

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc lập- Tự do – Hạnh phúc

TÀI LIỆU HƯỚNG DẪN SỬ DỤNG VILAYER-AI

PHẦN MỀM TÍNH TOÁN KẾT CẤU ÁO ĐƯỜNG THEO PHƯƠNG PHÁP VIỆN ASPHALT (AI)

TÁC GIẢ: LÊ ĐÌNH VIỆT

Tháng 10, 2023

Mục lục

	Trang
1. Phạm vi áp dụng	2
2. Tổng quan về phương pháp thiết kế kết cấu áo đường mềm theo AI và phần mềm tính toán kết cấu áo đường VILAYER	2
3. Vận hành cơ bản phần mềm VILAYER	4
4. Trình tự các bước phân tích, tính toán kết cấu mặt đường mềm theo AI	16

HƯỚNG DẪN SỬ DỤNG PHẦN MỀM TÍNH TOÁN KẾT CẤU ÁO ĐƯỜNG VILAYER THEO PHƯƠNG PHÁP CỦA VIỆN ASPHALT (HOA KỲ)

1 Phạm vi áp dụng

1.1 Hướng dẫn này đưa ra trình tự các bước phân tích, tính toán kết cấu áo đường mềm theo phương pháp của Viện Asphalt (AI) với phần mềm Tính toán kết cấu áo đường VILAYER.

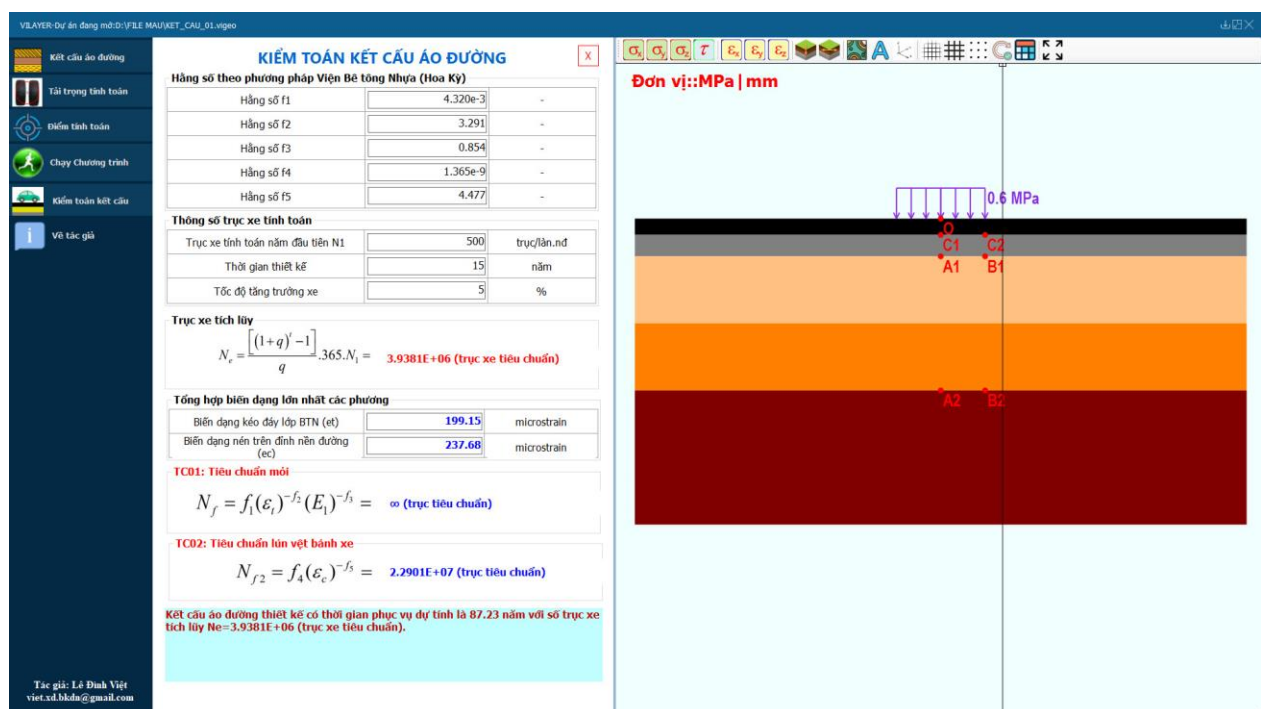
1.2 Các kết cấu áo đường mềm trong hướng dẫn này gồm: kết cấu áo đường có các lớp mặt bê tông nhựa nóng (HMA) được đặt trực tiếp trên lớp nền đất; trên các lớp móng bằng vật liệu hạt; hoặc trên lớp móng bằng vật liệu gia cố nhũ tương nhựa đường.

1.3 Hướng dẫn này áp dụng cho thiết kế mới, thiết kế tăng cường kết cấu mặt đường mềm. Thời hạn thiết kế phụ thuộc vào cấp đường xây dựng.

1.4 Hướng dẫn sử dụng hệ đơn vị SI.

2 Tổng quan về phương pháp thiết kế kết cấu áo đường mềm theo AI và phần mềm Tính toán kết cấu áo đường VILAYER

Trong nhóm phương pháp thiết kế dựa trên nguyên lý cơ học - thực nghiệm, có 2 phương pháp chính là phương pháp AASHTOWare Pavement ME Design (PMED) và phương pháp của Viện Asphalt (AI) Mỹ.



Hình 1: Giao diện phần mềm VILAYER thiết kế kết cấu áo đường mềm theo AI

Phương pháp cơ học thực nghiệm AI đã được một số nước tham khảo biên soạn tiêu chuẩn thiết kế kết cấu áo đường, điển hình là Ấn Độ, Trung Quốc, Úc, Malaysia, các bang Texas, Alaska của Mỹ,... Trong đó, Trung Quốc đã dựa vào phương pháp AI và những tiến bộ của PMED để biên soạn tiêu chuẩn JTG D50-2017, Ấn Độ biên soạn Guidelines for the design of flexible pavements - IRC:37-2018 và Úc biên soạn Guide to Pavement Technology Part 2: Pavement Structural Design, 2017,... Các phương pháp này cũng dựa trên giải bài toán bán không gian vô hạn đàn hồi nhiều lớp với tiêu chuẩn giới hạn là nứt mỗi của lớp bê tông nhựa và lún vết bánh của toàn kết cấu [2].

VILAYER là phần mềm Tiếng Việt được phát triển bởi tác giả Lê Đình Việt (Tiến sĩ, đang công tác tại Viện Công nghệ Quốc gia Kumoh, Hàn Quốc) dưới sự hướng dẫn và cố vấn khoa học của PGS. TS. Nguyễn Quang Phúc (Trường Đại học Giao thông Vận tải Hà Nội), phần mềm VILAYER được tải miễn phí tại địa chỉ <https://vilayer.bksimotec.com>.

