

DUURZAAM BEHEER VAN INFRASTRUCTUUR

Niet alleen een kwestie van budgetten

Luc Taerwe e.a.



KVAB STANDPUNTEN

79

Koninklijke Vlaamse Academie van België
voor Wetenschappen en Kunsten - 2022

DUURZAAM BEHEER VAN INFRASTRUCTUUR

NIET ALLEEN EEN KWESTIE VAN BUDGETTEN



KVAB Press

KVAB STANDPUNTEN

79

Concept cover: Francis Strauven

Ontwerp cover: Charlotte Dua

Afbeelding: Oosterweelverbinding, project Linkeroever, Lantis (foto genomen door Flywel)
Art Auction, 24 November 2021)

De tekening van het Paleis der Academiën is een reproductie van het originele perspectief van Charles vander Straeten in 1823. Jozef Cantré ontwierp het logo van de KVAB in 1947.

De KVAB Standpunten worden gepubliceerd door de Koninklijke Vlaamse Academie van België voor Wetenschappen en Kunsten, Hertogsstraat 1, 1000 Brussel.
Tel. 00 32 2 550 23 23 – info@kvab.be – www.kvab.be

DUURZAAM BEHEER VAN INFRASTRUCTUUR

NIET ALLEEN EEN KWESTIE VAN BUDGETTEN

Luc Taerwe

**Anne Beeldens
Jean Berlamont
Frederic De Meyer
Bart De Pauw
Guido De Roeck
Pieter De Winne
Dirk Fransaer
Paul Meekels
Vincent Thibert
Didier Van de Velde
Yvan Verbakel
Ronny Verhoeven**



Duurzaam Beheer van Infrastructuur

Niet alleen een kwestie van budgetten

INHOUDSOPGAVE

Voorwoord	6
Samenvatting	7
Executive summary	10
1. Inleiding	12
2. Stand van zaken	17
3. Knelpunten	53
4. Diagnosetechnieken en smart monitoring	54
5. Concepten van duurzaam beheer	62
6. Recente evoluties	67
7. Samenvatting	82
8. Aanbevelingen	84
9. Bibliografie	87
10. Samenstelling van de werkgroep	89

Voorwoord

De reeks Standpunten van de Koninklijke Vlaamse Academie van België voor Wetenschappen en Kunsten draagt bij tot een wetenschappelijk onderbouwd debat over actuele maatschappelijke en artistieke thema's. De auteurs, leden en werkgroepen van de Academie, schrijven in eigen naam, onafhankelijk en met volledige intellectuele vrijheid. De goedkeuring voor publicatie door één of meerdere Klassen van de Academie waarborgt de kwaliteit van de tekst. Dit Standpunt werd goedgekeurd voor publicatie door de Klasse van de Technische Wetenschappen op 17 mei 2022.

Samenvatting

In de Klasse Technische Wetenschappen werd voorgesteld een Standpunt op te stellen over "Duurzaam beheer van Infrastructuur", dit naar aanleiding van onder meer: de spectaculaire instorting van de Morandibrug in Genua in 2018, problemen met tunnels in Brussel in de periode 2015-2016 en verschillende kritieke 'brokkelbruggen' die voorkomen op de lijst met "prioritaire" kunstwerken (LPK). De bruggen en viaducten in deze lijst worden onderworpen aan een strikter inspectieregime, maar staan niet op instorten zoals men in de pers soms laat uitschijnen.

Het grootste deel van de wegbruggen in Vlaanderen werd gebouwd in de periode van 1965 tot 1980 en heeft een leeftijd van ongeveer 50 jaar bereikt. De bruggen uit de jaren 1950 zijn reeds 70 jaar in gebruik. Het patrimonium van spoor- en wegbruggen dat beheerd wordt door Infrabel varieert van vrij jong tot meer dan 80 jaar oud. Het autosnelwegennet in Vlaanderen, is tot stand gekomen in de periode 1950 – 1990, met de grootste expansie in de jaren 1960 en 1970. Men wordt dus geconfronteerd met een (deels) verouderde infrastructuur die in toenemende mate allerlei schadeverschijnselen vertoont onder invloed van externe factoren (bv. corrosie van staal, aantasting van gewapend beton door indringing van chlorides, ...). Bovendien wordt de laatste decennia op de hoofdverkeersassen een duidelijke toename van de verkeersintensiteit vastgesteld, in het bijzonder door het vrachtverkeer, waardoor de toestand van de infrastructuur nog sneller achteruitgaat ten gevolge van vermoeiing. Om verdere en versnelde schade te vermijden is het belangrijk om tijdig kleine gebreken te herstellen, maar voor regulier onderhoud waren in het verleden onvoldoende budgetten beschikbaar.

De toestand van de infrastructuur in Vlaanderen wordt opgevolgd via systematische inspecties op basis waarvan een kwaliteitsclassificatie aan ieder kunstwerk wordt toegekend. Deze indeling wordt dan gebruikt om prioriteiten vast te leggen voor vervanging of herstelling.

Budgetten

In 2021 is een ambitieus plan van aanpak voor de infrastructuur in Vlaanderen (exclusief spoorwegen) voorgesteld waarbij prioriteit gegeven wordt aan de bruggen op de LPK ('zeer slechte' toestand). Hierbij werden ook een aantal PPS-projecten (Publiek-Private Samenwerking) opgestart. In het Globaal Investeringsprogramma wordt in de periode 2020-2023 in totaal 770 miljoen euro voorzien voor de vervanging en de renovatie van kunstwerken. Door dit plan van aanpak worden op korte termijn bijna alle bruggen op de LPK aangepakt en slechts 45% van de kunstwerken in 'slechte' toestand, dit inclusief de PPS-projecten. De uitdagingen naar de toekomst toe blijven dus nog groot.

Het beheer van het bestaande patrimonium als ruggengraat van het mobiliteits- en waterbeheersingssysteem, is een belangrijke prioriteit voor het beleidsdomein Mobiliteit en Openbare Werken van de Vlaamse Gemeenschap. De modernste managementtechnieken, waaronder Asset Management, worden aangewend om deze assets zo optimaal mogelijk te beheren.

Aanbevelingen

Om de huidige toestand te verbeteren kunnen een aantal belangrijke aanbevelingen meegegeven worden.

Ten eerste is een significante budgetverhoging voor het regulier preventief onderhoud van infrastructuur, in het bijzonder van bruggen, noodzakelijk teneinde verdere aantasting te vermijden en zo het risico op onverwachte instortingen te reduceren. Door het stellen van andere prioriteiten, werd door de jaren heen een enorme onderhoudsachterstand opgebouwd van de snel verouderende infrastructuur. Hierbij werden vooral de acute noden weggewerkt. Een inhaalbeweging in het onderhoud dringt zich op. Een realistisch onderhoudsbudget dient vastgelegd te worden op basis van objectieve criteria die gerelateerd zijn aan de effectieve toestand van het patrimonium. Zolang de onderhoudsachterstand niet volledig is weggewerkt, kan het basisprincipe van duurzaam beheer niet ten volle benut worden, waarbij prioritair wordt ingezet op preventief onderhoud, en curatief onderhoud nog slechts in beperkte mate voorkomt.

Ten tweede dient men bij het ontwerp gebruik te maken van nieuwe inzichten waaronder toepassing van Levenscyclus Analyse (LCA) methodieken, waarbij zowel de initiële kosten als de milieu-impact van de verschillende stadia van de levenscyclus (ontwerp, uitvoering, gebruik, afbraak en hergebruik) van een bouwwerk in rekening gebracht worden. Op die manier kan zowel het initieel ontwerp als de onderhoudsstrategie geoptimaliseerd worden. In het verleden werd meestal enkel de initiële kost voor het bouwen in rekening gebracht en werd nagenoeg geen rekening gehouden met onderhouds- en herstellingskosten.

Ten derde is het realiseren van een betere structurele samenwerking tussen de verschillende beleidsniveaus noodzakelijk. Dit omvat onder meer het volgende: het definiëren van gemeenschappelijke doelstellingen, het uitwisselen van gegevens en het afstemmen van de timing van verschillende werkzaamheden (rioleringen, wegdekken, fietspaden, ...) zodat de verkeershinder tot een minimum beperkt blijft. Binnen het Departement Mobiliteit en Openbare Werken van de Vlaamse Gemeenschap, bestaat reeds een kennisplatform maar deze vorm van kennisdeling zou ook naar andere niveaus en actoren moeten uitgebreid worden.

Ten slotte kunnen nieuwe contractvormen voor de aanbesteding en het beheer van nieuwe infrastructuurprojecten, gebaseerd op publiek-private samenwerking,

leiden tot lagere faalrisico's, minder bouwfouten en een betere globale kwaliteit. Een groot voordeel is hierbij dat het onderhoud reeds ingecalculeerd wordt bij de oplevering van nieuwe infrastructuurprojecten.

Executive summary

A proposal was put forward in the Technical Sciences Class to draw up a Position Paper on 'Sustainable Management of Infrastructure', in response to various events, including: the spectacular collapse of the Morandi Bridge in Genoa in 2018, problems with the tunnels in Brussels in the period 2015-2016, and various critical 'crumbling bridges' that appear on the list of 'priority' structures ('Lijst Prioritaire Kunstwerken' or LPK, of the Flemish Community). The bridges and viaducts on this list are subject to a stricter inspection regime but are not about to collapse, as is sometimes erroneously reported in the press.

Most of the road bridges in Flanders were built in the period from 1965 to 1980 and have reached an age of about 50 years. The bridges from the 1950s have been in use for 70 years. The heritage of railway and road bridges managed by Infrabel ranges from fairly young to over 80 years old. The motorway network in Flanders was established in the period 1950-1990, with the largest expansion in the 1960s and 1970s. Therefore, we find ourselves with a (partly) obsolete infrastructure that increasingly exhibits all kinds of symptoms of damage due to external factors (e.g. corrosion of steel, deterioration of reinforced concrete due to the penetration of chlorides, etc.). In addition, in recent decades, there has been a marked increase in the volume of traffic on the main arteries, due in particular to heavy goods vehicles, which has accelerated the deterioration of infrastructure as a result of fatigue. In order to avoid further and accelerated damage, it is important to repair minor defects in good time, but in the past there were insufficient funds available for regular maintenance.

The state of the infrastructure in Flanders is monitored by means of systematic inspections on the basis of which a quality classification is assigned to each structure. This classification is then used to set priorities for replacement or repair.

Budgets

In 2021, an ambitious action plan for infrastructure in Flanders (excluding railways) was proposed, giving priority to the bridges on the LPK ('very poor' condition). A number of PPP (Public-Private Partnership) projects were also launched. The Global Investment Programme foresees a total of EUR 770 million for the replacement and renovation of structures in the period 2020-2023. As a result of this action plan, almost all bridges on the LPK will be tackled in the short term and only 45% of the structures in 'bad' condition, including the PPP projects. So the challenges for the future remain great.

The management of the existing heritage as the backbone of the mobility and water management system is an important priority for the Mobility and Public Works policy area of the Flemish Community. The most modern management

techniques, including asset management, are used to manage these assets as effectively as possible.

Recommendations

A number of important recommendations can be made to improve the current situation.

Firstly, a significant budget increase is necessary for the regular preventive maintenance of infrastructure, in particular bridges, in order to avoid further deterioration and so reduce the risk of unexpected collapses. By setting other priorities, a huge backlog in the maintenance of the rapidly ageing infrastructure has been built up over the years., and only the most acute needs could be eliminated. Hence, there is an urgent need to tackle the maintenance backlog. A realistic maintenance budget should be established on the basis of objective criteria related to the actual condition of the heritage. As long as the maintenance backlog has not been completely eliminated, the basic principle of sustainable management cannot be fully exploited, with priority being given to preventive maintenance, and curative maintenance still occurring only to a limited extent.

Secondly, when drawing up the action plan it is essential to make use of new insights, including the application of Life Cycle Analysis (LCA) methodologies, which take into account both the initial costs and the environmental impact of the various stages of the life cycle (design, execution, use, dismantling and reuse) of infrastructure projects. In this way, both the initial plan and the maintenance strategy can be optimised. In the past, only the initial cost of construction was considered and almost no maintenance and repair costs were taken into account.

Thirdly, there is a need for better structural cooperation between the various policy levels. This includes, among other things, defining common objectives, exchanging data and coordinating the timing of various activities (sewers, road surfaces, cycle paths, etc.) so that traffic disruption is kept to a minimum. A knowledge platform already exists within the Department of Mobility and Public Works of the Flemish Community, but this form of knowledge sharing should also be extended to other levels and actors.

Finally, new contract forms for the procurement and management of new infrastructure projects, based on public-private partnerships, can lead to lower risks of failure, fewer construction errors and better overall quality. A major advantage here is that the maintenance is already included in the delivery of new infrastructure projects.

1. Inleiding

1.1 Scope

Infrastructuur is een ruim begrip en daarom was het noodzakelijk om de scope van dit Standpunt te beperken tot de volgende kunstwerken:

- bruggen en viaducten voor wegen, voor spoorwegen en over waterwegen
- tunnels
- wegen

Sluizen, waterwegen en waterbouwkundige constructies komen in dit Standpunt niet aan bod. Evenmin wordt ingegaan op de mechanische uitrusting van de hiervoor opgesomde kunstwerken.

Enkel bruggen, tunnels en wegen onder beheer van de gewesten worden beschouwd. Kunstwerken onder beheer van lokale besturen worden buiten beschouwing gelaten.

Dit standpunt behandelt enkel de kunstwerken in het Vlaamse Gewest en het Brusselse Hoofdstedelijke Gewest, net als deze van Infrabel.

De gegevens die opgenomen zijn in dit Standpunt werden bezorgd door de leden van de werkgroep die nauw betrokken zijn bij de verschillende bevoegde instanties. De synthese en de analyse van deze gegevens werden gezamenlijk uitgevoerd door alle leden van de werkgroep.

1.2 Duurzaamheid

In het Engels maakt men een onderscheid tussen *durability* en *sustainability*, maar in het Nederlands hebben we voor beide begrippen maar één woord: duurzaamheid. *Durability* is de eigenschap van een product of een constructie om functioneel te blijven, onder normale gebruiksomstandigheden, gedurende de ontwerplevensduur, en dit zonder overdreven onderhoud of herstelling. Wat bouwkundige constructies betreft, is duurzaamheid in deze betekenis meestal gerelateerd aan allerlei beschadigingsprocessen. Het kan gaan over corrosie of vermoeiing van staal, aantasting van wapeningsstaal geïnitieerd door carbonatatie of door indringing van chlorides, of degradatie van beton ten gevolge van expansieve reacties in een al dan niet agressieve omgeving.

In dit standpunt wordt 'duurzaam' hoofdzakelijk gebruikt in de betekenis van 'sustainable', waarbij tijdens het ontwerp verschillende aspecten beschouwd worden van de volledige levenscyclus van systemen en processen in het algemeen en infrastructuur in het bijzonder. Het onderliggende principe voor duurzaamheid is duurzame ontwikkeling, die drie met elkaar verbonden domeinen omvat, namelijk

milieu (ecologie), kostprijs (economie) en samenleving (sociale aspecten). Een algemeen erkende definitie van duurzame ontwikkeling is afkomstig van het Brundtlandrapport: "Duurzame ontwikkeling is een ontwikkeling waarbij de huidige wereldbevolking in haar behoeften voorziet zonder de komende generaties te beperken bij het voorzien in hun behoeften."

In 2015 werden de 'Duurzame Ontwikkelingsdoelstellingen' (*Strategic Development Goals* of SDG's) door de Verenigde Naties vastgelegd als de nieuwe mondiale duurzame ontwikkelingsagenda voor 2030. De verwezenlijking van deze doelstellingen vereist een grootschalige transformatie, waaronder belangrijke veranderingen op het vlak van energiesystemen, industriële processen, verwarming en koeling, transportsystemen, infrastructuur, grondgebruik en consumentengedrag². Infrastructuur wordt expliciet vermeld in Doelstelling 9 als "Bouw veerkrachtige infrastructuur, bevorder inclusieve en duurzame industrialisering en stimuleer innovatie". In een overzicht³ dat gezamenlijk opgesteld werd door onderzoekers van Oxford University, de Verenigde Naties en de Wereldbank wordt gesteld dat duurzame infrastructuur rechtstreeks of onrechtstreeks een invloed heeft op alle 17 SDG's. Investerings in duurzame infrastructuur hebben dus een brede impact op de samenleving.

1.3 Context

Onder meer de volgende feiten gaven aanleiding tot het opstellen van dit Standpunt:

- de spectaculaire instorting van de Morandibrug in Genua in 2018 (zie verder lid 1.4)
- problemen met verschillende tunnels in Brussel in 2015-2016³ (zie verder lid 2.4)
- de Lijst met Prioritaire Kunstwerken (LPK) die regelmatig in de pers opduikt en waarbij ook gesproken wordt over 'brokkelbruggen'. De kunstwerken in deze lijst worden onderworpen aan een strikter inspectieregime, maar staan niet op instorten zoals men soms in de pers laat uitschijnen. Op deze lijst staat ook het viaduct van de E17 in Gentbrugge, dat regelmatig in het nieuws komt.

Op 4 maart 2020 organiseerde de werkgroep een workshop met als onderwerp '*Management of Infrastructure: an international perspective*', waarbij het beheer van infrastructuur in Nederland, Frankrijk en Italië aan bod kwam.

¹ 'Trans-European Road Network, TEN-T (Roads): 2019 Performance Report', 2019.

² 'Een learning history: Wat leert het eerste circulaire viaduct ons?' (Rijkswaterstaat, november 2019), <https://www.uu.nl/sites/default/files/Lie%20Chahboun%20-%20Circulaire%20viaduct.pdf>.

³ G. De Schutter, 'Van tunnelvisie naar visie op tunnels', 2021.

1.4 De Morandibrug

In het kader van dit Standpunt is het nuttig om nu reeds de context van de instorting van de Morandibrug kort te schetsen, omdat verschillende aspecten die verband houden met de instorting ervan ook verderop in dit Standpunt aan bod komen.

De Morandibrug in Genua, ook Polceveraviaduct genoemd naar de rivier die onder de brug loopt, stortte voor een groot deel plots in op 14 augustus 2018, waarbij 43 doden te betreuren vielen. Tijdens een noodweer met zware regenval en hevige windstoten viel plots het wegdek over een lengte van 243 meter naar beneden, samen met de meest westelijke pijler. Deze spectaculaire instorting kreeg wereldwijd veel media-aandacht en bracht in de meeste landen de discussie omtrent de veiligheid van oudere bruggen opnieuw op gang.

Het viaduct in voorgespannen beton werd ontworpen door Riccardo Morandi, een pionier in de toepassing van voorgespannen beton, en dit volgens een origineel structureel concept. De brug werd gebouwd tussen 1963 en 1967, in een periode waarin in Italië, maar ook in andere Europese landen, aan een hoog tempo bruggen en tunnels gebouwd werden en technieken toegepast werden waar men amper ervaring mee had. Het viaduct, met een totale lengte van 1182 m, telde drie hoofdovertoppingen met lengtes van 143 m, 208 m en 203 m. Het centrale deel van het brugdek werd gedragen door de drie A-vormige pijlers en door vier tuien per pijler (Fig. 1). De stalen tuikabels waren omhuld door voorgespannen beton als bescherming tegen corrosie. Achteraf werd vastgesteld dat de injectie van de kabelkokers gebrekkig was uitgevoerd, hetgeen aanleiding gaf tot corrosie van de stalen kabels in de loop der jaren. De brug bevond zich aan de Middellandse Zee en in de nabijheid van een industriegebied, dus in een vrij agressieve omgeving. Ze werd beheerd door Atlantia, de grootste particuliere wegbeheerder van Europa.

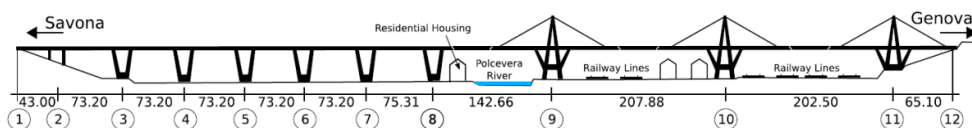


Fig. 1 – Schematisch zijaanzicht van de Morandibrug (lengtes in m)⁴

Reeds in de jaren 1970 werden restauratiewerken uitgevoerd die gerelateerd waren aan een initiële onderschatting van de effecten van de kruip van het beton. In de jaren 1990 werden de sterk gecorrodeerde tuien van één van de pijlers (nr.

⁴ Gian Michele Calvi e.a., 'Once upon a Time in Italy: The Tale of the Morandi Bridge', *Structural Engineering International* 29, nr. 2 (3 april 2019): 198–217, <https://doi.org/10.1080/10168664.2018.1558033>.

11 in Fig. 1) uitwendig versterkt met externe staakabels. Deze versterking is zichtbaar in Fig. 2 (verste pijler). Van een andere pijler (nr. 10 in Fig. 1) werden de tuikabels bovenaan versterkt. In de loop der jaren werd vanuit verschillende hoeken gewezen op de kritieke toestand van de brug. In een rapport van de Universiteit van Genua uit 2017 werd op basis van trillingsmetingen gewezen op de kritieke toestand van de derde, meest westelijk gelegen pijler, nr. 9. In mei 2018 werd eindelijk een aanbesteding aangekondigd voor de versterking van de brug voor een totaalbedrag van meer dan 20 miljoen euro. Veertien dagen voor de instorting van pijler 9, samen met het brugdek aan weerszijden ervan, werd een scheur in het brugdek vastgesteld in de nabijheid van de verankering van één van de vier tuien van deze pijler. Hieraan werden geen maatregelen gekoppeld, en er werd bijvoorbeeld niet voorgesteld om de belasting op de brug te reduceren. In de dagen voor de instorting werden zelfs nog New Jersey-stootbanden op het brugdek geplaatst.



Fig. 2 – Overblijvend deel van de Morandibrug na de instorting van het centrale deel

Een realistisch bezwijkscenario gaat uit van het initiële falen van de zuidwestelijke tuikabel van pijler nr. 9 (Fig. 3). Aangezien de zuidoostelijke en de zuidwestelijke kabel één geheel vormen dat over het zadel van de pijler loopt, impliceert het falen van de ene kabel het verlies aan draagvermogen van de andere. Aldus ontstond een asymmetrische toestand die resulteerde in het bezwijken van de pijler, de twee noordelijke tuikabels en het brugdek. Alhoewel origineel van opvatting is het draagsysteem niet robuust tegen het falen van één element, waarbij een kettingreactie het progressieve falen van de volledige constructie tot gevolg heeft. Heden ten dage wordt een dergelijk falen geassocieerd met een gebrek aan robuustheid. Onder robuustheid verstaat men de eigenschap dat er bij het falen

van één component een tweede alternatieve wijze mogelijk is om de krachten af te dragen naar de funderingen, een zogenaamde tweede draagweg.

In dit verband wordt opgemerkt dat de latere en huidige tuikabelbruggen een veel groter aantal stalen tuikabels bevatten, zodat falen van één of zelfs meerdere kabels niet resulteert in de volledige instorting, maar enkel in een lokale verzwakking die beperkt blijft in omvang. Hetzelfde concept, met vier tuien per pijler, werd door Morandi toegepast in de Brug over de Wadi al Kuf in Libië en de Generaal Rafael Urdanetabrug in Venezuela. Dit specifieke brugconcept werd evenwel door andere brugontwerpers nergens toegepast.

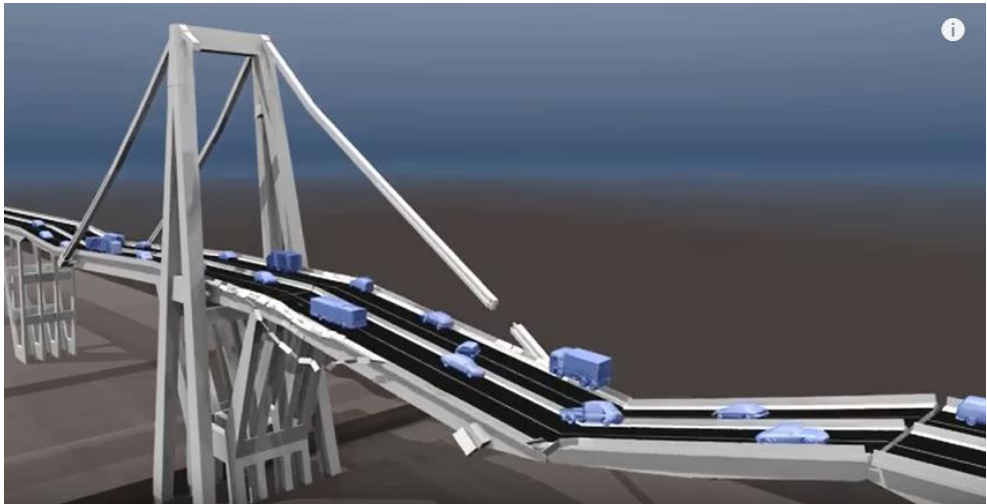


Fig. 3 – Mogelijk bezwijkmechanisme van de Morandibrug

Sommige deskundigen schreven de instorting toe aan gebrekkig onderhoud, onvoldoende inspectie en de toename van de verkeersbelasting door zowel personen- als vrachtwagens, die leidde tot versnelde vermoeiing van de stalen tuikabels. Blijkbaar was in Italië sinds de financiële crisis van 2008 het investeringsbudget voor infrastructuur drastisch gereduceerd. Naar verluidt was de instorting van de Morandibrug de zesde sinds 2013 in het land.

Op 3 augustus 2020 werd op dezelfde locatie als de ingestorte brug een nieuwe brug in gebruik genomen, de Ponte San Giorgio, ditmaal genoemd naar een van de patroonheiligen van Genua.

