát thải CO2 tương ứng	Tấn CO2e/năm	71,9	94,3	56,0	118,7	88,4	122,1

5.6 Phân tích giải pháp: “Tối ưu áp suất chân không bình ngưng của hệ thống thu hồi nhiệt cho dây chuyền 1”

Bảng 5.6. Kết quả tính toán giải pháp: “Tối ưu áp suất chân không bình ngưng của hệ thống thu hồi nhiệt cho dây chuyền 1”

TT	Thông số	Ký hiệu	Công thức tính	Đơn vị	Giá trị
1	Tổng lượng điện sản xuất	E_total	-	kWh	52.667.600
2	Lượng điện tự dùng hiện tại	E_self	-	kWh	2.841.397
3	Tỷ lệ điện tự dùng hiện tại	R_self	E_self / E_total	%	5,39
4	Mức giảm điện tự dùng dự kiến	ΔE_self	$E_self \times 12\%$	kWh	340.968
5	Giá điện	P_elec	-	VNĐ/kWh	1.948
6	Tiết kiệm chi phí điện tự dùng	S_cost	$\Delta E_self \times P_elec$	Triệu VNĐ	664,21
7	Hệ số phát thải CO ₂ lưới điện Việt Nam	EF_CO2	-	tCO ₂ /MWh	0,6592
8	Lượng CO ₂ giảm phát thải	ΔCO_2	$\Delta E_self \times (EF_CO_2 / 1.000)$	tCO ₂	224,77
9	Hiệu suất hệ thống tăng dự kiến	η_inc	-	%	4
10	Lượng điện sản xuất tăng dự kiến	ΔE_prod	$E_total \times \eta_inc$	kWh	2.106.704
11	Tổng tiết kiệm chi phí hàng năm	S_total	$S_cost + (\Delta E_prod \times P_elec)$	Triệu VNĐ	4.768,07
12	Chi phí đầu tư	C_invest	-	Triệu VNĐ	3.000
13	Thời gian hoàn vốn	Thv	$C_invest / S_total \times 12$	Tháng	7,55
14	Hệ số chiết khấu	i		%	10
15	Tuổi thọ của dự án	n		năm	10
16	Lợi nhuận thuần của dự án	NPV		Triệu VNĐ	26.300,00
17	Tỷ suất hoàn vốn nội tại	IRR	-	%	150

5.7 Phân tích hiệu quả thay thế các động cơ hiệu suất thấp IE1 bằng các động cơ hiệu suất cao (IE3-IE4) khi có cơ hội

Bảng 5.7. Thay thế các động cơ hiệu suất thấp IE1 bằng các động cơ hiệu suất cao (IE3-IE4) khi có cơ hội

STT	Thông số	Đơn vị	Replace the IE1 motor with an IE4 motor (LINE 1)		Replace the IE2 motor with an IE4 motor (LINE 2)	
			Máy đập mã 221CR01 - IE1	New IE4 motor	Bảng tải mã 322BC02 và 522BC08MT01 - IE2	New IE4 motor
I	Dữ liệu cơ sở					
1.1	Công suất định mức	kW	160	160	90	90
1.2	Số lượng động cơ cần thay thế	chiếc	1	1	2	2
1.3	Tổng công suất yêu cầu	kW	160	160	180	180
1.5	Hệ số công suất định mức		0,85	0,93	0,88	0,93
1.6	Hiệu suất định mức	%	93,80%	96,60%	93,00%	96,10%
1.7	Vận hành trung bình 1 ngày	Giờ	24	24	24	24
1.8	Số ngày vận hành trong 1 năm	Ngày	360	360	360	360
1.9	Tỉ lệ hoạt động đồng thời	%	70%	70%	70%	70%
1.10	Số giờ vận hành trong 1 năm	Giờ	8.640	8.640	8.640	8.640
1.11	Công suất biểu kiến tải tiêu thụ	kVA	131,76	120,43	143,18	135,48
1.12	Tổn thất sắt trong động cơ	kW	5,33	1,69	3,00	2,19
1.13	Tổn thất đồng trong động cơ	kW	5,18	2,76	6,64	3,58
1.14	Tổng tổn thất	kW	10,52	4,45	9,64	5,77
II	Tiềm năng tiết kiệm năng lượng					