VILAYER có giao diện thân thiện với chức năng chính là tính toán ứng suất, biến dạng chuyển vị các lớp vật liệu kết cấu áo đường mềm. Phần mềm VILAYER được phát triển dựa trên Lý thuyết tính toán hệ đàn hồi tuyến tính nhiều lớp dựa trên phương trình Burmister, thuật toán tích phân suy rộng có cận vô cực được áp dụng để tính toán ứng suất, biến dạng và chuyển vị trong các lớp vật liệu áo đường thông qua phương pháp biến đổi Hankel. Ngoài ra, phương pháp ngoại suy Richardson được áp dụng để giải phương trình tích phân tại những điểm tính toán gần bề mặt của kết cấu áo đường nhằm giảm sai số tính toán.

Phần mềm VILAYER có một số chức năng như sau:

- Tính toán ứng suất, biến dạng và chuyển vị theo các phương của các lớp vật liệu áo đường;
- Tính toán ứng suất, biến dạng và chuyển vị tại các điểm tính toán do người dùng định nghĩa tọa độ;
- Tính toán ứng suất, biến dạng và chuyển vị của các mặt phẳng theo độ sâu do người dùng định nghĩa;

Xuất báo cáo sang Word, dữ liệu bảng biểu sang Excel.

- Các thông số đầu vào của phần mềm VILAYER là
- Thông số vật liệu bao gồm: Mô đun đàn hồi, hệ số poisson, chiều dày của lớp vật liệu áo đường;
- Thông số tải trọng: Tải trọng tính toán, bán kính phân bố của tải trọng;
- Điểm tính toán được định nghĩa theo tọa độ không gian 2D là X, Y;

Các chức năng hỗ trợ xuất báo cáo tính toán

- Chức năng biểu đồ đường đồng mức, đường thể hiện đồng mức, nhãn hiển thị các vị trí có giá trị Max – Min;
- Kết quả thể hiện dạng bảng tính có thể xuất trực tiếp sang Excel.

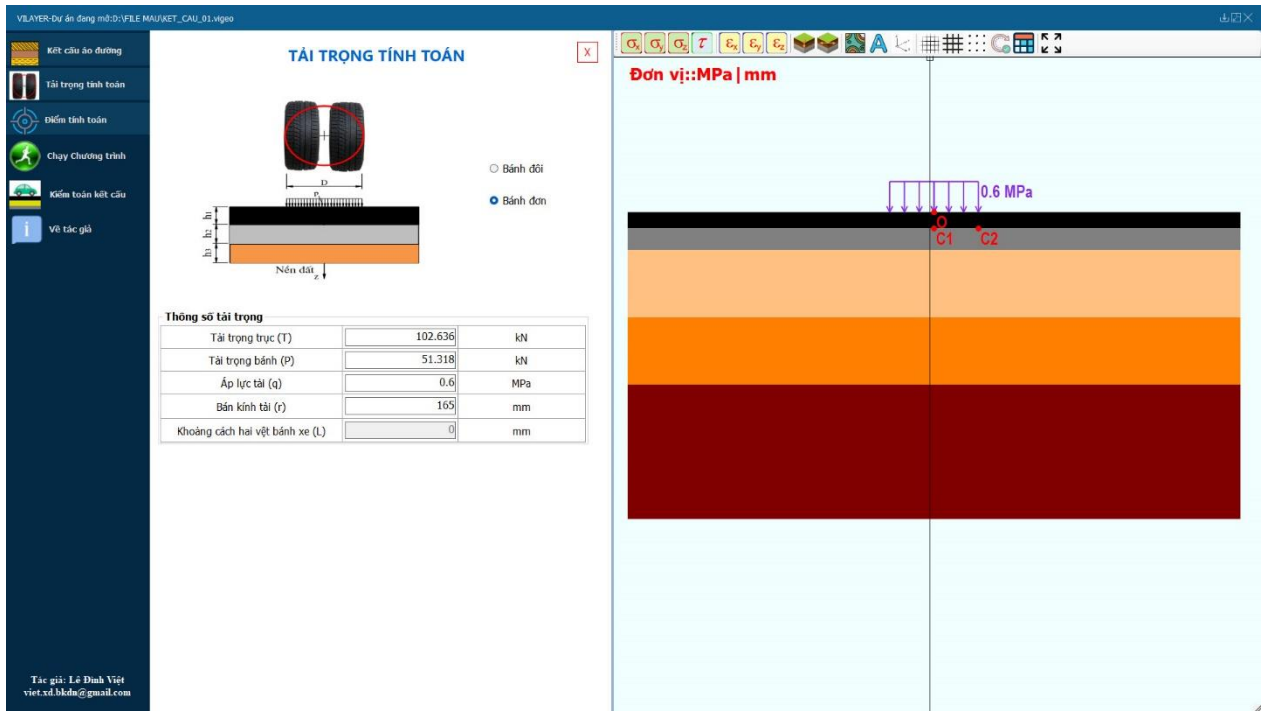
3 Vận hành cơ bản phần mềm VILAYER

3.1 Cấu trúc phần mềm VILAYER

Phần mềm VILAYER bao gồm 4 mô đun chính là: Kết cấu áo đường, Tải trọng tính toán, Khai báo điểm tính toán, Chạy chương trình và Kiểm toán kết cấu (Hình 01). Người dùng sẽ định nghĩa các thông số vật liệu áo đường mềm bao gồm tên kết cấu, màu sắc hiển thị, chiều dày, mô-đun đàn hồi E và hệ số poisson trong mô đun Kết cấu áo đường. Trong mô đun Tải trọng tính toán bao gồm hai tùy chọn là tải trọng đơn và tải trọng đôi, với mỗi loại tải trọng người sử dụng cần khai báo ứng suất và bán kính tải trọng. Dựa vào các thông số vật liệu và tải trọng, giao diện hình học của kết cấu được phần mềm vẽ trong phần hiển thị đồ họa. Trong mô đun khai báo điểm tính toán, các điểm tính toán yêu cầu theo phương pháp AI sẽ được phần mềm tự động định nghĩa mặc định. Người sử dụng có thể định nghĩa thêm điểm tính toán mong muốn nhưng không thể xóa được các điểm mặc định theo phương pháp AI. Trong mô đun Chạy chương trình, người dùng có thể tính toán nhanh ứng suất, biến dạng và chuyển vị của các điểm tính toán đã định nghĩa hoặc tính toán tất cả các các lưới điểm được chia theo phương pháp phần tử hữu hạn nhằm thể hiện bình đồ màu ứng suất, biến dạng và chuyển vị trên giao diện đồ họa hình học của kết cấu áo đường mềm.