2. Stand van zaken

2.1 Overzicht van de toestand van wegbruggen in Vlaanderen

2.1.1 Overzicht van het patrimonium

Het departement Mobiliteit en Openbare Werken (MOW) van de Vlaamse overheid heeft bijna 3000 bruggen, elk met een totale lengte groter dan of gelijk aan 5 meter, en tunnels in beheer. Samen met de aanleg van het autosnelwegennetwerk en de uitbreiding van het waterwegennet werden in de periode 1950-1990 vele kunstwerken gebouwd (Fig. 4). Uit Fig. 5 blijkt dat beton het meest gebruikte constructiemateriaal is.

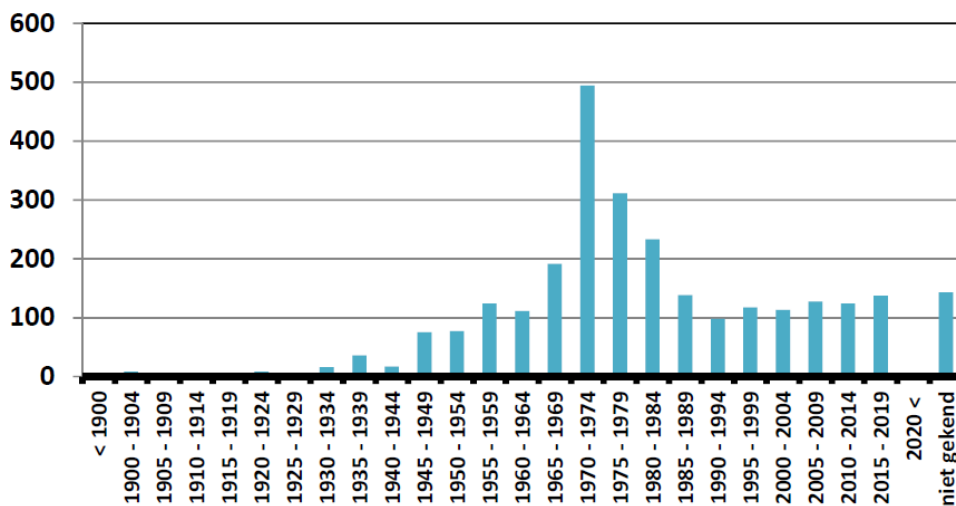


Fig. 4 – Bouwjaar van de bruggen en tunnels in Vlaanderen

De kunstwerken uit de jaren 1950 hebben intussen een leeftijd bereikt van ongeveer 70 jaar. De grote golf van bruggen werd echter gebouwd in de periode van 1965 tot de jaren 1980. Ook deze groep van bruggen begint stilaan de leeftijd van 70 jaar te naderen.

2.1.2 Methodologie van beheer en inspecties

Het beheer van bovenvermelde kunstwerken bij de diverse entiteiten van MOW wordt centraal geregeld en aangestuurd. Dit centrale beheer gebeurt volgens de richtlijnen opgenomen in het dienstorder LI93/50, 'Richtlijnen voor het beheer van de kunstwerken', van 1 juli 1993. De grote principes van dit dienstorder worden nog steeds gevolgd. Door de jaren heen zijn er weliswaar optimalisaties gebeurd om de efficiëntie te verhogen en meer uit te besteden. Ook werd er een overschakeling

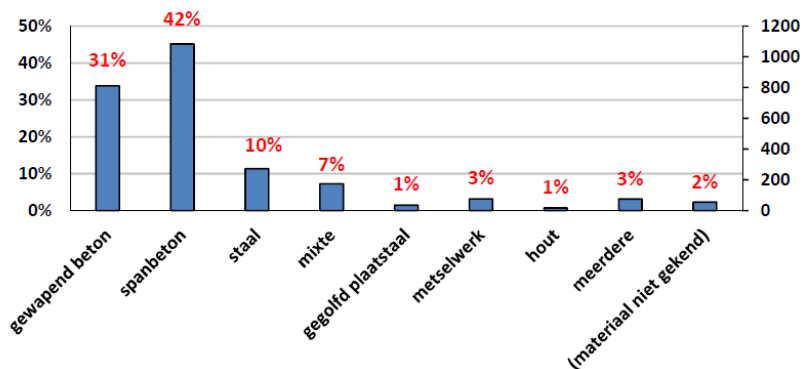


Fig. 5 – Verdeling van bruggen en tunnels in Vlaanderen volgens constructiemateriaal

gemaakt naar meer digitalisering, met een nieuwe beheertoepassing waarin de inspecties digitaal uitgevoerd en verwerkt worden. Omwille van deze redenen worden de richtlijnen voor dit beheer momenteel geactualiseerd.

Door het centraliseren van de aansturing van het beheer wil MOW een uniform en beter gestructureerd beheer organiseren. Bovendien wordt op deze manier kennisuitwisseling georganiseerd tussen de verschillende entiteiten betrokken bij dat beheer. De aansturing en de opvolging van het beheer gebeuren door de CBK (Commissie voor het Beheer van de Kunstwerken), geleid door het departement Mobiliteit en Openbare Werken en met daarin vertegenwoordigers van alle beherende entiteiten.

We onderscheiden de volgende inspecties en metingen:

A-inspecties

Dit zijn de algemene inspecties. Elk kunstwerk krijgt om de 3, 4 of 5 jaar, afhankelijk van de toestand en eventuele bijzondere risico's, een visuele inspectie die gaat over het geheel van het kunstwerk.

De bijzondere risico's kunnen onder meer te wijten zijn aan kritieke onderdelen van het kunstwerk. In ontwerpen van nieuwe kunstwerken worden deze kritieke onderdelen indien mogelijk vermeden. Als kritieke onderdelen worden de volgende zaken beschouwd: cantilever(tand)opleggingen, negatieve reacties/ankers, uitwendige spankabels, spankabels die eindigen in de brugdekplaat en pijlers of landhoofden in het water die onderhevig kunnen zijn aan uitspoeling. Bijzondere risico's kunnen ook het gevolg zijn van het type van brug, zoals bij hangbruggen en beweegbare bruggen of sommige tuibruggen en bowstringbruggen. Daarnaast

vormen bruggen in gemengd beheer, waarbij meerdere beheerders instaan voor de brugstructuur) een bijzonder risico. Om dit risico te verminderen werd begin 2021 het gemengde beheer waarbij enkel verschillende entiteiten van MOW betrokken waren afgeschaft en toegewezen aan één beheerder.

Frequentie A-inspectie	
Driejaarlijks	Toestand 5, 4 en 3 (zeer slecht, slecht en matig) en toestand niet gekend Of Kunstwerk met bijzondere risico's
Vierjaarlijks	Toestand 2 (aanvaardbaar)
Vijfjaarlijks	Toestand 1 (goed)

Tabel 1 – Frequentie van A-inspecties

Het beheer vat aan bij de voorlopige oplevering, waarvoor de eerste A-inspectie wordt uitgevoerd. Bij de definitieve oplevering (meestal twee jaar later) wordt de tweede A-inspectie uitgevoerd. Hierna wordt de frequentie ingesteld zoals hierboven bepaald. Uiteraard kan er voor een specifiek geval een andere frequentie opgelegd worden.

De A-inspecties worden op het terrein uitgevoerd door een inspectieploeg die alle vaststellingen in kaart brengt. Dit wordt dan verder verwerkt met een voorstel van maatregelen die dan beoordeeld en geadviseerd worden door een ingenieur met kennis van en ervaring in het ontwerpen van kunstwerken. Op deze manier wordt de grootste expertise ingezet voor het beoordelen van de veiligheid en stabiliteit. Anderzijds leidt het bewustzijn van vastgestelde problemen ook tot het aanpassen van de voorschriften voor toekomstige ontwerpen.

Waterpassingen

Bij kunstwerken waar dit een meerwaarde biedt, worden waterpassingen uitgevoerd om eventuele zettingen en doorbuigingen vast te stellen. De frequentie van die waterpassingen is in dat geval over het algemeen dezelfde als die van de A-inspecties, maar kan ook hoger liggen.

B-inspecties

Indien nodig kunnen er bijzondere inspecties (B-inspecties) uitgevoerd worden, waarbij nader gekeken wordt naar een eerder vastgestelde problematiek. Dit kan gaan over een visuele inspectie door medewerkers (of externen) met een bijzondere expertise of het uitvoeren van een inspectie met andere middelen, zoals kernboringen, potentiaalmetingen, endoscoopmetingen...

O-inspecties

Dit zijn occasionele inspecties die uitgevoerd kunnen worden door de inspectieploeg om een bepaalde vaststelling frequenter te gaan bekijken.

Observaties

Kunstwerken die een welgekende problematiek hebben, worden naast bovenstaande inspecties nog eens specifiek opgevolgd voor deze problematiek. Voorbeelden hiervan zijn kunstwerken waar ASR⁵ optreedt, zodat de evolutie en ernst van deze ASR in kaart gebracht kunnen worden. Ook gewapende grond wordt zo opgevolgd met systematische controle van de teststrippen.

2.1.3 Toestand

Via bovenstaande systematiek van inspecties krijgen de kunstwerken een beoordeling van de huidige toestand.

Hierbij worden de volgende categorieën gehanteerd:

toestand niet gekend
toestand 1: goed (kleine gebreken / gewone herstellingen)
toestand 2: aanvaardbaar (geen belangrijke gebreken / herstellingen)
toestand 3: matig (belangrijke gebreken / structurele herstellingen of vervanging op termijn)
toestand 4: slecht (zeer belangrijke gebreken / dringende structurele herstellingen of vervanging op termijn)
toestand 5: zeer slecht (ernstige schade / opnemen op LPK (te herstellen of te vervangen) of buiten dienst stellen)

⁵ ASR: alkali-silicareactie, een reactie tussen granulaten die opgebouwd zijn uit amorf siliciumdioxide en alkali's die aanwezig zijn in het beton. Het resultaat van de reactie is een expansieve gel die het beton doet barsten.

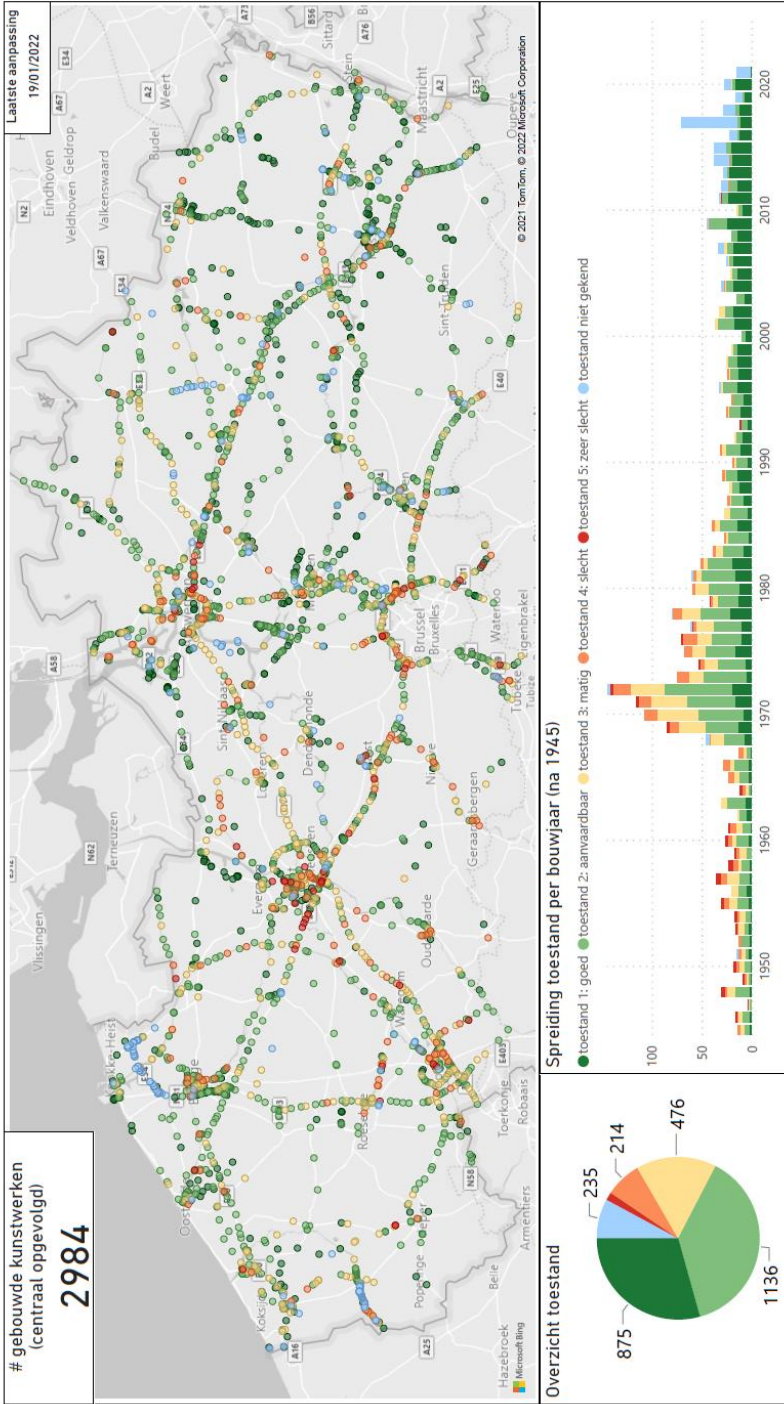


Fig. 6 – Overzicht van de toestand van de kunstwerken in Vlaanderen

In Fig. 6 vindt men de verdeling van de kunstwerken in de verschillende toestandscodes.

Als we de huidige toestand van de kunstwerken linken aan hun bouwjaar, zien we dat de bruggen gebouwd vanaf de jaren '90 over het algemeen in goede toestand zijn. Structurele problemen met kunstwerken treden in het algemeen pas op na een ouderdom van 30 jaar of meer.

2.1.4 Uitdagingen

Uit deze gegevens valt af te leiden dat er de komende decennia een belangrijke golf van renovaties en vervangingen dient te gebeuren. De toestand van kunstwerken met een ouderdom van meer dan 40 jaar wordt slechter, terwijl bekend is dat een levensduur van gemiddeld een zeventigtal jaren gangbaar is voor deze generatie van kunstwerken. Dit betekent dat een deel van deze kunstwerken vervangen zal moeten worden terwijl een ander deel een structurele renovatie zal moeten krijgen. Men kan echter niet al deze kunstwerken op korte termijn in goede toestand brengen, omdat de middelen sowieso beperkt zijn. Het is daarom van belang om de juiste prioriteiten te stellen om de duurzaamheid en de veiligheid van het patrimonium te optimaliseren.

Op basis van de huidige toestand van bovenstaande kunstwerken werd begroot dat er voor het jaarlijkse reguliere onderhoud een budget van 280 miljoen euro nodig is⁶.

Om daarenboven de uitdagingen aan te pakken die op ons afkomen, werd begroot dat er de komende 10 jaar een investering in vervangingen en structurele renovaties nodig is van 3,23 miljard euro⁷. Een dergelijke investering zou tot een grondige verbetering van de toestand van het patrimonium leiden, waarbij de kunstwerken die zich momenteel in zeer slechte, slechte of matige toestand bevinden ofwel vervangen zouden worden, ofwel gerenoveerd tot een toestand die goed of aanvaardbaar is. De vermelde bedragen betreffen niet enkel de pure bouwkost, maar omvatten ook de maatregelen rond onder meer signalisatie en beperking van hinder die nodig zullen zijn om dergelijke werken te realiseren.

Zelfs indien deze budgetten beschikbaar zijn, blijft het een hele uitdaging om dit te realiseren, zowel wat betreft aansturing en capaciteit bij diverse studiebureaus en aannemers als wat betreft verkeershinder. Er zal maximaal ingezet moeten worden op standaardisering om efficiënt te kunnen werken. Ook zullen er prioriteiten gesteld moeten worden.

⁶ Deloitte Consulting & Advisory, 'Eerst houden, dan bouwen - i.o.v. Beleidsdomein Mobiliteit en Openbare Werken', 18 maart 2019.

⁷ Deloitte Consulting & Advisory.

2.1.5 Plan van aanpak

Op basis van het bovenstaande werd de voorbije jaren gewerkt aan een plan van aanpak voor de kunstwerken in Vlaanderen. In juli 2021 werd dit plan van aanpak, dat loopt over de periode 2021-2030 (budgetten tot en met 2029), voorgesteld. Gezien de situatie en het verouderende patrimonium zet het plan prioritair in op de bruggen met de slechtste toestand. Daarom wordt er voorrang gegeven aan het vervangen en herstellen van de bruggen op de Lijst Prioritaire Kunstwerken (LPK) (toestand 5 – 'zeer slecht') en de kunstwerken met een toestand 4 ('slecht'). Enerzijds worden er hiervoor middelen voorzien binnen het Globaal Investeringsprogramma en anderzijds worden er een aantal PPS-projecten opgestart (publiek-private samenwerkingen). In 2023 zal het plan verder geactualiseerd worden en zal dit geactualiseerde plan dienen als basis voor de verdere uitrol in 2024 en in de volgende legislatuur.

Globaal Investeringsprogramma (GIP)

In de periode 2020-2023 wordt er binnen het GIP in totaal 770 miljoen euro voorzien voor de vervanging en de renovatie van kunstwerken, voornamelijk bruggen met toestand 5 en 4 en een beperkt aantal bruggen met toestand 3, 2 en 1. Onder deze projecten bevinden zich ook een aantal grotere projecten, zoals de renovatie van de viaducten van Vilvoorde en Gentbrugge.

1) Aanpak van bruggen op de LPK (toestand 5)

In de periode 2021-2024 worden de 41 bruggen die in juli 2021 op de LPK stonden aangepakt. Hiervoor wordt er tussen 2020 en 2023 een budget van 236 miljoen euro voorzien voor herstelling of vervanging. 3 bruggen die onderdeel zijn van een groter project, de herinrichting van de R0, worden in afwachting van dat project onder monitoring geplaatst of opnieuw geëvalueerd. Omdat het hier over de bruggen gaat met de hoogste prioriteit wordt ervoor geopteerd om deze via de traditionele aanbestedingsmethode in de markt te zetten.

2) Aanpak van bruggen met toestand 4

Momenteel zijn er ongeveer 200 kunstwerken met een toestand 4. De overige middelen voorzien op het GIP, ongeveer 534 miljoen euro, worden ingezet voor renovatie en vervanging van bruggen met voornamelijk toestand 4, maar ook met toestand 3, 2 en 1. Hierdoor worden een dertigtal bruggen in toestand 4 aangepakt.

PPS-projecten

Om de bruggen met toestand 4 aan te pakken werden er in juli 2021 ook enkele nieuwe PPS-projecten opgestart. Een eerste PPS-project beoogt de vervanging van 41 bruggen, voornamelijk in toestand 4. Voor dit project wordt de bouwkost

geraamd op 300 miljoen euro. Daarnaast wordt er een PPS-project opgestart voor de vervanging van 27 beweegbare bruggen, waarvan er ook een heel aantal zich in toestand 4 bevinden.

Andere lopende projecten

Daarnaast zijn er een heel aantal (grotere) projecten lopende, al dan niet als PPS-project. Binnen deze lopende projecten worden nog eens 21 kunstwerken met toestand 4 aangepakt.

Met alle financieringsbronnen samen worden dus op korte termijn bijna alle 41 bruggen op de LPK (toestand 5) aangepakt en een negentigtal kunstwerken met toestand 4, of 45% van alle kunstwerken met deze toestand. Het is de bedoeling om in de periode 2025-2030 de resterende kunstwerken die momenteel toestand 4 hebben te vervangen of te renoveren. De uitdagingen blijven inderdaad nog zeer groot.

2.1.6 Kostprijs van de vervanging van een standaardbrug

Teneinde de vermelde budgetten te kaderen, worden de volgende gevallen als referentie meegegeven. Het herbouwen van een standaardbrug met drie overspanningen over autosnelwegen (lengte ongeveer 100 m, breedte ongeveer 12 m, beton, prefabliggers) kost gemiddeld 4.000.000 euro. Bruggen die deel uitmaken van autosnelwegen zijn duurder door de moeilijkere maatregelen met betrekking tot hinderbeperking. Bruggen met grotere overspanningen en/of een ander constructiemateriaal zijn eveneens duurder. Gemiddeld zal het herbouwen van een brug ongeveer 7.000.000 euro kosten.

2.2 Overzicht van de toestand van spoorbruggen in België

2.2.1 Situering

Infrabel, dat in 2005 werd opgericht als autonoom overheidsbedrijf, treedt op als infrastructuurbeheerder van het Belgische spoornet. Het staat in voor:

- de verwerving, het ontwerp, de bouw, de vernieuwing, het onderhoud en het beheer van de spoorweginfrastructuur
- het beheer van de regelings- en veiligheidssystemen van deze infrastructuur
- het leveren aan de spoorwegondernemingen van de hen overeenkomstig de wet te leveren diensten
- de toewijzing van de beschikbare spoorweginfrastructuurcapaciteit
- de tarifiering, de facturering en de inning van de heffingen voor het gebruik van de spoorweginfrastructuur en voor de eraan gerelateerde diensten.

De federale overheid heeft de hierboven beschreven activiteiten, die een veilig, vlot en stipt treinverkeer mogelijk maken, bij wet toevertrouwd aan Infrabel

als opdrachten van openbare dienst. De Belgische staat en Infrabel sluiten in onderling akkoord een beheerscontract af dat vastlegt welke dienstverlening Infrabel moet leveren en welke toelage het daarvoor krijgt.

De Directie I-Asset Management is verantwoordelijk voor het ontwerp, het onderhoud en de vernieuwing van de installaties van de spoorweginfrastructuur, waaronder de assets Civil Engineering. De afdeling Civil Engineering heeft 11.576 assets in beheer (Key Figures 2020 in Tabel 2), waaronder 3.043 spoorbruggen (onderbruggingen) en 1.332 wegbruggen (overbruggingen).

2020	Totaal	11.576
	Bufferbekken	71
	Doorgang onder sporen	452
	Doorsteek	0
	Duiker	3.313
	Geluidsmuur	215
	Onderbrugging	3.043
	Overbrugging	1.332
	Rotswand	391
	Steunmuur	2.489
	Tunnel	129
	Voetbrug	141

Tabel 2 – Overzicht patrimonium Civil Engineering Infrabel (2020)

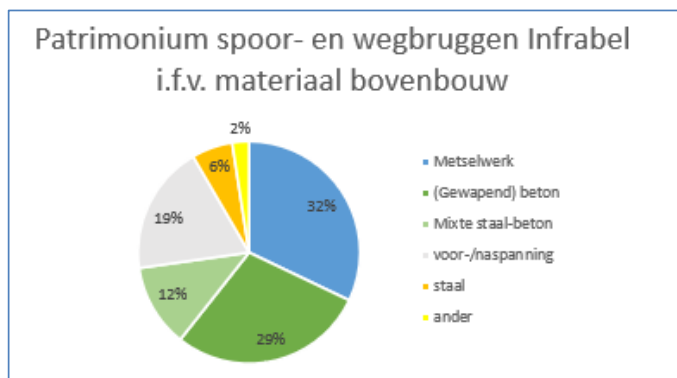


Fig. 7 – Verdeling patrimonium spoor- en wegbruggen Infrabel i.f.v. type materiaal bovenbouw

In Fig. 7 wordt de verdeling van de bruggen in beheer van Infrabel weergegeven volgens het materiaaltipe van het brugdek. Hierbij kan het volgende opgemerkt worden:

Metselwerkbruggen (Fig. 8)

Meer dan een kwart van de bruggen van Infrabel zijn gewelven in metselwerk. De meeste metselwerkconstructies dateren van vóór 1920. Gebrek aan theoretische kennis leidde er dikwijls toe dat de constructies opgetrokken werden aan de hand van ervaringsregels, en bij de realisatie van deze kunstwerken werden dikwijls rudimentaire middelen aangewend (vooral voor de funderingen). In het algemeen zijn dit zeer solide en robuuste structuren. Niettemin kunnen conceptuele zwakheden aanwezig zijn, zoals een te gedrukte vorm, een eventuele differentiële zetting van de funderingen en neiging tot afscheuren van de kopmuur.

Indien de waterdichte bekleding tijdig vernieuwd wordt en er voldoende (ballast) dekking is ter hoogte van de sleutel van het gewelf, zijn dit kunstwerken die gemakkelijk de tand des tijds doorstaan en meestal zelfs weerstand kunnen bieden aan verhoging van de aslasten.



Fig. 8 – Verdeling metselwerkbruggen Infrabel i.f.v. ouderdom

Bruggen in (gewapend) beton en gemengde (mixte) staal-betonbruggen (Fig. 9)

Deze categorie vertegenwoordigt ongeveer een derde van het patrimonium van Infrabel, met structuren waarvan de leeftijd varieert van zeer jong tot meer dan 80 jaar oud. Bruggen in gewapend beton zijn van het type balkbrug (roosterwerk van primaire, secundaire en soms tertiaire balken, verbonden met een bovenplaat), gewelf- of boogbrug, kokers of portieken.

De problemen die bij deze structuren onderkend worden zijn gelijklopend met de problemen bij andere infrastructuurbeheerders: ASR (alkali-silicareactie), carbonatatie, geringe betondekking, beton van slechte kwaliteit en/of samenstelling...

