



Tạp chí Khoa học và Kinh tế Phát triển  
Trường Đại học Nam Cần Thơ

Website: [jsde.nctu.edu.vn](http://jsde.nctu.edu.vn)



## Ứng dụng phần mềm thiết kế Cfturbo và phần mềm mô phỏng Simerics cho máy thổi khí cánh dẫn quạt/blowers/mvr

Trần Thanh Hải Tùng<sup>1\*</sup>, Nguyễn Văn Tuấn<sup>2</sup>, Phạm Thị Hoàng Diệu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Nam Cần Thơ

<sup>2</sup>Công ty Cổ phần Giải pháp Tự động hóa Kỹ thuật Việt Nam - AES

\*Người chịu trách nhiệm bài viết: Trần Thanh Hải Tùng (email: [tthtung@nctu.edu.vn](mailto:tthtung@nctu.edu.vn))

Ngày nhận bài: 30/12/2023

Ngày phân biên: 20/1/2024

Ngày duyệt đăng: 15/2/2024

**Title:** Application of Cfturbo design software and simerics simulation software for centrifugal fan/blowers/mvr

**Keywords:** cfturbo, centrifugal fan, industrial fan, MVR compressors, MVR blowers, simerics

**Từ khóa:** cfturbo, MVR compressors, MVR blowers, quạt ly tâm, quạt công nghiệp

### ABSTRACT

Vapor compression equipment (Mechanical Vapor Recompression - MVR) was first used in Europe in the UK, France, and Germany, bringing many industrial benefits that have been proven in practice. The current general trend in Vietnam is that many different types of centrifugal equipment: Centrifugal fan, Turbofan (High-speed centrifugal fan), MVR Blowers, MVR Turbochargers, MVR Compressors are being researched, manufactured and exploited to reduce Cost of using saturated steam in industrial factories. In this study, we presented the results of research on design and simulation of MVR vapor compression equipment using Cfturbo, CATIA-V5, and Simerics software. Thanks to specialized software, the design research process takes place quickly, the simulation results were accurate, and the cost of producing prototypes was saved. The efficiency when designing and simulating various types of centrifuges reached 75÷89%. The results showed that applying software to develop mechanical products was completely possible in Vietnam.

### TÓM TẮT

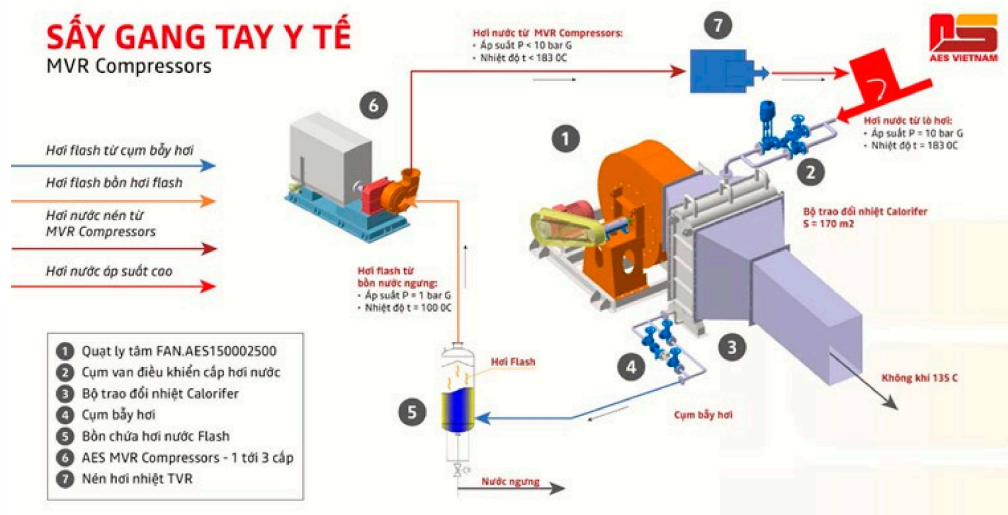
Thiết bị nén hơi (Mechanical Vapour Recompression - MVR) sử dụng đầu tiên tại Châu Âu ở các nước Anh, Pháp, Đức mang lại nhiều lợi ích trong công nghiệp đã được kiểm chứng từ thực tế. Xu hướng chung hiện nay ở Việt Nam, nhiều loại thiết bị ly tâm khác nhau: Quạt ly tâm công nghiệp, Turbofan (Quạt ly tâm tốc độ cao), MVR Blowers, MVR Turbochargers, MVR Compressors đang được quan tâm nghiên cứu, chế tạo và khai thác để giảm chi

phi vận hành, tái sử dụng hơi nước bão hòa trong các nhà máy sản xuất công nghiệp. Trong báo cáo này chúng tôi trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế, mô phỏng tại phòng thiết kế công ty AES thiết bị Quạt công nghiệp, nén hơi nước MVR bằng các phần mềm Cfturbo, CATIA V5-6 và Simerics. Nhờ các phần mềm chuyên dụng, quá trình nghiên cứu thiết kế diễn ra nhanh chóng, kết quả mô phỏng chính xác, tiết kiệm được chi phí sản xuất mẫu thử. Hiệu suất khi thiết kế mô phỏng của các loại máy ly tâm đạt từ 75-89%. Kết quả cho thấy việc ứng dụng các phần mềm để phát triển các sản phẩm cơ khí là hoàn toàn có thể thực hiện được ở Việt Nam.

### 1. GIỚI THIỆU

MVR viết tắt của Mechanical Vapour Recompression, là loại máy thủy lực cánh dẫn truyền năng lượng bằng cơ học cho môi chất hơi nước bão hòa áp suất thấp từ guồng cánh có tốc độ quay từ vài ngàn vòng/phút. MVR nén hơi nước bão hòa có áp suất thấp lên đến áp suất yêu cầu của hệ thống. Ở Việt Nam, những chiếc quạt hiệu suất cao, chênh áp cao, độ ồn thấp... chưa được nhiều đơn vị ưu tiên sản xuất. Có nhiều lý do dẫn đến việc này, tuy nhiên các hạn chế trong việc ứng dụng các phần mềm thiết kế máy thủy

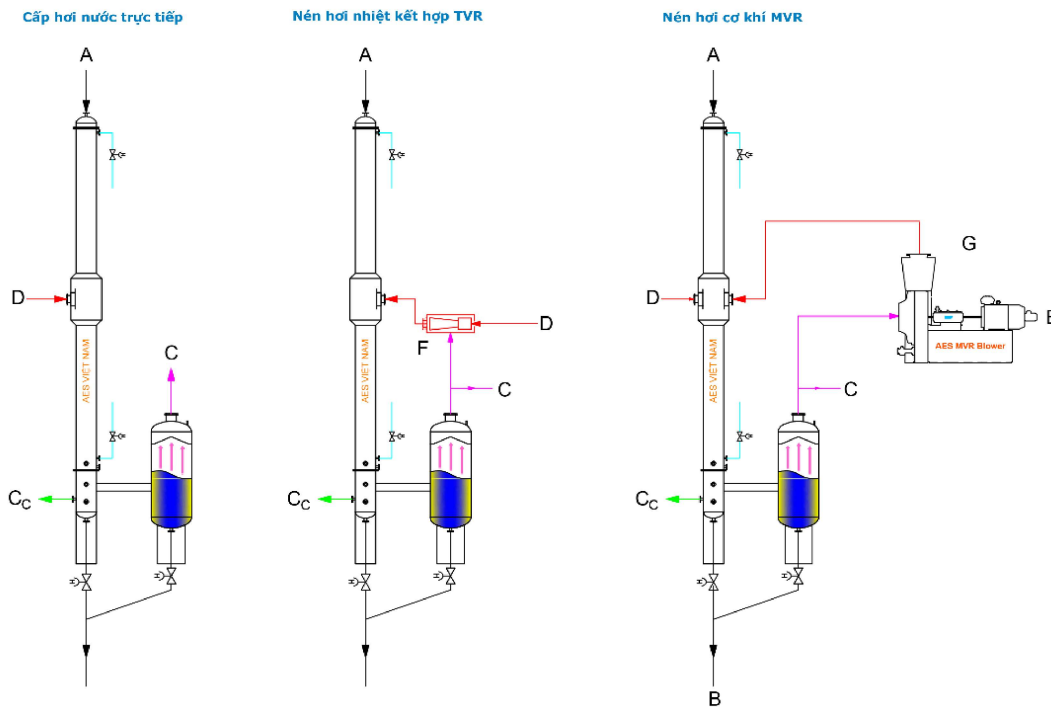
khí và đầu tư máy móc gia công biên dạng lá cánh là nguyên nhân chính. Hầu hết quạt hay blower các đơn vị thuộc nhà máy sản xuất công nghiệp cần đều phải nhập khẩu từ nước ngoài. Trước tình hình đó các kỹ sư của Công ty cổ phần giải pháp tự động hóa kỹ thuật Việt Nam (AES Việt Nam), đã ứng dụng những phần mềm thuộc chuyên ngành hẹp về máy thủy khí đến từ hai thương hiệu danh tiếng Cfturbo, Catia V5-6 và Simerics để tính toán và thiết kế ra sản phẩm máy thủy khí cánh dẫn gồm Quạt/Blowers/MVR (Hình 1).