Hình 2: Cấu trúc phần mềm VILAYER

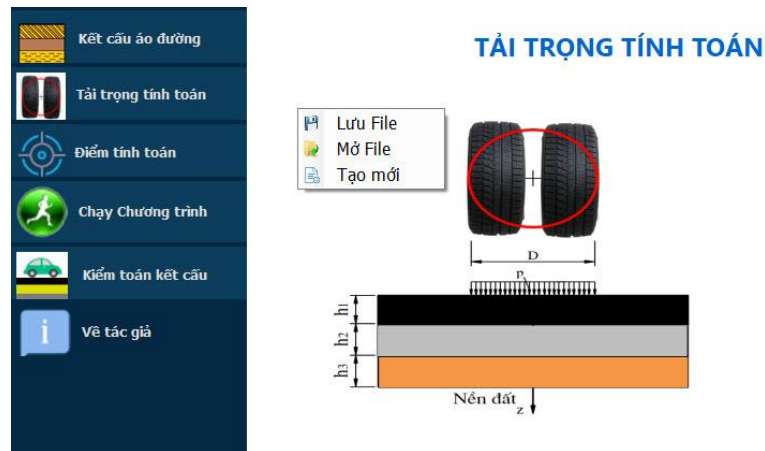


Hình 3: Giao diện chính phần mềm VILAYER

3.2 Tạo tệp dữ liệu mới

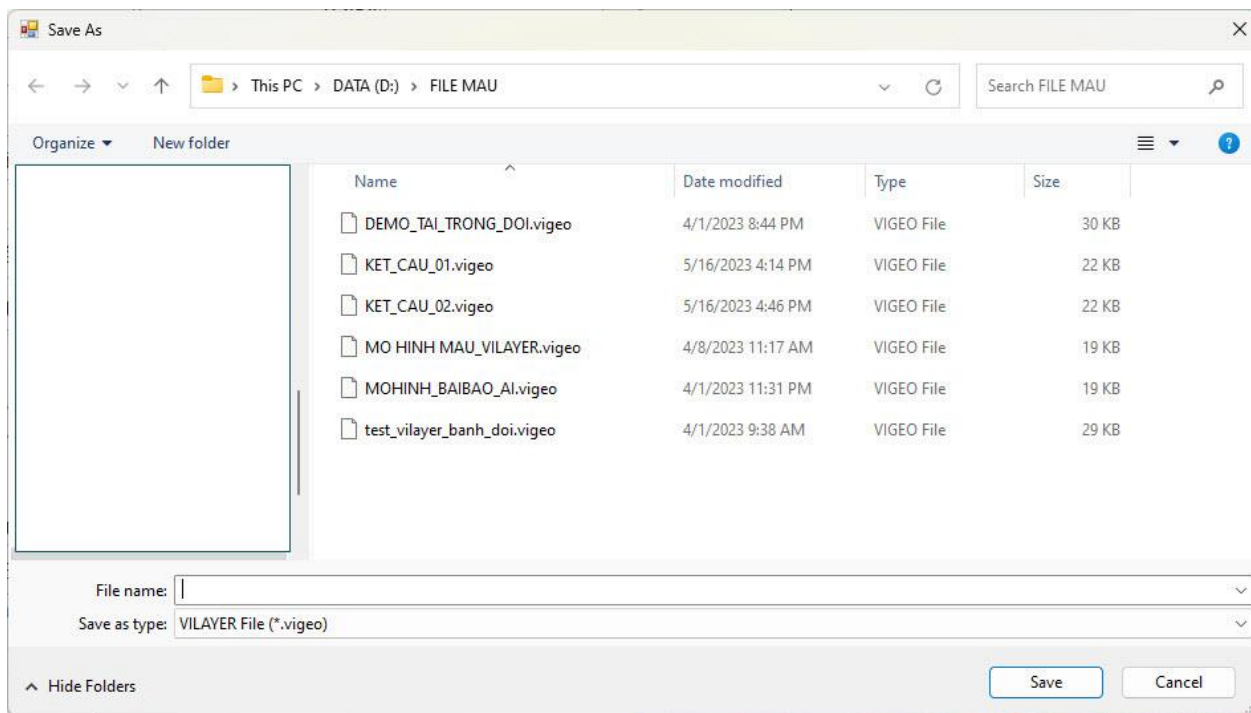
Tạo tệp dữ liệu mới, thực hiện như sau:

1. Click chuột phải ở bất kỳ vị trí nào trên giao diện chính chương trình, một menu lựa chọn bao gồm Tạo mới, Mở file và Lưu file sẽ hiển thị như Hình 4.



Hình 4: Tạo tệp dữ liệu mới

2. Trong cửa sổ quản lý tệp dữ liệu mới, đi tới **Tên File** và nhập tên của **tệp** dữ liệu bạn muốn tạo, sau đó nhấn **Save** để lưu file.



Hình 4: Nhập tên File dữ liệu

3.3 Bố cục màn hình

Phần mềm VILAYER kết hợp giao diện thân thiện với người dùng. Màn hình chia làm hai phần là phần giao diện nhập liệu và đồ họa. Giao diện nhập liệu bao gồm các nút menu chức năng mở ra các tab cơ bản trong khi giao diện đồ họa hiển thị hình học kết cấu áo đường, tải trọng và kết quả tính toán bao gồm các biểu đồ màu ứng suất, biến dạng và chuyển vị trong các vật liệu kết cấu áo đường.