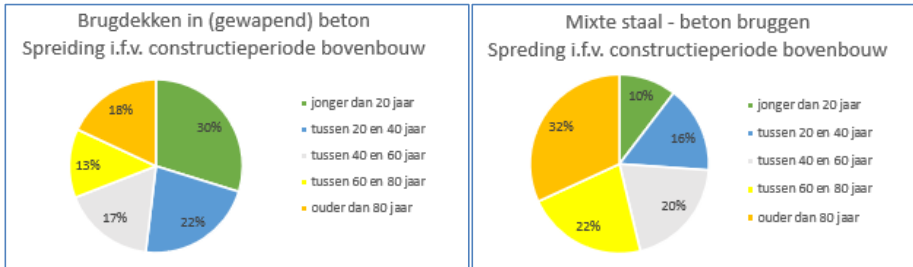


Fig. 9 – Verdeling bruggen Infrabel met brugdekken in (gewapend) beton i.f.v. ouderdom

Bruggen bestaande uit gemengde staal-betonconstructies zijn van het type ommantelde liggers, stalen caissons met betonnen bovenplaat, brugdekken bestaande uit liggers met voorgebogen stalen liggers (omhuld met beton) met betonnen bovenplaat of trogbruggen met ingebetonnerde (voorgebogen) liggers. *Bruggen in voorgespannen beton* (Fig. 10)

Recente bruggen met een beperkte overspanning worden uitgevoerd in voorgespannen beton.

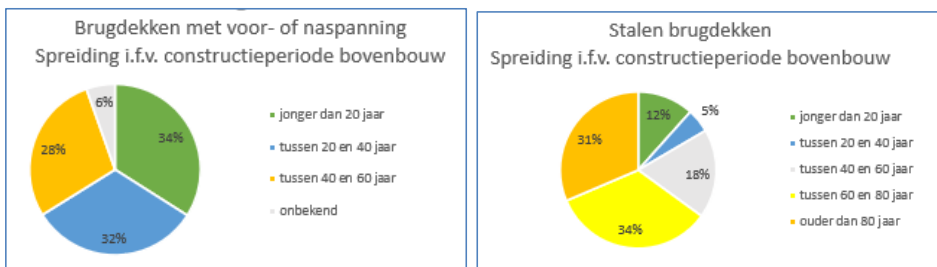


Fig. 10 – Verdeling bruggen Infrabel met brugdekken in voorgespannen beton of staal i.f.v. ouderdom

Stalen bruggen (Fig. 10)

Stalen brugdekken vertegenwoordigen slechts 7% van het bruggenpatrimonium van Infrabel, maar veelal gaat het hier over oude structuren met een grote overspanning

Aangezien de techniek voor het verbinden van stalen elementen, nl. het klinken, eerder beschikbaar was dan het materiaal beton, zijn er eind de jaren 1800 en begin de jaren 1900 heel wat stalen bruggen met beperkte overspanning gebouwd. Deze brugdekken maken op middellange termijn het voorwerp uit van een vernieuwingsprogramma waarbij deze structuren vervangen worden door brugdekken in voorgespannen beton.

Anderzijds vergen de oude stalen structuren met grote overspanning bijzondere aandacht omdat het fenomeen vermoeiing niet gekend was bij het ontwerp van deze bruggen. Bij de inspectie van deze bruggen dient extra aandacht besteed te worden aan vermoeiingsdetails met hoog risico en indien nodig dienen verstevigingswerken uitgevoerd te worden.

2.2.2 Methodologie voor het beheer van bruggen bij Infrabel

De instandhouding van de assets Civil Engineering is nodig om permanent en in alle veiligheid het verkeer toe te laten waarvoor het bouwwerk is bestemd. De methodologie voor deze instandhouding is gebaseerd op de principes van de fiche 778-4 van de *Union Internationale des Chemins de Fer* (UIC) en omvat drie luiken:

1) Toezicht op de assets

Het toezicht is het middel om (in de mate van het mogelijke) permanent de werkelijke staat van de assets te kennen door het opsporen van gebreken en hun oorzaken. Die werkelijke toestand moet vergeleken worden met een referentietoestand. De kennis van de werkelijke toestand van een bouwwerk is een bepalende factor in de beslissing om bepaalde bouwwerken hetzij te laten versterken, hetzij volledig of gedeeltelijk te vervangen, hetzij om beperkingen op te leggen aan bestaande of gewijzigde exploitatievoorwaarden (zoals bijvoorbeeld het verhogen van de aslast of het verhogen van de treinsnelheid op een lijn).

2) Herstelling van assets in geval van gebreken

Het toezicht op de bouwwerken heeft enkel zin als het wordt gevolgd door ingrepen om de duurzaamheid van het bouwwerk te waarborgen. Deze ingrepen kunnen bestaan uit het herstellen van de vastgestelde gebreken of ze kunnen preventief zijn teneinde beschadigingen te voorkomen.

3) Vervanging van assets die het einde van hun levenscyclus hebben bereikt

De bouwwerken waarvan de toestand niet meer toelaat de functionaliteit of de veiligheid te behouden of te herstellen op een economisch verantwoorde wijze worden (geheel of gedeeltelijk) afgebroken en vervangen.

2.2.3 Inspecties van bruggen bij Infrabel

Wat betreft de inspectie van kunstwerken onderscheidt men drie toezichtsniveaus bij Infrabel:

1) Grondig nazicht

Aan de hand van het grondige nazicht moet de staat van het bouwwerk volledig kunnen worden ingeschat en moet een vergelijking kunnen worden gemaakt met de referentiestaat. Alle delen van het bouwwerk moeten visueel worden gecontroleerd. Die visuele inspectie wordt aangevuld met een mechanisch onderzoek om de

defecten te lokaliseren. In het algemeen moet gebruik worden gemaakt van specifieke toestellen voor het toepassen van speciale onderzoekstechnieken om gebreken te kunnen opsporen.

Het grondige nazicht wordt uitgevoerd met de frequenties vermeld in Tabel 3. Een nazicht wordt uitgevoerd bij de definitieve oplevering of vóór de indienststelling van het bouwwerk, alsook na belangrijke herstellingswerken. Het resultaat daarvan geldt als **referentiestaat**.

• Hogesnelheidslijnen, hoofdlijnen van het klassieke net, industriële lijnen	8 jaar
• Lijnen met vereenvoudigde exploitatie, lijnen buiten dienst waarop de sporen nog aanwezig zijn	12 jaar
• Lijnen buiten dienst met uitgekomen spoor of sporen	12 jaar

Tabel 3 – Frequenties van grondig nazicht

2) *Systematische schouwing*

De systematische schouwing is veel beknopter dan het grondige nazicht. Ze heeft betrekking op de essentiële delen van het bouwwerk en wordt over het algemeen visueel uitgevoerd. Aan die schouwing kunnen bijkomende onderzoeken worden gekoppeld die niet noodzakelijk betrekking hebben op het volledige bouwwerk, maar op een onderdeel of een welbepaald aspect ervan, bijvoorbeeld defecten die bij de vorige inspectie gecatalogeerd zijn als 'op te volgen', zelfs als ze niet gemakkelijk toegankelijk zijn. De systematische schouwing wordt alternerend uitgevoerd met het grondige nazicht, met dezelfde frequentie. In de praktijk betekent dit dat elke brug beheerd door Infrabel om de vier jaar geïnspecteerd wordt.

3) *Periodiek controlebezoek*

Voor risicodragende bouwwerken of als er bij het grondige nazicht of de systematische schouwing gebreken werden vastgesteld die van die aard zijn dat op termijn de stabiliteit en de veiligheid in het gedrang kunnen komen, worden periodieke controlebezoeken voorzien met een periodiciteit afhankelijk van de voorziene evolutie en risico's. De modaliteiten van deze bezoeken (frequentie, te controleren onderdelen...) worden geval per geval vastgelegd.

De inspecties worden uitgevoerd aan de hand van checklists in functie van het type schouwing, het type kunstwerk en het materiaal (metselwerk, staal, beton). Naargelang de vastgestelde gebreken oordeelt de verantwoordelijke ingenieur over de ernst van die gebreken op het vlak van stabiliteit en functionele (secundaire) veiligheid aan de hand van een schadecatalogoog die uniformiteit van de evaluatie en acties garandeert.


Er bestaan twee indices met elk vier niveaus om *stabiliteit/draagvermogen* en *veiligheid van de gebruikers* te karakteriseren, zoals opgenomen in Tabel 4 en in Figuren 12 en 13.

Niveau	Stabiliteitsindex	Veiligheidsindex	Interventietermijn
1	Schade waarvan de behandeling zonder bezwaar kan worden uitgesteld	De staat van het bouwwerk laat het gebruik in alle veiligheid toe	Geen interventie voorzien
2	Schade die niet tot verkeersbeperkingen kan leiden vóór de volgende schouwing	Schade of toestand zonder of met beperkte invloed op de veiligheid maar die in de toekomst zou kunnen leiden tot een gebrek aan veiligheid	Geen verplichte interventie vóór de volgende schouwing
3	Schade die vóór de volgende schouwing tot verkeersbeperkingen zou kunnen leiden	Schade of toestand met gevolgen voor de veiligheid en te verbeteren vóór de volgende schouwing	Interventie binnen de 4 jaren
4	Schade waarvoor op korte termijn maatregelen moeten worden getroffen om de stabiliteit te herstellen	Schade waarvoor op korte termijn maatregelen moeten worden getroffen om de veiligheid te herstellen	Interventie binnen de 6 maanden

Tabel 4 – Definitie van stabiliteits- en veiligheidsindex

Diagnostiek

- Stabiliteit / Draagvermogen = Primaire veiligheid
- Veiligheid van de gebruikers



Index	Stabiliteit	Interventietermijn
1	Schade waarvan de behandeling zonder bezwaar kan worden uitgesteld.	<u>Geen interventie voorzien</u>
2	Schade die niet tot verkeersbeperkingen kan leiden vóór de volgende schouwing	Geen verplichte interventie vóór de volgende schouwing
3	Schade die vóór de volgende schouwing tot verkeersbeperkingen zou kunnen leiden	Interventie binnen de 4 jaren
4	Schade waarvoor op korte termijn maatregelen moeten worden getroffen om de stabiliteit te herstellen	Interventie binnen de 6 maanden

Fig. 11 – Diagnostiek met betrekking tot primaire veiligheid



Fig. 12 – Diagnostiek met betrekking tot secundaire veiligheid

In Fig. 13 wordt de verdeling gegeven van het patrimonium spoor- en wegbruggen van Infrabel in functie van de stabiliteitsindex, gespreid over het bouwjaar.

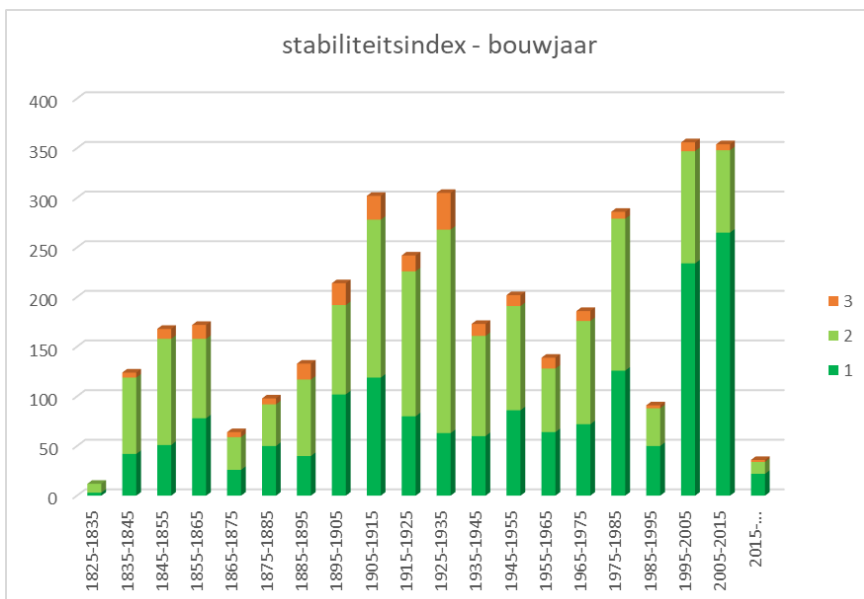


Fig. 13 – Verdeling spoor- en wegbruggen Infrabel i.f.v. de stabiliteitsindex, gespreid over het bouwjaar

2.2.4 Rationele instandhouding bij Infrabel

Het is niet realistisch na elke schouwing alle vastgestelde schade, hoe miniem ook, onmiddellijk te willen herstellen. Dit zou een te dure instandhoudingspolitiek zijn. Te lang wachten is evenwel ook nadelig: vele schadefenomenen gaan op de duur sneller dan lineair toenemen, en de schade riskeert hoe langer hoe meer een blijvende waardevermindering te veroorzaken. De waardevermindering heeft te maken met reductie van de levensduur (verlies van materiaal), maar ook met esthetische schade. De rationele (economisch verantwoorde) instandhouding veronderstelt dat op het gepaste ogenblik wordt ingegrepen, niet te vroeg, niet te laat.

Ter indicatie worden in Tabel 5 de budgetten gegeven voor onderhoud (OPEX) en vernieuwing (CAPEX) van de kunstwerken beheerd door Infrabel voor heel België in de periode 2016-2020, in miljoen (Mio) euro:

	2016	2017	2018	2019	2020
OPEX	13,8	14,9	17,0	19,1	17,9
CAPEX	51,9	58,4	47,7	56,7	66,0

Tabel 5 – Budgetten voor onderhoud en vernieuwing (in miljoen euro)

Voor de bepaling van de budgettaire behoeften van het vernieuwingsprogramma op middellange termijn wordt gebruikgemaakt van een theoretisch model. Hierbij wordt voor elk type kunstwerk de levensduur vastgelegd, en worden frequenties voor vernieuwing van de waterdichting en het herschilderen van stalen kunstwerken vooropgesteld.

In combinatie met de leeftijd van het kunstwerk geeft dit model het theoretische jaartal waarin de vernieuwing van een kunstwerk, van de waterdichte rok of van het schilderwerk gepland en gebudgetteerd dient te worden. Het benodigde budget voor een bepaald jaar wordt bekomen door de oppervlaktes van deze kunstwerken te vermenigvuldigen met eenheidsprijzen per brugtype.

Met dit model kunnen verschillende hypothesen en scenario's met elkaar vergeleken worden, en kunnen de gevolgen op het vlak van de staat van de kunstwerken ingeschat worden.

Ter illustratie worden in Tabel 6 de jaarlijkse theoretische vernieuwingsbudgetten gegeven voor een industrieel scenario waarbij de toestand van de assets op het huidige niveau behouden wordt:

2025-2029	2030-2034	2035-2039	2040-2044	2045-2049
98,6 Mio€/jaar	106,4 Mio€/jaar	105,0 Mio€/jaar	84,3 Mio€/jaar	121,2 Mio€/jaar

Tabel 6 – Jaarlijkse budgetten voor vernieuwing

Aan de hand van de visuele vaststellingen tijdens inspecties wordt dit theoretische financiële programma verfijnd en aangepast aan de realiteit.

2.2.5 Vastgestelde problemen

Naast klassieke aantastingsproblemen van de materialen beton en staal valt vooral ook structurele schade op door een langdurig gebrek aan onderhoud van de waterhuishouding of wijzigingen in de waterhuishouding omwille van verschillende complexe achterliggende oorzaken. Een verouderende waterdichting en een gebrekkige wateropvang in de onmiddellijke omgeving van het kunstwerk leiden op termijn tot gronduitspoelingen achter de landhoofden en tot watersijsijpelingen ter hoogte van kwetsbare punten zoals opleggingen, die moeilijk bereikbaar zijn. Insijpelingen in niet-waterdichte oude beddingen en zettingen in complexe grondmechanische en hydrologische gebieden hebben structurele schade in spoor Kunstwerken tot gevolg. Spoorinfrastructuur is immers minder flexibel in het spoorlengteprofiel (ten aanzien van weginfrastructuur), wat resulteert in sterke in- en uitgravingen. Dit leidt tot grotere onderliggende structurele schade, die zichtbaar wordt aan kwetsbare elementen (voegen en opleggingen) en aan scheurvorming. De huidige wijzigingen, gevolgen van de klimaatverandering, zorgen ervoor dat de oudere kunstwerken kwetsbaarder worden voor wijzigende fenomenen als extreme temperaturen, overstromingen en waterschaarste.

2.3 Overzicht van de toestand van wegen in Vlaanderen

2.3.1 Kenmerken van het wegennetwerk

Het wegennetwerk in Vlaanderen kent verschillende niveaus. Het kan ingedeeld worden naar type weg, gaande van lokale wegen en secundaire wegen tot primaire wegen en hoofdwegen. De basis van die wegencategorisering werd gelegd in het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen (RSV), dat al dateert van 1997. De Vlaamse regering heeft in het Regeerakkoord 2019-2024 beslist om over te gaan naar een nieuwe wegencategorisering. Alle huidige wegencategorieën verdwijnen. Ze worden vervangen door 6 nieuwe categorieën die men kan onderverdelen in 3 hiërarchische lagen (Tabel 7).

Het wegennetwerk in Vlaanderen kan anderzijds ook ingedeeld worden op basis van de wegbeheerder, met enerzijds de lokale besturen als beheerder van het gemeentelijke patrimonium en anderzijds de gewestwegen en autosnelwegen in beheer van het Agentschap Wegen en Verkeer (AWV) van de Vlaamse overheid. Sommige wegen zijn in beheer van derden, zoals bijvoorbeeld de Antwerpse havenwegen, die beheerd worden door het Havenbedrijf. Voor complexe investeringsprojecten wordt in Vlaanderen ook een beroep gedaan op de projectvennootschappen DWV (De Werkvennootschap) en Lantis (Leefbaar Antwerpen door Innovatief Samenwerken). DWV werd opgericht door de Vlaamse

overheid om de inspanningen van de verschillende Vlaamse mobiliteitsspelers te coördineren en Lantis is een beheersmaatschappij van de Vlaamse overheid.

Oude wegcategorisering		Nieuwe wegcategorisering			
Wegcategorie	Netwerkstructuur	Netwerkniveau	Wegcategorie	Netwerkstructuur	Mazen
Hoofdwegen	Boomstructuur	Hoofdwegenet	Europese hoofdwegen (EHW)	Rasterstructuur EHW	Europese mazen
Primaire wegen type I			Vlaamse hoofdwegen (VHW)	Rasterstructuur VHW	Vlaamse mazen
Primaire wegen type II		Dragend netwerk	Regionale wegen (RW)	Rasterstructuur RW	Regionale mazen
Secundaire wegen type I			Interlokale wegen (IW)	Rasterstructuur IW	Interlokale mazen
Secundaire wegen type II			Lokaal wegennet	Ontsluitingswegen (OW)	
Secundaire wegen type III		Erftoegangswegen (EHW)			
Lokale wegen type I					
Lokale wegen type II					
Lokale wegen type III					

Tabel 7 – Vlaams wegennetwerk: oude en nieuwe wegcategorisering (bron: www.vlaanderen.be)

Ons huidige autosnelwegennet in Vlaanderen, en bij uitbreiding in België, is tot stand gekomen in de periode 1950-1990, met de grootste expansie in de jaren 1960 en 1970. Dat kwam mede door de oprichting van het Autonoom Wegenfonds in 1955, dat moest instaan voor de financiering van het geplande autosnelwegennet (Fig. 14). Er mee rekening houdende dat de verwachte levensduur van een wegverharding geschat wordt op 20 à 30 jaar, afhankelijk van het type verharding, kunnen we stellen dat vandaag de meeste autosnelwegen al aan een tweede of derde levenscyclus zijn begonnen. In die nieuwe levenscyclus is weliswaar de verharding (en meestal ook de fundering) volledig vernieuwd, maar vermits de onderbouw, met daarbij ook de kunstwerken als bruggen, tunnels en viaducten, een initieel langere levensverwachting van 70 jaar hebben, zijn deze in stand gehouden.

Dit impliceert dat vandaag een groot deel van deze kunstwerken het einde van hun economische levensduur naderen (cf. lid 2.1). Meer en meer worden structurele gebreken vastgesteld aan deze kunstwerken (bv. expansieve roestvorming rond wapeningsstaven, betonschade, corrosie van staalstructuren...), wat noopt tot structurele ingrepen of vervangingen, met de nodige budgettaire gevolgen. Uitgerekend op dit moment wordt het patrimonium blootgesteld aan een steeds zwaardere belasting door verkeerstoename, waardoor de toestand ervan sneller achteruitgaat, maar ook de impact groter wordt indien zich iets voordoet⁸.

⁸ Deloitte Consulting & Advisory.

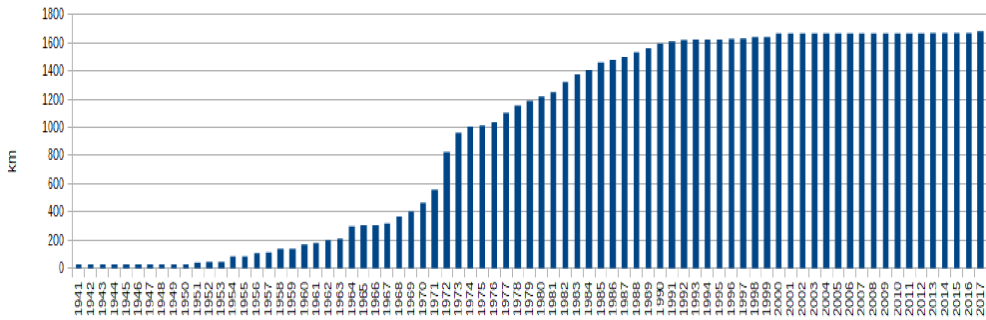


Fig. 14 – Evolutie van het totale aantal km autosnelwegen in België
<https://www.wegenwiki.nl/België>

2.3.2 Evolutie van het vrachtverkeer

Uit metingen in de periode 2015-2019 blijkt een duidelijke toename van het vrachtverkeer op de 'hoofdrijbanen' in Vlaanderen. Uitgedrukt in voertuigkilometers, het totale aantal afgelegde kilometers door vrachtwagens op autosnelwegen in Vlaanderen op een gemiddelde weekdag, stelt men een toename vast van 8,6 miljoen naar 9,0 miljoen km of ongeveer 1% per jaar.

De invloed van aslasten op de schade aan wegen wordt beoordeeld aan de hand van twee parameters, namelijk N_{as} , het gemiddelde aantal assen per vrachtwagen, en SPEC, de aslasten-spectrumwaarde. De SPEC kan berekend worden op basis van WIM-data (*Weigh In Motion*) aan de hand van de volgende formule:

$$SPEC = \sum f_i \cdot \left(\frac{P_i}{P_{ref}} \right)^n \quad (1)$$

Hierin is

P_i : de gemiddelde aslast van klasse i in het opgemeten histogram

P_{ref} : de referentieaslast, zijnde 100 kN

f_i : de relatieve frequentie van klasse i

n: een exponent die voor asfaltwegen meestal gelijkgesteld wordt aan 4

De cumulatieve schade over een bepaalde observatieperiode wordt dan beoordeeld aan de hand van het product van N_{as} en SPEC. Uit vergelijkende analyses van WIM-data van vóór 2014 en na 2014 blijkt enerzijds een toename van het gemiddelde aantal assen per vrachtwagen, maar anderzijds een afname van de spectrumwaarde, zodat het schade-effect ongeveer hetzelfde blijft.

Hoe dan ook worden wereldwijd overschrijdingen van de toegelaten gewichtslimieten vastgesteld⁹. De impact van te zwaar belaste vrachtwagens is dramatisch aangezien de corresponderende schade gerelateerd is aan de exponent 4 in de bovenstaande formule.

2.3.3 Evolutie van de toestand van de gewestwegen

Het AWW beheert op vandaag zo'n 6.900 km gewest- en autosnelwegen, waarvan 900 km autosnelwegen, 5600 km gewestwegen en 400 km op- en afritten, lussen en dergelijke.

Het AWW meet systematisch tweejaarlijks de toestand van haar gewestwegen, met name in de provincies Oost- en West-Vlaanderen in de even jaren, en in de provincies Antwerpen, Limburg en Vlaams-Brabant in de oneven jaren. Daarnaast meet het AWW jaarlijks de toestand van het volledige autosnelwegennet. De volgende parameters worden opgemeten: stroefheid, spoorvorming (bij asfaltwegen), trapvorming (bij betonwegen), vlakheid en beschadigingsgraad (scheuren, punch-outs, randschade, enz.).

Tot en met 2015 werd een overzicht van de onderhoudsachterstand en de onderhoudsbehoeften van de autosnelwegen opgesteld op basis van de jaarlijkse meetresultaten van de toestand. Deze methodiek wordt tot op heden nog steeds gebruikt voor de gewestwegen.

Uit Figuren 15 en 16 kan men opmaken dat het percentage 'onvoldoende' in de globale beoordeling van de gewestwegen in de provincies Oost- en West-Vlaanderen licht is afgenomen¹⁰. Niettemin kan men de resultaten bezwaarlijk goed noemen. Hoewel het aantal kilometers weg in de klassen 'uitstekend' en 'normaal' in Antwerpen en Limburg duidelijk hoger ligt dan in Oost- en West-Vlaanderen, blijkt het percentage 'onvoldoende' in Antwerpen, Limburg en Vlaams-Brabant verder toe te nemen¹¹. Dit is geen goede evolutie. Nieuwe investeringen zijn nodig om de achteruitgang te kenteren. Het aandeel 'normaal' + 'uitstekend' daalt ook in die drie provincies. Ook dit is geen goed signaal.

⁹ Tim Breemersch, 'Effecten van te zware voertuigen op de weginfrastructuur en de verkeersveiligheid', Transport & Mobility Leuven, geraadpleegd 19 september 2022, <https://www.tmlleuven.be/nl/project/Te-zware-voertuigen>.

¹⁰ 'Toestand van het wegennet. Gewestwegen Oost- en West-Vlaanderen: metingen van 2018' (Agentschap Wegen en Verkeer), geraadpleegd 20 september 2022, <https://wegenenverkeer.be/sites/default/files/uploads/documenten/2018N%20Toestand%20van%20het%20wegennet.pdf>.