Hình 1. Ứng dụng quạt ly tâm và MVR trong hệ thống nhà máy

Nhằm đến phát triển tương lai, hiện nay AES đang tập trung nghiên cứu phát triển thiết bị MVR, AES đưa ra giải pháp tối ưu nén hơi cơ khí - MVR thu hồi năng lượng nhiệt hơi nước có hiệu suất cao lên tới 70 - 80%. Từ đó, mang lại lợi ích cả về tiết kiệm chi phí năng lượng cũng như tác động tích cực tới môi trường mà cụ thể là giảm phát thải khí gây hiệu ứng nhà

kính. MVR chỉ sử dụng năng lượng điện vì thế giảm giá thành sử dụng hơi nước tạo ra từ nhiên liệu truyền thống dầu DO, FO, khí gas, than đá...đốt cho lò hơi (Hình 2). Góp phần vào một sự phát triển bền vững của doanh nghiệp, hướng tới một nền công nghiệp “không khói” của chính phủ Việt Nam đề ra trong tương lai.



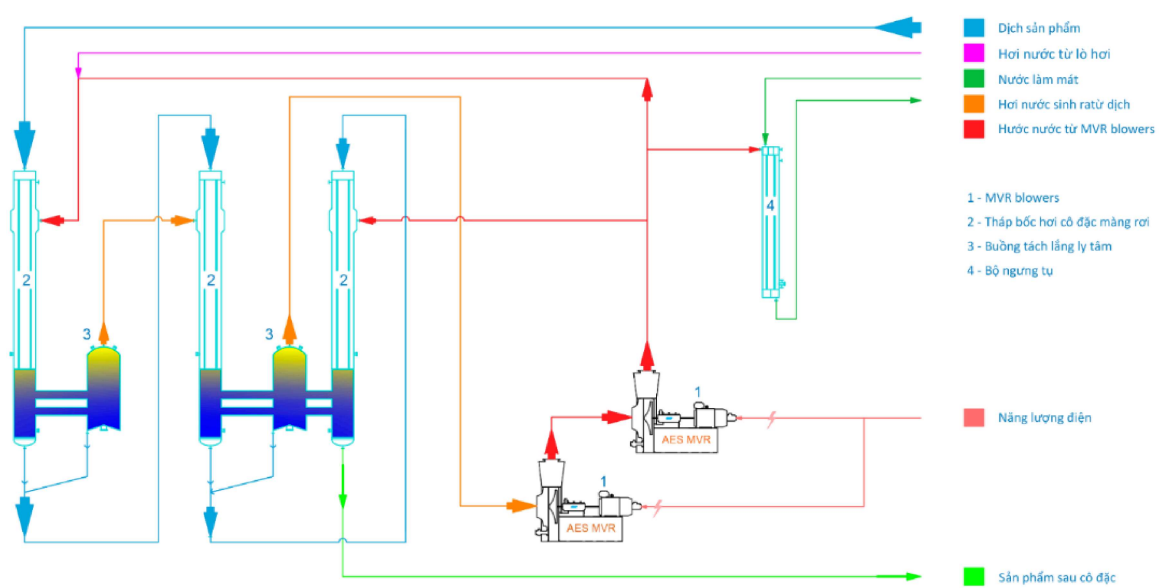
**Hình 2. Quá trình trao đổi nhiệt tại tháp bốc hơi màng rơi - cô đặc sản phẩm**

A - Sản phẩm - nguyên liệu; B - Sản phẩm sau khi xử lý; C - Hơi thứ áp suất thấp; C<sub>c</sub> - Nước ngưng tụ;

D - Dòng hơi nước từ lò hơi; E - Năng lượng điện; F - TVR nén nhiệt; G - Nén hơi cơ khí MVR Blowers

Công nghệ nén hơi cơ khí MVR được ứng dụng rộng rãi và hiệu quả trong các ngành công nghiệp: các loại tháp bốc hơi màng rơi trong các sản xuất công nghiệp, các loại tháp bốc hơi cường bức tuần hoàn – kết tinh, các tháp chưng cất, hệ thống trích ly, sấy sản phẩm dùng hơi nước bão hòa. Lợi ích MVR mạng lại đã thấy rõ nét trong bối cảnh nguồn nhiên liệu dầu cạn kiệt

và giá thành có xu hướng tăng cao trong vài năm tới. Trước bối cảnh đó các kỹ sư của Công ty cổ phần giải pháp tự động hóa kỹ thuật Việt Nam (AES Việt Nam) đã thực hiện một loạt các tính toán nghiên cứu: “Ứng dụng máy thủy khí cánh dẫn nén thu hồi tái tạo hơi nước trong nhà máy sản xuất công nghiệp” (Hình 3).



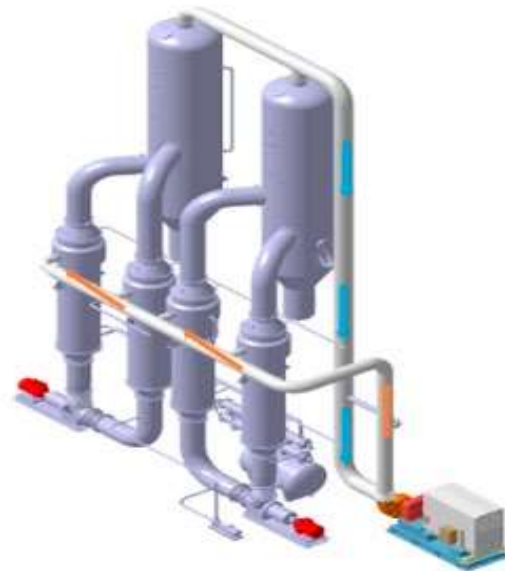
**Hình 3. Ứng dụng MVR Blowers nén nhiều cấp trong hệ thống hệ tháp bốc hơi cô đặc**

Tùy thuộc vào thông số hệ thống, AES Việt Nam đã nghiên cứu nhiều loại MVR phù hợp với từng nhà máy. Trên cơ sở đó, chia MVR thành 4 loại:

- MVR - Turbofan (Quạt ly tâm tốc độ cao)
- MVR Blowers (Máy nén ly tâm tốc độ thấp) thường được ứng dụng trong các nhà máy dùng tháp bốc hơi – cô đặc, tháp bốc hơi - kết tinh và hệ thống sấy, phù hợp thu hồi hơi thứ lưu lượng lớn và nhiệt độ thấp. Đặc biệt giải pháp nén nhiều cấp MVR Blowers - Nhiều MVR Blowers liên kết nối tiếp với nhau có thể nén hơi nước tăng 15÷36°C (4 cấp).

- MVR Turbochargers ứng dụng trong các nhà máy có lượng hơi nước thu hồi thấp từ vài tấn/h nơi các nhà máy không sử dụng tháp bốc hơi – cô đặc sản phẩm thay vào đó thường là các bộ trao đổi nhiệt.

- MVR Compressors được ứng dụng tại các nhà máy sản xuất công nghiệp có sử dụng tháp bốc hơi – cô đặc, tháp bốc hơi – kết tinh và hệ thống sấy, có lượng hơi nước áp suất cao cấp cho hệ thống khá lớn lên đến 20barG, công suất dẫn động lên đến 1800 kW, hiệu suất đạt 86,5%.



**Hình 4. Ứng dụng thiết bị MVR compressors nén hơi đơn cấp trong hệ thống hệ tháp bốc hơi cô đặc**

## 2. PHƯƠNG PHÁP

### 2.1 Thiết kế bằng phần mềm Cfturbo

#### 2.1.1 Cơ sở lý thuyết

Quá trình nghiên cứu và tính toán lý thuyết sử dụng các tài liệu chuyên ngành máy thủy khí cánh dẫn (Turbomachinery) [4],[5],[6],[7] đồng thời sử

dụng phần mềm chuyên ngành hẹp máy thủy khí cánh dẫn Cfturbo để tính toán thiết kế guồng cánh và vỏ xoắn ốc. Cfturbo là phần mềm nổi tiếng trên toàn thế giới của Đức cho lĩnh vực thiết kế máy ly tâm với hiệu suất lý thuyết cao cũng như cho ra các biên dạng lá cánh có khí động tốt hơn so với các công cụ khác. Ưu điểm chính của phần mềm là sự kết hợp của các khái niệm cơ bản phương trình thiết kế, cũng với thực nghiệm đã được chứng minh khả năng vận hành đạt hiệu suất cao. Mô hình Cfturbo hoàn toàn là tham số do kết quả sửa đổi hình học đều phụ thuộc vào các bộ phận của mô hình được tính toán tự động.

2.1.2 Các thông số thiết kế

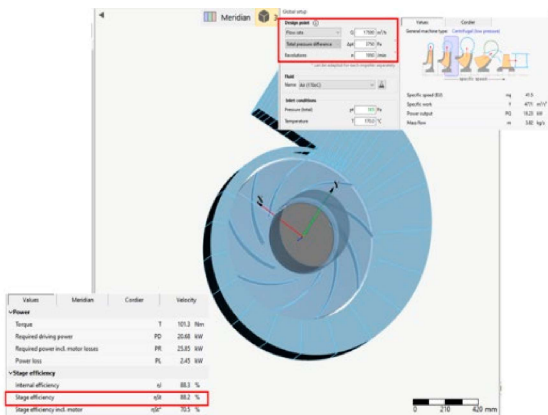
Điểm thiết kế quạt:

Phần mềm Cfturbo sẽ thiết kế sơ bộ kích thước hình học guồng cánh dựa theo bộ thông số đầu vào (design point) bao gồm: lưu lượng, chênh áp/tỉ số nén, số vòng quay guồng cánh và thông số lưu chất.

