

PHẦN MỀM MÔ PHỎNG TÍNH TOÁN THÔNG GIÓ TRONG HẦM GIAO THÔNG ĐƯỜNG BỘ

ThS. NGUYỄN TUẤN NGỌC
Tổng Công ty Tư vấn thiết kế GTVT

1. LỜI NÓI ĐẦU

Hầm đường bộ được xây dựng nhằm mục đích giúp xe vận tải vượt qua được các chướng ngại vật như núi đá (hầm Hải Vân, hầm Đèo Ngang), qua sông (hầm Thủ Thiêm) hoặc được áp dụng trong nút giao thông khác mức (hầm chui Kim Liên). Bề rộng của hầm phụ thuộc vào số làn xe yêu cầu, chiều dài hầm thay đổi phụ thuộc vào kích thước chướng ngại vật cần phải vượt qua, có thể chỉ vài chục mét cho đến vài ngàn mét. Trong quá trình lưu thông, xe vận tải thải ra các loại khí độc (khói, bụi, các chất có hại như CO, CO₂, NO_x...) gây ô nhiễm. Đặc biệt, với môi trường kín như trong đường hầm, điều này càng trở nên nghiêm trọng. Vì vậy, hệ thống thông gió trong hầm cần được xây dựng để giảm thiểu ô nhiễm. Bài báo giới thiệu phần mềm IDA – RTV (Road Tunnel Ventilation) mô phỏng tính toán thông gió trong hầm giao thông đường bộ.

2. GIỚI THIỆU CHUNG VỀ PHẦN MỀM IDA-RTV

Phần mềm IDA-RTV của hãng Equa Simulation Technology Group được xây dựng và phát triển từ năm 1995 nhằm thiết kế hệ thống thông gió trong hầm đường vành đai Stockholm. Hiện nay, phần

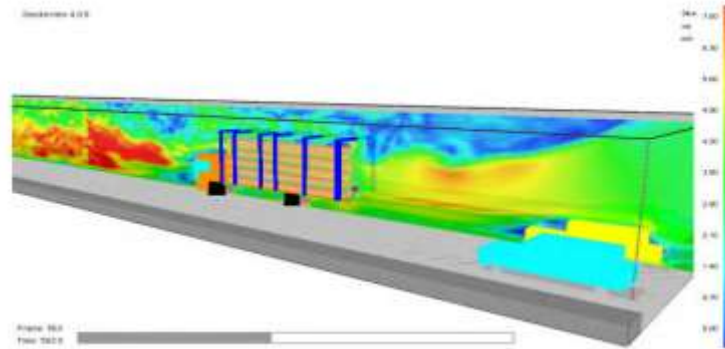
mềm được sử dụng tại các đơn vị tư vấn hàng đầu thế giới về thiết kế hầm giao thông và công trình ngầm như HBI Haerter, Gruner, Halcrow, WSP, Norconsult và được ứng dụng trong các dự án lớn như Södra Länken ở Stockholm và Cross City Tunnel ở Sydney [1]. Phần mềm có khả năng thiết kế hệ thống thông gió trong hầm ở nhiều dạng khác nhau như thông gió dọc, thông gió ngang. Phần mềm phù hợp với các dạng hầm giao thông một chiều, hai chiều hoặc có nhiều nhánh hầm phức tạp. Kết quả mô phỏng bao gồm sự phân bố của các nồng độ CO₂, NO_x, nhiệt độ không khí, áp suất không khí trong hầm.

Phần mềm IDA-RTV dựa trên tính toán động lực học chất lỏng, khí (Computational Fluid Dynamics - CFD) tuy nhiên nó khác với các chương trình mô phỏng CFD tổng quát bởi IDA-RTV chuyên dụng phục vụ cho việc thiết kế hệ thống thông gió trong hầm. Vì vậy, IDA-RTV sử dụng các số liệu đầu vào tương đối phù hợp với mục tiêu bài toán như số liệu hình học hầm bao gồm cả các nhánh rẽ trong hầm, số liệu lưu lượng xe cơ giới và lượng khí thải tương ứng (theo khuyến nghị của PIRAC), số liệu đầu vào hệ thống quạt phân lực...