¹¹ 'Toestand van het wegennet. Gewestwegen Antwerpen, Limburg en Vlaams-Brabant: metingen van 2019.' (Agentschap Wegen en Verkeer), geraadpleegd 20 september 2022, <https://wegenenverkeer.be/sites/default/files/uploads/documenten/2019N%20Toestand%20van%20het%20wegennet.pdf>.

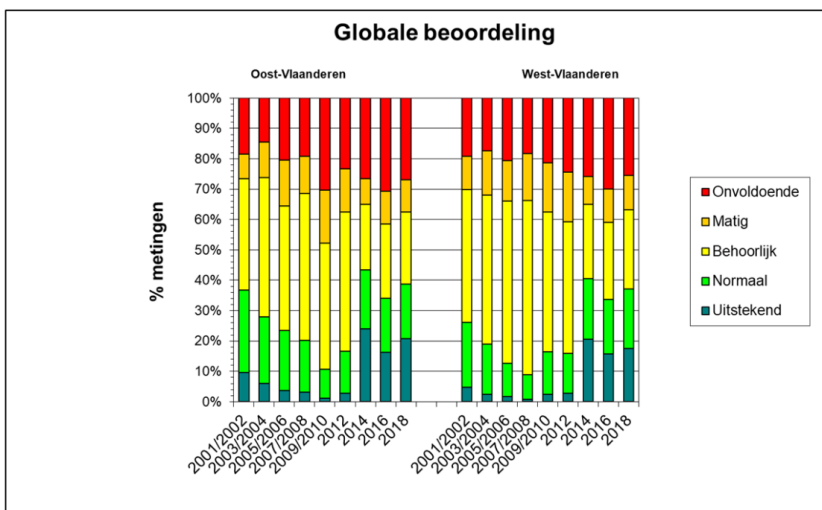


Fig. 15 – Overzicht van de globale beoordeling sinds 2001 voor Oost- en West-Vlaanderen

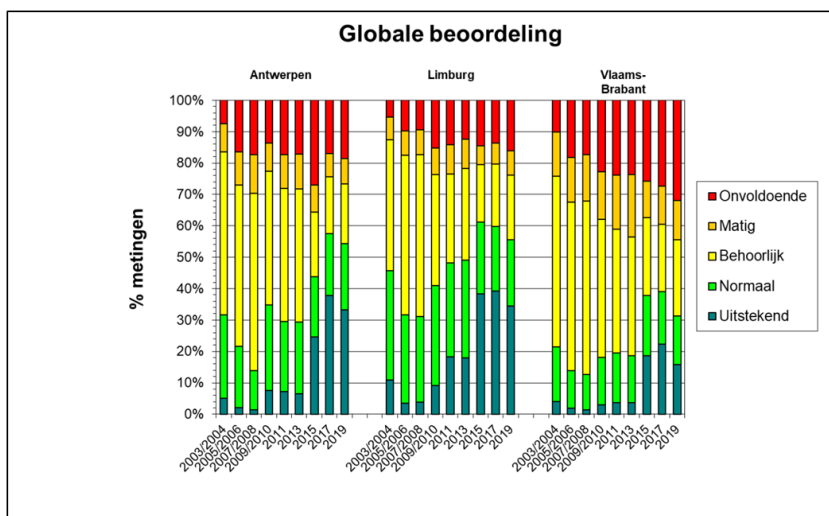


Fig. 16 – Overzicht van de globale beoordeling sinds 2001 voor Antwerpen, Limburg en Vlaams-Brabant

2.3.4 Evolutie van de toestand van de autosnelwegen¹²

Sinds 2016 wordt de evolutie van de toestand van het autosnelwegennet voorspeld met een 'pavement management system' (PMS). Het PMS houdt rekening met de

¹² 'Onderhoudsprogramma Autosnelwegen. PMS-rapport 2020' (Agentschap Wegen en Verkeer, 2020).

leeftijd van de verharding van elk wegvak en met de verkeersbelasting. Op basis van die voorspelde toestand kan dan de optimale onderhoudsstrategie voor elk wegvak bepaald worden, rekening houdend met een bepaald budget. In deze analyse wordt het volledige autosnelwegennet als één netwerk beschouwd. Er wordt bijgevolg geen expliciete opsplitsing gemaakt per provincie¹³.

De volgende grafiek en tabel (Fig. 17) geven de evolutie weer van de globale toestand van het autosnelwegennetwerk in Vlaanderen.

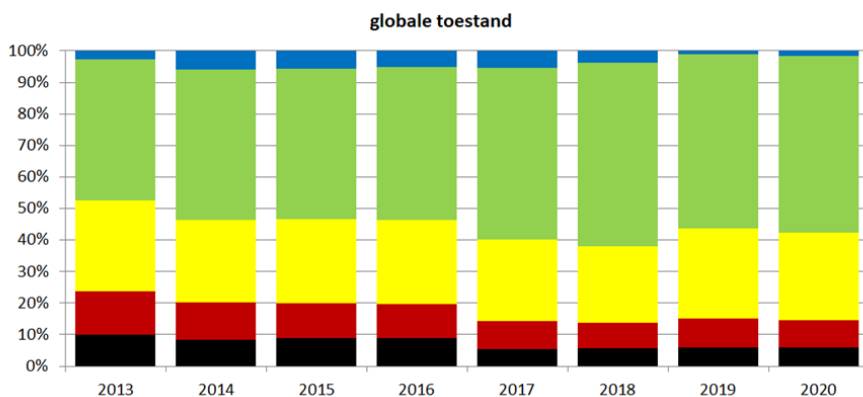


Fig. 17 – Globale toestand van het autosnelwegennetwerk in Vlaanderen

Uit deze resultaten blijkt dat het percentage wegvakken met een onvoldoende kwaliteit (klasse 'slecht' + 'zeer slecht') systematisch afgenomen is van 23,7% in 2013 tot 14,6% in 2018, wat een gunstige evolutie is.

¹³ 'Onderhoudsprogramma Autosnelwegen. PMS-rapport 2020'.

2.3.5 Het optimale kwaliteitsniveau^{14, 15}

Een rationeel onderhoud steunt op gegevens over de kwaliteit van het wegennet. De beschadigingsgraad wordt berekend op basis van de gegevens uit de visuele inspectie. Deze geven, samen met de metingen van de spoorvorming (dwarsvlakheid), de stroefheid en de trapvorming (langsvlakheid), een beeld van de globale kwaliteit van het Vlaamse wegennet. Het onderhoud moet zo worden opgevat dat de staat van het wegennet evolueert naar de optimale toestand die aangehouden kan worden.

Wat is nu de optimale toestand? Een wegennet met een zeer hoog kwaliteitsniveau is economisch niet verantwoord wegens te hoge kosten voor de wegbeheerder, die vaak relatief kleine ingrepen moet uitvoeren. Die ingrepen gaan tevens gepaard met veel verkeers hinder. Een wegennet met een te laag kwaliteitsniveau brengt te veel kosten en onveiligheid met zich mee voor de weggebruiker. De kosten voor de wegbeheerder zijn hoog, want de nodige ingrepen zijn duur. Men kan stellen dat het optimale kwaliteitsniveau gekenmerkt wordt door een minimale onderhoudsachterstand, of een minimaal aandeel 'onvoldoende'.

2.3.6 Evolutie van de onderhoudsachterstand

In Fig. 18 wordt de evolutie van de onderhoudsachterstand van het Vlaamse autosnelwegennet weergegeven. Deze bedragen omvatten enkel de constructiekosten van de verharding, i.e. de kosten van frees- of opbraakwerken, van de aanleg van de nieuwe lagen en van de markeringen.

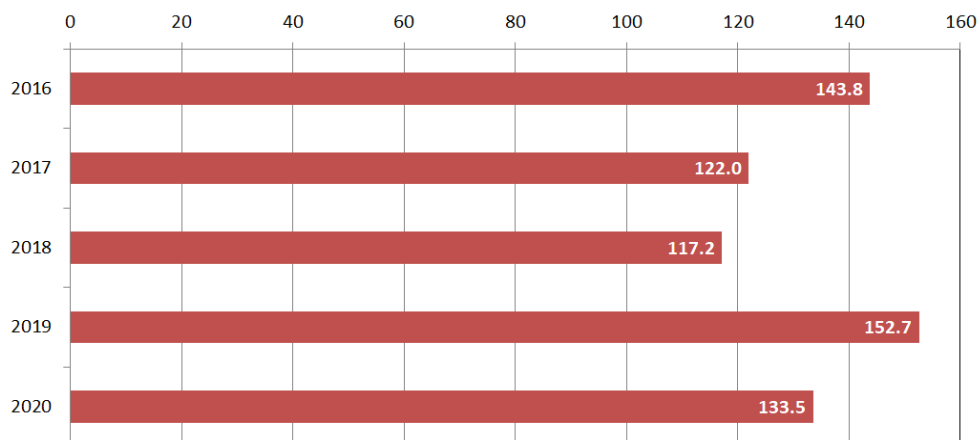
De kosten van andere werken (zoals het vervangen van afscherpende constructies, werken aan kunstwerken, verlichting, elektromechanische uitrusting, afwatering en rioleringen) worden niet beschouwd¹⁶.

Uit het PMS-rapport autosnelwegen kan afgeleid worden dat de onderhoudsachterstand in 2020 133,5 miljoen euro bedraagt. Dit is een daling met 13% in vergelijking met 2019. Deze daling heeft uiteraard te maken met de licht verbeterde toestand, maar een belangrijk deel ervan is ook te wijten aan de lagere constructiekosten: in 2019 lagen de prijzen (vooral van asfalt) beduidend hoger, in 2020 zitten we opnieuw ongeveer op hetzelfde prijsniveau als in 2018.

¹⁴ 'Toestand van het wegennet. Gewestwegen Oost- en West-Vlaanderen: metingen van 2018'.

¹⁵ 'Toestand van het wegennet. Gewestwegen Antwerpen, Limburg en Vlaams-Brabant: metingen van 2019.'

¹⁶ Onderhoudsprogramma Autosnelwegen. PMS-rapport 2020'.



Op basis van de jaarlijkse rapporten omtrent de toestand van het wegennet^{18,19} kan ook de onderhoudsachterstand van de gewestwegen geanalyseerd worden. Bij deze ruwe benadering voor het bepalen van de noden voor het onderhoud wordt eerst een raming gemaakt van de vervangwaarde van de wegen. De vervangwaarde betreft hier echter alleen de aanlegkosten van de structuur van de rijbaan (onderfundering, fundering en verharding). Extra kosten, zoals lineaire elementen, markeringen, minderhindermaatregelen, waterafvoer, rioleringen, kunstwerken, werfsignalisatie e.a., zitten in deze waarde niet inbegrepen.

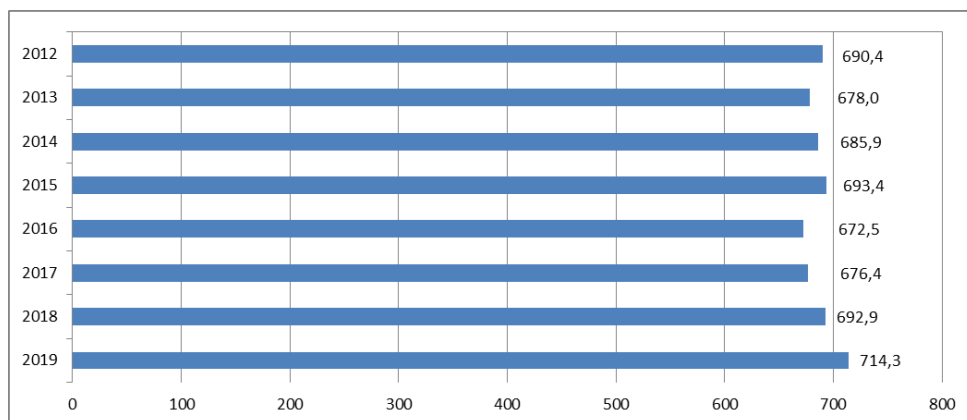


Fig. 19 – Onderhoudsachterstand van het Vlaamse gewestwegennet (in miljoen euro)

¹⁷ 'Onderhoudsprogramma Autosnelwegen. PMS-rapport 2020'.

¹⁸ 'Toestand van het wegennet. Gewestwegen Oost- en West-Vlaanderen: metingen van 2018'.

¹⁹ 'Toestand van het wegennet. Gewestwegen Antwerpen, Limburg en Vlaams-Brabant: metingen van 2019.'

Na analyse blijkt dat de totale onderhoudsachterstand van het Vlaamse gewestwegennet op vandaag ongeveer 714,3 miljoen euro bedraagt.

Dat betekent dat de totale onderhoudsachterstand van de gewestwegen én autosnelwegen in Vlaanderen vandaag ongeveer 847,8 miljoen euro bedraagt. Dit betreft quasi enkel de onderhoudsachterstand van de wegebouw (verharding, fundering en onderfundering). In werkelijkheid is er uiteraard veel meer budget nodig om de nodige onderhoudswerken op het terrein effectief gerealiseerd te krijgen. Dit is een hallucinant cijfer, zeker als men weet dat de normale jaarlijkse onderhoudsbehoefte volgens de meetrapporten 119,1 miljoen euro bedraagt, zijnde 87,1 miljoen voor de gewestwegen en 32 miljoen voor de autosnelwegen. Men kan stellen dat het structurele onderhoud jaarlijks over dit bedrag moet kunnen beschikken om te verhinderen dat de lengte van de wegsecties in een onvoldoende toestand verder zal toenemen. Dit jaarlijks vereiste bedrag, om dus de onderhoudsachterstand niet verder te laten toenemen, houdt uiteraard enkel rekening met de schade die gedetecteerd wordt op basis van oppervlaktekenmerken van de verharding. Andere wegelementen, zoals afschermbouwconstructies, geluidsschermen of kunstwerken, zijn hierin niet inbegrepen.

Bovenstaande figuren tonen dat de onderhoudsachterstand van het wegennet de laatste jaren quasi constant is gebleven. Dat betekent dat de momenteel ter beschikking gestelde budgetten voor het jaarlijkse structurele onderhoud niet voldoende zijn om de onderhoudsachterstand verder substantieel te laten afnemen. Het hoeft geen betoog dat een enorme inspanning nodig zal zijn om de onderhoudsachterstand van onze gewest- en autosnelwegen te minimaliseren om zo een optimaal kwaliteitsniveau van het wegennet te bekomen.

2.4 Overzicht van de toestand van kunstwerken in het Brusselse Gewest

2.4.1 Algemeen

De Gewestelijke Overheidsdienst Brussel – Brussel Mobiliteit beheert ongeveer 140 kunstwerken (metronet niet inbegrepen). Naar aanleiding van de ‘tunnelcrisis’ in 2015-2016 werden meerjarige investeringsplannen uitgewerkt en gefinancierd voor de tunnels en, sinds 2018, voor bruggen en viaducten. De uit te voeren maatregelen hebben zowel betrekking op de stabiliteit van de kunstwerken als op de veiligheid van de gebruikers, evacuatie en verluchting. Sinds 2017 worden jaarlijkse inspecties uitgevoerd door een extern organisme. Alles wat nu kritiek en bekend is wat betreft veiligheid in de tunnels moet worden aangepakt in een tijdsbestek van 15 jaar. De budgettaire en uitvoeringsplanning van de investeringen wordt twee keer per jaar aangepast.

De klassering volgens prioriteit van de acties die noodzakelijk zijn om de beschikbaarheid van bruggen en viaducten te verzekeren wordt bepaald op basis

van het toestandsniveau van elk kunstwerk enerzijds en van het gevolgniveau anderzijds.

Het toestandsniveau wordt bepaald op basis van de beoordeling van de algemene toestand van het kunstwerk uitgaande van de vastgestelde beschadigingen en van de toestand van de verschillende onderdelen (bevestigingssystemen, wegbedekking, uitzettingsvoegen, draagstructuur van het brugdek, waterdichtheid, waterafvoeren, oplegtoestellen, pijlers, landhoofden, grondkeringen, bekledingen...), waarvan de beoordeling eveneens gebaseerd is op de beschadiging van ieder element.

Het gevolgniveau heeft betrekking op de gevolgen van het falen van een element in termen van mobiliteit, functioneel gedrag, veiligheid, milieu en het risico op een economisch nadeel voor derden.

De combinatie van toestandsniveaus en gevolgniveaus resulteert in een matrix met 36 prioriteitsniveaus. Die worden gegroepeerd in zes klassen die toelaten om het geheel van bruggen en tunnels te klasseren volgens een prioriteringsvolgorde, zoals weergegeven in Tabel 8.

Prioriteringstabel		Globale toestandsniveau					
		F	E	D	C	B	A
Globale gevolgniveau	6	36	30	25	22	14	6
	5	35	29	24	17	13	5
	4	34	28	23	16	10	4
	3	33	27	20	15	9	3
	2	32	26	19	12	8	2
	1	31	21	18	11	7	1

Tabel 8 – Prioriteringstabel

De definitieve programmering en planning van de acties wordt vervolgens vastgelegd op basis van de beschikbaarheid van de middelen (budgetten en personeel) en op basis van de beslissingen van de voogdijminister of de regering. Alles wat nu kritiek en bekend is moet worden aangepakt in een tijdsbestek van 15 jaar. De planning wordt jaarlijks aangepast.

De klassering volgens prioriteringsvolgorde van de acties die noodzakelijk zijn voor de beschikbaarheid van de **tunnels** is gebaseerd op het risico dat het falen van een kunstwerk, van uitrusting of van een element dat cruciaal is voor de veiligheid van de gebruikers ertoe leidt dat de minimale exploitatievoorwaarden niet meer bereikt worden en dat de tunnel de facto gesloten moet worden.

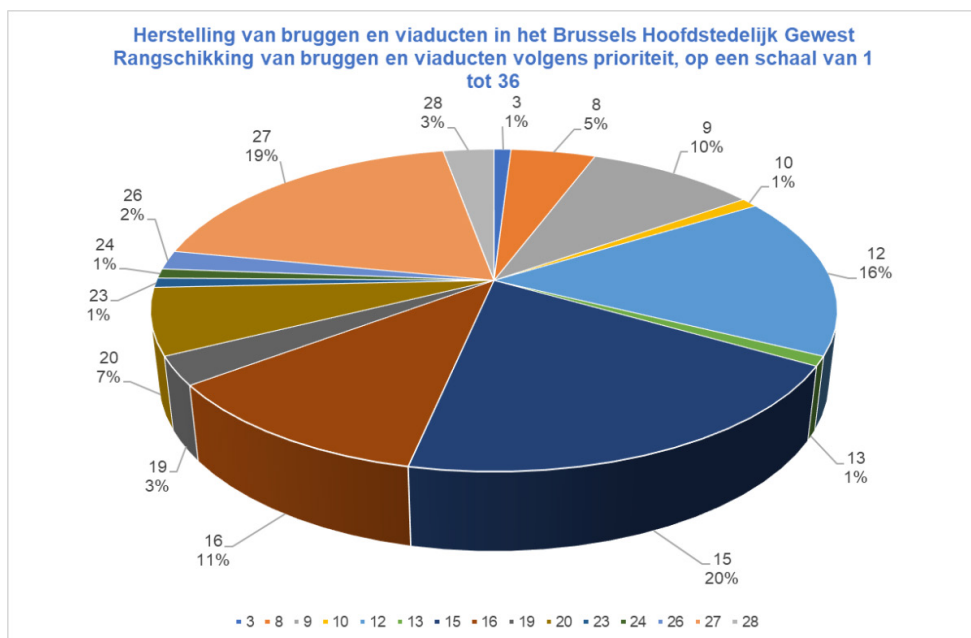


Fig. 20 – Klassering van bruggen en viaducten volgens prioriteringsvolgorde (oktober 2020)

2.4.2 Verhoging van het veiligheidsniveau in tunnels in het Europese netwerk

Met betrekking tot tunnels als onderdeel van het *Trans-European Road Network* (TERN) werden minimale veiligheidsvereisten voor tunnels uitgevaardigd door de Europese Unie die opgenomen zijn in verschillende directieven. De verplichting tot het volgen van deze directieven werd wettelijk opgelegd (binnen deadlines) en de nodige budgetten werden hiertoe vrijgemaakt. Door deze verplichte omkadering werd de veiligheid voor de gebruikers sterk verhoogd, met verbintenissen in de georganiseerde evacuatie binnen afgesproken tijdspannes en tot het garanderen van structurele veiligheden bij brand. Deze maatregelen zijn gebaseerd op een risicoanalyseaanpak en QRA-analyses (*quantitative risk assessment*). Vandaag voldoen de TERN-tunnels op het Vlaamse grondgebied en de spoortunnels als onderdeel van de Europese Corridors aan deze vereisten. Deze vaststelling, alvast voor wat betreft spoorwegen, wordt officieel bekrachtigd door een homologatieprocedure door een onafhankelijk Erkend Organisme (*Notified Body*). Een dergelijke opgelegde verplichting heeft onrechtstreeks tot gevolg dat ook de structurele renovatie van deze bestaande tunnels werd bespoedigd in éénzelfde project. Naast het verhogen van het veiligheidsniveau (als verplichting) werden volledige renovaties van de bestaande tunnels uitgevoerd.

Het voorgaande heeft evenwel enkel betrekking op de belangrijkste tunnels binnen het Europese net. Er wordt echter sterk geopperd om de overige tunnels op het net, tunnels langer dan 300 m en niet-TERN-tunnels, eveneens op deze manier aan te pakken. In het Brusselse Gewest werd dit alvast opgepikt: gelijkaardige veiligheidsvereisten werden verplicht opgelegd voor alle tunnels binnen het gewest, ondanks het feit dat het geen TERN-tunnels zijn. Dit is een mooi voorbeeld van hoe een wettelijke verplichting inzake veiligheid de structurele renovatie van deze tunnels heeft bespoedigd.

2.5 Oorzaken van de vastgestelde problemen

Kunstwerken

De huidige staat van de kunstwerken is het resultaat van een combinatie van diverse oorzaken.

- Een ouder wordend patrimonium: De piek van constructie tussen de jaren 1950 en de jaren 1990 zorgt ervoor dat al deze kunstwerken de komende decennia het einde van hun normale levensduur zullen kennen, met voorafgaandelijk meer en meer gebreken en dus een afname in kwaliteit van de toestand.
- Zeer hoog bouwvolume in de jaren 1970: De jaren 1970 werden gekenmerkt door een massale aanleg van infrastructuur en kunstwerken. Het realiseren van een werk van dergelijke omvang binnen een beperkt tijdsbestek uitte zich soms in minder aandacht voor kwaliteit. De voortgang van het werk primeerde.
- Een hogere verkeerslast dan voorzien bij het ontwerp: De ontwerpnormen en richtlijnen voor kunstwerken in de jaren 1950-1990 hielden onvoldoende rekening met het aantal vrachtwagens die het huidige verkeer kenmerken en hun massa.
- Onvoldoende eisen naar duurzaamheid in vroegere normen en voorschriften: De nodige betondekkingen werden te gering ingeschat om de vereiste duurzaamheid te bereiken.
- Onvoldoende regulier onderhoud: Om verdere en versnelde schade te vermijden is het belangrijk om tijdig kleine gebreken te herstellen, zoals bijvoorbeeld tekortkomingen in waterdichtheid of waterafvoer, initiëring van corrosie van het wapeningsstaal door carbonatatie of chloride-indringing, enz. Eventuele opstapeling van vuil of begroeiing kan ook zorgen voor verdere schade.
- De toepassing van kritieke details: In de jaren 1960 en 1970 werden bruggen ontworpen waarbij gebruikgemaakt werd van bepaalde constructiedetails die achteraf gezien als kritiek beoordeeld worden. Dit zijn specifieke zones die soms moeilijk of niet toegankelijk zijn, waarvan de juiste toestand dus moeilijk in te schatten is, en waarvan een herstelling soms erg moeilijk uitvoerbaar is. Deze maken het kunstwerk meestal zeer kwetsbaar. Voorbeelden van dergelijke details zijn cantilevers, voorspankabels uitmondend in het brugdek, verankeringen voor het opvangen van negatieve oplegreacties, funderingen die mogelijk onderhevig zijn aan uitspoelingen...

- Toename van de verkeersdruk: De toegenomen verkeersdruk maakt de hinder die veroorzaakt wordt door inspecties, onderhoud en renovaties minder en minder aanvaardbaar. Onderhoud dat niet absoluut noodzakelijk is, wordt hierdoor op de lange baan geschoven. Herstellingen gebeuren omwille van tijdsdruk en periode waarin gewerkt mag worden, wat niet optimaal is.

Specifiek voor kunstwerken voor spoorwegen

- Het ten allen tijde in dienst houden van de infrastructuur betekent dat onderhoud en herstellingen enkel kunnen gebeuren binnen zeer beperkte noodzakelijke buitendienst- en buitenspanningstellingen. Dit belet ook grondige renovaties of noodzakelijke werken ter bescherming, zoals waterdichting of conserveringswerken.
- De gebrekkige bereikbaarheid van verzamelpunten in de afwatering (spoor op ballast) en/of de moeilijke bereikbaarheid van kwetsbare punten zoals opleggingen bemoeilijkt sterk het onderhoud en de herstellingen.
- Spoorinfrastructuur is ook minder flexibel naar lengteprofiel toe, het spoor volgende. Dit zorgt ervoor dat afwatering moeizamer gebeurt en dat men sneller geconfronteerd wordt met complexere grondmechanische en hydrologische gebieden (sterke ingravingen of ophogingen).
- Oudere stalen kunstwerken werden niet ontworpen voor fenomenen als vermoeiing of een grote dynamische impact door toenemende snelheden. Hedendaagse spoorinfrastructuur wordt vooral ontworpen voor strenge comforteisen ten aanzien van spoorstabiliteit (beperking van doorbuiging en versnelling bij passage van een trein) en met aandacht voor een spoorbruginteractie.
- Door electrificatie van het spoor duiken specifieke aandachtspunten op met betrekking tot 'zwerfcorrosie', in het bijzonder in oudere tunnels in gewapend beton.
- De kunstwerken voor spoor zijn zeer divers, met nog een groot aandeel bestaande uit metselwerkgewelven. Hiermee is weinig hedendaagse ervaring.
- In de jaren 1990 tot 2020 werd volop ingezet op grote investeringsprojecten (hogesnelheidstrein, capaciteitsuitbreidingen met een derde of vierde spoor, de Liefkenshoekspoorverbinding, Diabolo), met beperkte investeringen in structureel onderhoud.

