

Gezondheidsscore voor stalen bruggen: een modelgedreven methode richting sensorgebaseerde evaluatie

Tibo Croonenborghs

Jarne Vandezande

master IW Bouwkunde

master IW Bouwkunde

Introductie

De bestaande bruggen in Vlaanderen zijn reeds sterk verouderd en behalen vaak hun beoogde levensduur niet. Meer dan **40%** van de Vlaamse bruggen werd gebouwd tussen **1960 en 1980**, terwijl **13,5%** zelfs van voor **1960** dateert [1], [2]. De gemiddelde levensduur van deze bruggen bedraagt slechts **64 jaar**, tegenover de beoogde **100 jaar** [1]. Deze onverwachte reductie is grotendeels te wijten aan gebrekkig onderhoud en de toenemende verkeersdruk. Minstens **30%** van de bruggen verkeert daardoor in een **matige tot zeer slechte** staat [1]. Het verhoogde risico op structurele problemen vormt een niet te negeren gevaar voor de veiligheid van weggebruikers.

Preventief onderhoud wordt daarom steeds belangrijker bij het efficiënt beheer van de infrastructuur. De meest gebruikte inspectiemethode is momenteel nog steeds de **visuele inspectie** [2]. Deze methodiek is echter **subjectief, tijdsintensief** en vaak **beperkt** deze zich tot de **veilig bereikbare** structurele **brugdelen**. Om deze reden groeit de interesse in **innovatieve technieken**, die een betrouwbare en efficiënte manier vormen om de structurele toestand van bruggen in kaart te brengen.

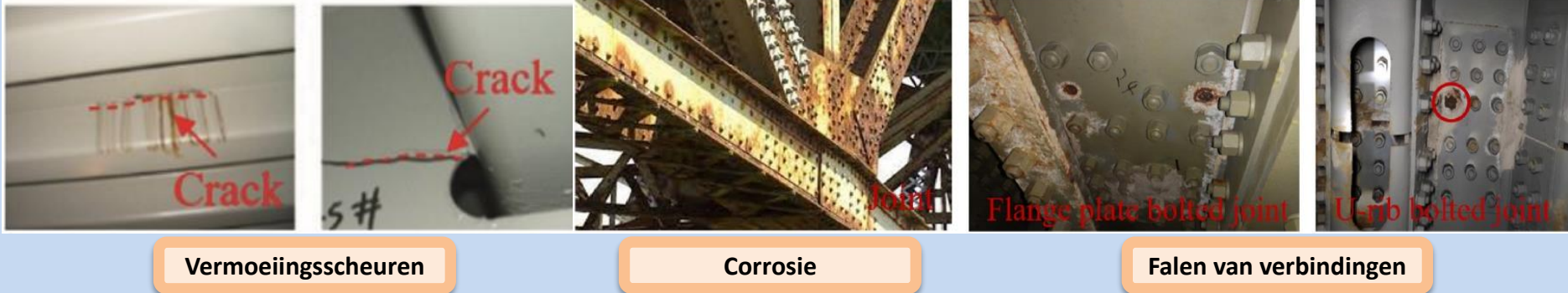
Binnen dit onderzoek wordt er een methode ontwikkeld om de **gezondheidsscore** van **stalen bruggen** te bepalen op een universele manier. Met behulp van deze methode kunnen onderhoudswerken **gericht** uitgevoerd worden en kan de **urgentie** voor onderhoud bepaald worden. In het kader van dit onderzoek wordt de methode ontwikkeld op basis van een **eindige-elementenmodel**. Dit model steunt op een **fietsbrug** beheerd door Stadsbader Contractors NV, namelijk fietsbrug F214, die deel uitmaakt van het **Diabolo-project**. Figuur 1 illustreert deze onderzoekslocatie.