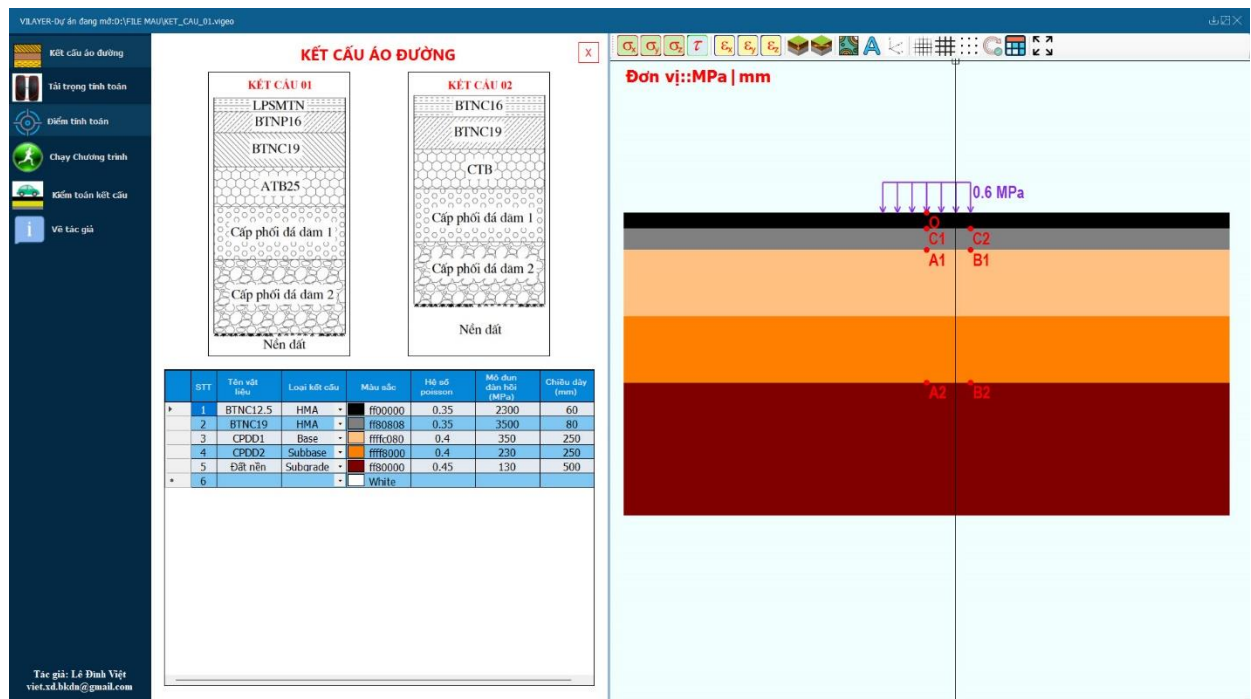
Hình 5: Bố cục phần mềm VILAYER

3.4 Định nghĩa kết cấu áo đường

Nút chức năng Kết cấu áo đường sẽ hiển thị giao diện nhập liệu các thông số vật liệu kết cấu áo đường. Phần mềm bố trí hai loại kết cấu phổ biến được các tư vấn thiết kế sử dụng cho các dự án tại Việt Nam. Kết cấu KC1 là kết cấu ở ví dụ 5, phụ lục F của TCCS37; còn KC2 là kết cấu ở ví dụ 11, phụ lục F của TCCS37 và ví dụ 1, phụ lục D của TCCS38. Trong KC1 có lớp mặt bằng bê tông nhựa siêu mỏng tạo nhám có chiều dày 2.2cm không tính vào đặc điểm chịu lực. Kết cấu 01 được định nghĩa bao gồm Bê tông nhựa polymer Dmax 16mm TCVN13567-2, Bê tông nhựa chặt Dmax 19mm TCVN13567-1, Hỗn hợp cấp phối đá chặt gia cố nhựa nóng Dmax 25mm TCCS26, Cấp phối đá dăm loại 1 TCVN8859, Cấp phối đá dăm loại 2 TCVN8859 và nền đất dưới đáy áo đường. Trong khi đó kết cấu 02 bao gồm Bê tông nhựa chặt Dmax 16mm TCVN13567-1, Bê tông nhựa chặt Dmax 19mm, Cấp phối đá dăm gia cố xi măng Dmax 25mm TCVN8858, Cấp phối đá dăm loại 1, Cấp phối đá dăm loại 2 và nền đất dưới đáy áo đường. Các thông số vật liệu phần mềm VILAYER sử dụng được thể hiện ở Bảng 1. Sau khi người sử dụng chọn một trong hai loại kết cấu trên, các thông số vật liệu được thể hiện ở bảng dữ liệu bên dưới. Thông số màu sắc sẽ được lựa chọn ngẫu nhiên trong khi đó chiều dày của các lớp vật liệu được lấy theo ví dụ mẫu trong tiêu chuẩn. Người sử dụng có thể sửa chữa lại các thông số của các lớp vật liệu, các thông số sẽ được phần mềm cập nhật và xây dựng mô hình hình học kết cấu áo đường hiển thị trên khung giao diện đồ họa bên phải của phần mềm.

Bảng 1: Các thông số vật liệu

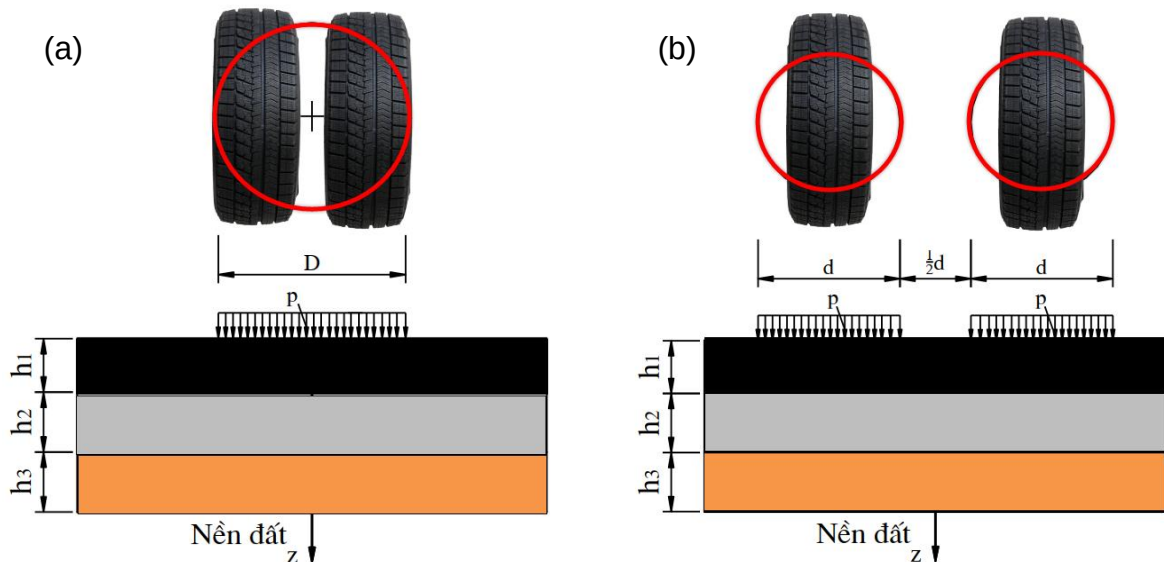
TT	Ký hiệu	Tên lớp/Mô tả	Mô đun đàn hồi E (MPa)	Hệ số Poisson μ
1	BTNP16	Bê tông nhựa polymer Dmax 16mm TCVN13567-2	2500	0.35
2	BTNC16	Bê tông nhựa chặt Dmax 16mm TCVN13567-1	2200	0.35
3	BTNC19	Bê tông nhựa chặt Dmax 19mm TCVN13567-1	2000	0.35
4	ATB25	Hỗn hợp cấp phối đá chặt gia cố nhựa nóng Dmax 25mm TCCS26	1800	0.35
5	CTB	Cấp phối đá dăm gia cố xi măng Dmax 25mm TCVN8858	4800	0.25
6	CPDD1	Cấp phối đá dăm loại 1 TCVN8859	250	0.35
7	CPDD2	Cấp phối đá dăm loại 2 TCVN8859	200	0.35
8	Nền đất	Nền đất dưới đáy áo đường	50	0.40



Hình 6: Định nghĩa thông số vật liệu kết cấu áo đường

3.5 Tải trọng tính toán

Tải trọng bánh xe kép trong TCCS38 được mô hình hóa bằng 1 vòng tròn như Hình 7.a. Tuy nhiên, vì đơn giản hóa nên mô hình tải trọng 1 vòng tròn chưa phản ánh chính xác tác dụng của tải trọng bánh xe kép lên mặt đường. Thực nghiệm đo cường độ mặt đường của rất nhiều công trình với rất nhiều loại xe bằng cần Belkenman nhận thấy vết tiếp xúc của 2 bánh xe kép rời hẳn nhau nên trong nghiên cứu này đề nghị mô hình hóa bánh xe kép bằng 2 vòng tròn tương đương như Hình 7.b. Mô hình này cũng được sử dụng trong quy trình thiết kế hiện hành của Trung Quốc, Ấn Độ, Mỹ (Texas, Alaska); Pháp, Đức,...