2.1 Các bài toán phân tích hệ thống thông gió trong hầm bằng phần mềm IDA-RTV

a) Hệ thống thông gió khi có hỏa hoạn trong hầm (Fire Ventilation)

Mục đích mô phỏng đám cháy trong hầm nhằm đánh giá khả năng ngăn ngừa khói lan truyền ngược lại, đảm bảo người tham gia giao thông có thể tìm được đường thoát hiểm. Bên cạnh đó, cần kiểm soát nhiệt độ dọc theo hầm đảm bảo nhiệt độ không vượt quá ngưỡng chịu đựng của hệ thống quạt và kết cấu. Nhiệt lượng lan truyền khi có đám cháy phụ thuộc vào nhiệt lượng tỏa ra của đám cháy, hệ số bức xạ nhiệt, hấp thụ nhiệt của kết cấu vỏ hầm cũng như hệ số truyền nhiệt vỏ hầm. Để đơn giản tính toán, phần mềm mô phỏng bài toán truyền nhiệt dưới dạng 1 chiều (1D) dọc theo hầm. Chương trình cũng cho phép người dùng mô tả số liệu đám cháy dưới dạng hầm phụ thuộc thời gian. Xin lưu ý, để phân tích chi tiết hơn đám cháy trong hầm dưới dạng không gian 3 chiều, cần sử dụng phần mềm chuyên dụng khác như Mô phỏng động lực học đám cháy FDS (Fire Dynamics Simulators).



Hình 1. Ví dụ mô phỏng đám cháy bằng phần mềm chuyên dụng FDS.

b) Thông gió vệ sinh (Hygienic ventilation)

Trong bài toán này, mục tiêu nghiên cứu sự tập trung các khí sinh ra bởi phương tiện xe cộ như CO, CO₂, NO_x. Với hầm giao thông một chiều, hiệu ứng piston góp phần khiến không khí lưu thông, giảm nồng độ các chất khí thải. Cần lưu ý với trường hợp xảy ra ùn tắc giao thông trong hầm. Vì vậy, cần tạo các tổ hợp tính toán khác nhau để kiểm tra khả năng đáp ứng của hệ thống thông gió trong hầm.

2.2 Dữ liệu về phương tiện giao thông

IDA-RTV sử dụng số liệu đầu vào về phương tiện giao thông dưới dạng các bảng có sẵn phù hợp với chuẩn PIRAC. Ngoài ra, người sử dụng có thể lập các bảng riêng, phù hợp với lượng khí thải sinh ra của các phương tiện phổ biến tại quốc gia đó. Thông thường, lưu lượng giao thông tăng theo thời gian, tuy nhiên công nghệ ô tô cũng như yêu cầu bảo vệ môi trường đối với các phương tiện cơ giới cũng thay đổi. Việc xác định lượng khí thải phát sinh trên mỗi đầu xe cơ giới cần được nghiên cứu, thống nhất với quy định. Chương trình cho phép tính lượng khí thải CO, CO₂, NO_x, bụi phụ

	1	2	3	4	5	6	7
0	2.3000	2.3000	2.3000	2.3000	2.3000	2.3000	2.3000
0.5	2.2980	2.2980	2.2980	2.2980	2.2980	2.2980	2.2980
10.0	2.2850	2.2850	2.2850	2.2850	2.2850	2.2850	2.2850
16.1	2.4810	2.7910	3.0730	3.2742	3.6880	4.1200	4.7940
17.9	3.0270	3.7960	4.2247	4.6760	5.1793	5.7230	6.3220
22.6	3.6440	4.6030	5.2230	5.8770	6.4200	7.0420	7.8010
25.7	3.7940	4.7540	5.3740	6.0490	6.6420	7.2640	8.0790
25.9	2.8010	3.1980	3.5780	4.0540	4.7140	5.5820	6.6880
32.4	3.0380	3.6730	4.4060	5.1700	6.0200	6.9700	8.0200
35.9	2.8480	3.4830	4.2170	5.0120	5.8620	6.8120	7.8620
42.1	3.4130	4.0480	4.7820	5.6170	6.5670	7.6170	8.7670
48.1	2.4040	2.7910	3.2070	3.6530	4.1290	4.6350	5.1710
60	2.2000	2.2000	2.2000	2.2000	2.2000	2.2000	2.2000
70	2.1700	2.1700	2.1700	2.1700	2.1700	2.1700	2.1700