Trong báo cáo này, sẽ trình bày kết quả thiết kế, mô phỏng của 3 mẫu (Hình 5, Hình 6, Hình 7):

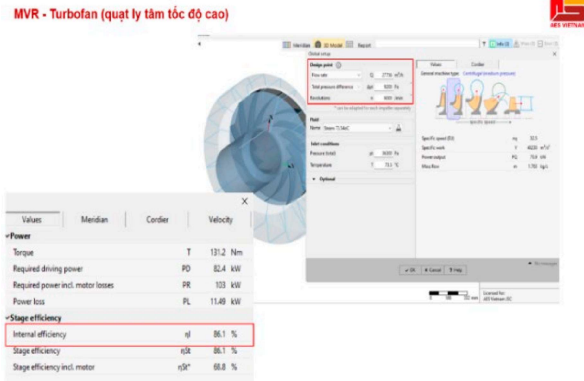
- Quạt ly tâm AES.FAN175003750 với thông số yêu cầu (Hình 5):

- + Lưu lượng: 17.500 [m<sup>3</sup>/h]
- + Chênh áp: 3.750 [Pa]
- + Số vòng quay: 1.950 [rpm]
- + Lưu chất: Không khí ở 170°C



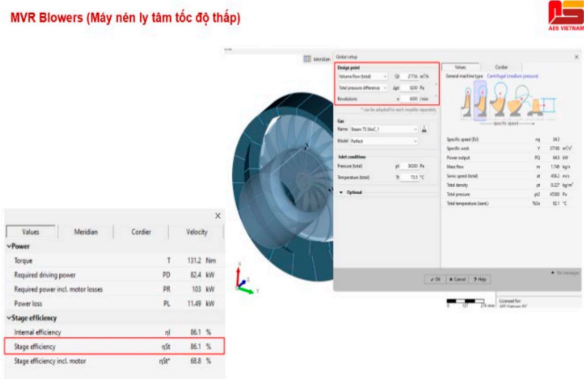
Hình 5. Điểm thiết kế của quạt ly tâm AES.FAN175003750 từ Cfturbo

- MVR Blower với thông số yêu cầu (Hình 6):
- + Lưu lượng: 27.756 [m<sup>3</sup>/h]
- + Chênh áp: 9.200 [Pa]
- + Số vòng quay: 6.000 [rpm]
- + Lưu chất: Hơi nước ở 73,54°C



Hình 6. Điểm thiết kế của MVR Blowers trong phần mềm Cfturbo

- MRV Turbofan với thông số yêu cầu (Hình 7):
- + Lưu lượng: 27.756 [m<sup>3</sup>/h]
- + Chênh áp: 9.200 [Pa]
- + Số vòng quay: 6.000 [rpm]
- + Lưu chất: Hơi nước ở 73,54°C



Hình 7. Điểm thiết kế của MVR Turbofan trong phần mềm Cfturbo

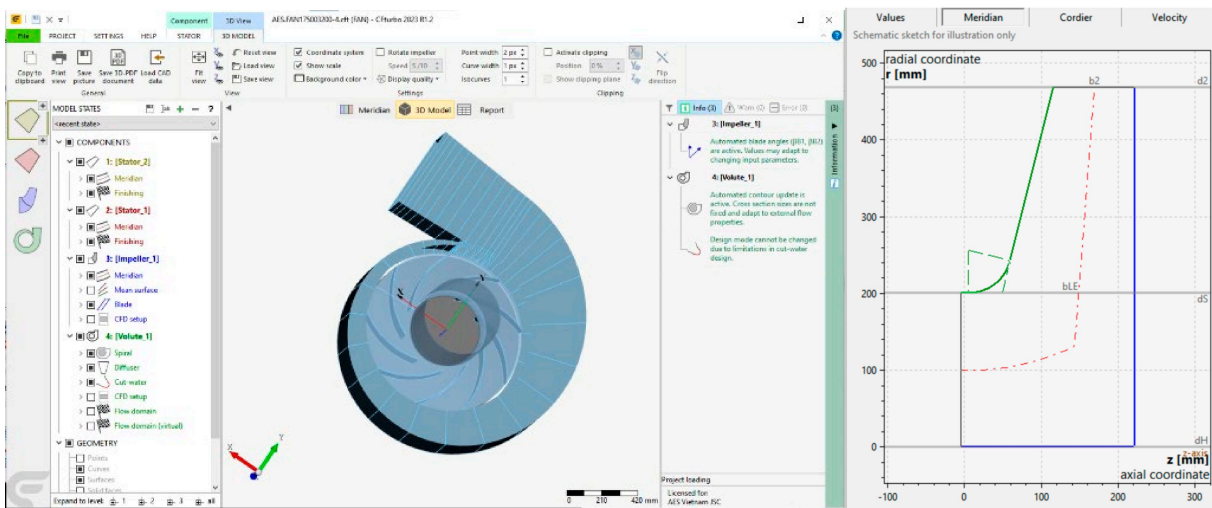
Xác định thông số hình học:

MVR có cấu tạo bao gồm các chi tiết vô cùng phức tạp. Trong đó, guồng cánh và vỏ là “trái tim” của MVR có vai trò chính trong việc nén lưu chất. Thông số hình học của guồng cánh

vô cùng quan trọng, mỗi một thông số của guồng cánh thay đổi đều ảnh hưởng đến hiệu suất làm việc. Vì vậy, để có được một guồng cánh hoàn hảo cần phải thực hiện tính toán, mô phỏng nhiều lần. Các loại guồng cánh trong máy thủy khí khác nhau về thiết kế tùy thuộc vào thông số điểm làm việc, loại lưu chất. Phải cẩn thận trong quá trình lựa chọn để đảm bảo hiệu suất làm việc và tuổi thọ. Phần mềm Cfturbo sẽ hỗ trợ tính toán tùy theo cài đặt thiết kế, hỗ trợ các kỹ sư thiết kế dễ dàng xác định và thay đổi

các tham số trong việc tính toán kích thước hình học guồng cánh. Guồng cánh được chia ra làm 2 loại: Guồng cánh kín và guồng cánh hở. Các loại khác nhau về biên dạng lá cánh, hướng cánh. Mỗi loại có ưu và nhược điểm khác nhau tùy thuộc vào ứng dụng. AES đã nghiên cứu ứng dụng một số dòng cụ thể:

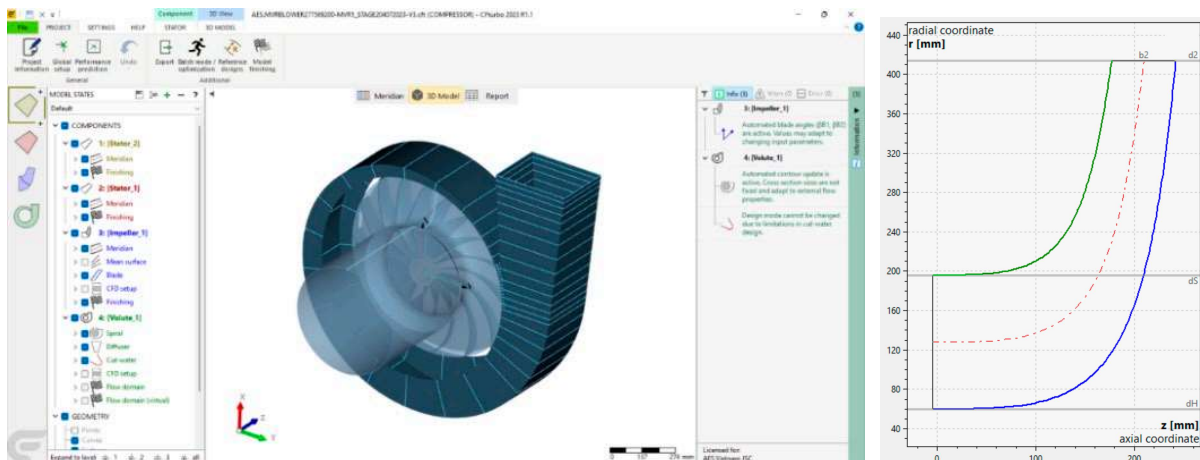
- Sử dụng biên dạng lá cánh cong đối với dòng quạt ly tâm (Hình 8) với tốc độ guồng cánh quay từ 1000 ÷ 3000 v/ph. Ưu điểm của loại cánh này là hiệu suất cao, hướng dòng chảy ổn định.