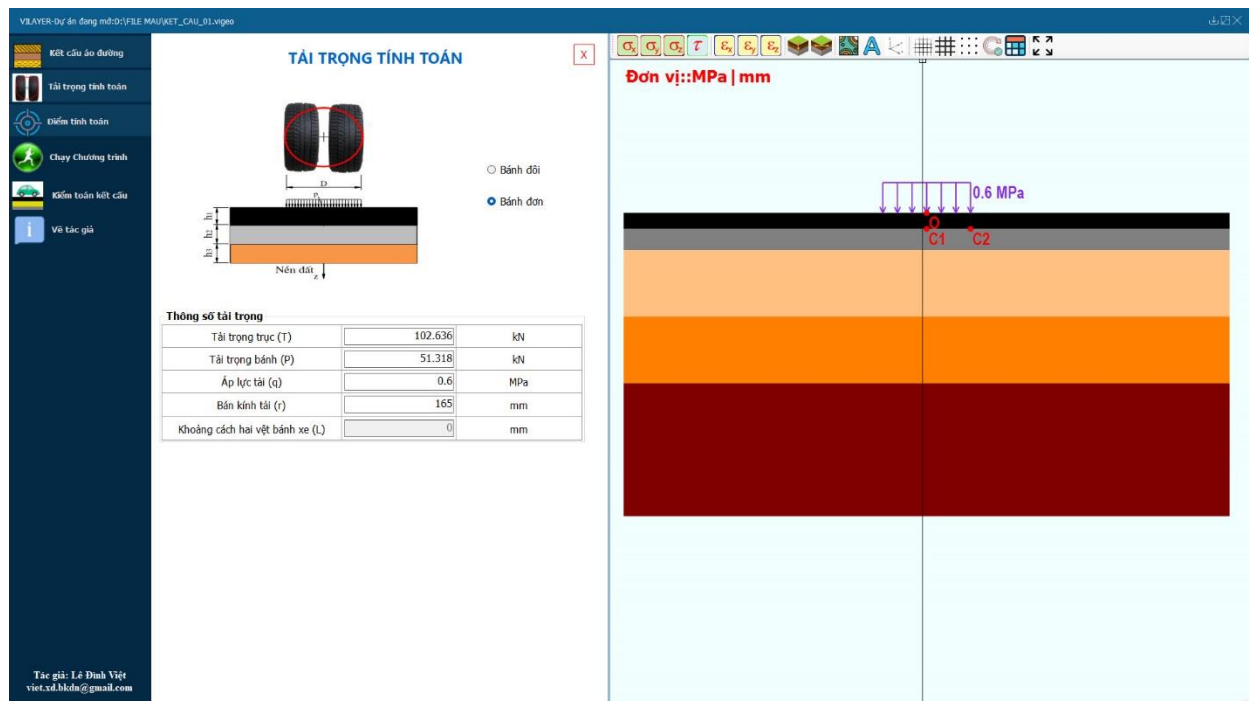
Hình 7: Mô hình tải trọng tính toán trong phần mềm VILAYER

Tùy từng nước mà có các tải trọng tiêu chuẩn khác nhau, thông thường có 2 loại tải trọng trục tiêu chuẩn là 100kN và 80kN, tương ứng với các tải trọng bánh F_v là 25kN và 20kN. Áp lực thẳng đứng của bánh xe tác dụng lên kết cấu mặt đường trên diện tích vòng tròn tương đương có bán kính r .

Quan hệ giữa tải trọng bánh F_v (kN), áp lực p_v (kPa) và bán kính r (m) như ở công thức (1):

$$r = \sqrt{\frac{F_v}{\pi p_v}} \quad (1)$$

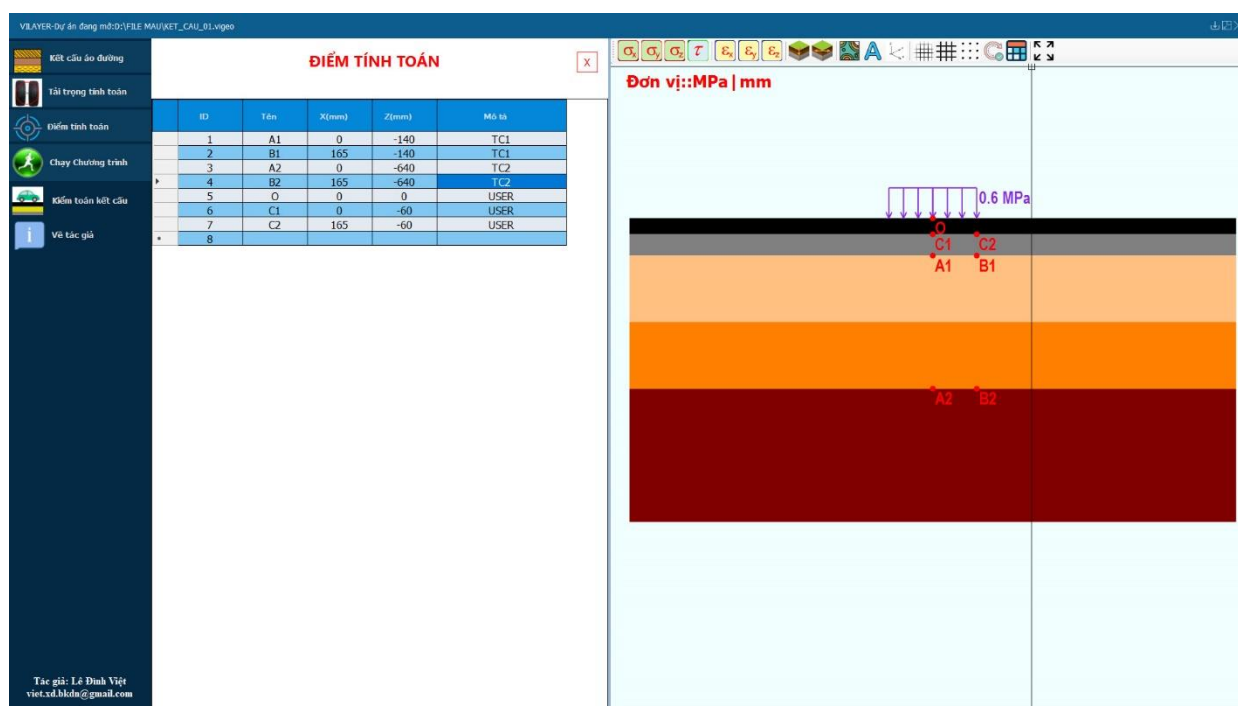
Phần mềm VILAYER cung cấp hai tùy chọn tải trọng: Bánh đôi và bánh đơn. Người sử dụng cần chọn một trong hai loại và nhập các thông số bao gồm Tải trọng trục, tải trọng bánh, áp lực tải, bán kính tải và khoảng cách giữa hai vết bánh xe. Sau khi các chương trình được nhập, vị trí và diện tích tải trọng sẽ được cập nhật trên giao diện đồ họa kết cấu áo đường.