Figuur 1: Overzicht onderzoekslocatie [3]

Materialen & Methode

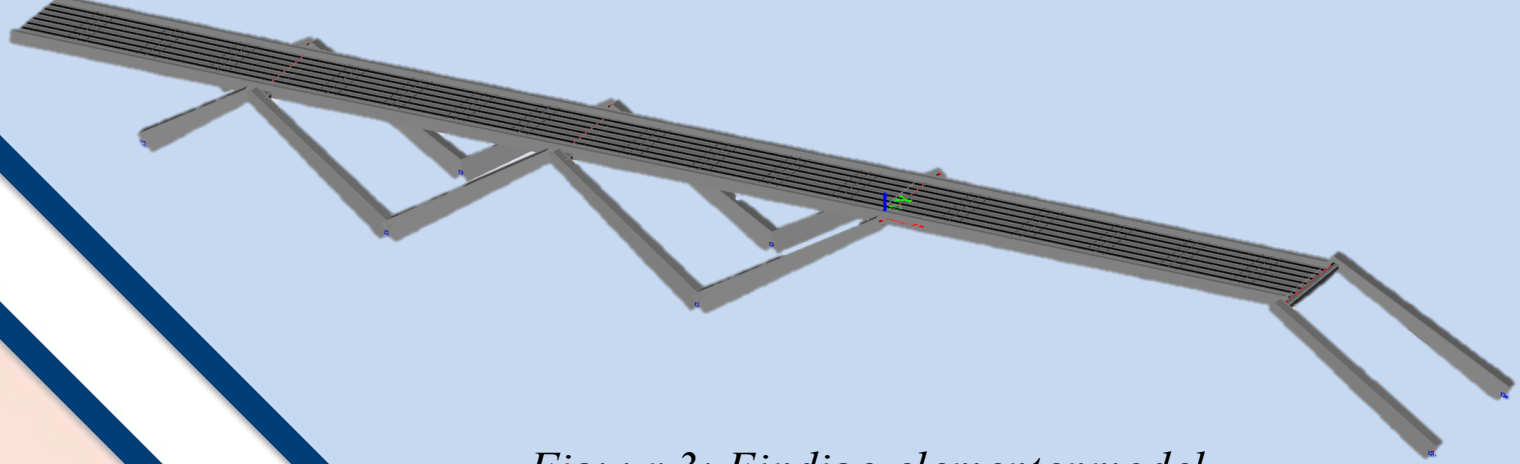
Het onderzoek naar een universeel toepasbare methode om de structurele gezondheid van stalen bruggen te bepalen, start met een uitgebreide literatuurstudie. Binnen deze studie wordt er voornamelijk aandacht besteed aan de **mogelijke schadefenomenen** die kunnen optreden bij staalconstructies, zoals **vermoeiingsscheuren**, **corrosie** en het **falen van verbindingen**. Figuur 2 geeft een overzicht van mogelijke schadefenomenen.