Hình 8. Quạt ly tâm AES.FAN175003750

- Sử dụng biên dạng lá cánh thuộc dòng quạt ly tâm có tỷ số nén trung bình với tốc độ

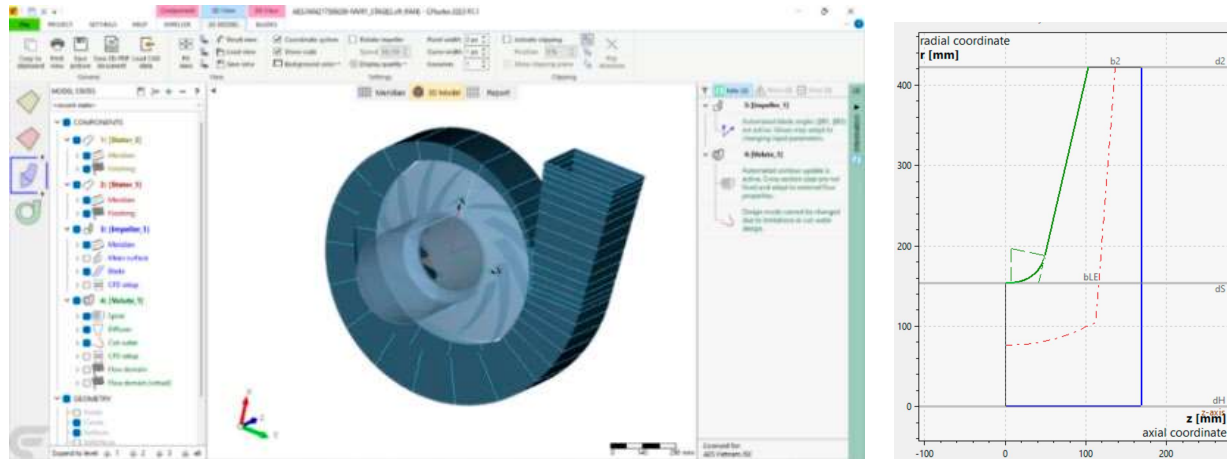
trung bình. Dòng này gọi là dòng máy nén ly tâm tốc độ thấp (Hình 9).



Hình 9. MVR Blowers (Máy nén ly tâm tốc độ thấp)

- Sử dụng biên dạng lá cánh thuộc dòng quạt ly tâm với tốc độ cánh quay từ 4.000 – 12.000 v/ph. Dòng này gọi là dòng Turbofan (Quạt ly tâm tốc độ cao) (Hình 10). Ưu điểm

của dòng Turbofan là dễ chế tạo guồng cánh với các lá cánh là các cung tròn vì thế cho giá thành sản xuất chế tạo thấp hơn dòng máy nén ly tâm [6],[7].



Hình 10. Turbofan (Quạt ly tâm tốc độ cao)

Bảng 1. Các thông số hình học chính chọn khi thiết kế

Tên thông số	Đơn vị	Quạt ly tâm AES.FAN175003750	Giá trị	
			MVR Blowers	Turbofan
Đường kính guồng cánh inlet	$d_s$ [mm]	401	392	308
Đường kính guồng cánh outlet	$d_2$ [mm]	937	828	844
Bề rộng cánh inlet	$b_{LE}$ [mm]	173		128
Bề rộng cánh outlet	$b_2$ [mm]	106	65	67
Đường kính hub	$d_H$ [mm]		120	

Biên dạng vỏ xoắn ốc được tính bằng lý thuyết của Pfleiderer hoặc Stepanoff. Các quy tắc dựa trên hình học được xác định bởi chiều cao mặt cắt, diện tích mặt cắt ngang hoặc tỷ lệ giữa diện tích và bán kính khối tâm. Theo kinh nghiệm của Pfleiderer đã chỉ ra rằng tổn thất có thể được giảm thiểu đáng kể nếu vỏ xoắn ốc có kích thước sao cho chất lỏng chảy theo nguyên lý bảo toàn mômen động lượng [1]. Do đó, diện tích mặt cắt ngang được thiết kế phù hợp với nguyên lý bảo toàn mômen động lượng, tức là

mômen động lượng thoát ra khỏi bánh công tác là không đổi.

Ngoài ra, có thể có thiết kế vỏ xoắn ốc với vận tốc không đổi trên tất cả các mặt cắt ngang của chu vi. Theo Stepanoff, vận tốc không đổi này có thể được xác định bằng thực nghiệm: Các hằng số có thể được xác định phụ thuộc vào tốc độ đặc trưng  $n_q$  [1]. Từ kinh nghiệm và thực nghiệm của 2 lý thuyết, Cfturbo đã xây dựng hàm xấp xỉ theo tốc độ đặc trưng  $n_q$  để chọn các hệ số tính toán.

### 3. KẾT QUẢ

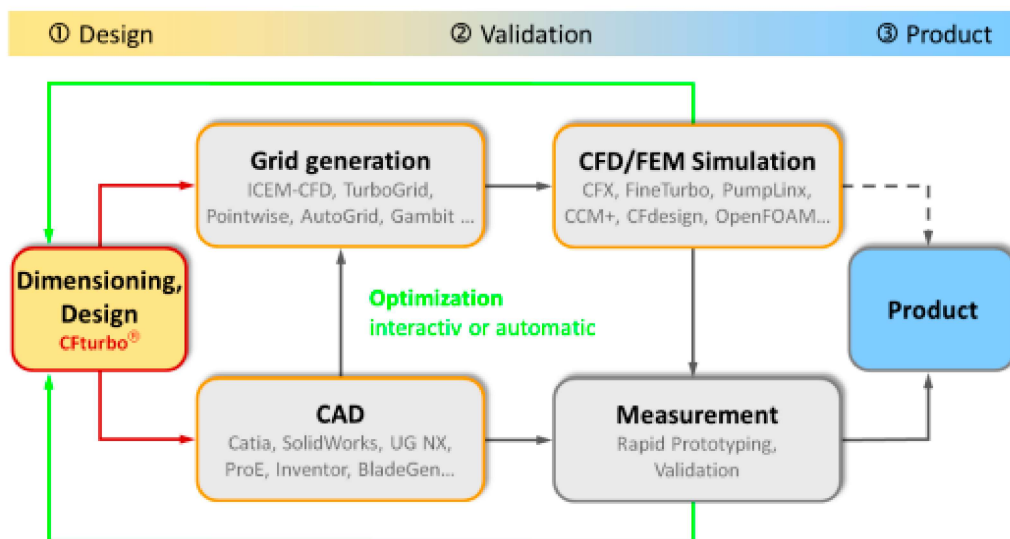
#### 3.1 Mô phỏng dòng chảy trong MVR bằng phần mềm SIMERICS MP+

##### Thiết kế phần mềm:

Phần mềm Cfturbo trong quá trình tính toán thiết kế sử dụng các hàm xấp xỉ để dự đoán các hệ số thực nghiệm khá chính xác, đồng thời cho phép xấp xỉ để chọn được hiệu suất tổng thể cao. Tuy nhiên để đánh giá và tối ưu thực nghiệm trước hết cần kiểm tra bằng mô phỏng CFD dòng chảy để đánh giá các tiêu chí khác trong đó đánh giá giá trị hiệu suất  $\eta_{st}$  hết sức quan trọng để nhận biết chênh lệch có được sau khi mô phỏng so với thiết kế thấp hơn bao nhiêu %. Thiết kế máy thủy khí rất phức tạp và không thể xử lý mô hình bằng các phương trình toán học. Các thiết kế sẽ trở nên kém hiệu quả nếu không được kiểm tra hiệu suất làm việc bằng mô phỏng

CFD. Do đó, Cfturbo cho phép liên kết với nhiều phần mềm CAD/FEM/CFD hiện đại nhất, các phần mềm mô phỏng thương mại tốt nhất trên thị trường để tạo ra độ tin cậy kết quả cho thiết kế [1].

Quá trình mô phỏng dòng chảy CFD để đánh giá các thông số kỹ thuật từ thiết kế, chúng tôi sử dụng phần mềm Simerics MP+, đây là phần mềm từ hãng Simerics nổi tiếng từ USA mà AES Việt Nam được chỉ định làm đối tác chính phát triển tại Việt Nam và các nước trong khu vực. Simerics có ưu điểm là tốc độ mô phỏng nhanh, kết quả chính xác và có gắn kết các thông tin - điều kiện biên từ Cfturbo điều này giúp quá trình thiết kế giảm rất nhiều thời gian thực thi thực hiện mô phỏng CFD và cho phép đánh giá tối ưu các thông số thiết kế (Hình 11).