Hình 8: Giao diện khai báo tải trọng tính toán trên phần mềm VILAYER

3.6 Khai báo điểm tính toán

Khi người sử dụng chọn chức năng Điểm tính toán, một bảng dữ liệu khai báo tọa độ điểm tính toán sẽ được hiển thị. Các điểm tính toán dưới đáy của lớp bê tông nhựa và trên đỉnh của đất nền đường sẽ được phần mềm tự động xác định và điền vào bảng dữ liệu. Ở cột ghi chú phần mềm sẽ ghi TC1 tương ứng với các điểm tính toán theo điều kiện Tiêu chuẩn mồi và TC2 tương ứng với các điểm tính toán theo điều kiện Tiêu chuẩn vết hằn bánh xe theo phương pháp của Viện Bê tông nhựa Hoa Kỳ (AI). Ngoài ra, người sử dụng có thể định nghĩa thêm các điểm tính toán bằng cách nhập các trường dữ liệu yêu cầu và tọa độ của điểm cần tính toán. Các điểm với tên ký hiệu sẽ cập nhật đồng thời trên phần giao diện đồ họa kết cấu áo đường của phần mềm VILAYER.

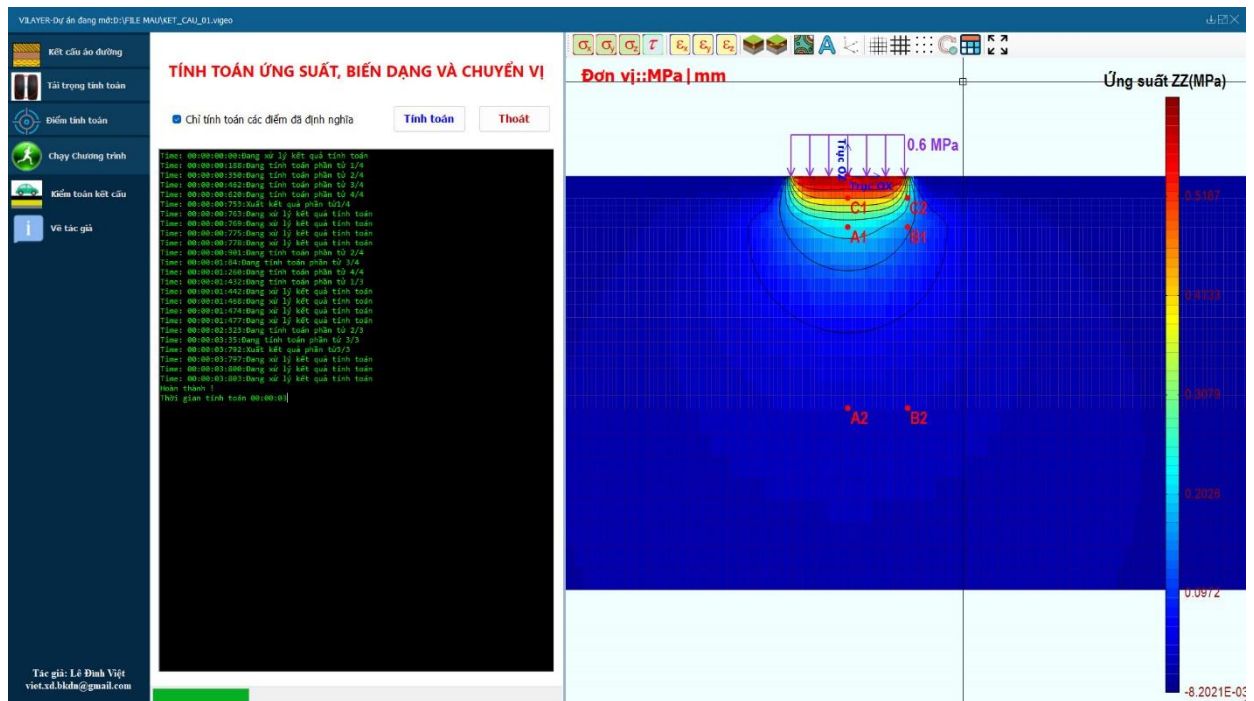


Hình 9: Giao diện nhập liệu tọa độ điểm tính toán

3.7 Chạy chương trình và xem kết quả tính toán

Sau khi người sử dụng hoàn tất các bước nhập liệu, nút Chạy chương trình sẽ hiển thị khung hình quá trình tính toán. Người sử dụng chọn nút **Tính toán** để thực thi quá trình tính toán, thông tin và thời gian tính toán sẽ được hiển thị trong bảng sự kiện màu đen. Nếu người sử dụng không muốn hiển thị biểu đồ màu sắc ứng suất, biến dạng và chuyển vị trong các lớp vật liệu áo đường trên khung đồ họa của phần mềm thì có thể tick chọn **Chỉ tính toán các điểm đã được định**

ngõ trên giao diện tab **Chạy chương trình**.



Hình 10: Giao diện chạy chương trình

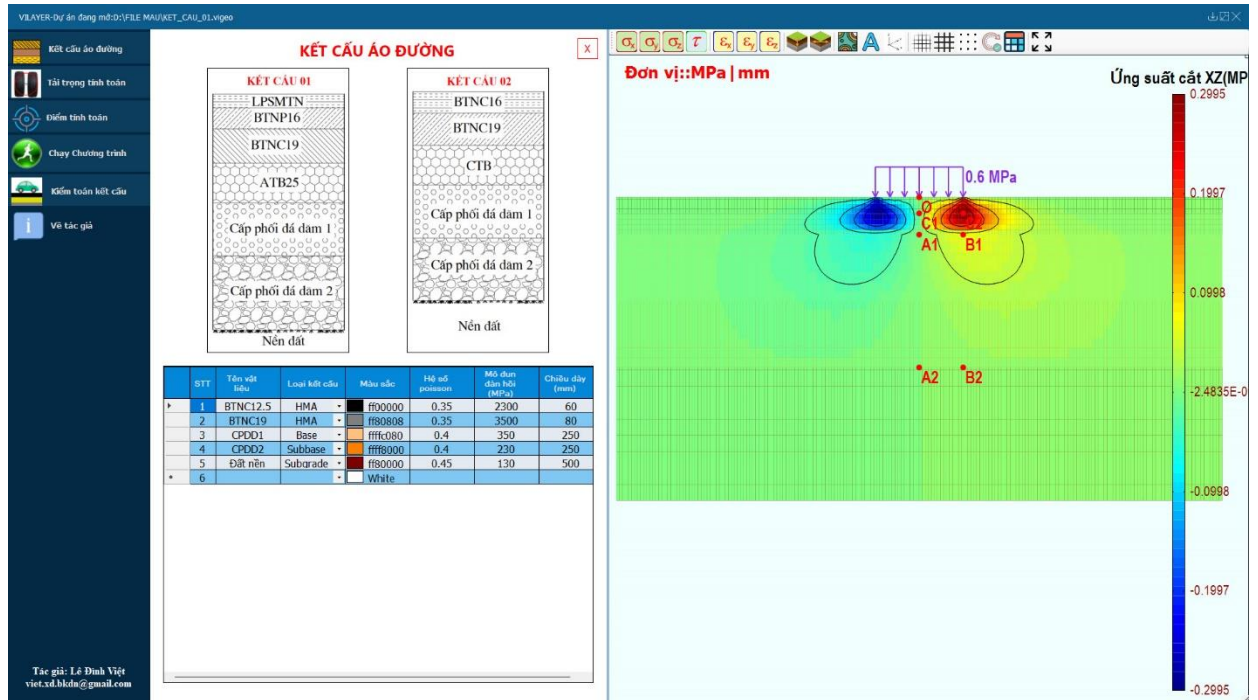
Sau khi quá trình tính toán kết thúc, chương trình sẽ tự động hiển thị mặc định biểu đồ ứng suất theo phương X ở khung giao diện đồ họa. Để sử dụng các nút chức năng xem kết quả, người sử dụng có thể lựa chọn nút chức năng thích hợp theo nội dung mô tả tương ứng trong Bảng 2.