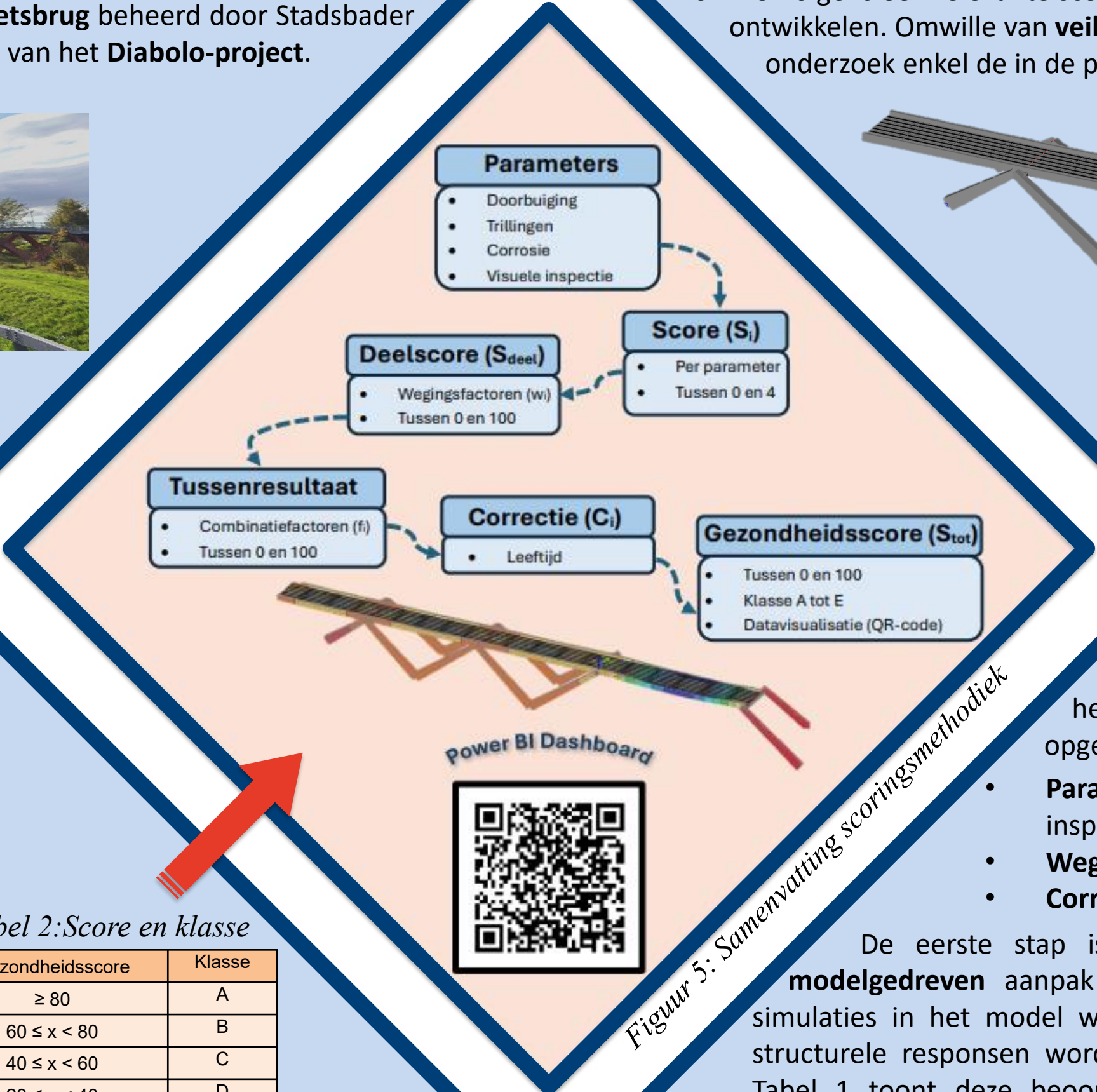
Figuur 2: Overzicht schadefenomenen staal (scheuren, corrosie en falen verbindingen) [4]

Figuur 3 toont het **eindige-elementenmodel** dat werd opgesteld om **schade** te **simuleren** en zo de meest **schadegevoelige locaties** binnen de structuur te **identificeren**. Verder biedt het nabootsen van de werkelijke structurele respons inzichten in de evolutie van schadefenomenen en hun impact op de integriteit van de brug. Op **basis** van deze simulaties kan later een gefundeerde **eerste inschatting** van een **sensorsysteem** worden gemaakt.