Wegen

- In de jaren 1960 en 1970 was er een zeer grote toename aan publieke investeringen. De grote investeringspiek van toen betekent dat we nu geconfronteerd worden met infrastructuur waarvan de onderhoudskosten stijgen.
- De toename van het vrachtverkeer zorgt voor meer slijtage, vermoeiing, spoorvorming... (zie lid 2.3.2).
- Er werd minder geïnvesteerd in structureel onderhoud, wel in grote investeringsprojecten.

- De reglementering verstrengt alsmaar, waardoor ook de kosten van het algemene beheer van een weg, tunnel of brug stijgen.

2.6 Internationale context

2.6.1 Overheidsinvesteringen

In Fig. 21 worden de overheidsinvesteringen in openbare infrastructuur vermeld in procent van het bbp in 2014 in België en in de ons omringende landen²⁰. Hieruit blijkt dat Nederland en Frankrijk meer dan dubbel zoveel investeren in openbare infrastructuur uitgedrukt in % bbp.

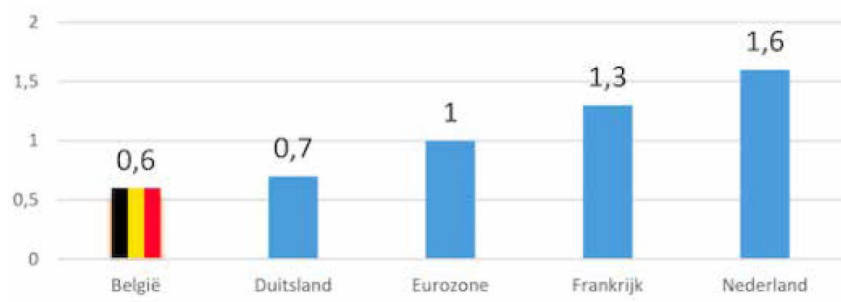


Fig. 21 – Overheidsinvesteringen in openbare infrastructuur²¹

2.6.2 Structuur en gebruik van het Europese wegennetwerk

Hierna worden een aantal gegevens overgenomen uit het 'Trans-European Road Network, TEN-T (Roads): 2019 Performance Report' van CEDR (Conference of European Director of Roads)²², dat dateert van 2020 en gebaseerd is op de toenmalige kenmerken van het netwerk van hoofdwegen in 21 verschillende landen of regio's. Het TEN-T heeft een totale lengte van 71.046 km. In Vlaanderen behoort 948 km aan wegen tot dit netwerk, waaronder 820 km autosnelwegen (86,5%).

Fig. 22 toont de verdeling van de verkeersintensiteit op het TEN-T-netwerk op basis van de AADT (*Annual Average Daily Traffic*)-waarde²³. Bekijkt men de categorie met meer dan 100.000 voertuigen, dan blijkt dat Vlaanderen de drukste bezetting heeft met 21,7%, gevolgd door Nederland met 17,2% en het Verenigd Koninkrijk met 13,8%. Op slechts 3,3% van het volledige netwerk komen gemiddeld meer dan 100.000 voertuigen per dag voorbij.

²⁰ Deloitte Consulting & Advisory, 'Eerst houden, dan bouwen - i.o.v. Beleidsdomein Mobiliteit en Openbare Werken'.

²¹ Deloitte Consulting & Advisory.

²² 'Trans-European Road Network, TEN-T (Roads): 2019 Performance Report'.

²³ 'Trans-European Road Network, TEN-T (Roads): 2019 Performance Report'.

In Fig. 23 wordt de gemiddelde AADT voor het TEN-T-netwerk uitgesplitst in autosnelwegen en niet-autosnelwegen. Hierbij valt op dat Vlaanderen respectievelijk als tweede drukste (bij autosnelwegen) en als derde drukste regio (bij niet-autosnelwegen) gecatalogeerd wordt.

Daarbovenop komt nog de merkwaardige vaststelling dat Vlaanderen op het vlak van het aandeel van vrachtwagens (HGV of *heavy goods vehicles*, met een totaal gewicht van minstens 3,5 ton) ook nog eens bij de koplopers is. Zo heeft nagenoeg 40% van het Vlaamse netwerk een aandeel van meer dan 20% aan vrachtvoertuigen te verduren (Fig. 24).

Opgesplitst in autosnelwegen en niet-autosnelwegen valt de koploperspositie van Vlaanderen nog beter op (Fig. 25).

Figuren 26 en 27 tonen het aandeel van respectievelijk bruggen (langer dan 100 m) en tunnels in de nationale TEN-T-netwerken. Voor wat het aandeel bruggen betreft, scoort Vlaanderen bij het Europese gemiddelde; voor wat het aandeel tunnels betreft, scoort het onder dat gemiddelde. Vooral bij de tunnels wordt een vrij grote variatie tussen de verschillende landen vastgesteld, waarbij niet alleen bergachtige landen hoog scoren.

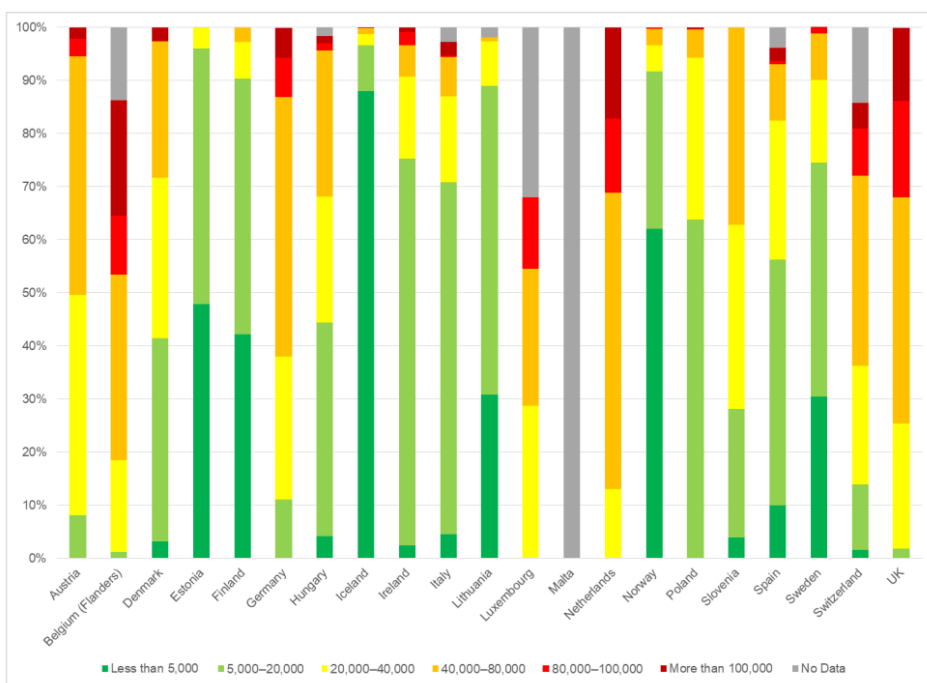


Fig. 22 – Verdeling van de verkeersintensiteit op het TEN-T-netwerk op basis van de AADT²⁴

²⁴ 'Trans-European Road Network, TEN-T (Roads): 2019 Performance Report'.

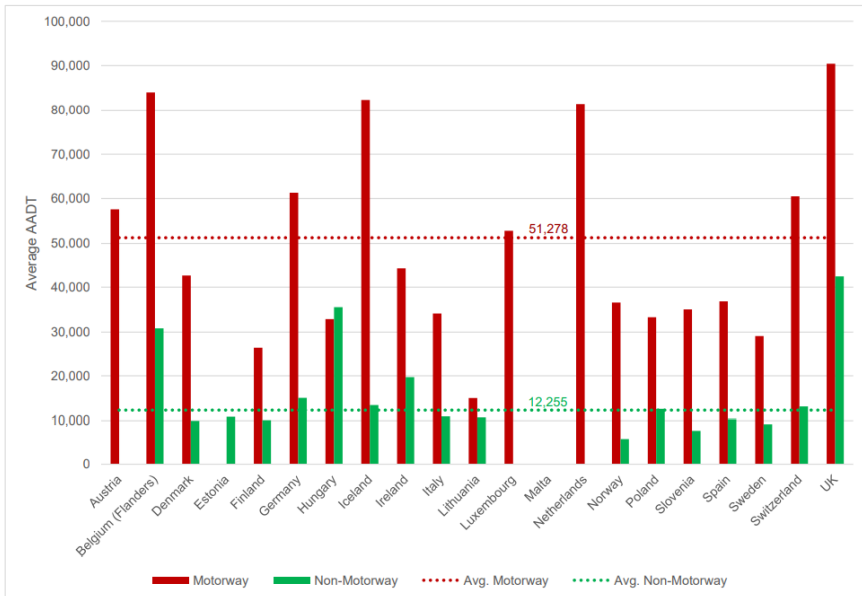


Fig. 23 – Verkeersintensiteit op het TEN-T-netwerk voor autosnelwegen en niet-autosnel-wegen²⁵

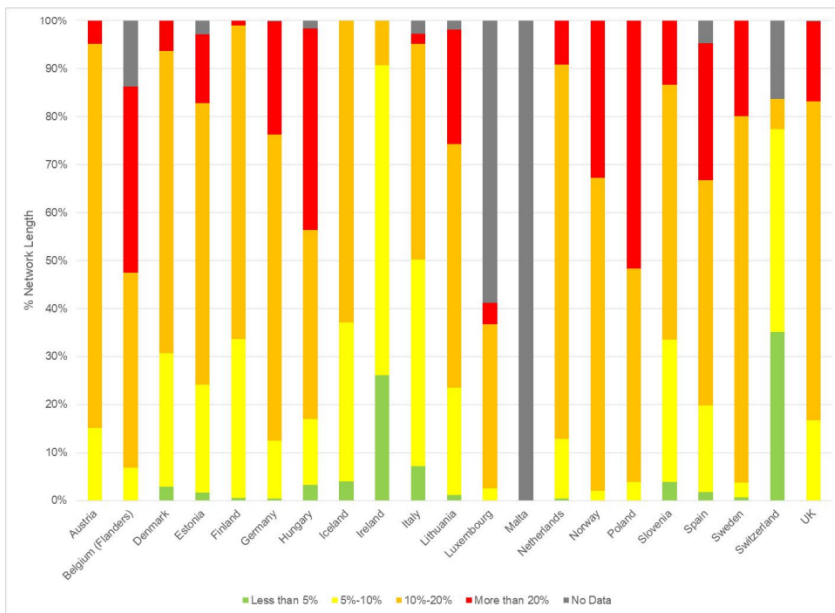


Fig. 24 – Verdeling van het aandeel vrachtwagens op het TEN-T-netwerk in AADT²⁶

²⁵ 'Trans-European Road Network, TEN-T (Roads): 2019 Performance Report'.

²⁶ 'Trans-European Road Network, TEN-T (Roads): 2019 Performance Report'.

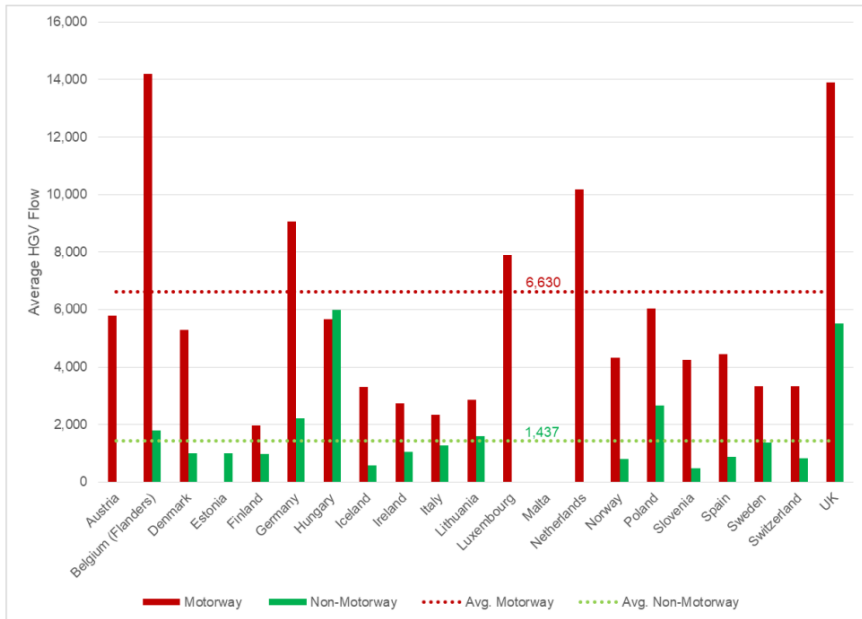


Fig. 25 – Verkeersintensiteit van vrachtwagens (HGV) op het TEN-T-netwerk op basis van de AADT uitgesplitst in autosnelwegen en niet-autosnelwegen²⁷

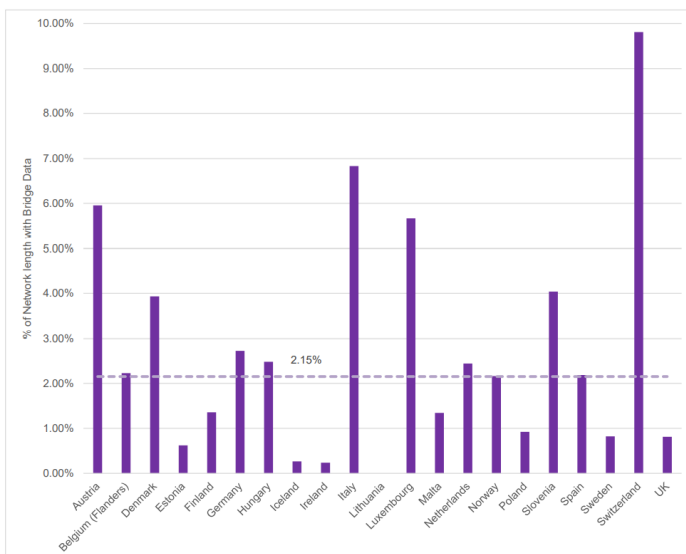


Fig. 26 – Aandeel van bruggen in de nationale TEN-T-netwerken²⁸

²⁷ 'Trans-European Road Network, TEN-T (Roads): 2019 Performance Report'.

²⁸ 'Trans-European Road Network, TEN-T (Roads): 2019 Performance Report'.

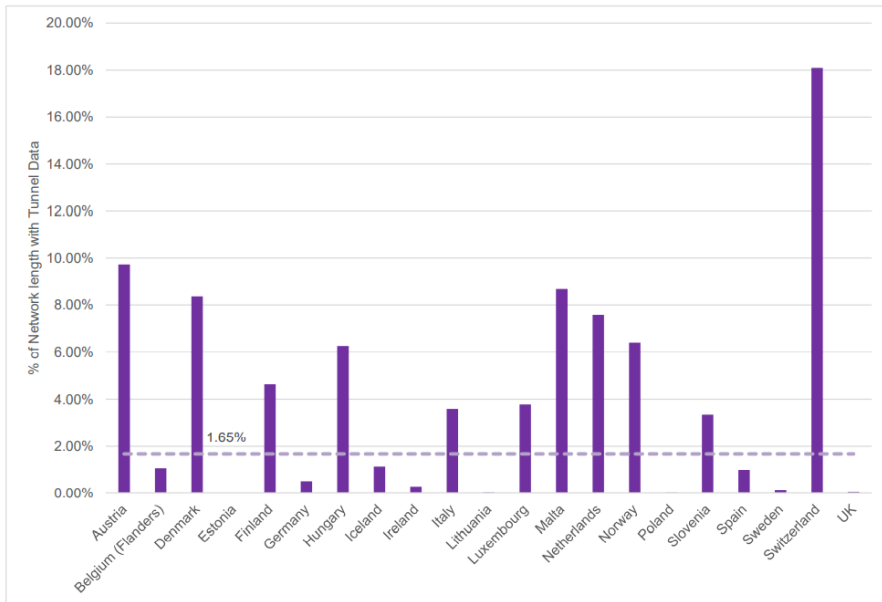


Fig. 27 – Aandeel van tunnels in de nationale TEN-T-netwerken²⁹

In Tabel 9 wordt een overzicht gegeven van de toepassing van intelligente transportsystemen (ITS) opgesplitst per niveau, met de volgende invulling:

- level 0: ontbreken van ITS
- level 1: monitoringsysteem met verzameling van real-timegegevens
- level 2: verkeersinformatiesysteem (passief management waarbij bv. verkeers- en weerinfo doorgegeven wordt aan gebruikers)
- level 3: verkeersmanagementsysteem (actief management met dynamische rijvakaansturing)
- level 4: coöperatief systeem met voertuig-voertuig- of voertuig-infrastructuuruitwisseling van informatie

Op basis van deze tabel kan gesteld worden dat Vlaanderen met 65,7% in niveau 3 op het vlak van invoering van ITS-technologie bij de Europese koplopers behoort.

²⁹ 'Trans-European Road Network, TEN-T (Roads): 2019 Performance Report'.

Country	Total length (km)	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	No data
Austria	1,740	0.0%	83.6%	0.0%	15.0%	1.4%	0.0%
Belgium (Flanders)	948	0.0%	0.0%	34.3%	65.7%	0.0%	0.0%
Denmark	1,560	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Estonia	1,350	0.0%	0.0%	99.0%	1.0%	0.0%	0.0%
Finland	5,205	0.0%	0.0%	82.9%	17.1%	0.0%	0.0%
Germany	10,713	0.0%	0.0%	49.5%	50.5%	0.0%	0.0%
Hungary	1,474	3.5%	6.3%	69.2%	11.3%	9.8%	0.0%
Iceland	1,805	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Ireland	2,163	84.3%	7.5%	8.1%	0.0%	0.0%	0.0%
Italy	3,016	0.0%	44.5%	4.5%	0.0%	0.0%	51.0%
Lithuania	1,652	0.0%	0.0%	89.6%	10.4%	0.0%	0.0%
Luxembourg	90	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
Malta	114	0.0%	4.6%	0.0%	74.6%	0.0%	20.7%
Netherlands	1,886	0.0%	7.7%	6.6%	85.6%	0.0%	0.0%
Norway	4,793	0.0%	0.0%	32.1%	67.4%	0.5%	0.0%
Poland	7,501	11.8%	43.8%	44.4%	0.0%	0.0%	0.0%
Slovenia	599	0.0%	0.0%	47.9%	52.1%	0.0%	0.0%
Spain	12,255	0.0%	4.1%	47.6%	47.7%	0.0%	0.5%
Sweden	6,417	0.0%	0.0%	92.4%	7.6%	0.0%	0.0%
Switzerland	1,325	0.0%	0.0%	5.5%	94.5%	0.0%	0.0%
UK	4,441	0.1%	0.0%	51.3%	48.6%	0.0%	0.0%
Total	71,046	3.9%	9.8%	51.9%	31.7%	0.3%	2.4%

Tabel 9 – Toepassing van intelligente transportsystemen³⁰

2.6.3 Workshop

Op 4 maart 2020 organiseerde de werkgroep een workshop met als titel 'Management of Infrastructure: an international perspective'. Alle overheden worden geconfronteerd met tal van uitdagingen op het gebied van het onderhoud van infrastructuur. Deze internationale workshop zoomde in op de situatie in Italië, Frankrijk en Nederland en bood nieuwe perspectieven en input voor het debat in Vlaanderen.

Enkele voorbeelden van kritieke infrastructuur in Italië³¹ werden toegelicht, alsook de evolutie van het management van bruggen in Frankrijk en een blik op de toekomst met een circulaire infrastructuur in Nederland^{32,33}. De ervaringen uit Frankrijk zijn inspirerend. De laatste jaren werd het management van bruggen (weginfrastructuur) meer gestructureerd met audits en aanbevelingen voor de

³⁰ 'Trans-European Road Network, TEN-T (Roads): 2019 Performance Report'.

³¹ Marco di Prisco, 'Critical Infrastructure in Italy: State of the Art, Case Studies, Rational Approaches to Select the Intervention Priorities', in *Proceedings of the FIB Symposium 2019: Concrete - Innovations in Materials, Design and Structures*, 2019, 49–58.

³² 'Een learning history: Wat leert het eerste circulaire viaduct ons?'

³³ 'De toekomst begint nu: Jaarrapportage 2019 Impulsprogramma Circulaire Economie Rijkswaterstaat' (Rijkswaterstaat, februari 2020).

Senaat. Er werd verwezen naar de *Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art* (ITSEO) als toe te passen referentietekst voor de kunstwerken van het rijkswegennet en als technische instructie voor de beoordeling van, het toezicht op en het onderhoud van kunstwerken voor weginfrastructuur. Daarbij werd verwezen naar het instituut Cerema (Centrum voor Studies en Expertise inzake Risico's, Milieu, Mobiliteit en Planning), dat deze richtlijn centraal uitzet. Het Cerema is een openbare instelling die zich richt op het ondersteunen van het overheidsbeleid en onder het dubbele toezicht staat van het '*Ministère de la transition écologique*' en het '*Ministère de la cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales*'.

Voor belangrijke kunstwerken is elke 3 jaar een IQOA (*Images Qualité des Ouvrages d'Art*)-evaluatie of een grondige structurele evaluatie noodzakelijk. In de uitvoering hiervan werd vooral ingezet op decentralisatie, aangezien deze evaluaties in het verleden te centraal gestuurd werden, wat vertragend werkte. Voor spoorinfrastructuur gebeurt het management binnen de SNCF. Hier wordt vooral gewerkt in functie van de *Technical Specifications for Interoperability* (TSI), die aangestuurd worden vanuit de Europese Unie.

3. Knelpunten

Algemeen wordt recent in de Europese landen een sterk toegenomen druk vastgesteld om hogere economische prestaties af te leveren op het vlak van onderhoud en vooral op het vlak van operationaliteit van de verschillende netwerken (spoor-, wegen- en waterwegennetwerk). Deze druk is bijna recht evenredig met de krapte aan budgettaire middelen van de overheden.

Landen die reeds lang over een goed uitgebouwd infrastructuurnetwerk beschikken, worden geconfronteerd met:

- een vrij verouderd netwerk dat veel onderhoud vergt
- een toename van de verkeersdrukte maar vooral van de filezwaarte
- een maatschappelijke vraag naar netwerkoptimalisering
- een constant stijgende vraag naar een hogere veiligheidsgraad van het netwerk
- de vraag naar verantwoording van de inzet aan gemeenschapsgelden
- het koppelen van budgetten aan het bereiken van afgesproken *service levels*
- het optimaliseren van uitgaven inclusief verhoogde productiviteit

Ook de volgende aspecten spelen een belangrijke rol:

- Het 'minder hinder'-verhaal speelt een duidelijke rol: doorstroming en maximale beschikbaarheid van de infrastructuur zijn zeer duidelijke vragen van de publieke opinie. Dit zorgt voor beperkingen in de mogelijkheden tot renovatie. Hiermee moet zeer sterk rekening gehouden worden in de planning. Grote werken worden op elkaar afgestemd, werken worden 's nachts uitgevoerd of in verkeersluwere periodes...
- Ook de markt moet meekunnen. Aannemers, die het onderhoud moeten uitvoeren, werken ook met een beperkte capaciteit. Zelfs indien een onbeperkt budget beschikbaar zou zijn, dan zou men nog afhankelijk zijn van de werkracht en capaciteit van de aannemers. Niet elke aannemer kan zich onmiddellijk vrijmaken voor talrijke verschillende grotere infrastructuurprojecten.
- Zolang de onderhoudsachterstand niet volledig is weggewerkt, kan het basisprincipe van duurzaam beheer niet ten volle benut worden, een principe waarbij prioritair wordt ingezet op preventief onderhoud en curatief onderhoud nog slechts in beperkte mate voorkomt. Waar momenteel nog vooral ingezet wordt op curatief onderhoud moet men evolueren naar een onderhoudsstrategie waarbij de focus meer ligt op preventief, regulier onderhoud. Door meer middelen aan te wenden voor dit reguliere onderhoud voorkomt men een snellere achteruitgang van het patrimonium met grotere kosten nadien.

Er is nog werk aan de winkel. In de jaren 1960 en 1970 was er een grote toename aan publieke investeringen die momenteel een stijging van onderhoudskosten met zich meebrengen. De beschikbare middelen worden zo goed mogelijk ingezet en er worden prioriteiten gesteld wat betreft herstelling, renovatie en vervanging.

4. Diagnosetechnieken en smart monitoring

4.1 Visuele inspectie

De meest voorkomende diagnosetechniek voor de beoordeling van de conditie van infrastructuur is nog steeds visuele inspectie. Deze vereist goed getrainde technici en een performante databank om de rapporten op te slaan. Een recente trend is het inzetten van drones die inspectie op moeilijk toegankelijke plaatsen sterk vergemakkelijken.

Een nadeel van visuele inspectie is dat ze alleen zichtbare gebreken aan het buitenoppervlak kan detecteren. Het arbeidsintensieve karakter ervan maakt dat zij slechts periodiek, om de x jaar, kan worden uitgevoerd. Bovendien levert ze vooral kwalitatieve informatie. Kwantitatieve resultaten kunnen bekomen worden door het inzetten van gepaste apparatuur, waarbij een onderscheid gemaakt kan worden tussen lokale en globale technieken.