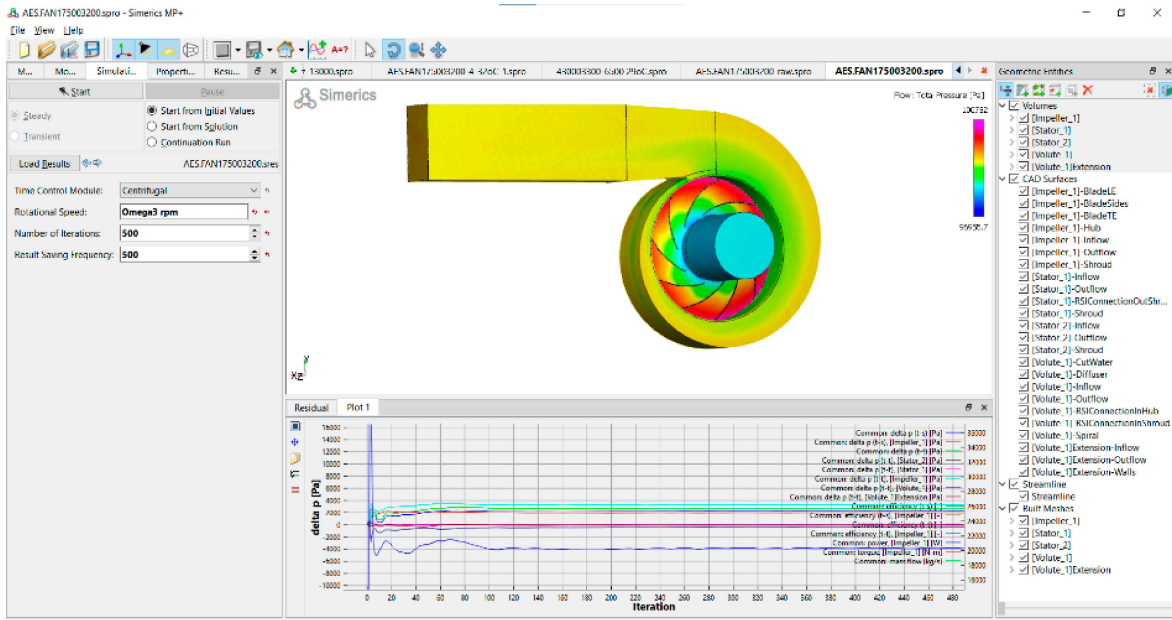
Hình 11. Quy trình thiết kế, mô phỏng liên kết từ Cfturbo với mô phỏng CFD

##### Xây dựng mô phỏng:

Nhờ vào liên kết phần mềm, chúng tôi có thể nhanh chóng chuyển từ mô hình thiết kế CAD sang mô hình mô phỏng. Điều kiện biên và lưới được tự động cài đặt nên các bước thực hiện thuận tiện:

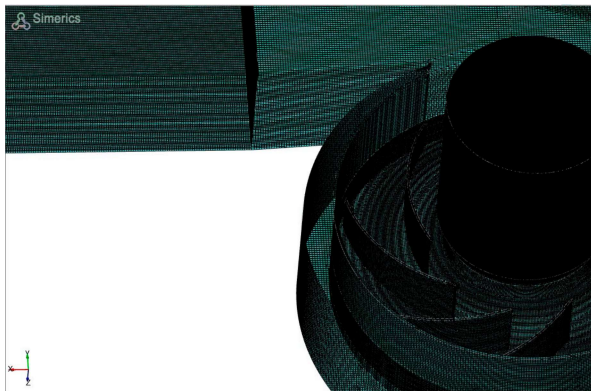
- Bước 1: Sử dụng phần mềm Cfturbo thiết kế biên dạng hình học.
- Bước 2: Lựa chọn phần mềm mô phỏng Simerics và xuất file.
- Bước 3: Mở phần mềm file Simerics và thực hiện mô phỏng (Hình 12).





**Hình 12. Mô phỏng MVR Turbofan bằng phần mềm Simerics**

Chia lưới trong mô hình CFD để đạt kết quả chính xác là thách thức đối với các kỹ sư mô phỏng. Một trong những yếu tố góp phần tạo nên thương hiệu Simerics là khả năng chia lưới (Hình 13).



**Hình 13. Chia lưới quạt ly tâm AES.FAN175003750 bằng phần mềm Simerics**

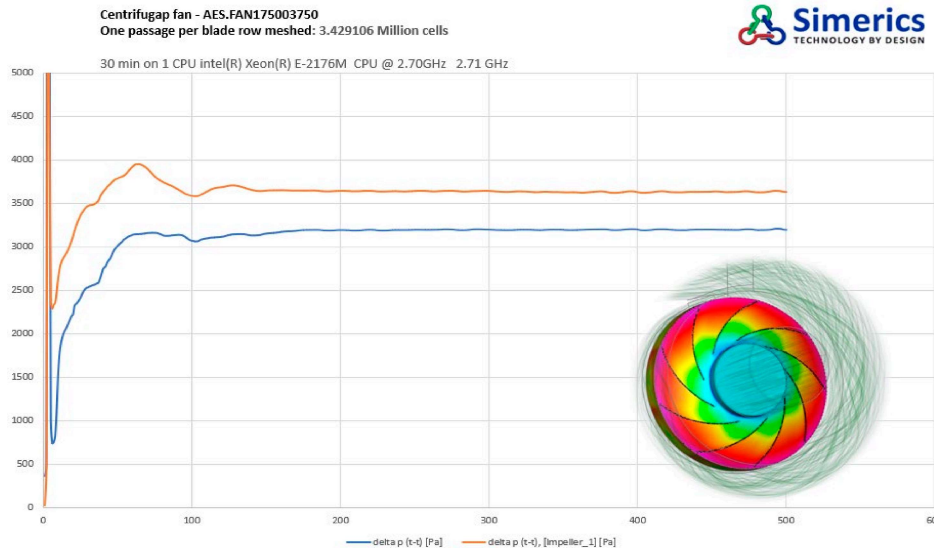
Simerics sử dụng thuật toán nhị phân CAB (Conformal Adaptive Binary-tree) để tạo ra các ô lưới lục diện [2]. Ưu điểm việc chia lưới bằng phần mềm Simerics:

- Dễ dàng sử dụng với tính năng tạo lưới tự động: phần mềm sẽ tự động tăng mật độ lưới để giải quyết các bề mặt hình học phức tạp đảm bảo độ chính xác hình học.

- Thời gian tạo lưới cho các file CAD nhanh, không cần đơn giản hóa hình học: Nhiều bề mặt CAD không hoàn toàn kín vẫn có thể tạo lưới hợp lý bằng cách tự điền đầy mà độ chính xác bị giảm đi không đáng kể.

- Chất lượng lưới vượt trội: Hầu hết các lưới được tạo ra là các ô lục diện Descartes rất thích hợp cho nhiều bài toán cần độ chính xác cao. Để có cùng mức độ chính xác thì lưới lục diện cần ít phần tử hơn lưới tứ diện [2].

Simerics MP+ đã nhiều lần được chứng minh là nhanh hơn đáng kể so với các phần mềm mô phỏng khác, cho phép mô phỏng phức tạp hơn [2]. Cụ thể đối với quạt ly tâm AES.FAN175003750 với 3.429106 Million cells chỉ mất 30 phút để bài toán mô phỏng hội tụ (Hình 14).



**Hình 14. Đồ thị hội tụ quá trình mô phỏng CFD bằng phần mềm Simerics đối với quạt AES.FAN175003750**

Phần mềm Simerics MP+ sử dụng mô hình rối k-ε. Mô hình k-epsilon (k-ε) là mô hình phổ biến nhất để mô phỏng các đặc tính dòng chảy trung bình cho các điều kiện dòng chảy rối. Đây là mô hình độ nhớt Eddy, một loại mô hình nhiễu loạn được sử dụng để tính toán ứng suất Reynolds. Hai biến vận chuyển là động năng hỗn loạn (k), xác định năng lượng trong hỗn loạn và tốc độ tiêu tán hỗn loạn (ε), xác định tốc độ tiêu tán động năng hỗn loạn [3]. Mô hình nhiễu loạn K-epsilon (k-ε) là mô hình phổ biến nhất được sử dụng trong động lực học chất lỏng tính toán (CFD) để mô phỏng các đặc tính dòng chảy trung bình cho các điều kiện dòng chảy rối. Vì vậy, trong nghiên cứu này, mô hình k-epsilon đã được sử dụng mang lại độ chính xác và hiệu quả tính toán tốt. Mô hình này được sử dụng vì nó đã có sẵn hơn một thập kỷ và đã được chứng minh rộng rãi là mang lại kết quả kỹ thuật tốt cho nhiều ứng dụng. Mô hình (k-ε) tiêu chuẩn, được sử dụng cho các mô phỏng được trình bày trong bài viết này dựa trên hai phương trình sau [3]:

Đối với động năng hỗn loạn k:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_i k)}{\partial x_i} = \frac{\partial y}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \right] \frac{\partial k}{\partial x_j} + P_k + P_b - \rho \varepsilon + S_k \quad (1)$$

Trong đó:

$P_k$  là động năng hỗn loạn do vận tốc cắt trung bình;  $P_b$  là động năng hỗn loạn do lực nổi;  $S_k$  là thông số xác định theo từng bài toán;  $\sigma_k$  là số Prandtl hỗn loạn cho k.

Đối với tốc độ tiêu tán động năng hỗn loạn ε:

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_i \varepsilon)}{\partial x_i} = \frac{\partial y}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \right] \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} + C_1 \frac{\varepsilon}{k} (P_k + C_3 P_b) - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (2)$$

Trong đó:

$C_1, C_2, C_3, C_\mu$  là các hệ số mô hình thay đổi trong k-ε mô hình nhiễu loạn;  $S_\varepsilon$  là thông số xác định theo từng bài toán;  $\sigma_\varepsilon$  là số Prandtl hỗn loạn cho ε.