Hình 2. Các thông số về lượng khí thải của phương tiện cơ giới.

thuộc vào vận tốc phương tiện lưu hành, dốc dọc mặt đường.

Bên cạnh đó, khi các phương tiện lưu thông trong hầm một chiều, hiện tượng piston cần được tính đến bởi hiệu ứng này có tác dụng tốt làm giảm nồng độ khí thải. Áp suất không khí do hiệu ứng piston xác định bởi công thức:

$$P_p = \frac{\rho}{2} \frac{C_{DF} A_V}{A_t (1 - \frac{A_V}{A_t})^2} (v_V - v_t) |v_V - v_t|$$

Trong đó:

P_p : áp suất không khí do hiệu ứng piston (Pa).

ρ: mật độ không khí (kg/m³).

C_{DF}: hệ số cản.

A_t: diện tích hầm (m²).

A_V: diện tích xe (m²).

V_V: vận tốc xe (m/s).

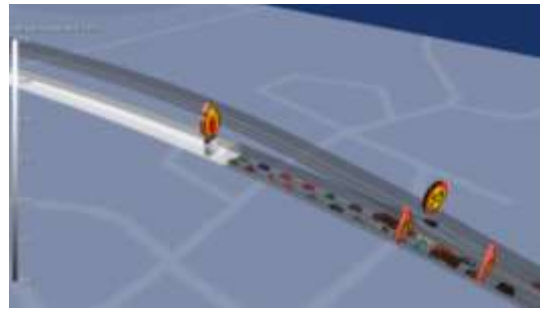
V_t: vận tốc không khí trong hầm (m/s).

2.3 Dữ liệu về hệ thống quạt phản lực

Trong trường hợp thông gió tự nhiên không đảm bảo, hệ thống thông gió trong hầm cần được bố trí để làm giảm mức độ ô nhiễm trong hầm. Hệ thống thông gió có thể bao gồm các quạt phản lực (hệ thống thông gió dọc) hoặc các điểm cấp khí sạch, xả khí bẩn (hệ thống thông gió ngang hoặc hỗn hợp). IDA-RTV sử dụng số liệu đầu vào các quạt phản lực bao gồm vị trí lắp đặt, diện tích quạt, công suất, vận tốc không khí do quạt tạo ra. Trường hợp có đám cháy trong hầm, hệ thống quạt phản lực được vận hành ở mức cao nhất, nhằm ngăn chặn hiện tượng lan tỏa ngược của khói độc từ đám cháy để người tham gia giao thông sơ tán.



Hình 3. Số liệu đầu vào quạt phản lực



Hình 4. Hệ thống thông gió cần vận hành tối đa ngăn khói độc lan tỏa ngược khi có đám cháy (back layering)

Lực do quạt sinh ra xác định bởi công thức:

$$F_f = P_f A_t = \rho A_f v_f (v_f - v_t) k_f$$
 (N)

Trong đó:

P_f :Áp suất do quạt phản lực (Pa).

ρ : mật độ không khí (kg/m³).

A_t : diện tích hầm (m²).

A_f : diện tích quạt (m²).

V_t : vận tốc không khí trong hầm (m/s).

V_f : vận tốc không khí do quạt thổi (m/s).

k_f : hệ số quạt phản lực.

Hệ số quạt phản lực k_f đôi khi còn được gọi là hệ số lắp đặt quạt phụ thuộc vào vị trí lắp đặt, kiểu lắp đặt quạt. Thông số này thường được cung cấp bởi nhà sản xuất quạt.