Hình 11: Các tùy chọn xem kết quả tính toán biểu đồ ứng suất, biến dạng, chuyển vị trên giao diện đồ họa của phần mềm VILAYER

Bảng 2: Mô tả menu xem kết quả tính toán

TT	Ký hiệu	Mô tả
1		Xem biểu đồ ứng suất tính toán theo phương X
2		Xem biểu đồ ứng suất tính toán theo phương Y
3		Xem biểu đồ ứng suất tính toán theo phương Z
4		Xem biểu đồ ứng suất cắt trên mặt phẳng OXZ
5		Xem biểu đồ biến dạng tính toán theo phương X
6		Xem biểu đồ biến dạng tính toán theo phương Y
7		Xem biểu đồ biến dạng tính toán theo phương Z
8		Xem biểu đồ chuyển vị đứng tính toán theo phương Z
9		Xem biểu đồ chuyển vị ngang tính toán theo phương Z
10		Bật hoặc Tắt chế độ biểu đồ các kết quả tính toán
11		Bật hoặc Tắt chế độ hiển thị điểm giá trị lớn nhất và nhỏ nhất
12		Bật hoặc Tắt hiển thị trục tọa độ
13		Bật hoặc Tắt chế độ hiển thị lưới đơn vị
14		Bật hoặc Tắt lưới đơn vị dạng đường kẻ liền
15		Bật hoặc Tắt lưới đơn vị dạng điểm chấm
16		Cập nhật thủ công các thay đổi trên giao diện đồ họa
17		Hiển thị kết quả tính toán ứng suất, biến dạng và chuyển vị các điểm tính toán dưới dạng bảng biểu
18		Phóng to chế độ đồ họa xem toàn màn hình đối với mô hình kết cấu áo đường đang hiển thị



Hình 12: Biểu đồ thể hiện ứng suất cắt trên mặt phẳng OXZ trong các lớp kết cấu áo đường

3.8 Kiểm toán kết cấu áo đường

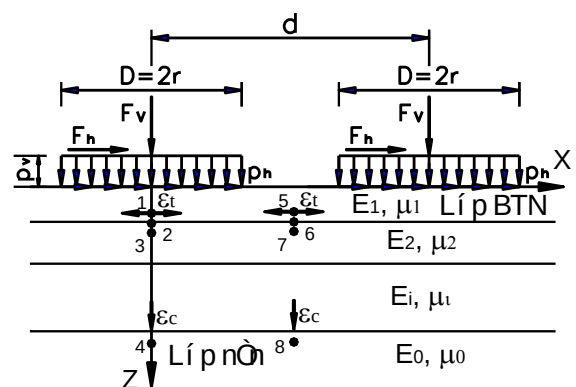
Như đã đề cập, phương pháp AI sử dụng 2 tiêu chuẩn: Tiêu chuẩn mỏi và Tiêu chuẩn lún vệt bánh để tính toán tuổi thọ kết cấu.

1. *Tiêu chuẩn mỏi*: Theo phương trình (2).
2. *Tiêu chuẩn lún vệt bánh*: Theo phương trình (3).

$$N_f = f_1(\varepsilon_t)^{-f_2}(E_1)^{-f_3} \quad (2)$$

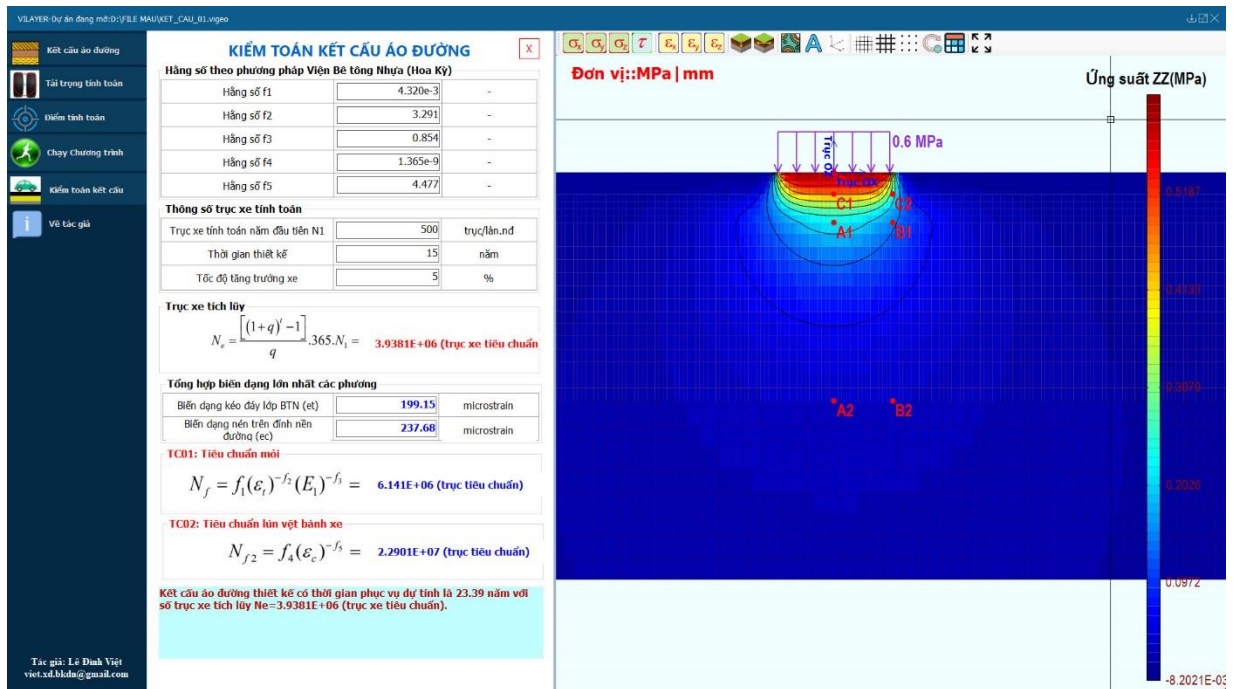
$$N_{f2} = f_4(\varepsilon_c)^{-f_5} \quad (3)$$

Các hệ số hồi quy sử dụng theo nghiên cứu của Viện Asphalt – Mỹ hệ SI (AI): $f_1=4.320 \times 10^{-3}$; $f_2=3.291$; $f_3=0.854$; $f_4=1.365 \times 10^{-9}$ và $f_5=4.477$



Hình 13: Mô hình tính toán phá hoại kết cấu

Chức năng kiểm toán kết cấu áo đường sẽ hiển thị một biểu mẫu tóm tắt nội dung diễn giải theo phương pháp AI. Chi tiết một ví dụ tính toán được thể hiện ở Hình 14.