STT	Thông số	Đơn vị	Replace the IE1 motor with an IE4 motor (LINE 1)		Replace the IE2 motor with an IE4 motor (LINE 2)	
			Máy đập mã 221CR01 - IE1	New IE4 motor	Băng tải mã 322BC02 và 522BC08MT01 - IE2	New IE4 motor
2.1	Công suất tiết kiệm	kW		6,07		3,87
2.2	Điện năng tiết kiệm	kWh		52.415		33.418
2.3	Giá điện trung bình	VNĐ/kWh	1.948	1.948	1.948	1.948
2.4	Lượng tiền tiết kiệm	VNĐ/năm		102		65
2.5	Tổng chi phí đầu tư	VNĐ		450		640
2.6	Thời gian hoàn vốn	Năm		4,41		9,83
III	Môi trường					
3.1	Quy đổi TOE	TOE/ năm		8,09		5,16
3.2	Giảm phát thải CO ₂	tấn CO ₂ / năm		34,55		22,03

5.8 Phân tích hiệu quả thu hồi nhiệt thải (>100oC) bằng ứng dụng công nghệ máy lạnh hấp thụ phục vụ cho hệ thống điều hòa không khí cho các phụ tải khu vực phòng điều khiển và trạm điện (DC1 - DC4)

Bảng 5.8. Giải pháp thu hồi nhiệt thải (>100oC) bằng ứng dụng công nghệ máy lạnh hấp thụ phục vụ cho hệ thống điều hòa không khí cho các phụ tải khu vực phòng điều khiển và trạm điện (DC1 - DC4)

Stt	Diễn giải	ĐVT	Đầu tư hệ thống máy lạnh hấp thụ cho DC 1	
			Trước	Sau
I	Tiềm năng tiết kiệm			
1.1	Công suất lạnh của HT điều hoà không khí	RT	580	630
1.2	Công suất tiêu thụ điện của toàn hệ thống	kW	328	180
1.3	Số giờ hệ thống làm việc trong 1 ngày	Giờ/ ngày	24	24
1.4	Số ngày hệ thống hoạt động trong 1 năm	Ngày/ năm	365,00	365,00
1.5	Công suất tiêu thụ của hệ thống trung bình trong 1 năm	kWh/ năm	2.873.280	1.576.800
1.6	Giá điện trung bình	Vnd/kWh	1.948	1.948
1.7	Chi phí tiền điện trong 1 năm	Triệu Vnd/năm	5.597,15	3.071,61
II	Phân tích hiệu quả kinh tế khi thực hiện giải pháp			
2.1	Năng lượng điện hệ thống sản xuất được trong 1 năm	kWh/năm	1.296.480	
2.2	Số tiền tiết kiệm được từ TKNL	Triệu VNĐ	2.525,54	
2.3	Chi phí đầu tư dự án	Triệu VNĐ	9.000,00	
2.4	Vốn vay cho dự án dự kiến	Triệu VNĐ	-	
2.5	Chi phí vận hành tăng do đầu tư cải tạo theo năm	Triệu VNĐ	50	
2.6	Chi phí vận hành giảm do đầu tư cải tạo theo năm	Triệu VNĐ	200	

Stt	Diễn giải	ĐVT	Đầu tư hệ thống máy lạnh hấp thụ cho DC 1	
			Trước	Sau
2.7	Chi phí có được từ thanh lý thiết bị cũ	Triệu VNĐ	500	
2.8	Chi phí tăng để loại bỏ thiết bị cũ	Triệu VNĐ	50	
2.9	Giá trị còn lại của dự án sau khi hết khấu hao	Triệu VNĐ	2.000	
2.10	Tuổi thọ dự án	Năm	10	
2.11	Thuế suất	%	20,00%	
2.12	Hệ số triết khấu	%	12,00%	
2.13	% lãi vay	%	12,00%	
2.14	Thời hạn trả nợ	Năm	-	
2.15	Thời gian hoàn vốn đơn giản	Năm	3,20	
2.16	IRR	%	24,65%	
2.17	NPV	Triệu VNĐ	5.076,1	
2.18	Lượng điện sản xuất từ hệ thống pin NLMT quy đổi TOE	TOE/năm	200,0	
2.19	Lượng phát thải CO2 tương ứng	Tấn CO2e/năm	854,6	