### 3.2 So sánh tính toán lý thuyết và kết quả mô phỏng

#### 3.2.1 Kết quả mô phỏng

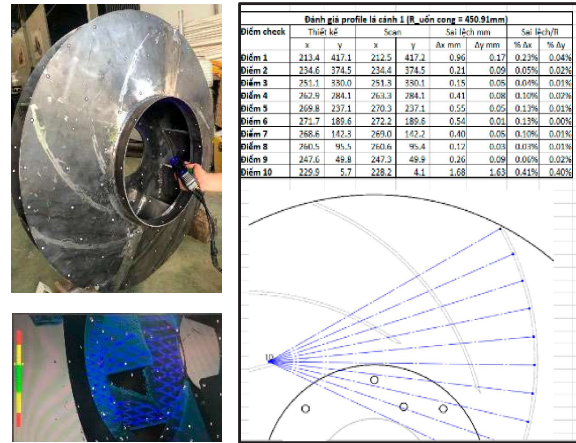
Kết quả được xuất từ Simerics cung cấp thông tin có giá trị cần thiết về máy thủy khí cánh dẫn Turbomachinery được thiết kế. Kết

quả mô phỏng được sử dụng để tối ưu kích thước hình học cả guồng cánh và vỏ xoắn ốc và dự đoán các loại hiệu suất. Mô phỏng CFD từ Simerics tiết kiệm được rất nhiều công sức, ngoài ra còn rút ngắn toàn bộ quá trình thiết kế.

3.2.2 Kết quả mô phỏng quét ly tâm AES.FAN175003750

Đối với quạt ly tâm đang xét, sau khi tính toán thiết kế và mô phỏng CFD đã được tối ưu thông số hình học và đưa vào gia công chế tạo guồng cánh. Chúng tôi tiến hành đánh giá sai số gia công bằng công cụ scan 3D quét kích thước hình học và tiếp tục mô phỏng CFD từ Simerics để đánh giá và dự đoán đúng và gần với thực tế nhất (Hình 15). Kết quả sai số chế tạo được xác định là khoảng từ 3-4%, sai số chủ yếu từ các

kích thước của miền kinh tuyến trong đó sai số đáng quan tâm là giá trị bề rộng guồng cánh outlet b<sub>2</sub>.



Hình 15. Scan 3D guồng cánh và đánh giá sai số gia công

Bảng 2. Kết quả mô phỏng CFD từ Simerics với quạt ly tâm đang xét đối với guồng cánh Scan3D

Iteration	Delta p (t-s) [Pa]	Delta p (t-t) [Pa]	Efficiency (t-t) [-]	Power, [Impeller_1] [W]	Ttorque, [Impeller_1] [N-m]	Volumetric flow [m <sup>3</sup> /s]
Module Data	Module Data	Module Data	Module Data	Module Data	Module Data	Module Data
0	0	0	nan	0	0	0
1	1.56E-08	362.726	13.5059	130.554	0.639333	4.86111
2	501.152	863.877	0.0676539	62071.9	303.971	4.86111
3	5720.31	6083.04	0.722853	40907.9	200.329	4.86111
486	2731.66	3110.34	0.732404	20643.9	101.095	4.86111
487	2732.45	3111.19	0.73307	20630.8	101.031	4.86111
488	2733.98	3112.77	0.734029	20614.3	100.95	4.86111
489	2736.1	3114.95	0.735087	20599.1	100.875	4.86111
490	2738.28	3117.19	0.736204	20582.6	100.795	4.86111

	Delta p (t-s) [Pa]	Delta p (t-t) [Pa]	Efficiency (t-t) [-]	Power, [Impeller_1] [W]	Torque, [Impeller_1] [N-m]	Volumetric flow [m <sup>3</sup> /s]
491	2741.69	3120.66	0.737665	20564.7	100.707	4.86111
492	2745.47	3124.48	0.739164	20548.2	100.626	4.86111
493	2747.79	3126.86	0.739941	20542.2	100.597	4.86111
494	2749.98	3129.09	0.740877	20530.8	100.541	4.86111
495	2751.48	3130.62	0.741236	20531	100.542	4.86111
496	2751.97	3131.15	0.741059	20539.3	100.583	4.86111
497	2752.24	3131.45	0.740671	20552.1	100.645	4.86111
498	2752.35	3131.58	0.739854	20575.6	100.76	4.86111
499	2752.33	3131.59	0.738721	20607.2	100.915	4.86111
500	2752.26	3131.53	0.73781	20632.3	101.038	4.86111

Từ Bảng 2 cho thấy quạt ly tâm AES.FAN175003750 đạt chênh áp tổng 2.752,2 Pa với hiệu suất tổng thể của quạt  $\eta_{st} = 73,78\%$ . Từ kết mô phỏng CFD của Simerics cho phép kiểm soát được thông số hình học của guồng cánh và điều chỉnh thiết kế với thông số đầu vào. Đánh giá được chênh áp tạo ra so với điểm thiết kế cũng như làm việc yêu cầu để từ đó tối ưu hóa kết cấu hợp lý về kích thước và vật liệu cũng như lựa chọn tốc độ quay của guồng cánh.

Với hiệu suất dự đoán từ thiết kế Cfturbo từ thiết kế ban đầu là  $\eta_{st} = 88,2\%$ , do đặc thù tám vòng trên Shroud thực tế chưa thể đầu tư máy sản xuất chuyên dụng nên phải dùng khuôn dập tấm ép kim loại dày 5mm để đạt bán kính thiết kế tổn kém chi phí, để đơn giản hóa chúng tôi đã thực hiện biện pháp hàn 1 trụ tròn với tám côn. Trong Cfturbo chúng tôi lựa chọn bán kính  $r = 10$  mm và kết quả từ Simerics mô phỏng CFD cho được kết quả hiệu suất đạt  $\eta_{st} = 79,1\%$  (Bảng 3).

**Bảng 3. Kết quả mô phỏng CFD từ Simerics xuất ra từ Cfturbo với thiết kế ban đầu**

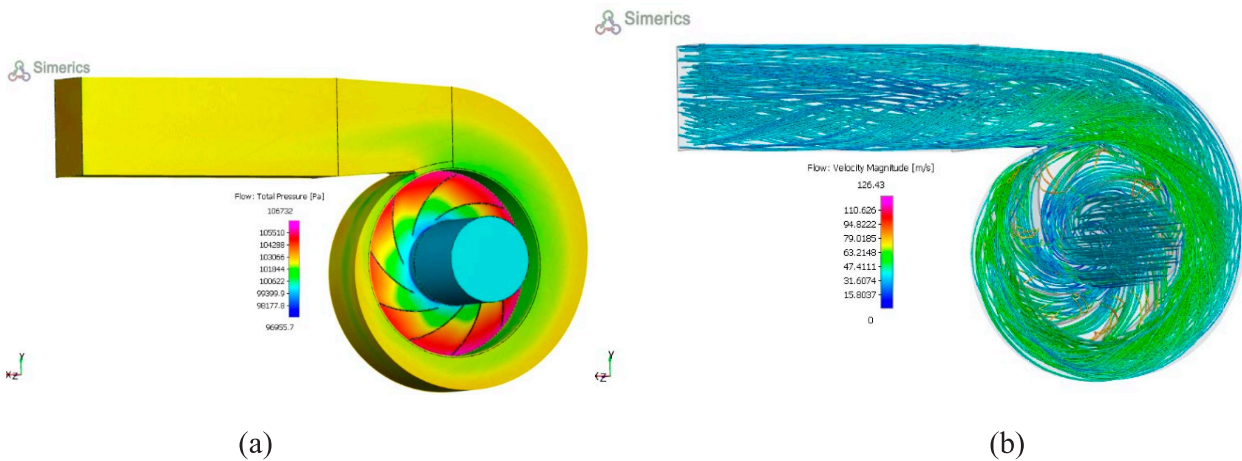
	Delta p (t-s) [Pa]	Delta p (t-t) [Pa]	Efficiency (t-t) [-]	Power, [Impeller_1] [kW]	Torque, [Impeller_1] [N-m]	Volumetric flow [m <sup>3</sup> /s]
Iteration	Module Data	Module Data	Module Data	Module Data	Module Data	Module Data
0	0	0		0	0	0
1	-2.34E-08	362.726	10.9059	0.161679	0.791756	4.86111
2	117.292	480.018	0.0538195	43.3564	212.32	4.86111

	Delta p (t-s) [Pa]	Delta p (t-t) [Pa]	Efficiency (t-t) [-]	Power, [Impeller_1] [kW]	Torque, [Impeller_1] [N-m]	Volumetric flow [m <sup>3</sup> /s]
3	11609.9	11972.6	1.1481	50.6929	248.247	4.86111
482	2805.33	3192.31	0.791086	19.6163	96.0624	4.86111
483	2805.55	3192.55	0.791357	19.611	96.0367	4.86111
484	2805.72	3192.74	0.791521	19.6081	96.0225	4.86111
485	2806.06	3193.09	0.791715	19.6055	96.0096	4.86111
486	2806.4	3193.45	0.791953	19.6018	95.9914	4.86111
487	2806.95	3194.01	0.791991	19.6043	96.0038	4.86111
488	2808.06	3195.13	0.79171	19.6182	96.0716	4.86111
489	2809.01	3196.1	0.791241	19.6358	96.1578	4.86111
490	2811.87	3198.98	0.791145	19.6558	96.2559	4.86111
491	2814.72	3201.84	0.791338	19.6686	96.3185	4.86111
492	2820.49	3207.62	0.79253	19.6745	96.3474	4.86111
493	2821.59	3208.74	0.792801	19.6746	96.348	4.86111
494	2821.64	3208.81	0.793227	19.6645	96.2983	4.86111
495	2821.37	3208.54	0.793547	19.6549	96.2515	4.86111
496	2819.7	3206.89	0.793922	19.6355	96.1566	4.86111
497	2816.85	3204.05	0.79341	19.6308	96.1334	4.86111
498	2810	3197.21	0.792125	19.6206	96.0838	4.86111
499	2808.74	3195.97	0.791785	19.6214	96.0875	4.86111
500	2807.57	3194.8	0.791402	19.6238	96.0991	4.86111