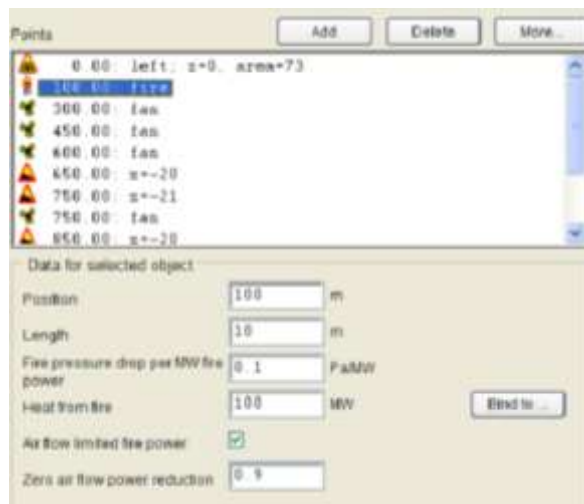
2.4 Số liệu đầu vào về đám cháy trong hầm

Phần mềm IDA-RTV cho phép nhập số liệu về vị trí đám cháy, chiều dài đám cháy cũng như nhiệt lượng tỏa ra do đám cháy (Heat Release Rate - HRR). Giá trị này phụ thuộc

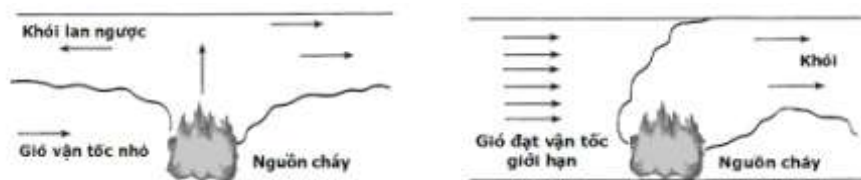
vào dạng phương tiện bị cháy là xe con, xe bus, xe thùng, xe tải chở hàng hoặc chở xăng dầu. Ngoài ra, giá trị này cũng phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như dạng hình học xe, vật liệu cấu tạo xe, lượng xăng còn lại trong xe, hàng hóa xe chuyên chở... Các tiêu chuẩn khác nhau đưa ra giá trị về nhiệt lượng tỏa ra do đám cháy trong bảng tổng hợp:

Bảng 1. Chỉ số nhiệt lượng tỏa ra do đám cháy theo các tiêu chuẩn khác nhau.

Tiêu chuẩn \ Loại xe	NFPA 502 (2004)	NFPA 502 (2008)	BD 78/99 1999	CETU 2006	PIARC 1999
Xe con	5	5-10	5	-	2.5
Xe bus	20	20-30	20	-	20
Xe thùng	-	-	15	15	15
Xe tải chở hàng	20-30	70-200	30-100	30	20-30
Xe chở dầu	100	200-300		200	-



Hình 5a. Số liệu đầu vào của đám cháy trong chương trình IDA-RTV.



Hình 5b. Hệ thống thông gió vận hành khi xảy ra sự cố đám cháy trong hầm.



Hình 5c. Các phương án vận hành hệ thống thông gió khi xảy ra sự cố đám cháy trong hầm.

Khi xảy ra đám cháy trong hầm, hệ thống thông gió cần vận hành đảm bảo không khí trong hầm đạt vận tốc cao hơn vận tốc giới hạn nhằm ngăn chặn khói lan tỏa ngược [2], [3], [4].

Công thức tính vận tốc gió tới hạn

Khi có cháy xe trong hầm, hệ thống thông gió cần nhanh chóng được vận hành ở mức độ khẩn cấp, đảm bảo không cho khói lan tỏa ngược “back-layering”. Vận tốc gió cần thiết để đảm bảo điều này được gọi là vận tốc gió tới hạn “critical velocity”. Giá trị vận tốc gió tới hạn phụ thuộc vào chỉ số nhiệt lượng tỏa ra của đám cháy (HRR), độ dốc dọc hầm, dạng hình học của mặt cắt hầm.