5.9 Phân tích hiệu quả ứng dụng Machine Learning để tối ưu hoá vận hành sản xuất

Bảng 5.9. Giải pháp ứng dụng Machine Learning để tối ưu hoá vận hành sản xuất

Stt	Diễn giải	ĐVT	Kết quả			
			DC 1	DC2	DC3	DC4
I	Tiềm năng tiết kiệm					
1.1	Tổng lượng điện tiêu thụ trong năm cơ sở (Năm 2024)	kWh/ năm	221.504.477	188.688.568	117.778.111	120.356.000
1.2	Tổng lượng than tiêu thụ trong năm cơ sở (2024)	Tấn/ năm	321601	304357	301772	296708
1.3	Giá điện trung bình	VNĐ/ kWh	1948	1948	1948	1948
1.4	Giá than trung bình	Triệu VNĐ/ Tấn	2,5	2,5	2,5	2,5
1.5	Tiềm năng tiết kiệm điện sau khi thực hiện giải pháp	%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%
1.6	Tiềm năng tiết kiệm than sau khi thực hiện giải pháp	%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%
1.7	Lượng điện dự kiến tiết kiệm được	kWh/ năm	4.430.090	3.773.771	2.355.562	2.407.120
1.8	Lượng than dự kiến tiết kiệm được	Tấn/ năm	4.824	4.565	4.527	4.451
1.9	Tiềm tiết kiệm được sau khi thực hiện giải pháp	Triệu VNĐ/ năm	20.690	18.765	15.905	15.816

Stt	Diễn giải	ĐVT	Kết quả			
			DC 1	DC2	DC3	DC4
II	Phân tích hiệu quả kinh tế khi thực hiện giải pháp					
2.1	Lượng điện tiết kiệm được trong 1 năm	kWh/năm	4.430.090	3.773.771	2.355.562	2.407.120
2.2	Lượng than tiết kiệm được trong 1 năm	Tấn/ năm	4.824	4.565	4.527	4.451
2.3	Số tiền tiết kiệm được từ TKNL	Triệu VNĐ/ năm	20.690	18.765	15.905	15.816
2.4	Chi phí đầu tư dự án	Triệu VNĐ	31.800	31.800	26.500	26500
2.5	Vốn vay cho dự án dự kiến	Triệu VNĐ	-	-	-	-
2.6	Chi phí vận hành tăng do đầu tư cải tạo theo năm	Triệu VNĐ	200	200	200	200
2.7	Chi phí vận hành giảm do đầu tư cải tạo theo năm	Triệu VNĐ	-	-	-	-
2.8	Chi phí có được từ thanh lý thiết bị cũ	Triệu VNĐ	-	-	-	-
2.9	Chi phí tăng để loại bỏ thiết bị cũ	Triệu VNĐ	-	-	-	-
2.10	Giá trị còn lại của dự án sau khi hết khấu hao	Triệu VNĐ	-	-	-	-
2.11	Tuổi thọ dự án	Năm	20	20	20	20
2.12	Thuế suất	%	20,00%	20,00%	20,00%	20,00%

Stt	Diễn giải	ĐVT	Kết quả			
			DC 1	DC2	DC3	DC4
2.13	Hệ số triết khấu	%	12,00%	12,00%	12,00%	12,00%
2.14	% lãi vay	%	12,00%	12,00%	12,00%	12,00%
2.15	Thời hạn trả nợ	Năm	-	-	-	-
2.16	Thời gian hoàn vốn đơn giản	Năm	1,55	1,71	1,69	1,70
2.17	IRR	%	52,54%	47,68%	48,39%	48,12%
2.18	NPV	Triệu VNĐ	93.013,5	81.509,6	69.326,0	68.791,4
2.19	Năng lượng tiết kiệm được quy đổi TOE	TOE/năm	2.895,1	2.739,8	2.716,3	2.670,7
2.20	Lượng phát thải CO2 tương ứng	Tấn CO2e/năm	14.835,6	13.764,1	12.733,4	12.579,8