Hình 14: Giao diện chức năng kiểm toán kết cấu áo đường

Người sử dụng cần phải nhập vào các tham số trực xe tính toán năm tính toán đầu tiên, thời gian thiết kế và tốc độ tăng trưởng xe. Phần mềm sẽ tự động tính toán trực xe tích lũy theo tiêu chuẩn. Các tham số biến dạng kéo dãn bê tông nhựa và biến dạng nén đỉnh nền đường được chương trình trích xuất tự động từ kết quả tính toán đã thực thi trước đó. Kết quả tính toán theo hai tiêu chuẩn mới và tiêu chuẩn lún vệt bánh xe sẽ được thể hiện rõ ràng. Ngoài ra, chương trình sẽ đưa ra thời gian dự tính của kết cấu theo số trực xe tích lũy đã được tính toán từ các tham số thiết kế người dùng nhập.

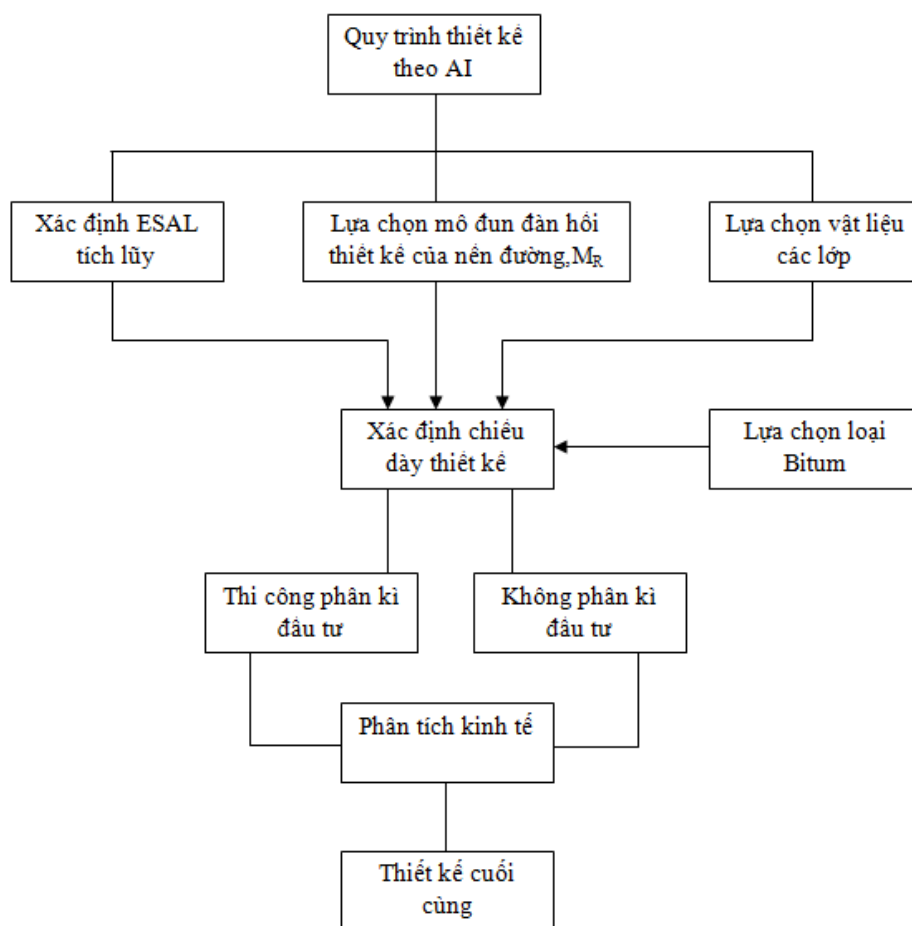
4 Trình tự các bước phân tích, tính toán kết cấu mặt đường mềm theo AI

Phương pháp này dựa trên mô hình bán không gian vô hạn đàn hồi nhiều lớp. Có 2 trạng thái giới hạn tính toán đó là lún vệt bánh tổng cộng của toàn kết cấu và mỗi trong các lớp Asphalt (BTN) [2]:

(1). Tiêu chuẩn mỏi: Tác dụng động và trùng phục của tải trọng bánh xe lên mặt đường còn làm phát sinh hiện tượng mỏi và hiện tượng tích lũy biến dạng dư. Hiện tượng mỏi thể hiện ở việc các chỉ tiêu cường độ của vật liệu như cường độ chống cắt, cường độ chịu kéo uốn của chúng giảm đi khi qua một số lần chịu tác dụng nhất định của tải trọng. Tuổi thọ mỏi của lớp BTN được tính bằng số lần tác dụng của tải trọng N_f (lần) với biến dạng kéo theo phương ngang lớn nhất ở đáy lớp BTN và mô đun đàn hồi của BTN E1 (MPa).

(2). Tiêu chuẩn lún vệt bánh: Lún vệt bánh chính là tổng tích lũy các biến dạng không hồi phục được của các lớp kết cấu. Độ sâu của vệt lún phụ thuộc vào trị số ứng suất lặp lại, số lần tác dụng của tải trọng và độ cứng của các lớp kết cấu. Biến dạng tích lũy dần có thể dẫn đến các trạng thái khác nhau của vật liệu, hoặc trạng thái phá hoại, hoặc trạng thái biến cứng phụ thuộc vào điều kiện chịu tải trọng của vật liệu.

Trình tự các bước phân tích, tính toán kết cấu mặt đường mềm theo AI như sau:



Hình 13: Trình tự thiết kế kết cấu mặt đường mềm theo phương pháp AI

- Bước 1: Thiết kế cấu tạo kết cấu áo đường. Xác định các thông số đầu vào vật liệu, kết cấu và tải trọng;

- Bước 2: Mô hình hóa kết cấu bằng phần mềm, xác định các điểm cần tính biến dạng. Chạy phần mềm tính toán các biến dạng;
- Bước 3: Lựa chọn hệ số trong tiêu chuẩn phân tích, tính toán tuổi thọ mỏi và tuổi thọ lún vết bánh;
- Bước 4: Xác định thời gian phục vụ;
- Bước 5: Điều chỉnh lại kết cấu, vật liệu và tính toán lại nếu kết cấu không đủ tuổi thọ phục vụ.