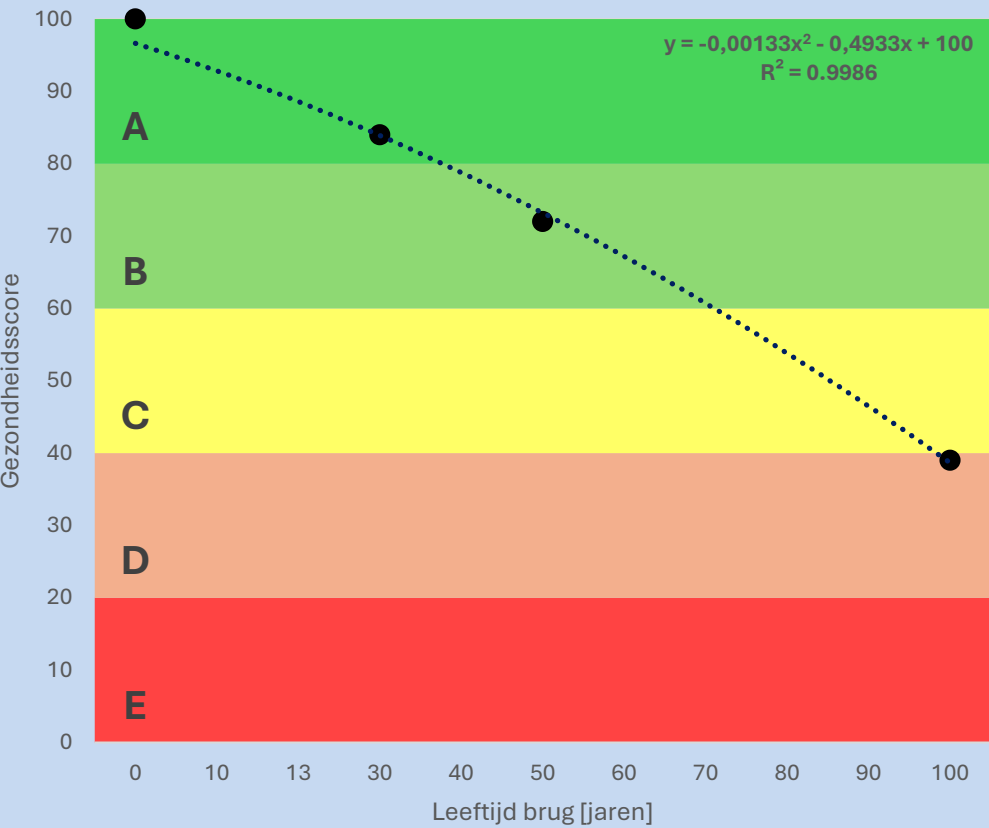
Het simuleren van schade maakt het mogelijk om voldoende **fictieve meetdata** te verzamelen om vervolgens een relevante **scoringsmethodiek** voor de structurele gezondheid te ontwikkelen. Omwille van **veiligheids-** en **financiële** overwegingen werden in dit onderzoek enkel de in de praktijk **bereikbare brugdelen** gemodelleerd.



Figuur 3: Eindige-elementenmodel



Figuur 5: Samenvatting scoringsmethodiek



Figuur 4: Samenvatting resultaten

Figuur 4 toont de **gesimuleerde evolutie** van de **gezondheidsscore** van de brug in functie van de **leeftijd** van de brug. Hierbij stelt men vast dat de gezondheidsscore over 100 jaar met **61 eenheden (61%)** afneemt. Daarnaast verloopt de **afname** in de **beginfase** van de brug **trager**, terwijl deze op **latere leeftijd sterk toeneemt**. Tabel 2 toont de finale gezondheidsklassen.

- Op basis van dit onderzoek worden volgende **conclusies** getrokken:
- De methode deelt de brug op in constructiedelen, kent scores toe per parameter en voert een leeftijdscorrectie uit. Na weging en combinatie worden de finale **gezondheidsscore** en corresponderende **klasse** bepaald. Op basis daarvan worden onderhoudsmaatregelen op een objectieve manier vastgelegd;
 - Door toepassing van deze methode op het eindige-elementenmodel blijkt dat de **gezondheidsscore** van de brug afneemt met de leeftijd, waarbij preventief onderhoud, vooral aan langs- en dwarsliggers, essentieel is voor het verlengen van de **levensduur** en het verlagen van **lange-termijnkosten**;
 - Verder onderzoek met **experimentele data** is vereist om de **betrouwbaarheid** van deze methode te verifiëren.