Bán kính  $r = 10$  của tấm Shroud ảnh hưởng rõ rệt tới khí động ở đường nạp vào lá cánh và miền kinh tuyến của guồng cánh, kết quả mô phỏng CFD cho ta thấy hiệu suất của quạt ly tâm giảm 9% so với lý thuyết tính toán dự đoán từ Cfturbo. Cải thiện việc gia công tấm Shroud có bán kính  $r$  đúng theo thiết kế Cfturbo sẽ cải thiện được hiệu suất của máy thủy khí cánh dẫn - quạt ly tâm. Hiệu suất tổng thể của quạt mô phỏng CFD từ guồng cánh scan 3D cho ta các kết quả gần sát với thực tế, hiệu suất đạt 73.7% (bảng 2)

giảm hơn 4% so với kết quả tối ưu lý thuyết điều này phản ánh đúng thực tế do sai số gia công đã nói ở trên và đặc biệt là sai số bề rộng guồng cánh outlet  $b_2$ .

Nhờ kết quả mô phỏng CFD từ Simerics chúng tôi không chỉ điều chỉnh thông số hình học thiết kế từ Cfturbo mà còn điều chỉnh đồ gá chế tạo để giảm thiểu sai số gia công guồng cánh, giảm sai số gia công thấp nhất có thể để nâng cao hiệu suất của quạt cho các dự án tiếp theo.



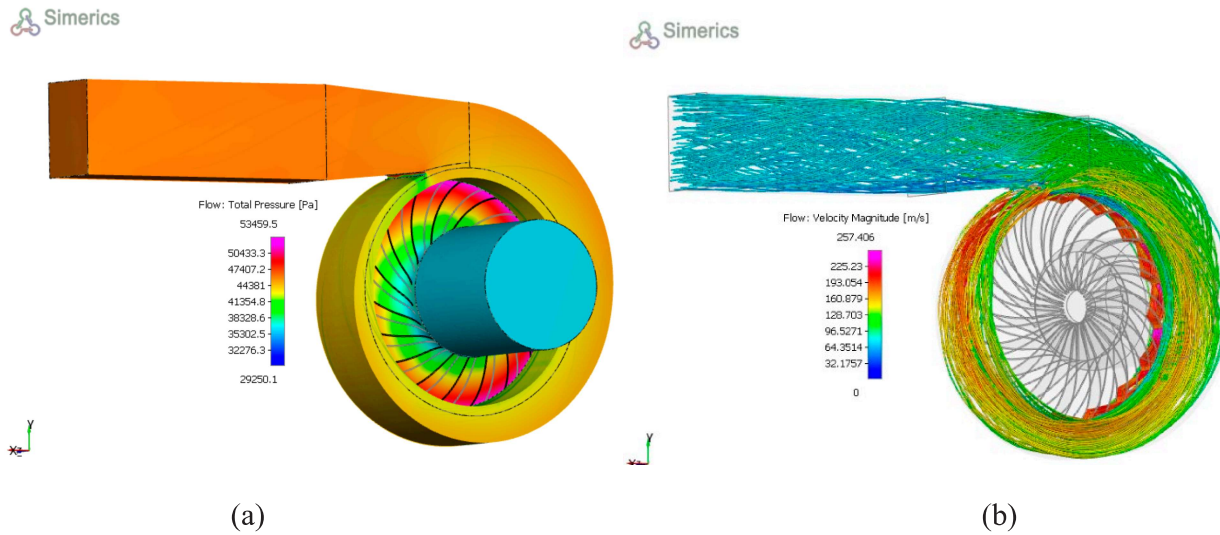
**Hình 16. Kết quả mô phỏng chênh áp tổng (a) và vận tốc dòng chảy (b) của quạt AES.FAN175003750 xuất từ phần mềm Simerics**

3.2.3 Kết quả mô phỏng MVR Blowers

Từ bảng kết quả 4 mô phỏng lưới động - transient cho thấy MVR Blowers đạt chênh áp tổng 10066.3 Pa với hiệu suất tổng thể 83.83%.

**Bảng 4. Kết quả mô phỏng MVR Blowers xuất từ phần mềm Simerics**

	Delta p (t-t) [Pa]	Delta p (t-s) [Pa]	Efficiency (t-t) [-]	Power, [Impeller_1] [W]	Torque, [Impeller_1] [N-m]	Mass flow [kg/s]
Time [s]	Module Data	Module Data	Module Data	Module Data	Module Data	Module Data
0	0	0	nan	0	0	0
3.13E-05	9842.33	9120.11	0.80857	853.945	1.3591	1.74916
0.026781	10032.6	9312.91	0.817291	84456.1	134.416	1.74916
0.136344	10073	9348.57	0.838526	83847.1	133.447	1.74916
0.136375	10073.4	9348.96	0.838521	84061.7	133.788	1.74916
0.136406	10072.9	9348.61	0.838505	84296.6	134.162	1.74916
0.136438	10071.9	9347.69	0.83848	84475.7	134.447	1.74916
0.136469	10070.5	9346.4	0.838448	84514.1	134.508	1.74916
0.1365	10069	9344.99	0.838413	84427.8	134.371	1.74916
0.136531	10067.7	9343.72	0.838378	84386.1	134.305	1.74916
0.136562	10066.6	9342.82	0.838346	84402.4	134.331	1.74916
0.136594	10066.1	9342.44	0.838319	84337.4	134.227	1.74916
0.136625	10066.3	9342.69	0.8383	84164.4	133.952	1.74916



**Hình 17. Mô phỏng chênh áp tổng (a) và vận tốc dòng chảy (b) của MVR Blower bằng phần mềm Simerics**

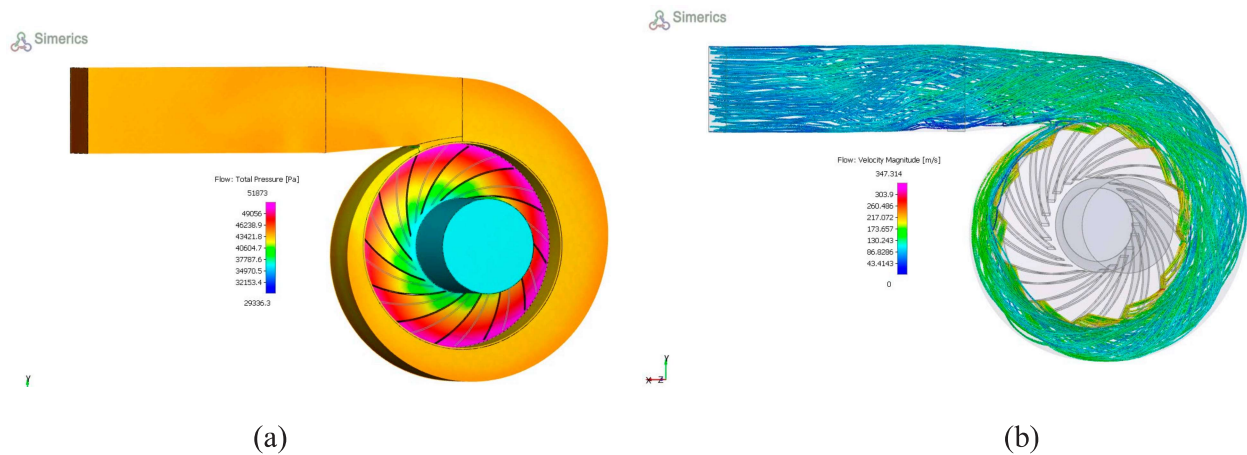
3.2.4 Kết quả mô phỏng Turbofan

Từ bảng kết quả 5 mô phỏng lưới động - transient cho thấy Turbofan đạt chênh áp tổng 8578,92 Pa với hiệu suất tổng thể 79,2%.