5.10 Phân tích hiệu quả giải pháp áp dụng hệ thống quản lý năng lượng ISO 50001:2018

Bảng 5.10. Tính toán kinh tế giải pháp áp dụng hệ thống quản lý năng lượng ISO 50001:2018

Stt	Diễn giải	ĐVT	Kết quả
I	Tiềm năng tiết kiệm		
1.1	Tổng lượng điện tiêu thụ trong năm cơ sở của toàn nhà máy (Năm 2024)	kWh/ năm	648.327.157
1.2	Tổng lượng than tiêu thụ trong năm cơ sở của toàn nhà máy (2024)	Tấn/ năm	1.224.438
1.3	Giá điện trung bình	VNĐ/ kWh	1.948
1.4	Giá than trung bình	Triệu VNĐ/ Tấn	2,5
1.5	Tiềm năng tiết kiệm điện sau khi thực hiện giải pháp	%	0,20%
1.6	Tiềm năng tiết kiệm than sau khi thực hiện giải pháp	%	0,20%
1.7	Lượng điện dự kiến tiết kiệm được	kWh/ năm	1.296.654
1.8	Lượng than dự kiến tiết kiệm được	Tấn/ năm	2.449
1.9	Tiền tiết kiệm được sau khi thực hiện giải pháp	Triệu VNĐ/ năm	8.648,07
II	Phân tích hiệu quả kinh tế khi thực hiện giải pháp		
2.1	Lượng điện tiết kiệm được trong 1 năm	kWh/năm	1.296.654
2.2	Lượng than tiết kiệm được trong 1 năm	Tấn/ năm	2.448,9
2.3	Số tiền tiết kiệm được từ TKNL	Triệu VNĐ/ năm	8.648,07
2.4	Chi phí đầu tư dự án	Triệu VNĐ	3000
2.5	Vốn vay cho dự án dự kiến	Triệu VNĐ	-
2.6	Chi phí vận hành tăng do đầu tư cải tạo theo năm	Triệu VNĐ	500
2.7	Chi phí vận hành giảm do đầu tư cải tạo theo năm	Triệu VNĐ	-
2.8	Chi phí có được từ thanh lý thiết bị cũ	Triệu VNĐ	-

Stt	Diễn giải	ĐVT	Kết quả
2.9	Chi phí tăng để loại bỏ thiết bị cũ	Triệu VNĐ	-
2.10	Giá trị còn lại của dự án sau khi hết khấu hao	Triệu VNĐ	-
2.11	Tuổi thọ dự án	Năm	3
2.12	Thuế suất	%	20,00%
2.13	Hệ số triết khấu	%	12,00%
2.14	% lãi vay	%	12,00%
2.15	Thời hạn trả nợ	Năm	-
2.16	Thời gian hoàn vốn đơn giản	Năm	0,37
2.17	IRR	%	216,91%
2.18	NPV	Triệu VNĐ	13.136,60
2.19	Năng lượng tiết kiệm được quy đổi TOE	TOE/năm	1.469,53
2.20	Lượng phát thải CO2 tương ứng	Tấn CO2e/năm	6.903,48

5.11 Phân tích hiệu quả giải pháp dịch chuyển phụ tải, kiểm soát peak load, phối hợp WHR

Bảng 5.11. Tính toán kinh tế giải pháp dịch chuyển phụ tải, kiểm soát peak load, phối hợp WHR

STT	Dữ liệu	Đơn vị	Thông số
1	Tổng điện năng tiêu thụ giờ cao điểm	kWh.năm	51.621.152
2	Giá điện giờ bình thường	VNĐ/kWh	1.811
3	Giá điện giờ cao điểm	VNĐ/kWh	3.266
4	Giá điện giờ thấp điểm	VNĐ/kWh	1.146
5	Công suất điện phân bổ từ hệ thống điện mặt trời tương ứng cho giờ cao điểm	kWh/ năm	3.674.954
6	Tỷ lệ dịch chuyển phụ tải từ cao điểm sang bình thường	%	4
7	Lượng điện năng dịch chuyển	kWh/năm	2.064.846
8	Lượng tiền tiết kiệm	VNĐ/năm	3.004.351.046