Công thức lý thuyết để xác định vận tốc gió giới hạn (Bechtel và Brinckerhoff 1995):

$$V_c = K_1 K_g \left(\frac{gHQ}{\rho c_p A_T T_f} \right)^{1/3};$$

$$K_1 = Fr_c^{-1/3};$$

$$K_g = 1 + 0.0374(grade)^{0.8};$$

$$T_f = \frac{Q}{\rho c_p A_T V_c} + T$$

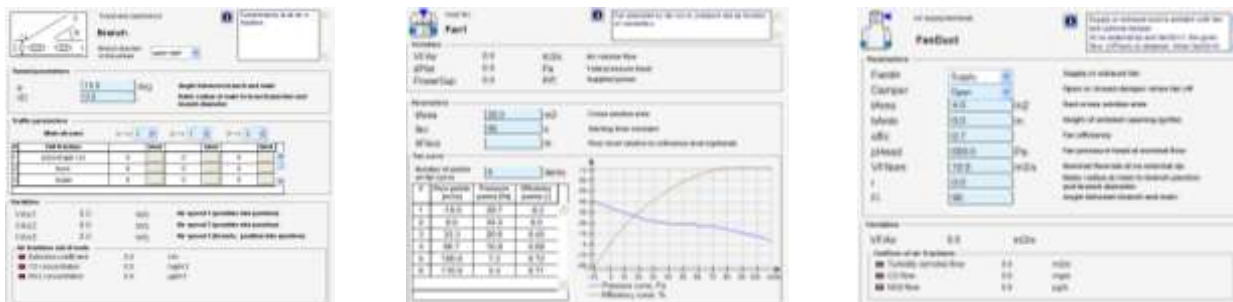
Với grade là độ dốc dọc đường hầm, tính theo %. Kết quả tính toán với thí nghiệm hiện trường hầm Memorial cho thấy, khi đám cháy có HRR = 20 MW, vận tốc gió tới hạn là 2.38m/s; khi đám cháy có HRR = 100 MW, vận tốc gió tới hạn là 3.4m/s. Xin lưu ý, đây là giá trị vận tốc thấp nhất trên toàn mặt cắt của hầm, việc bố trí quạt phản lực thổi dọc hầm có thể tạo ra vận tốc không khí lớn ở ngay trước quạt nhưng nếu bố trí không hợp lý thì tại một số nơi trên mặt cắt, vận tốc không khí nhỏ, khói vẫn lan tỏa ngược trở lại. Việc nghiên cứu các phương án vận hành hệ thống thông gió trong hầm cần được xem xét khi thiết kế hầm bởi nó liên quan trực tiếp đến kích thước hình học cơ bản của hầm.

2.5 Các thông số khác

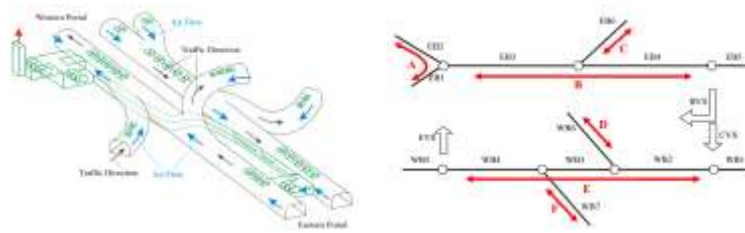
Phần mềm IDA-RTV cung cấp các phần tử cho phép mô tả các nhánh vào, ra của hầm, mô tả hệ thống quạt dọc trục, điểm cung cấp khí sạch, hút khí bẩn. Ngoài ra, chương

trình cung cấp các phần tử mô phỏng sự phối hợp về thời điểm kích hoạt các phần tử. Ví dụ sau khi phát hiện nồng độ CO vượt ngưỡng cho phép, hệ thống quạt phản lực được vận hành. Trên thực tế, luôn có khoảng thời gian trễ giữa việc phát hiện nồng độ CO vượt ngưỡng cho phép với việc kích hoạt hệ thống thông gió. Điều này tương tự với trường hợp khi xảy ra sự cố đám cháy, người giám sát phát hiện qua hệ thống CCTV và cần thời gian để quyết định cũng như vận hành hệ thống thông gió. Tùy vào mỗi phương án tổ chức, khoảng thời gian trễ này có thể từ vài chục giây đến vài phút.