4.2 Lokale technieken

Lokale technieken vereisen dat de plaats van degradatie via visuele inspectie vooraf gespot (of vermoed) werd. Eén van de veelvoorkomende oorzaken van degradatie van betonnen constructies is onvoldoende betondekking van het wapeningsstaal met mogelijke corrosie tot gevolg. Bij de apparatuur die beschikbaar is om de betondekking op te sporen kan onderscheid gemaakt worden tussen magnetische, elektromagnetische en radartechnieken. Hiernaast spelen de carbonatatie diepte en het chloridegehalte van het beton ook een rol: besproeiing met fenolftaleïne en chloridegehaltemetingen op kernen of boorstof kunnen hierover concrete informatie verschaffen.

De mate van corrosie van het betonstaal kan beoordeeld worden aan de hand van resistiviteitsmetingen, metingen van de polarisatieweerstand en halfcel-potentiaal mapping.

Een interessante evolutie is de ontwikkeling van *self-sensing concrete*: door toevoeging van (nano)koolstofvezels wordt de ('smart') structuur, het beton, zelf een sensor.

Bij zowel betonnen als stalen bruggen is accumulatie van schade gerelateerd aan scheurtjes en defecten die geleidelijk aan kunnen groeien. Tijdige opsporing en gepaste herstelling zijn uiterst belangrijk voor het verlengen van de levensduur en het voorkomen van het (gelukkig zeldzame) bezwijken van bijvoorbeeld een brug. Hierna wordt een overzicht gegeven van momenteel gangbare detectietechnieken.

Om niet-zichtbare defecten of scheurtjes te detecteren worden vaak ultrasoon-technieken (UT) gebruikt. Ultrasoon onderzoek maakt gebruik van de fysische

grootheid akoestische impedantie. Lucht heeft een véél kleinere impedantie dan water en het te onderzoeken materiaal. Scheidingsvlakken tussen twee gebieden met verschillende impedantie kaatsen de geluidsgolven gedeeltelijk terug. Aangezien de akoestische impedantie van lucht vrijwel nul is, zal zeer veel geluid dat op een grensvlak materiaal-lucht komt teruggekaatst worden. Bij de actieve versie bevat de apparatuur een geïntegreerde zender en ontvanger. Een zender, in de vorm van een piëzokristal, wekt mechanische trillingen (ultrageluid) op. Aan de andere kant van het materiaal bevindt zich een ontvanger (de zender is ook als ontvanger te gebruiken), ook een piëzokristal. Schade wordt opgespoord door analyse van de reistijd en/of ultrasone golfkenmerken.

De toepassing van akoestische emissie (AE) bij niet-destructief testen vindt typisch plaats tussen 100 kHz en 1 MHz. In tegenstelling tot conventionele ultrasone testen zijn AE-tools ontworpen voor het monitoren van akoestische emissies die worden geproduceerd tijdens de progressie van interne scheurtjes of breukverschijnselen, en niet gebaseerd op het effect van extern gegenereerde golven.

Het Phased Array Ultrasoon Onderzoek is een geavanceerde toepassing van ultrasone inspectietechnologie. Het kan worden gebruikt voor lasonderzoek, het vinden van scheuren en andere defecten, diktemetingen en corrosie-inspecties. Door de gedetailleerde visualisatie van de omvang, vorm, diepte en oriëntatie van het defect kan Phased Array vaak worden toegepast als alternatief voor radiografisch onderzoek. Bij conventioneel UT-onderzoek stuurt een enkele transducer ultrageluid het materiaal in. Phased Array-tasters bevatten elk meerdere transducers. Door een vertraging te introduceren tussen de pulsen die iedere transducer uitzendt, kunnen de hoek en het focuspunt van de geluidsgolven worden beïnvloed. Dit maakt Phased Array een zeer veelzijdige methode die gebruikt kan worden voor complexe geometrieën.

De Time-of-Flightdiffractie (TOFD)-methode voor ultrasoon testen is een gevoelige en nauwkeurige methode voor het niet-destructief testen van lassen op defecten. Deze 'tip-diffractietechniek' is gebaseerd op het principe dat de uiteinden van een scheur bij een golfslag de signalen terug zullen buigen naar een andere locatie op het oppervlak. De diepte van deze tips kan worden bepaald aan de hand van de afgebogen energie.

Pulsed-Eddy Current (PEC)-apparatuur gebruikt een sondespoel om een gepulst magnetisch veld naar een metalen object te sturen. Het variërende magnetische veld veroorzaakt wervelstromen op het metalen oppervlak. Het gedetecteerde wervelstroomsignaal wordt vergeleken met een vooraf ingesteld referentiesignaal. De materiaaleigenschappen worden geëlimineerd om een waarde te geven voor de gemiddelde wanddikte binnen het gebied dat door het magnetische veld wordt bedekt. De tool registreert het signaal voor latere analyse.

Magnetische deeltjesinspectie (MPI) is een niet-destructief testproces (NDT) voor het detecteren van oppervlakte- en ondiepe discontinuïteiten in ferromagnetische materialen zoals ijzer, nikkel, kobalt en sommige van hun legeringen. Het proces creëert een magnetisch veld in het te inspecteren onderdeel dat gemagnetiseerd kan worden door directe of indirecte magnetisatie. Directe magnetisatie treedt op wanneer de elektrische stroom door het testobject wordt geleid en een magnetisch veld wordt gevormd in het materiaal. Indirecte magnetisatie treedt op wanneer er geen elektrische stroom door het testobject wordt geleid, maar een magnetisch veld wordt aangelegd vanuit een externe bron. De aanwezigheid van een oppervlak- of ondergrondsdiskontinuiteit in het materiaal zorgt ervoor dat de magnetische flux lekt, omdat lucht niet zoveel magnetisch veld per volume-eenheid kan bevatten als metalen.

De voorgaande technieken zijn – afzonderlijk of in combinatie – reeds nuttig gebruikt bij stalen bruggen om scheurvorming in bijvoorbeeld rijdek, verstijvers, lijfplaten en flenzen op te sporen.

Alle technieken geven een goede indicatie van (groei van) scheurvorming, defecten en dergelijke. Voor deze indicatoren zijn er evenwel géén afkeuringscriteria.

4.3 Globale technieken

Deze technieken gaan niet uit van een a priori lokalisatie van de schade. Een mogelijk nadeel is dan ook dat ze onvoldoende gevoelig zijn voor lokale defecten.

Zowel bij indienstneming van bruggen als bij periodieke inspecties ervan worden (statische) verplaatsingen of doorbuigingen opgemeten. Zij mogen bepaalde normwaarden niet overschrijden. Gemeten verplaatsingen kunnen initieel gebruikt worden om numerieke modellen te valideren of nadien om voortschrijdende schade vast te stellen.

Lineair Variabele Differentiaaltransformatoren (LVDT's) of lineaire positie-sensoren (potentiometers) kunnen gebruikt worden om verplaatsingen continu te registreren. Nadeel is de noodzaak van een vaste referentie, bijvoorbeeld een stelling. Dit wordt vermeden met contactloze apparatuur als topografische meettoestellen, laserscanners en op optische fotogrammetrie gebaseerde technieken. Een interessante evolutie is het ter beschikking komen van 3D-laserscanning. Zij laat toe om bestaande geometrieën te reconstrueren en, met weliswaar nog beperkte resolutie, een volledig verplaatsingsveld bij opgelegde belasting op te meten.

Voor het meten van rotatiehoeken kunnen gyroscopen en inclinometers ingezet worden. Integratie van rotatiehoeken laat toe ook verplaatsingen te schatten zonder de vereiste van een referentiestructuur.

Vervormingen (relatieve verplaatsingen) geven locatiegerelateerde informatie. In plaats van de klassieke rekstrookjes (meting van weerstandsveranderingen) worden hiervoor in toenemende mate optische reksensoren aangewend. Zij zijn ongevoelig voor elektromagnetische interferentie. Het meest voorkomend zijn *Fiber Bragg Gratings* (FBG's), die als bijkomend voordeel hebben dat heel wat sensoren op één enkele optische vezel aangebracht kunnen worden (multiplexing).

Als een alternatief en/of complement voor statische metingen wordt trillingsmonitoring een steeds meer gangbare techniek. Hierbij gaat het om trillingen opgewekt door natuurlijke (microseïsmen, wind, verkeer boven of onder de brug...) en/of artificiële bronnen (shaker, impacthamer...). Trillingen kunnen geregistreerd worden met versnellingsopnemers (accelerometers), met snelheids- en verplaatsingsmeters en ook met rekstrookjes en FBG's. Recente vooruitgang in radartechnieken en -systemen heeft geleid tot de ontwikkeling van een microgolfinterferometer die contactloos de (statische of dynamische) verplaatsing op verschillende punten van een structuur met een hoge gevoeligheid kan meten.

De maximale dynamische respons ten gevolge van een bepaalde excitatie, zoals verkeer of wind, kan gebruikt worden om bij overschrijding van een bepaald niveau een alarm te geven. Meer informatie kan bekomen worden door modale parameters – natuurlijke frequenties en bijhorende trillingsvormen, dempingsverhoudingen – af te leiden uit de trillingsmetingen. Krachtige algoritmes voor systeemidentificatie laten toe om deze modale parameters af te leiden uit natuurlijk geïnduceerde trillingen. Deze parameters zijn een maat voor de stijfheid (en massa) van de brug. In tegenstelling tot statische metingen is geen gekende (gemeten) belasting nodig. Indien draadloze sensoren gebruikt worden is het bovendien een snelle methode met minimale of geen enkele invloed op de gebruikstoestand van de brug. Het is ook een techniek die zich leent voor continue 'smart'-conditiebewaking.

Enkele toepassingen van *smart monitoring* zijn begroting van kabelkrachten via natuurlijke frequenties, bepaling van demping bij resonantiegevoelige voetgangersbruggen, validatie van structurele ingrepen (herstellingen), kalibratie van numerieke modellen door afstemming van berekende en gemeten modale parameters, en schadedetectie aan de hand van wijzigingen van de modale parameters.

Fig. 28 toont een actueel voorbeeld van *smart monitoring*. De stalen boogbrug is uitgerust met accelerometers, lasersensors, temperatuursensors, rekstrookjes en optische rekvezels. De meetresultaten worden automatisch geregistreerd in lokale data-acquisitiesystemen en kunnen via een 4G-verbinding ook offline geconsulteerd worden. Monitoring laat toe de gezondheidstoestand van de brug continu op te volgen, met onder meer de werking van de opleggingen, de toestand van de verbindingen van de diagonalen met de bogen en de hoofdliggers, en de



Fig. 28 – De KW51-spoorwegbrug over het kanaal Leuven-Mechelen

invloed van de temperatuur op de stijfheid van de ballast. Meer details over de geïnstalleerde monitoringsystemen en de bekomen resultaten vindt men terug in de referenties^{34,35}.

Drones (onbemande luchtvaartuigen) zijn waardevolle hulpmiddelen voor het op afstand uitvoeren van metingen op plaatsen die moeilijk toegankelijk zijn. Met betrekking tot bruginspectie kunnen drones het meetproces versnellen, een betere toegankelijkheid bieden en interferentie met de functionaliteit van de te inspecteren brugconstructies verminderen. Het gebruik van drones kan gecombineerd worden met driedimensionale digitale beeldcorrelatietechnieken. Drones vereisen bekwame piloten of een Global Positioning System (GPS) voor autonome vluchten. In de literatuur zijn voorbeelden vermeld van succesvolle identificatie van structurele schade. Zo werden betonscheuren met succes gedetecteerd door videogegevens te verwerken die waren verzameld door een autonome drone.

Momenteel loopt er binnen het departement voor Mobiliteit en Openbare Werken (MOW) een proefproject om te kijken of zettingen van bruggen opgevolgd kunnen worden op basis van satellietbeelden. Indien deze techniek bruikbaar

³⁴ Dimitrios Anastasopoulos, Guido De Roeck, en Edwin P. B. Reynders, 'One-Year Operational Modal Analysis of a Steel Bridge from High-Resolution Macrostrain Monitoring: Influence of Temperature vs. Retrofitting', *Mechanical Systems and Signal Processing* 161 (12 januari 2021): 107951, <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2021.107951>.

³⁵ Kristof Maes en Geert Lombaert, 'Monitoring Railway Bridge KW51 Before, During, and After Retrofitting', *Journal of Bridge Engineering* 26, nr. 3 (3 januari 2021): 04721001, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0001668](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001668).

is om zettingen en doorbuigingen van bruggen op te volgen, kan men de inzet van waterpassingsploegen beperken tot bruggen waar op basis van deze satelliet-beelden afwijkingen werden vastgesteld.

4.4 Analysetechnieken voor wegen

De evaluatie van wegen gebeurt, zoals voorheen aangegeven, op basis van een aantal parameters: stroefheid, langsvlakheid (trapvorming), dwarsvlakheid (spoorvorming) en beschadigingsgraad (scheuren, punch-outs, randschade, enz.). Om deze parameters vast te leggen zijn verschillende meettechnieken ontwikkeld, die op of in een voertuig geplaatst zijn zodat de metingen zonder onderbreking van het verkeer uitgevoerd kunnen worden.

De stroefheid, de belangrijkste parameter voor de veiligheid, is een maat voor de mate waarin een voertuig kan remmen of vertrekken op een wegoppervlak. Deze wordt bepaald door de microtextuur van het oppervlak. De stroefheid wordt berekend door de kracht te meten die uitgeoefend dient te worden op een genormaliseerd wiel dat hetzij vastgehouden wordt, hetzij schuin geplaatst wordt om zo de langse of dwarse stroefheid te bepalen. Hiertoe bestaan verschillende meetvoertuigen (SCRIM, SKM of griptester). Belangrijk hierbij is dat steeds gemeten wordt op een nat oppervlak, door middel van het aanbrengen van water net voor de meting, om de stroefheid bij de meest nadelige situatie voor het wegverkeer te bepalen. Naast de dynamische metingen kan ook een statische meting met de SRT-slinger uitgevoerd worden. Dit dient voornamelijk om de stroefheid van markeringen te bepalen.

Gezien de stroefheid gelinkt is aan de textuur van een oppervlak, kunnen ook textuurmetingen uitgevoerd worden op het oppervlak door bijvoorbeeld een laserprofilograaf. Door middel van laserstralen wordt het reliëf van het oppervlak gescand, waaruit de textuurparameters bepaald worden.

De vlakheid wordt opgedeeld in langsvlakheid en dwarsvlakheid. Langsvlakheid is een maat voor het comfort voor de bestuurder, maar geeft ook de mate van trapvorming of van zettingen weer. Uit de metingen van de dwarsvlakheid kan de mate van spoorvorming afgeleid worden evenals de aanwezigheid van een dwarshelling, belangrijk voor waterafvoer. De referentiemeting voor de langsvlakheid gebeurt met de LPM (laserprofilometer). Uit de resultaten kan de vlakheidscoëfficiënt of de IRI (*International Roughness Index*) berekend worden. Vandaag is deze meettechniek ook ingebouwd in de ARAN (*Automated Road Analyser*), waarin meerdere meettechnieken gecombineerd worden.

De dwarsvlakheid wordt dynamisch opgemeten met de LPM of met de ARAN. De metingen vinden plaats over de volledige breedte van het rijvak. Door de resultaten te combineren met de gegevens van de gyrator in het voertuig kan ook het risico op plasvorming bepaald worden.

Innovatieve methodes, zoals het meten met LIDAR (*Light/Laser Detection and Ranging*), worden ook meer en meer toegepast. Bij deze meettechniek stuurt de laser een laserimpuls uit tot aan een object. De puls wordt gereflecteerd en opnieuw opgevangen. Op basis van de verstreken tijd tussen het uitzenden en het ontvangen wordt de afstand bepaald. Deze methodes worden onder andere ontwikkeld voor het 'zien' van obstakels bij zelfrijdende auto's, maar geven ook een heel nauwkeurig beeld (tot op 3 mm in de hoogte) van het reliëf van het wegdek. Het voordeel van deze methode is dat het volledige rijvak gescand kan worden. De uitdagingen hierbij zijn wel het beheer van data, gezien de grote wolk aan gegevens bij een opmeting over een langere zone, en de juiste positionering van het voertuig tijdens de meting om latere vergelijkingen mogelijk te maken.

Algemeen wordt voor de **visuele inspectie** van de weg gebruikgemaakt van videobeelden die gemaakt zijn vanuit een voertuig, in combinatie met analyserende software. Bij de analyse wordt aan elk schadebeeld een gewicht toegekend om zo, rekening houdend met de aard en het aantal instanties van de schade, een visuele index te berekenen voor de onderzochte zone.

Ook bij de inspectie van wegen worden drones ingezet. In het bijzonder tijdens de aanleg van grotere infrastructuurwerken hebben ze hun nut bewezen voor werfopvolging en controle.

Het draagvermogen van de weg wordt bepaald op basis van metingen met bijvoorbeeld de valgewichtdeflectiemeter in combinatie met de gekende opbouw van de weg. De valgewichtdeflectiemeting bestaat uit het laten vallen van een bepaald gewicht met een dynamische belasting tussen 20 en 120 kN op het oppervlak. Een bepaalde belastinggrootte en -tijd komt overeen met de belasting van een bepaald type rijdend voertuig. Tijdens de meting wordt de vervorming van het oppervlak opgemeten door middel van negen geofoons, die zich op een bepaalde afstand bevinden. Op die manier kan ook de vervorming in de diepte bepaald worden en kan de draagkracht van de verschillende lagen vastgelegd worden door middel van *back calculation*.

Geluid ten gevolge van het wegverkeer wordt rechtstreeks op het oppervlak gemeten door middel van de CPX (*Close Proximity*)-methode. In een aanhangwagen worden een of meerdere microfoons naast een genormaliseerde band geplaatst, vaak onder een isolerend deksel. Deze meting is een maat voor het rolgeluid van lichte of zware voertuigen, afhankelijk van het wiel dat gebruikt wordt. Het voordeel van deze methode is dat de gehele weg getest kan worden. Het resultaat is afhankelijk van de conditie van de weg (nat, vuil...) en van de snelheid waarmee gereden wordt.

Om een beter beeld te krijgen van het omgevingsgeluid naast een weg worden metingen uitgevoerd volgens de SPB (*Statistical Pass-By*)-methode. Bij deze

methode wordt een microfoon op een bepaalde afstand en hoogte naast de weg geplaatst en wordt het geluid opgemeten bij passerende wagens. Door middel van een regressieanalyse wordt het geluidsniveau van de weg bepaald. Deze methode heeft als voordeel dat ze het werkelijke geluid voor omstaanders bepaalt. Het nadeel is dat deze methode zeer tijdrovend is, gezien voor elke klasse (personenwagens, lichte en zware voertuigen) een dertigtal geïsoleerde voertuigen opgemeten dienen te worden. Het resultaat is het omgevingsgeluid, wat de metingen in een omgeving met veel achtergrondgeluid moeilijk maakt.

5. Concepten van duurzaam beheer

5.1 Invloed van onderhoud op de levensduur

In Fig. 29 is de algemene evolutie geschetst van een prestatiekenmerk (*performance index*) die het structurele gedrag van een constructie, zoals bv. een brug, kenmerkt. Een typische karakteristiek is het draagvermogen van de volledige brug of een deel ervan. De initiële waarde ligt ruim boven de minimum vereiste drempelwaarde (*performance threshold*) die overeenstemt met het einde van de levensduur. De verdere evolutie van het gedrag wordt bepaald door allerlei factoren die fluctueren in de tijd en gekenmerkt worden door een specifieke distributiefunctie, zoals op verschillende plaatsen aangegeven in de figuur. Vertrekend van het initiële niveau duurt het een zekere tijd vooraleer schade of degradatie onder een of andere vorm optreedt. Van dan af zet zich een dalende trend in waarvan de helling ook een stochastische grootte is. Zonder onderhoud zal op een bepaald moment de drempelwaarde bereikt worden en dus het einde van de levensduur. De levensduur kan verlengd worden door tijdig onderhoud uit te voeren. Dit kan preventief of essentieel onderhoud zijn. Preventief onderhoud omvat beperkte herstellingen of ingrepen die verschillende malen in de loop van de levensduur uitgevoerd kunnen worden en betrekking kunnen hebben op verschillende componenten of verschillende schademechanismen. Essentieel of curatief onderhoud omvat belangrijke herstellingen, versterkingen of andere ingrepen die nodig zijn om boven de drempelwaarde van de prestatiekenmerk te blijven en dus om het draagvermogen in stand te houden. De kostprijs van preventieve herstellingen is normaliter lager dan die van essentiële herstellingen. De planning van de diverse types herstellingen is aldus een optimalisatieprobleem dat afhankelijk is van de budgetten die op een bepaald ogenblik beschikbaar zijn. De beslissing tot onderhoudsingenrepen kan gebaseerd zijn op continue (smart) monitoring, op periodieke inspecties of op combinaties van beide (zie lid 4).

5.2 Asset Management

5.2.1 Algemeen

Het beheer van het bestaande patrimonium (infrastructuur, kunstwerken...), of algemener de 'assets', als ruggengraat van het mobiliteits- en waterbeheersingssysteem is een belangrijke prioriteit voor het beleidsdomein Mobiliteit en Openbare Werken. Daarom is het aangewezen de modernste managementtechnieken aan te wenden om deze assets zo optimaal mogelijk te beheren. De techniek die de voorbije tien jaar internationaal een sterke ontwikkeling kende, die ingang vond in tal van asset-intensieve bedrijven wereldwijd en waarrond zich een ISO-norm heeft ontwikkeld (ISO 55000), is het Asset Management.

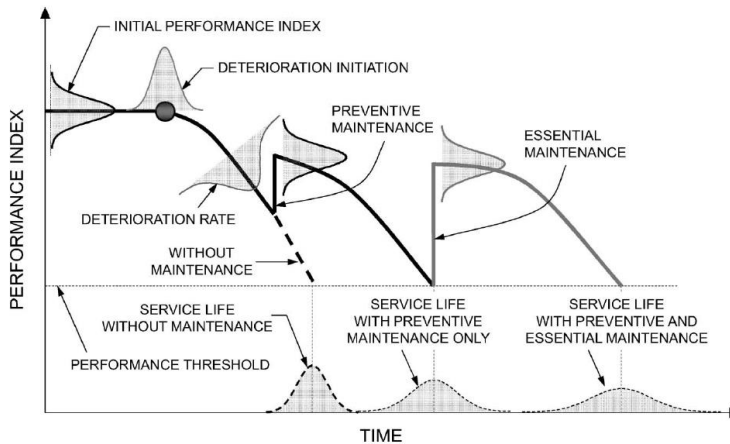


Fig. 29 – Invloed van onderhoud op een prestatiekenarakteristiek van een constructie³⁶

Voor de beheerders binnen het beleidsdomein Mobiliteit en Openbare Werken vertaalt dit zich in een geïntegreerde benadering voor het beheer van de assets met als doel maximale waarde te creëren over hun hele levenscyclus en dit voor alle stakeholders.

Zo creëert Asset Management een gedragen beslissingskader waarbij beslissingen op een transparante, objectieve, gestandaardiseerde en consistente manier genomen kunnen worden. Dit laat toe verschillende waardedrijvers ten opzichte van elkaar af te wegen, zoals de beschikbare schaarse middelen (geld en mankracht), het risiconiveau en de verwachte prestaties van de assets. Bovendien impliceert goed Asset Management een organisatiebrede benadering van de directie tot op het terrein. Het is een bedrijfscultuur, participatief en uitgedragen door het leiderschap, ondersteund op het terrein, die zich dient te nestelen in alle vezels van de organisatie.

Het toepassen van een brede stakeholderbenadering zorgt ervoor dat rekening wordt gehouden met de noden en verwachtingen van de diverse belanghebbenden, om zo een maximale maatschappelijke waarde te realiseren. Hierbij worden zowel de externe belanghebbenden, zoals de burgers en ondernemers, als de interne belanghebbenden, zoals de beleidsmedewerkers of andere beleidsdomeinen, betrokken.

³⁶ Dan M. Frangopol, 'Life-Cycle Performance, Management, and Optimisation of Structural Systems under Uncertainty: Accomplishments and Challenges', *Structure and Infrastructure Engineering* 7, nr. 6 (juni 2011): 389–413, <https://doi.org/10.1080/15732471003594427>.

Door de integrale levenscyclus in beschouwing te nemen, van ontwerp tot en met sloop, wordt de totale waarde van de dienstverlening over de levensduur van de assets maatschappelijk geoptimaliseerd. Kosten worden op deze manier investeringen, met hun positieve effect over de gehele levenscyclus. Zodoende wordt er op lange termijn gedacht en gepland.

Risicobeheer helpt om te gaan met onzekerheden doorheen de levenscyclus van de assets. Het laat toe de schaarse middelen te alloceren en acties te prioriteren in functie van de bescherming van maximale waardecreatie binnen de beperkingen die er zijn. Deze prioritering wordt hierbij enerzijds gevoed door de toestand van de asset, en anderzijds door de mate van hoogdringendheid als doorvertaling van de strategische objectieven (zie bv. lid 2.4). Het faciliteert ook de discussie rond wat het maatschappelijk aanvaarde risiconiveau is, en hoe beslissingen in functie daarvan worden genomen. Wat is het effect van het uitvoeren van activiteiten (bv. onderhoud) op onder andere beschikbaarheid, veiligheid en duurzaamheid van de infrastructuur? Of evenzo, wat is het effect wanneer men verzuimt deze activiteiten te doen?

Asset Management is een proces van continue verbetering. Beleidslijnen worden opgemaakt en vertaald richting acties op het terrein, geëvalueerd en bijgestuurd in functie van de gemeten resultaten (bv. toestandsbepalingen of inspecties). Zo worden de prestaties van de assets en de effecten van interventies tijdens de levenscyclus meetbaar gemaakt, en leidt dit tot verbeterde acties en innovaties.