In de volgende fase wordt de scoringsmethodiek voor het bepalen van de gezondheid van stalen bruggen opgesteld. Deze methode steunt op de volgende variabelen:

- Parameters:** doorbuigingen, trillingen, corrosie en visuele inspecties;
- Wegings- en combinatiefactoren;**
- Correctiefactor(en).**

De eerste stap is het definiëren van de parameters. Er wordt een **modelgedreven** aanpak gehanteerd waarbij bovenstaande parameters via simulaties in het model worden bepaald. Op basis van de modelanalyse van de structurele responsen wordt er een **beoordelingsschaal** opgesteld per parameter. Tabel 1 toont deze beoordelingsschaal voor de doorbuiging in functie van de overspanning L.

Tabel 1: Beoordelingsschaal doorbuigingen

Doorbuiging (verticaal)	Score S _i	Beschrijving
≥ L/900	0	Zeër slecht: ontoelaatbare doorbuiging, onveilige situatie
L/1000 ≤ x < L/900	1	Slecht: ontoelaatbare doorbuiging, onderhoud nodig
L/1100 ≤ x < L/1000	2	Matig: toelaatbare doorbuiging, brug voldoet
L/1200 ≤ x < L/1100	3	Goed: toelaatbare doorbuiging, brug voldoet ruimschoots
< L/1200	4	Zeër goed: toelaatbare doorbuiging, brug in nieuwstaat

Voor elke parameter en elk **element** worden scores (**S_i**) bepaald tussen 0 en 4. De constructie is opgedeeld in **constructiedelen**, zodat het onderhoud gericht en efficiënt kan worden uitgevoerd. In dit onderzoek zijn dat de **pijlers, langs- en dwarsliggers**. De parameterscores worden gewogen met wegingsfactoren (**w_i**) tot een deelscore op 100 (**S_{deel}**). Vervolgens worden deze deelscores gecombineerd met combinatiefactoren (**f_i**) tot één gezondheidsscore. Zowel de wegings- als combinatiefactoren zijn afgeleid uit de modelanalyse van de schade-impact:

- Weging:** doorbuiging (**54%**), trillingen (**30%**), corrosie (**6%**) en inspectie (**10%**);
- Combinatie:** langsliggers (**60%**), dwarsliggers (**26%**) en pijlers (**14%**).

De finale gezondheidsscore, een resultaat op 100, (**S_{tot}**) verkrijgt men na toepassing van de correctiefactor (**C_{leeftijd}**) om verouderde bruggen sneller in aanmerking te doen komen voor onderhoud. Deze score wordt tenslotte gelinkt aan een **gezondheidsklasse**, waaraan de nodige **onderhoudsmaatregelen** worden gekoppeld.

Resultaten & Conclusie

Gezondheidsscore

Promotoren / Copromotoren / Begeleiders

Prof. dr. ir. Eline Vereecken
Dhr. Vincent Wauterickx
Dhr. Bernard Van Dessel

[1] R. Cockx, T. Roelens en V. Thomas, „Vlaamse overheid zoekt miljarden voor ongeziene renovatiegolf van bruggen,” De Tijd, 20 Juli 2024.
[2] L. Taerwe e.a., „Duurzaam Beheer van Infrastructuur, Niet alleen een kwestie van budgetten,” KVAB Standpunt 79, 2022.
[3] „E19, Machelen, België,” Google Maps, [Online]. Available: <https://www.google.com/maps/@50.9154126,4.4595179,17z?entry=Geopend> 4 Februari 2025].
[4] C. Chuang, Z. Qinghua, Z. Dengke, L. Wulve, W. Lemou en J. Zhenxiong, „Monitoring and detection of steel bridge diseases: A review,” Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), vol. 11, nr. 2, pp. 188-208, 2024.