Bên cạnh các phần tử cơ bản có sẵn trong chương trình IDA-RTV, người dùng có thể tự xây dựng các phần tử riêng để sử dụng.



Hình 6. Số liệu nhánh rẽ hầm, quạt dọc trục, điểm cấp khí sạch hoặc hút khí bẩn.

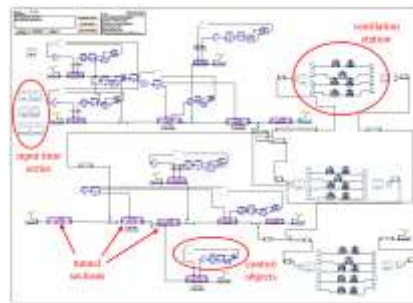


Hình 7. Sơ đồ tổ chức giao thông và hệ thống thông gió trong hầm.

2.6 Xây dựng mô hình mô phỏng

Dựa trên thiết kế sơ bộ về hầm cùng với sơ đồ tổ chức giao thông, hệ thống thông gió cần được hoạch định phương án thiết kế. Với công cụ phần mềm IDA-RTV, kỹ sư cần xây dựng mô hình từ các phần tử cơ bản có sẵn trong chương trình. Tiến trình thực hiện bao gồm việc nghiên cứu sơ đồ hầm, sơ đồ tổ chức giao thông, xây dựng sơ đồ đơn giản hóa các hướng đi, rẽ nhánh. Trên cơ sở đó, xây dựng sơ đồ kết nối các phần tử cơ bản của IDA-RTV. Ví dụ dưới đây cho thấy sự phức tạp trong bài toán mô phỏng khi cần xét tới yếu tố thời gian cũng như sự phối kết hợp giữa các phần tử của chương trình. Để nhận được

kết quả mô phỏng chính xác đòi hỏi sự hiểu biết sâu sắc về phần mềm cũng như bài toán cần giải quyết.



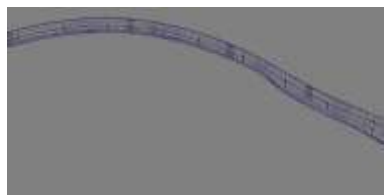
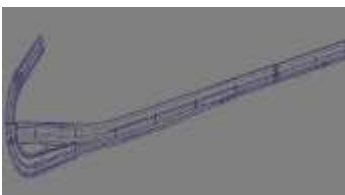
Hình 8. Sơ đồ phối hợp các phần tử mô phỏng bằng chương trình IDA-RTV.

3. VÍ DỤ ỨNG DỤNG PHẦN MỀM IDA-RTV VÀ KẾT LUẬN

Ví dụ sau đây minh họa tính năng của chương trình IDA-RTV. Bài toán phân tích hệ thống thông gió trong hầm bao

gồm 5 đoạn hầm, 2 đoạn vào, 1 đoạn hầm đi chung và 2 đoạn hầm ra. Mỗi đoạn có yếu tố hình học cong bằng, dốc dọc, diện tích mặt cắt khác nhau.

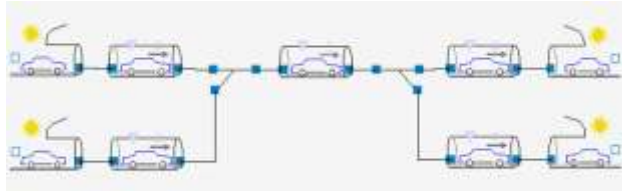
Phần mềm IDA-RTV cho phép xây dựng mô hình tính toán tương ứng với các yếu tố hình học của hầm. Chương trình sẽ tự động chia lưới để thực hiện mô phỏng. Sơ đồ phối hợp các phần tử cơ bản có trong IDA-RTV cần phù hợp với sơ đồ tổ chức giao thông và thông gió trong hầm. Ở đây bao gồm 2 lối vào, 2 lối ra và 5 đoạn hầm cần được mô tả.