Data, maar ook tools en applicaties om deze te kunnen verwerken en analyseren, spelen een belangrijke rol in modern Asset Management. Door data te verzamelen over de assets, hun prestaties, risico's en kosten, kunnen er bijkomende inzichten verworven worden en kan men meer proactief gaan handelen en beter geïnformeerde beslissingen nemen. Door toepassing van meer geavanceerde dataverwerkings- en analysetechnieken kunnen er ook aanzienlijke winsten geboekt worden, zowel op het vlak van efficiëntie als wat betreft de ontwikkeling van een meer doelmatig beleid en kennisborging binnen de organisatie.³⁷

5.2.2 Managementsystemen

Het duurzame beheer van de assets kan integraal benaderd worden aan de hand van de norm ISO 55000. Vele verschillende assets worden vandaag reeds geïnventariseerd, geïnspecteerd en via specifieke managementsystemen (MS) beheerd.

³⁷ Deloitte Consulting & Advisory, 'Eerst houden, dan bouwen - i.o.v. Beleidsdomein Mobiliteit en Openbare Werken'.

Wat het 'technische AMS (*Asset Management System*)' betreft, wordt momenteel enkel een PMS (*Pavement Management System*) gebruikt om het onderhoudsprogramma van de autosnelwegen te bepalen. Voor de gewestwegen wordt nog het RWOV (Rationeel Wegenonderhoud Vlaanderen)-systeem gebruikt³⁸. Op relatief korte termijn (2 à 3 jaar) zou hiervoor ook een PMS-model ontwikkeld kunnen worden. Daarbij moet vooral nagegaan worden hoe het model omgaat met ontbrekende data, zoals verkeers- en structuurdata.

Deze prioritering gebeurt momenteel op basis van een LCCA (*Life Cycle Cost Analysis*)-model waarin enkel constructiekosten afgewogen worden tegen de technische baten (globale verbetering van de toestand per geïnvesteerde euro). Als de principes van ISO 55000 doorgetrokken worden naar het technische PMS, dan zal nagegaan moeten worden hoe de organisatiedoelstellingen (veilige, vlotte, duurzame mobiliteit) het onderhoudsprogramma kunnen beïnvloeden. De voor de hand liggende oplossing is om naast de agentschapskosten ook rekening te houden met maatschappelijke kosten en baten op het gebied van veiligheid, beschikbaarheid, milieu... Aangezien dit een ingrijpende andere manier van prioritering is, is dit een omschakeling die eventueel op middellange termijn gerealiseerd kan worden (5 tot 10 jaar).

Voor de andere assets is er nog geen systeem om een onderhoudsprogramma op te stellen, al zijn er wel al eerste aanzetten om onderhoud van fietspaden, geluidsschermen, bruggen en zo verder te plannen, op basis van uitgevoerde inventarisatie- en inspectieopdrachten.

Er wordt verwacht dat de beheerstoepassing voor de kunstwerken verder zal evolueren om toe te laten prioriteiten te stellen, en dat deze op termijn uitgebreid zal worden tot een volwaardig BMS (*Bridge Management System*). Eens de resultaten daaruit beschikbaar zijn, kan onderzocht worden of een *cross-asset management system* ontwikkeld kan worden. Dit is een vrij complex systeem, dat momenteel slechts door één Europese wegenadministratie toegepast wordt en pas op langere termijn ontwikkeld zal kunnen worden.

De integrale benadering van deze individuele managementsystemen moet de wegbeheerder op termijn toelaten om de meest optimale keuzes te maken op het vlak van onderhoud en investeringen.

Door toepassing van LCA (levenscyclusanalyse)-methodieken, waarbij zowel de kosten als de milieu-impact van de verschillende stadia van de levenscyclus (ontwerp, uitvoering, gebruik, afbraak en hergebruik) van een bouwwerk in rekening gebracht worden, kan zowel het initieel ontwerp als de onderhoudsstrategie

³⁸ 'Onderhoudsprogramma Autosnelwegen. PMS-rapport 2017' (Agentschap Wegen en Verkeer, 2017).

geoptimaliseerd worden. Hierbij kan ook een zogenaamde milieukostenindicator in rekening gebracht worden³⁹.

5.3 Internationale regelgeving voor duurzame infrastructuur

Daarnaast is ook nog specifieke regelgeving van toepassing om duurzaamheid (*sustainability*) tijdens de aanbestedingsfase en de bouwphase in al zijn facetten te benaderen.

- a) De Europese Norm EN 15643-5:2017 (*'Sustainability of construction works. Sustainability assessment of buildings and civil engineering works. Framework on specific principles and requirement for civil engineering works'*) maakt deel uit van een reeks Europese normen die een systeem aanbieden voor de duurzaamheidsbeoordeling van civieltechnische werken met behulp van een levenscyclusbenadering. De duurzaamheidsbeoordeling kwantificeert aspecten en effecten om de milieu-, sociale en economische prestaties van civieltechnische werken te beoordelen met behulp van kwantificeerbare indicatoren. Het doel van deze reeks normen is vergelijkbaarheid van de resultaten van beoordelingen mogelijk te maken. Deze reeks Europese normen stelt geen *benchmarks* of prestatieniveaus vast.
- b) Het *Joint Research Centre* (JRC) van de Europese Commissie heeft in 2016 een rapport uitgebracht met criteria waarop gefocust kan worden bij GPP voor de wegensector, namelijk *'EU Green Public Procurement (GPP) Criteria for Road Design, Construction and Maintenance'*^{40,41}. De prioritair criteria die in deze methodiek in beschouwing worden genomen zijn:
 - wegdek-voertuiginteractie (rolweerstand, textuur, defecten in de oppervlakte(on)effenheid...)
 - congestie
 - materialen (asfalt, beton, grond, gerecycleerde en secundaire granulaten, logistiek)
 - drainagesysteem (weg en water), capaciteit tegen overstroming en beperking van waterpollutie
 - geluidsemissie en geluidshinder
 - afvalbeheer

³⁹ Paul Prinssen en Sara Rademaker, 'Stappenplan: Inkopen met de Milieukostenindicator' (PIANOo, Expertisecentrum Aanbesteden, augustus 2020).

⁴⁰ 'Europese criteria betreffende groene overheidsopdrachten voor het ontwerp, de bouw en het onderhoud van wegen', 6 oktober 2016, <https://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/toolkit/roads/NL.pdf>.

⁴¹ 'Europese criteria betreffende groene overheidsopdrachten voor het ontwerp, de bouw en het onderhoud van wegen'.

De implementatie van GPP-criteria in bestekken voor wegenbouwprojecten zit momenteel nog maar in haar beginfase. Er zijn reeds enkele pilootprojecten uitgevoerd, de zogenaamde '*Carbon Free Ways*', op de N171 in Kontich in 2013 en op de N37 in Pittem in 2019, maar de brede implementatie moet nog opstarten. Ook andere initiatieven, zoals de introductie van de CO₂-prestatieladder, zitten momenteel nog maar in de pilootfase. Na evaluatie zal moeten blijken of deze initiatieven over voldoende maturiteit beschikken om breed geïmplementeerd te worden bij de openbare aanbestedingen van onze infrastructuurprojecten.

- c) De ASCE (*American Society of Civil Engineers*) werkt aan het opstellen van een norm over '*Standard Requirements for Sustainable Infrastructure*'. De voorgestelde norm zal van toepassing zijn op alle infrastructuursectoren, en zal coherente en consistente prestatiegerichte doelstellingen bieden die kunnen worden opgenomen in aanbestedingsdocumenten van eigenaars, regelgevers, belanghebbenden en beleidsmakers. De norm heeft betrekking op de volledige levenscyclus van een project, met de nadruk op de exploitatie- en onderhoudsfase en de vastlegging van referentiewaarden en reductiedoelstellingen gedurende de levensduur van de infrastructuur (*cradle to grave*).
- d) In het kader van de COST-actie TU1406⁴², '*Quality specifications for roadway bridges, standardization at a European level (BridgeSpec)*', werden performantie-indicatoren en -doelstellingen voor wegbruggen ontwikkeld, evenals richtlijnen en aanbevelingen.

5.4 Impact op de taakinfilling en de opleiding van ingenieurs

Uitdagende kwesties zoals klimaatverandering, verstedelijking en het hoge tempo van de technologische vooruitgang creëren kansen. Deze kwesties vereisen echter ook een serieuze herevaluatie van de huidige professionele praktijk en normen. Om deze stand van zaken aan te pakken, heeft de ASCE een stappenplan uitgestippeld om het beroep van burgerlijk ingenieurs te transformeren, volgens vier prioriteiten.

Prioriteit 1 – Duurzame projectontwikkeling: '*do the right project*'

De huidige projectontwikkelingsmethodologieën worden in de eerste plaats gedreven door economische overwegingen. Om tot een duurzame infrastructuur te komen, moeten ingenieurs projecten en *engineering* op een nieuwe manier benaderen. De focus van de engineeringinspanningen moet verschuiven van het product – het stormwaterbeheersysteem, de brug, het gebouw – naar de behoeften en voordelen die het project beoogt te vervullen. Hierbij moeten alle mogelijke alternatieven in overweging genomen

⁴² 'Call to Action TU1406 - Quality specifications for roadway bridges, standardization at a European level (BridgeSpec)', *COST: European Cooperation in Science & Technology* (blog) (COST, november 2014), <https://www.cost.eu/news/>.

worden voordat projecten en programma's worden bedacht, uitgevoerd en geëxploiteerd – m.a.w. om *'do the right project'* te realiseren.

Prioriteit 2 – Normen en protocollen: *'do the project good'*

Hierbij moeten de ingenieurs nog steeds 'het project goed doen', maar volstaan betrouwbare normen en protocollen niet langer. De huidige prescriptieve normen kunnen van toepassing zijn in stabiele omstandigheden. Wanneer er echter sprake is van een in de tijd variërende situatie, moeten nieuwe normen en protocollen ontwikkeld worden die eerder op prestaties dan op voorschriften zijn gebaseerd. Die normen moeten gericht zijn op duurzaamheid en veerkracht van de infrastructuur, om de veiligheid van gemeenschappen te garanderen en ervoor te zorgen dat zij kunnen herstellen van natuurlijke en door de mens veroorzaakte verstoringen.

Prioriteit 3 – Uitbreiding van de technische capaciteit

Om de beginselen van duurzame ontwikkeling toe te passen, moeten de vaardigheden en capaciteiten van ingenieurs worden uitgebreid tot buiten de huidige gebruikelijke professionaliteit en technische vaardigheden. Om de noodzakelijke transformatie tot stand te brengen, moeten burgerlijk ingenieurs hun capaciteit om de visies en beginselen van duurzame ontwikkeling te verwezenlijken opbouwen of uitbreiden door middel van nieuwe opleidingen en beroepsontwikkeling, met inbegrip van formele en permanente educatie.

Prioriteit 4 – Communiceren en pleiten

De transformatie van het beroep van burgerlijk ingenieur en de totstandbrenging van duurzame infrastructuur vereisen communicatie met alle belanghebbenden en pleitbezorging om de aanvaarding en goedkeuring te bevorderen. Er dient gecommuniceerd te worden over de redenen voor verandering met leden, het publiek en alle belanghebbenden. Het einddoel is een publiek dat duurzame infrastructuur eist op ecologisch, economisch en sociaal vlak, die op een billijke manier tegemoet komt aan de noden van het menselijke welzijn en die gezonde en bloeiende gemeenschappen mogelijk maakt.

6. Recente evoluties

6.1 Nieuwe technologieën op het vlak van betonconstructies

In de loop der jaren werden verschillende types hoogwaardige materialen ontwikkeld waarvan de initiële kostprijs weliswaar hoger is dan die van klassieke materialen, doch die duurzamer zijn zodat de onderhouds- en herstellingskosten lager uitvallen. Op die manier bekomt men een lagere totale kost over de vooropgestelde levensduur van de constructie en een duurzamere infrastructuur.

Bij **zelfverdichtend beton** moet het beton niet meer manueel verdicht worden met bijvoorbeeld trilnaalden. Door toevoeging van specifieke hulpstoffen vloeit het beton zelf in de bekisting en tussen wapeningsstaven tot de bekisting volledig opgevuld is. Op die manier bekomt men meestal een beter verdicht beton, wat gunstig is voor de duurzaamheid. Bovendien moet geen externe verdichtingsenergie toegevoegd worden. Zelfverdichtend beton wordt courant gebruikt voor de vervaardiging van geprefabriceerde betonelementen.

Met hogesterktebeton en **ultrahogesterktebeton** (UHSB) kan men slankere betonconstructies bouwen, verbruikt men minder materiaal en bekomt men een duurzamere constructie. Deze zeer hoge druksterktes, vanaf 150 MPa tot meer dan 200 MPa, worden bekomen door een combinatie van een geoptimaliseerde betonsamenstelling, het gebruik van speciale hulpstoffen en de toevoeging van verschillende types korte vezels. Fig. 30 toont een voetgangersbrug in UHSB met een overspanning van 36 m, een breedte van 4 m en een brugdekdikte van 10 cm (opdrachtgever Infrabel; producent Ergon).

Staalvezelbeton bekomt men door toevoeging van korte staalvezels aan het verse beton, die tijdens het mengen willekeurig verspreid worden. Ter plaatse van scheuren in het verharde beton overbruggen de staalvezels de scheuren. Zo kunnen ze beperkte krachten overdragen, waardoor de scheurwijdte beperkt wordt. Staalvezels kunnen al dan niet gecombineerd worden met het klassieke wapeningsstaal. Staalvezelbeton wordt onder meer in betonwegen toegepast.

Bij **zelfhelend of zelfherstellend beton** is het de bedoeling om scheurvorming proactief te remediëren en dit door toevoeging van microvezels en superabsorberende polymeren of van specifieke bacteriën die calciumcarbonaat precipiteren wanneer ze door scheurvorming geactiveerd worden. Op die manier kan men een langere levensduur van het betonelement bekomen.

Sinds de jaren 1980 wordt onderzoek uitgevoerd naar de ontwikkeling en toepassing van **composietwapening** op basis van glas-, koolstof-, aramide- of basaltvezels

ter gedeeltelijke vervanging van beton- en voorspanstaal^{43,44} Deze FRP (*fibere-reinforced polymers*)-wapening is niet onderhevig aan de klassieke vormen van corrosie en bezit een hoge treksterkte. Fig. 31 toont verschillende types en vormen van FRP-wapening. Bij het ontwerp dient evenwel rekening gehouden te worden met het feit dat deze wapening zich lineair-elastisch gedraagt en bros breekt en dus geen plastisch gedrag vertoont zoals staal. Bovendien zijn deze materialen niet isotroop en is de elasticiteitsmodulus lager dan die van staal. Glasvezels, die het goedkoopst zijn, worden in meerdere of mindere mate aangetast door het alkalische milieu van het beton, afhankelijk van het type glasvezel. Dit alles zorgt ervoor dat de toepassing als voorspanelement beperkt gebleven is tot enkele demonstratieprojecten en dat de toepassing als wapeningselement zich vooral richt op het gebruik in een sterk corrosieve omgeving of specifieke omgevingen, zoals afsluitschotten bij tunneldoorboringen of betonmulsels van bv. MRI-scanners, waar de niet-magnetische eigenschappen belangrijk zijn. In de Verenigde Staten en Canada werd FRP-wapening gebruikt als bovenwapening in brugdekken om aantasting van de wapening door dooizouten te vermijden. Door het inbouwen van optische sensoren kan het brugdek gemonitord worden.

FRP-wapening, meestal op basis van koolstofvezels, wordt courant gebruikt onder de vorm van laminaten en weefsels voor de uitwendige versterking van betonconstructies, en dit zowel bij gebouwen als bij bruggen (Fig. 32) en tunnels. Op die manier kan de levensduur verlengd worden of kunnen hogere belastingen opgenomen worden.

Er zijn ook flexibele weefselstructuren beschikbaar (Fig. 33) voor het gebruik in zogenaamd textielbeton waarmee slanke, dunwandige elementen vervaardigd worden (Fig. 34).

3D-printen van beton laat een vrije vormgeving van betonelementen toe zonder het gebruik van bekistingselementen en met zeer beperkte manuele tussenkomsten door het gebruik van een printkop die wordt aangestuurd via een computer (Fig. 35). Optimalisatie van de vorm leidt tot een verminderd materiaalverbruik, zoals geïllustreerd in Fig. 36 aan de hand van een voorgespannen ligger samengesteld uit 3D-geprinte elementen.

⁴³ Luc R. Taerwe, 'FRP Developments and Applications in Europe', in *Fiber-Reinforced-Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*, onder redactie van Antonio Nanni, *Developments in Civil Engineering* (Oxford: Elsevier, 1993), 99-114, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-89689-6.50009-4>.

⁴⁴ Luc Taerwe en Stijn Matthys, 'FRP for Concrete Construction: Activities in Europe', *Concrete International* 21, nr. 10 (1 oktober 1999): 33-36.



Fig. 30 – Voetgangersbrug in UHSB te Evere

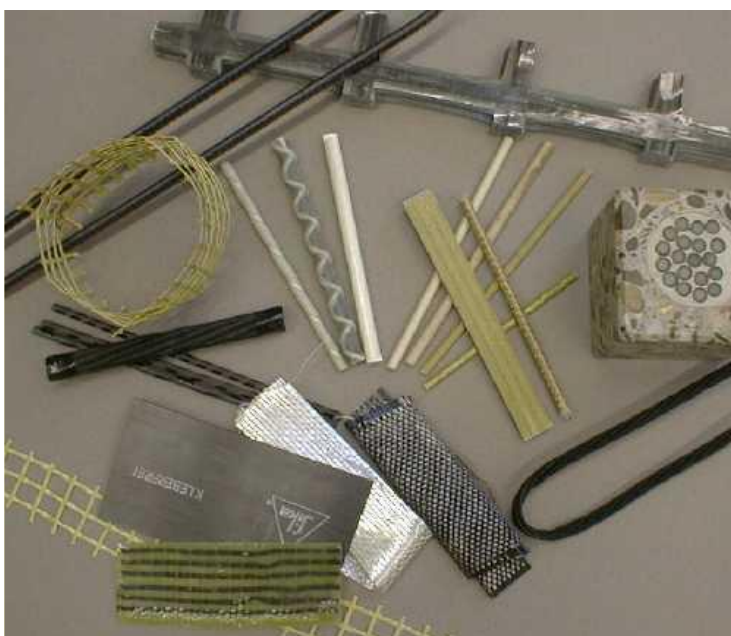


Fig. 31 – Verschillende types FRP-wapening



Fig. 32 - Versterking van een brugdek met koolstofcomposietlaminaten

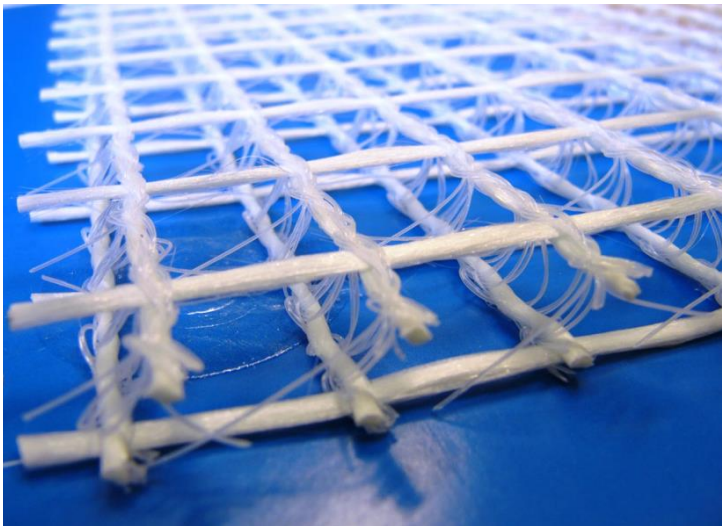


Fig. 33 - 3D-structuur voor wapening van textielbeton



Fig. 34 – Voetgangersbrug in textielbeton



Fig. 35 – 3D-printen van beton

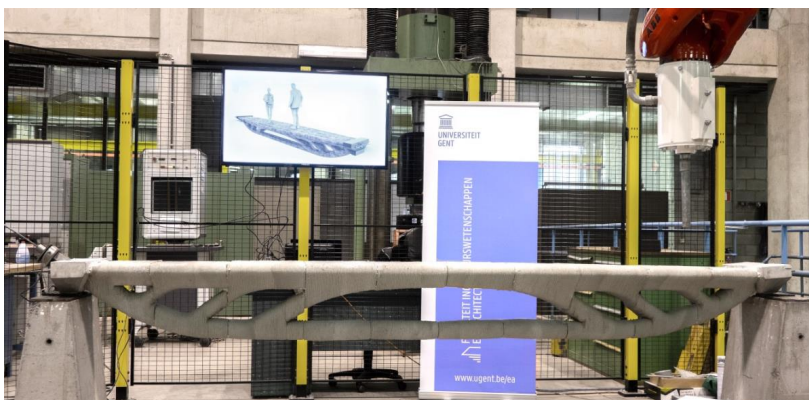


Fig. 36 – Geoptimaliseerde ligger in 3D-geprint beton

6.2 Composietbruggen

Composieten of vezelversterkte kunststoffen (VVK) worden almaar meer toegepast in bouwkundige constructies⁴⁵. Het gebruik van deze materialen in de bruggenbouw wordt, onder meer door de vergroening van de mobiliteit, steeds belangrijker. In het bijzonder wanneer gekeken wordt naar fietsers- en voetgangersbruggen (Fig. 37) leert de ervaring dat dit type bruggen een meerwaarde biedt, waardoor het in de toekomst een belangrijk deel zal uitmaken van de openbare infrastructuur. Een belangrijk voordeel van VVK ten opzichte van traditionele bouwmaterialen is het lichte gewicht in verhouding tot de sterkte en de stijfheid van het materiaal. Hierdoor is het mogelijk om dit type brug te plaatsen op een weinig draagkrachtige grond, om de dimensionering van de fundering drastisch te verminderen, of om bestaande funderingen of landhoofden te hergebruiken. Het lage gewicht heeft bovendien het voordeel dat de brug gemakkelijk in één of verschillende stukken getransporteerd kan worden over de weg, over het water of via de lucht, en dat het geen zware machines vereist tijdens de plaatsing. Daarnaast kan dit brugtype, door het productieproces in één stuk, zeer snel geplaatst worden op de werf. Hierdoor zal de verstoring van het om- en onderliggende verkeer drastisch verminderd worden, wat aanzienlijke winsten oplevert binnen drukke stadskernen. Bij beweegbare bruggen kan het gebruik van een tegengewicht vermeden worden. Bovendien kan het materiaal gemakkelijk gebruikt worden voor uitbreidingsconstructies aan brugdekken zonder grote ingrijpende aanpassingen aan de onderliggende draagconstructie.

Een ander voordeel van VVK in de bruggenbouw is de geringe nood aan onderhoud. Hierdoor kan gedurende de levensduur van de brug een soepeler onderhoudsprogramma gehanteerd worden en zullen de kosten verbonden aan de controle en het onderhoud aanzienlijk kleiner zijn dan bij traditionele bouwmaterialen. Daarbij is het materiaal tevens duurzaam, aangezien het bestand is tegen vele omgevingsfactoren en fysische agentia. Indien een correcte oppervlaktebescherming wordt toegepast (oppervlaktevlies, gel- of andere coating) kan door UV, erosie of slijtage veroorzaakte versnelde veroudering van VVK vermeden worden. Bij het gebruik van vacuüminfusie is er ook een grote vrijheid in het ontwerp van de vorm en de afwerking mogelijk. Hierdoor kunnen zowel zeer strakke architecturale bruggen als landelijke bruggen met een houten leuning vervaardigd worden. Indien gewenst kan zelfs gebruikgemaakt worden van doorzichtige VVK, die gebruikt worden in leuning en brugdekken waarin LED-verlichting verwerkt kan worden. Daarnaast zal het mogelijk zijn om tijdens het productieproces sensoren, zoals Bragg-optische vezels, te verwerken in het brugdek om de staat van de brug continu te kunnen monitoren. Ten slotte vertonen de gebruikte

⁴⁵ 'C-Bridge: Stappenplan naar Ontwerp, Regelgeving en Constructie van Composietbruggen in Vlaanderen', Webpagina, Universiteit Gent, geraadpleegd 20 september 2022, <https://www.ugent.be/ea/structural-engineering/nl/onderzoek/schoonmeersen/cbridge.htm>.

composieten een lage elektrische geleidbaarheid, waardoor deze dichters boven de hoogspanningsleiding van trein- en tramlijnen geplaatst kunnen worden zonder dat de brug geaard hoeft te worden tegen wervelstromen.



Fig. 37 – Plaatsing van een doorlopende voetgangers- en fietsbrug uit VVK (met glasvezels) te Deurne met een lengte van 20 m (2 overspanningen van 10 m) en een breedte van 2,8 m

6.3 Hergebruik

6.3.1 Circulair bouwen

Hergebruik van materialen en componenten past binnen het concept van circulair bouwen, dat als volgt gedefinieerd kan worden^{46,47,48}: “Circulair bouwen betekent het ontwikkelen, gebruiken en hergebruiken van gebouwen, gebieden en infrastructuur, zonder natuurlijke hulpbronnen onnodig uit te putten, de leefomgeving te vervuilen en ecosystemen aan te tasten. Bouwen op een wijze die economisch verantwoord is en bijdraagt aan het welzijn van mens en dier. Hier en daar, nu en later.”

Circulair bouwen past binnen het ruimere kader van een circulaire economie.

⁴⁶ Cécile van Oppen, Godard Croon, en Dirk Bijl de Vroe, *Circulair inkopen in 8 stappen* (Amsterdam: Copper8, 2018).