**Bảng 5. Kết quả mô phỏng Turbofan xuất từ phần mềm Simerics**

	Delta p (t-s) [Pa]	Delta p (t-t) [Pa]	Efficiency (t-t) [-]	Power, [Impeller_1] [W]	Torque, [Impeller_1] [N-m]	Mass flow [kg/s]
Time [s]	Module Data	Module Data	Module Data	Module Data	Module Data	Module Data
0	0	0	nan	0	0	0
2.31E-06	-4.37E-11	746.762	13.478	427.18	0.679878	1.76301
4.63E-06	-1.93E+07	-1.93E+07	-1.94472	7.66E+07	121853	1.76301
6.94E-06	-43922.9	-43176.1	-0.242375	1.37E+06	2185.9	1.76301
9.26E-06	9414.91	10161.7	0.179527	436405	694.56	1.76301
0.016292	7847.8	8602.72	0.793981	83537.2	132.954	1.76301
0.016294	7843.41	8598.35	0.792593	83641	133.119	1.76301
0.016296	7837.89	8592.84	0.792373	83610.6	133.07	1.76301
0.016299	7825.5	8580.46	0.792723	83453.3	132.82	1.76301
0.016301	7835.79	8590.76	0.793674	83453.4	132.82	1.76301
0.016303	7845.28	8600.27	0.794273	83482.7	132.867	1.76301

	Delta p (t-s) [Pa]	Delta p (t-t) [Pa]	Efficiency (t-t) [-]	Power, [Impeller_1] [W]	Torque, [Impeller_1] [N-m]	Mass flow [kg/s]
0.016306	7846.43	8601.43	0.794142	83507.7	132.907	1.76301
0.016308	7837.36	8592.37	0.793975	83437.3	132.795	1.76301
0.01631	7826.76	8581.78	0.794178	83313.2	132.597	1.76301
0.016313	7820.28	8575.32	0.79402	83267	132.524	1.76301
0.016315	7822.67	8577.72	0.793847	83308.5	132.59	1.76301
0.016317	7818.05	8573.11	0.792494	83405.9	132.745	1.76301
0.016319	7823.84	8578.92	0.792325	83480.2	132.863	1.76301



**Hình 18. Mô phỏng chênh áp tổng (a) và vận tốc dòng chảy (b) của Turbofan bằng phần mềm Simerics**

**3.2.5 So sánh kết quả**

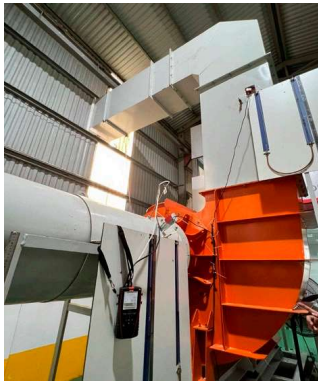
Kết quả tính toán thiết kế và kết quả từ mô phỏng CFD rõ ràng chênh lệch không nhiều nằm trong phạm vi 5÷10%. Nếu cải thiện vấn đề gia công và sai số chế tạo thì hiệu suất đạt được thực tế sẽ gần với lý thuyết tính toán từ Cfurbo, đây là vấn đề quan trọng để phát triển và sản xuất máy

thủy khí cánh dẫn Quạt/Blowers/MVR tại thị trường Việt Nam và xuất khẩu ra các nước trong vực và thậm chí là các nước khác trên Thế giới để đạt các tiêu chuẩn đề ra.

**3.3 Thử nghiệm sản phẩm thiết kế mẫu (Quạt ly tâm AES.FAN175003750)**

**3.3.1 Phương pháp và trang bị thử nghiệm**





**Hệ thống đường ống dẫn khí vào và ra**



**Thiết bị đo lưu lượng ống pitot và cảm biến đo tốc độ gió**



**Thiết bị đo độ ồn**

**Hình 19. Một số trang thiết bị dùng thử nghiệm quạt ly tâm AES.FAN175003750**

Quạt ly tâm AES.FAN175003750 được test đo đầy đủ thông số chênh áp, lưu lượng, độ rung, độ ồn đều đảm bảo đáp ứng mọi tiêu chuẩn. Chúng tôi vừa thực hiện đo cơ thông qua các phương thức truyền thống, vừa đồng thời sử dụng các thiết bị đo điện/điện tử, kết nối với tủ điều khiển các chế độ hoạt động, truyền tín hiệu thông số, đường đặc tính hiện thị trên các thiết

bị máy tính, điện thoại thông qua nền tảng IoT. (Hình 19).

### 3.3.2 Kết quả test quạt ly tâm AES.FAN175003750

Kết quả test thực tế trên Bảng 6 cho thấy tính chính xác của phương pháp mô phỏng khi thiết kế được áp dụng, trên thực tế, sai số phần trăm nhỏ hơn 4% trong khi ở nhiều điểm sai số gần bằng 0.

**Bảng 6. Kết quả test thực tế quạt ly tâm AES.FAN175003750**

Thông số	Mở van 100%	Mở van 25%	Mở van 5%
Lưu lượng [m <sup>3</sup> /h]	16.110	15.042	11.014
Chênh áp tổng [Pa]	4.450	4.778	4.940
Tần số động cơ [Hz]	45	45	45
Số vòng quay guồng cánh [v/ph]	1.755	1.755	1.755
Công suất thủy lực [kW]	19,91	19,96	15,11
Công suất tiêu thụ điện [kW]	24,3	24,2	21,2
Hiệu suất tổng thể [%]	76,6	78,3	71,26
Độ ồn [dB]	84	84.2	87

#### 4. KẾT LUẬN

Để sản xuất chế tạo MVR cần phải chế tạo Bơm/Quạt/Blowes với thông số thực tế đạt được tối ưu như: Chênh áp, lưu lượng, hiệu suất tổng thể cũng như độ ồn thấp, rung động thấp, tin cậy và ổn định trong vận hành. Kết quả cho thấy khi dùng Cfturbo và Simerics mô phỏng khí động học CFD cho kết quả gần sát với thực tế với % sai số thấp. Tối ưu gia công chế tạo trong sản xuất sẽ giảm thiểu sai số so với lý thuyết điều này sẽ góp phần cho ra đời các sản phẩm thuộc lĩnh vực máy thủy khí cánh dẫn có chất lượng tốt khắc phục tình trạng hiện tại ở Việt Nam chúng ta đang phụ thuộc nhiều vào nhập khẩu ở các nước phát triển. Mở rộng thị trường về các sản phẩm máy thủy khí cánh dẫn cụ thể như Bơm/Quạt/Blowers trong nước theo nhu cầu của đại đa số doanh nghiệp có nhà máy sản xuất công nghệ thực phẩm, hóa lọc dầu, hóa chất, sản xuất kim loại và ngành công nghiệp chế biến, công nghiệp sấy,...

Nghiên cứu trên đây cho phép chúng ta rút ra được những kết luận sau: (i) MVR là máy thủy khí cánh dẫn có cấu tạo cơ bản như quạt và máy nén ly tâm công nghiệp nhưng có chức năng nén tăng nhiệt độ lưu chất là hơi nước bão hòa, khi ứng dụng phần mềm Cfturbo cho phép thiết kế mô hình hình học nhanh chóng và chính xác; (ii) Kết quả mô phỏng dùng phần mềm Simerics, tốc độ chạy mô phỏng nhanh cho phép xác định các

thông số đặc thù như chênh áp, lưu lượng và các loại hiệu suất cũng như độ cân bằng của guồng cánh; (iii) Hiệu suất giữa tính toán lý thuyết từ Cfturbo và hiệu suất từ phần mềm mô phỏng Simerics có sai số khoảng 4% nếu sử dụng bài toán lướt trượt Steady. Thực tế để đánh giá đúng bản chất của máy thủy khí cánh dẫn cần phải mô phỏng CFD lưới động tức thời Transient, kết quả chúng tôi đã mô phỏng nhiều trường hợp từ Simerics nhận thấy hiệu suất tổng thể bằng với hiệu suất từ tính toán lý thuyết của Cfturbo tuy nhiên cần nhiều thời gian và tối thiểu từ 72-100 giờ. AES Việt Nam hiện nay là đối tác chính của nhiều hãng đứng đầu công nghệ sản xuất máy nén ly tâm MVR: Boldrochi Group, Piller SEA Pte.Ltd, TurboVap và cũng là đối tác chính của phần mềm thiết kế Cfturbo, Simerics, Catia. Hiện nay AES Việt Nam là đơn vị đầu tiên nghiên cứu và phát triển thiết bị nén hơi bão hòa MVR tại Việt Nam. Trong thời gian đến AES Việt Nam sẵn sàng hợp tác chuyển giao kỹ thuật, tham gia đào tạo nhân lực để phát triển đội ngũ nghiên cứu góp phần tạo ra nhiều sản phẩm cơ khí có tính ứng dụng cao cho đất nước.

#### LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tạo điều kiện cho phép sử dụng phần mềm Cfturbo, Simerics và chế tạo mẫu thực nghiệm của lãnh đạo Công ty Cổ phần Giải pháp Tự động hóa Kỹ thuật Việt Nam.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Manual Cfturbo Software.

[2] Simerics MP Help.

[3] [https://www.cfd-online.com/Wiki/Turbulence\\_modeling](https://www.cfd-online.com/Wiki/Turbulence_modeling)

[4] Simerics Inc. (2018). *Centrifugal fan*. Simerics Inc, 8020 Engineering Limited

[5] Jorgensen, R. (1983). *Fan engineer*. The Buffalo Forge Company, Buffalo N.Y.

[6] Lê Xuân Hòa và Nguyễn Thị Bích Ngọc (2004). *Giáo trình bơm, quạt, máy nén*.

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.Hồ Chí Minh.

[7] Lê Danh Liên (2014). *Bơm, quạt cánh dẫn*. Nhà xuất bản Bách khoa Hà Nội.