Hình 9. Mặt bằng tuyến hầm.



Hình 10. Chia lưới tính toán mô phỏng.

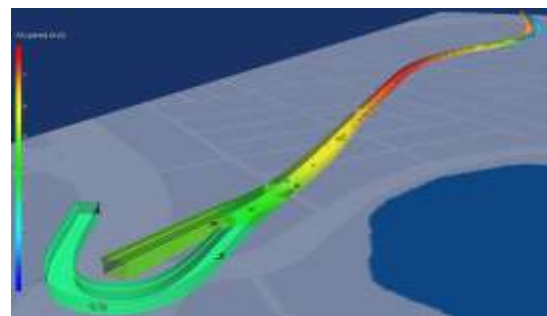
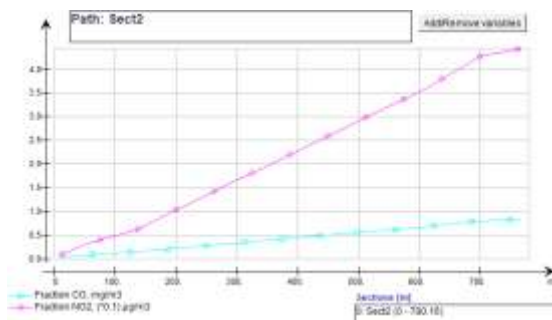


Hình 11. Sơ đồ các phần tử mô phỏng bằng chương trình IDA - RTV.

Các phần tử cần được được kết nối tương ứng với từng đoạn tuyến. Các thông số khác như lưu lượng xe, khí thải, bố trí quạt phản lực thông gió dọc hầm được đưa vào trong chương trình mô phỏng. Kết quả mô phỏng có thể trình bày dưới dạng biểu đồ phân bố các tham số theo không gian, thời gian. Các tham số cần nghiên cứu bao gồm nồng độ CO, CO₂, NO₂, vận tốc không khí trong hầm. Ngoài ra chương trình cho phép đưa ra các file video trực quan phục vụ công tác trình chiếu.

Kết luận: Phần mềm IDA-RTV là phần mềm ứng dụng tính toán động lực học chất lỏng, khí (CFD) trong việc thiết kế hệ thống thông gió trong hầm giao thông đường bộ. So sánh với các phần mềm tổng quát như Fluent hoặc CFX, IDA-RTV có ưu điểm là tính chuyên dụng cao, sử dụng các số liệu đầu vào trực tiếp như lưu lượng xe, lượng phát khí thải, thông số kỹ thuật của quạt phản lực... Kết quả phân tích được biểu diễn trên các biểu đồ hoặc hình ảnh trực quan, sinh động. IDA-RTV đã được

nghiên cứu, ứng dụng tại các dự án hầm lớn trên thế giới và được đánh giá cao. Hiện nay, các thành phố lớn như Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh đều có nhu cầu đầu tư xây dựng các công trình hầm nhằm giải quyết các bài toán giao thông. Bên cạnh đó là các hầm xuyên qua núi có chiều dài lớn. Việc nghiên cứu ứng dụng phần mềm IDA-RTV phục vụ công tác thiết kế hệ thống thông gió trong hầm đường bộ sẽ góp phần tạo nên thành công chung của công trình.



Hình 12. Kết quả mô phỏng dưới dạng biểu đồ và hình ảnh trực quan.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. IDA Road Tunnel Ventilation Brochure.
2. NFPA 502-1998 Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways.
3. Tiêu chuẩn thiết kế hầm đường bộ BD 78/99.
4. NCHRP – Synthesis 415 Design Fires in Road Tunnels, Transportation Research Board 2011.