⁴⁷ Transitieteam Circulaire Bouweconomie, ‘Transitie-agenda circulaire economie 2018: Circulaire bouweconomie’, geraadpleegd 20 september 2022, <https://edepot.wur.nl/440495>.

⁴⁸ ‘De toekomst begint nu: Jaarrapportage 2019 Impulsprogramma Circulaire Economie Rijks-waterstaat’.

6.3.2 Recyclage van materialen

Heden ten dage wordt bij afbraak van gebouwen en bruggen of bij het uitbreken van wegen het beton- en metselwerkpuin grotendeels gerecycleerd, wat past in het concept van een circulaire economie. Voor het gebruik van gerecycleerde granulaten is een uitgebreide regelgeving uitgewerkt met specifieke eisen die aan diverse toepassingen gesteld worden, zoals bv. (onder)funderingen van wegen en betonelementen.

6.3.3 Hergebruik van componenten

Hier gaat het om het hergebruiken in een nieuw project van componenten die na de functionele levensduur van bv. een brug nog in goede staat zijn en met andere woorden nog een voldoende restlevensduur bezitten. Dit kan gaan om funderingen, steunpunten en stalen of betonnen liggers, waarbij de afmetingen natuurlijk moeten passen in het nieuwe ontwerp.

De ultieme vorm van hergebruik is het plaatsen van een oude, bestaande brug op een nieuwe locatie. In Nederland worden via een 'bruggenbank' afgedankte bruggen aangeboden die nog in goede staat verkeren, zodat ze ergens anders een tweede leven kunnen krijgen.

Men kan ook bij het initiële ontwerp a priori uitgaan van demontabel bouwen, wat onder meer betekent dat de onderdelen van de brug zo standaard mogelijk moeten zijn.

6.4 BIM

Recentelijk wordt in nieuwe en grote bouwprojecten BIM (*Building Information Management*) als beheerstool gebruikt voor zowel de studie- als de bouwfase. Dit BIM-model wordt niet enkel gebruikt voor geometrische verificaties (clashdetectie) gedurende het ontwerp, maar ook voor het beheer van materialen (hoeveelheden) en van gerelateerde documenten die gekoppeld worden aan het model, ter voorbereiding van de werken en tijdens de werfopvolging. De betrachtning is bovendien tot een *as-built* BIM-model te komen, dat verder ontwikkeld wordt als tool in het latere beheer van het kunstwerk en het onderhoud ervan. BIM is uitgegroeid tot een proces met digitale representatie van een bouwwerk. Dit is heden ingeburgerd voor nieuwe infrastructuur, maar verdere investeringen en ontwikkelingen zijn nodig om ook bestaande infrastructuur in een BIM-omgeving te implementeren als tool voor de opvolging van herstellingen en als tool in een *life cycle*-aanpak. Zo wordt BIM toepasbaar doorheen de volledige levenscyclus van een bouwwerk. Met behulp van een scanning via drones of via een vaste scanner kan sneller tot digitale werkelijke modellen gekomen worden als basis voor de verdere opvolging van een mogelijk wijzigend gedrag van het kunstwerk,

door het opvolgen van indicatoren ter plaatse via monitoring van het kunstwerk ('*digital twin*'). Deze ontwikkeling dient nog volop te gebeuren voor kunstwerken, maar enkele recente voorbeelden zijn alvast opgestart voor bestaande tunnels. In Fig. 38 is links de werkelijke bestaande toestand te zien van één koker van de bestaande noord-zuidspoorntunnelverbinding in hartje Brussel. Rechts is een schermafdruk te zien van deze locatie in het BIM-model. Deze *digital twins* kunnen ook een belangrijke tool zijn voor simulaties in het geval van calamiteiten en voor trainingen voor veiligheidsmensen. Het BIM-model zien als gehele beheerstool in de levenscyclus, met toepassing op de renovatiestrategie en de levensduurbepaling van het bestaande bouwwerk, is evenwel nog een volgende stap.



Fig. 38 – Foto van de bestaande noord-zuidspoorntunnelverbinding in Brussel (links) en zijn *digital twin* of 3D-BIM-model (rechts)

Met betrekking tot recente processen wordt hier ook het voorbeeld aangehaald van een risico-gedreven RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability, Safety*)-aanpak in de interoperabiliteit van spoorinfrastructuur. Dergelijke aanpak wordt vanuit Europa opgelegd voor nieuwe infrastructuur volgens de Europese norm EN50126 – Railway Applications. In de daar onder 'Systems Engineering' beschreven werkwijze voor het ontwikkelen van systemen is RAMS een vast onderdeel. Een dergelijke werkwijze dient evenwel sterker opgelegd en ingeburgerd te worden voor de renovatie en opvolging van bestaande kunstwerken (het catalogeren van veiligheidsrisico's vanuit de veiligheid van de gebruiker met mitigerende maatregelen).

6.5 Aanbestedings- en beheersprocedures

6.5.1 Inleiding

Bij de klassieke overheidsopdrachten waarbij een gedetailleerd bestek wordt opgesteld, wordt de opdracht gegund op basis van de economisch meest voordelige offerte, bepaald op grond van één enkele rangschikking van de inschrijvingen.

Nieuwe contractenvormen gebaseerd op publiek-private samenwerking (PPS) zouden moeten leiden tot minder risico's, minder bouwfouten, betere kwaliteit en een betere levenscyclusbenadering op het vlak van design en vooral van onderhoud. Of dit inderdaad zo is, kan nog niet bevestigd worden, omdat er bijna geen projecten zijn die al de volledige contractduur hebben doorlopen; de onderhoudsperiode is meestal 25 tot 30 jaar. Daarnaast hebben aannemers soms verschillende opties genomen: bij de één goede kwaliteit en duurder bij bouw maar met daarna minder onderhoud, bij anderen mindere kwaliteit en dus initieel goedkoper, maar wel meer onderhoud, wat het vergelijken moeilijk zal maken.

6.5.2 Duurzame en innovatieve overheidsopdrachten⁴⁹

Duurzame overheidsopdrachten zijn overheidsopdrachten waarbij de aanbestedende overheid milieu-, sociale en economische criteria integreert in alle fases van haar overheidsopdracht.

Bij innovatieve overheidsopdrachten laat de aanbestedende overheid nieuwe innovatie ontwikkelen of neemt ze slimme eisen op in het bestek die het aanbieden van bestaande innovatieve oplossingen stimuleren. Binnen het departement Economie, Wetenschap en Innovatie loopt het Programma Innovatieve Overheidsopdrachten (PIO). Projectvoorstellen met voldoende relevantie en potentiële innovatie-impact kunnen rekenen op begeleiding en cofinanciering vanuit dit programma.

6.5.3 DBFM⁵⁰

Een DBFM (*Design, Build, Finance and Maintain*)-contract is een vorm van PPS die vooral op infrastructuur- en bouwprojecten van toepassing is en waarbij de opdrachtnemer verantwoordelijk is voor zowel het ontwerp en de bouw van het project als de financiering en het totale onderhoud, wat dus een implementatie is van de levenscyclusbenadering. Zo wordt verankerd dat het onderhoudsvraagstuk al aangepakt wordt op het moment van het ontwerp en niet op het moment dat er zich schade voordoet.

Soms is er ook sprake van DBFMO, waarbij de letter O staat voor '*Operate*': de opdrachtnemer dient ook de uitbating te verzekeren, bv. van een forensisch-psychiatrisch centrum of een klassieke gevangenis. Dit is dus de meest geïntegreerde contractvorm. Zo krijgt de opdrachtnemer maximale ruimte om zijn kennis en creativiteit toe te passen.

⁴⁹ 'Duurzame en innovatieve overheidsopdrachten', Vlaamse Overheid, 29 januari 2016, <https://overheid.vlaanderen.be/duurzame-innovatieve-overheidsopdrachten>.

⁵⁰ Rijkswaterstaat, 'Design, Build, Finance and Maintaincontract', geraadpleegd 20 september 2022, <http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/zakendoen-met-rijkswaterstaat/werkwijzen/werkwijze-in-gww/contracten-gww/dbfm>.

Uitgangspunt bij een DBFM-contract is dat risico's en verantwoordelijkheden worden gelegd bij de partij die deze het beste kan beheersen en dragen. Een bedrijf of consortium neemt, binnen vooraf gestelde randvoorwaarden, de verantwoordelijkheid voor het complete project. Afhankelijk van het contract is het na ontwerp, bouw en financiering nog 20 of 40 jaar verantwoordelijk voor het onderhoud (en desgevallend voor de uitbating).

De betaling aan de opdrachtnemer gebeurt periodiek na de bouw, op basis van geleverde diensten. Als de afgesproken diensten niet worden geleverd, treden boeteclausules in werking. De winstdoelstelling van het consortium en de private financiers zorgt ervoor dat de opgelopen boetes tot een minimum zullen worden beperkt.

De geïntegreerde uitbesteding met DBFM biedt de overheid verschillende voordelen:

- De uitvoerder zal de planning van ontwerp, bouw en onderhoud op elkaar afstemmen. Hierdoor kunnen de gecumuleerde kosten doorgaans lager uitvallen voor de opdrachtgever dan bij traditionele contractvormen.
- Bij het geïntegreerd contracteren van ontwerp, bouw en onderhoud is uitsluitend die ene opdrachtnemer verantwoordelijk voor eventuele fouten. Eén opdrachtnemer zal zijn werkzaamheden beter op elkaar kunnen afstemmen dan afzonderlijke opdrachtnemende partijen die verantwoordelijk zijn voor ontwerp, bouw en onderhoud.
- Voor DBFM-contracten geldt dat de opdrachtnemer een even groot belang heeft bij het slagen van een project als de opdrachtgever. Geen resultaat betekent immers geen geld voor het consortium. Dit vergroot de kans op een succesvolle samenwerking tussen opdrachtgever en opdrachtnemer.
- De opdrachtgever besteedt de totstandkoming van het project uit, waardoor hij zich kan toelagen op zijn kerntaken.

Een nadeel van DBFM-contracten is dan weer dat men zeer moeilijk kan inspelen op wijzigende maatschappelijke randvoorwaarden of voortschrijdend inzicht, aangezien men gebonden is aan een contract dat meestal langlopend is.

De ervaringen tot op vandaag situeren zich vooral in de grotere infrastructuurwerken, zoals bijvoorbeeld de Liefkenshoekspoorverbinding, en in infrastructuur die recent gebouwd werd (in de laatste 20 jaar).

6.5.4 NEC⁵¹

NEC (*New Engineering Contract*)-contracten bieden een aantal voordelen ten opzichte van de gekende bouwcontracten, zeker voor complexe bouwprojecten

⁵¹ 'Lantis lanceert primeur met eerste NEC4-contract voor Oosterweelverbinding' 49 (2021): 8-10.

met een aanzienlijk aantal partijen. Net omwille van die reden worden NEC-contracten wereldwijd reeds gebruikt voor grootse bouwprojecten. Voor een deel van het Oosterweelproject maakt men gebruik van een NEC4-contract.

De NEC-contracten werden in 1993 voor het eerst ontwikkeld door het *Institution of Civil Engineers* (ICE) uit het Verenigd Koninkrijk en zijn sinds 2017 reeds aan hun vierde editie toe, vandaar ook dat de huidige versie toepasselijk als NEC4 door het leven gaat. Onder meer volgende modelcontracten werden opgenomen in NEC4:

- *Engineering and Construction (sub)contract*
- *Professional Services Contract*
- *Framework Contract*
- *Design, Build and Operate Contract*
- *Alliance Contract*

In vergelijking met de klassieke manier van werken in de Belgische bouwsector gaat men bij NEC-contracten radicaal anders te werk. De insteek van NEC-contracten is namelijk om via modelcontracten een multidisciplinair samenwerkingsverband te realiseren. Het project als gemeenschappelijk belang vormt immers het uitgangspunt en een van de belangrijkste doelstellingen is het project tijdig en binnen budget af te werken. Om dit te kunnen bereiken opteert men voor een geïntegreerde benadering, waarbij de verschillende deelcontracten op elkaar worden afgestemd en de rol van partijen duidelijk wordt uitgewerkt. De verschillende bouwactoren dienen dus niet langer allemaal een aparte overeenkomst met de opdrachtgever aan te gaan. Het voordeel van deze werkwijze is dat partijen van meet af aan zicht hebben op elkaars rol binnen het project en zich op elkaars werkzaamheden en diensten kunnen afstemmen, wat de duidelijkheid ten goede komt. Deze manier van werken kadert binnen de filosofie preventief te werk te gaan en conflicten te vermijden eerder dan ze reactief op te lossen. Men wil dus weg uit de claim- en clashcultuur. De contracten worden opgesteld in eenvoudig taalgebruik, waar zo weinig mogelijk juridische terminologie aan te pas komt.

Bij het opstellen van een NEC4-contract wordt gestreefd naar een optimale prijs-kwaliteitverhouding door onder andere een ideale verdeling van de risico's, waarbij deze risico's en de bijhorende kosten volgens een vooraf bepaalde verdeelsleutel gedeeld worden tussen de opdrachtgever en de opdrachtnemer. Zo worden geen onnodig hoge kosten gegenereerd door de opdrachtnemer voor bepaalde algemeen geldende risico's.

Een NEC4-contract start met het vastleggen van een *targetkost* voor de in de *scope* gedefinieerde werken. Dit is het streefdoel voor de financiële kant van het project en resulteert in een gedeelde beloning voor opdrachtnemer en opdrachtgever indien de totale kost onder deze targetkost blijft. Anderzijds zullen beide partijen bijdragen volgens vooropgestelde regels indien deze targetkost overschreden

wordt. Hierbij worden enkel de werkelijk gemaakte kosten vergoed, mits inrekening van een *fee* (voor overheadkosten, verzekering, risicobeheersing...), volgens de regels vastgelegd in het contract. Tijdens de uitvoering van het contract kunnen bijgevolg kleine veranderingen van de werken op eenvoudige wijze ingevoerd worden, volgens dezelfde regels, wat de flexibiliteit binnen dit type contract ten goede komt.

De belangrijkste regel binnen een NEC4-contract is dat het project afgehandeld dient te worden in een geest van wederzijds vertrouwen en samenwerking, en volgens de regels vastgelegd in het contract.

De grootste juridische uitdagingen voor het gebruik van een NEC4-contract bij een openbare aanbesteding in België bestaan enerzijds in de omzetting van dit contract naar de in de regio geldende taal, zijnde het Nederlands of het Frans, en anderzijds in de aanpassing van het contract rekening houdend met het Koninklijk Besluit tot bepaling van de algemene uitvoeringsregels van de overheidsopdrachten en van de concessies voor openbare werken, de AUR.

7 Samenvatting

Voorafgaande nota: *De scope van dit Standpunt is beperkt tot de volgende kunstwerken:*

- *bruggen en viaducten voor wegen, voor spoorwegen en over waterwegen*
- *tunnels*
- *wegen*

- 1) In nagenoeg alle landen ter wereld wordt men geconfronteerd met schade aan kunstwerken, namelijk bruggen, tunnels en wegen, soms met instortingen tot gevolg.
- 2) Het grootste deel van de wegbruggen in Vlaanderen werd gebouwd in de periode van 1965 tot 1980 en heeft een leeftijd van ongeveer 50 jaar bereikt. De bruggen uit de jaren 1950 zijn reeds 70 jaar in gebruik. Men wordt dus geconfronteerd met een oudere en deels verouderde infrastructuur die in toenemende mate allerlei schadeverschijnselen vertoont.
- 3) Het patrimonium van spoor- en wegbruggen dat beheerd wordt door Infrabel varieert van vrij jong tot meer dan 80 jaar oud.
- 4) De toestand van de kunstwerken in Vlaanderen wordt opgevolgd via systematische inspecties.
- 5) In 2021 is een plan van aanpak voor de kunstwerken in Vlaanderen voorgesteld waarbij prioriteit gegeven wordt aan de bruggen op de Lijst Prioritaire Kunstwerken (in 'zeer slechte' toestand). Hierbij werden ook een aantal PPS-projecten opgestart. In het Globaal Investeringsprogramma (GIP) wordt in de periode 2020-2023 in totaal 770 miljoen euro voorzien voor de vervanging en de renovatie van kunstwerken. Door dit plan van aanpak worden op korte termijn bijna alle bruggen op de lijst van prioritaire kunstwerken aangepakt en ongeveer 45% van de kunstwerken in toestand 4, inclusief het PPS-project. De uitdagingen voor de toekomst blijven dus nog groot.
- 6) Het autosnelwegennet in Vlaanderen is tot stand gekomen in de periode 1950-1990, met de grootste expansie in de jaren 1960 en 1970.
- 7) Er wordt de laatste tijd een duidelijke toename van het vrachtverkeer vastgesteld op de hoofdverkeersassen, waardoor de toestand van de infrastructuur sneller achteruitgaat.
- 8) Aan de toestand van wegen wordt een kwaliteitsclassificatie toegekend op basis van regelmatige inspecties.
- 9) De toestand van de tunnels in Brussel werd geklasseerd volgens verschillende niveaus naar aanleiding van de 'tunnelcrisis' in 2015-2016. Op basis hiervan werd een prioritering voor de herstelling ervan vastgelegd die rekening houdt met de beschikbaarheid van financiële middelen en personeel.
- 10) Een overzicht van de oorzaken van vastgestelde problemen aan kunstwerken is terug te vinden in lid 2.5. Het gaat dan om verouderde infrastructuur, onvoldoende onderhoudsbudgetten, toename van de verkeersdruk en evoluties in de ontwerpregels, o.a. met betrekking tot duurzaamheid.

- 11) De overheidsinvesteringen in openbare infrastructuur bedragen in sommige buurlanden dubbel zo veel als in België.
- 12) Binnen Europa behoort het autowegennet van Vlaanderen tot de drukst gebruikte, met daarbij een zeer hoog aandeel aan vrachtwagens.
- 13) Er zijn een aantal knelpunten opgelijst in paragraaf 3.
- 14) Voor de diagnose van kunstwerken is een uitgebreid arsenaal aan technieken beschikbaar, waaronder visuele inspectie, lokale niet-destructieve technieken en globale observatietechnieken. Voor wegen worden specifieke analysetechnieken toegepast.
- 15) Continue monitoring van bestaande kritieke infrastructuur op belangrijke verkeersassen laat toe om permanent een idee te hebben van de effectieve toestand ervan. Bij het overschrijden van een vooraf ingestelde drempelwaarde van relevante toestandsparementen kan een verscherpt toezicht nodig zijn of dienen noodmaatregelen genomen te worden.
- 16) Het beheer van het bestaande patrimonium als ruggengraat van het mobiliteits- en waterbeheersingssysteem, is een belangrijke prioriteit voor het beleidsdomein Mobiliteit en Openbare Werken. De modernste managementtechnieken, waaronder Asset Management, worden aangewend om deze assets zo optimaal mogelijk te beheren.
- 17) Op het vlak van betonconstructies zijn de laatste decennia nieuwe materialen en technologieën ontwikkeld die toelaten duurzamere betonconstructies te ontwerpen en te realiseren. Zo kan het onderhoud van kunstwerken gereduceerd worden en kan een langere levensduur bekomen worden. Dit alles past binnen het concept van een circulaire economie.
- 18) Voetgangers- en fietsbruggen vervaardigd in composieten (vezelversterkte kunststoffen) zijn licht en vergen een beperkt onderhoud.
- 19) Mits er voldaan is aan een aantal voorwaarden, kunnen bouwmaterialen en brugcomponenten hergebruikt worden, wat past binnen het concept van circulair bouwen binnen het grotere kader van een circulaire economie.
- 20) Nieuwe contractvormen voor de aanbesteding en het beheer van nieuwe infrastructuurprojecten gebaseerd op publiek-private samenwerking (PPS), zoals DBFM en NEC4, zullen leiden tot lagere risico's, minder bouwfouten en een betere globale kwaliteit. Een groot voordeel is dat het onderhoud al ingecalculleerd wordt bij de oplevering van nieuwe infrastructuurprojecten.

8 Aanbevelingen

8.1 Hoofdaanbevelingen

- **Verhogen van het budget voor het reguliere onderhoud van infrastructuur**

Een significante budgetverhoging voor het reguliere onderhoud van infrastructuur, in het bijzonder van bruggen, is noodzakelijk om verdere aantasting te vermijden en zo het risico op onverwachte instortingen te reduceren.

Door het toekennen van andere prioriteiten werd door de jaren heen een enorme onderhoudsachterstand opgebouwd van de snel verouderende infrastructuur. Hierbij werden vooral de acute noden weggewerkt. Een inhaalbeweging in het onderhoud dringt zich op. Een realistisch onderhoudsbudget dient vastgelegd te worden op basis van objectieve criteria die gerelateerd zijn aan de effectieve toestand van het patrimonium.

- **Prioritair inzetten op preventief onderhoud**

Zolang de onderhoudsachterstand niet volledig is weggewerkt, kan het basisprincipe van duurzaam beheer niet ten volle benut worden, waarbij prioritair wordt ingezet op preventief onderhoud en curatief onderhoud nog slechts in beperkte mate voorkomt. Waar momenteel nog vooral ingezet wordt op curatief onderhoud moet men evolueren naar een onderhoudsstrategie waarbij de focus meer ligt op preventief, regulier onderhoud. Door meer middelen aan te wenden voor dit reguliere onderhoud voorkomt men een snellere achteruitgang van het patrimonium met grotere kosten nadien.

- **Toepassen van levenscyclusanalyse (LCA)**

Door toepassing van levenscyclusanalysemethodieken, waarbij zowel de kosten als de milieu-impact van de verschillende stadia van de levenscyclus (ontwerp, uitvoering, gebruik, afbraak en hergebruik) van een bouwwerk in rekening gebracht worden, kan zowel het initiële ontwerp als de onderhoudsstrategie geoptimaliseerd worden.

- **Realiseren van een betere structurele samenwerking tussen de verschillende beleidsniveaus**

Dit houdt onder meer het volgende in: het definiëren van gemeenschappelijke doelstellingen, het uitwisselen van gegevens en het afstemmen van de timing van verschillende werkzaamheden (rioleringen, wegdek, fietspaden...) zodat de verkeershinder tot een minimum beperkt blijft. Binnen het departement Mobiliteit en Openbare Werken van de Vlaamse Gemeenschap bestaat reeds een Kennisplatform, maar deze vorm van kennisdeling zou ook naar andere niveaus en actoren uitgebreid moeten

worden. Door toepassing van de hier voorgestelde aanbevelingen binnen het kader van een integrale benadering door de verschillende bevoegde instanties kan een toekomstgerichte aanpak ontwikkeld worden voor het duurzame beheer van onze infrastructuur.

8.2 Bijkomende aanbevelingen

- **Nieuwe contractvormen voor aanbesteding en beheer van nieuwe infrastructuurprojecten**

Nieuwe contractvormen voor de aanbesteding en het beheer van nieuwe infrastructuurprojecten gebaseerd op publiek-private samenwerking (PPS), zoals DBFM en NEC4, zullen leiden tot beter beheersbare risico's, minder bouwfouten en een betere globale kwaliteit. Hierbij is de opdrachtnemer verantwoordelijk voor zowel het ontwerp en de bouw van het project als de financiering, het totale onderhoud en eventueel de operationele aspecten. Het onderhoud wordt dus al ingecalculeerd bij de oplevering van nieuwe infrastructuurprojecten.

- **Uitwerken van een normatief kader voor het uitvoeren van onderhoud en herstellingen**

Er is nood aan een normatief kader voor het uitvoeren van onderhoud en herstellingen. Voor het ontwerp van nieuwe constructies is een uitgebreid normatief kader beschikbaar. Dit is echter niet het geval voor de beoordeling van de toestand van bestaande infrastructuur, de bepaling van de restlevensduur en het uitvoeren van onderhoud en van herstellingen. Dit leidt tot een verschillende aanpak door de verschillende verantwoordelijke instanties. Ook op dit vlak is kennisopbouw en kennisdeling nodig.

- **Uitwerken van een sterker en afdwingbaar wetgevend kader als trigger voor een algemeen duurzamer beheer van infrastructuur**

Het uitwerken van een sterker en afdwingbaar wetgevend kader kan als trigger fungeren voor een algemeen duurzamer beheer van infrastructuur. De spoorinfrastructuur binnen Europa kan hier als voorbeeld dienen. Met het oog op de veiligheid van de gebruiker of het verhogen van het veiligheidsniveau in belangrijke tunnels bij calamiteiten zoals brand worden strikte directieven uitgevaardigd en opgelegd via de overheden. Dergelijke objectieven zijn vaak een accelerator in het voorzien van de nodige budgetten en het versnellen van aanverwante projecten, zoals de structurele renovatie van de volledige tunnel. Het vooropstellen van een strikter en afdwingbaar wettelijk kader vanuit veiligheidsoogpunt verplicht overheden en *asset managers* tot investeringen in een goed en duurzaam beheer van infrastructuur.

- **Monitoring van bruggen en tunnels**

Continue monitoring van bestaande kritieke infrastructuur op belangrijke verkeersassen laat toe om permanent een idee te hebben van de effectieve toestand ervan. Op die manier kunnen onverwachte instortingen grotendeels vermeden worden.

- **Concessionering**

Concessionering van bepaalde stukken autosnelweg voor een zekere periode (bv. 30 jaar) kan een oplossing bieden voor een beter gegarandeerd onderhoud. Daar moeten dan wel duidelijk vastgelegde *service levels* tegenover staan.

9 Bibliografie

Anastasopoulos, Dimitrios, Guido De Roeck, en Edwin P. B. Reynders. 'One-Year Operational Modal Analysis of a Steel Bridge from High-Resolution Macrostrain Monitoring: Influence of Temperature vs. Retrofitting'. *Mechanical Systems and Signal Processing* 161 (12 januari 2021): 107951. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2021.107951>.

Breemersch, Tim. 'Effecten van te zware voertuigen op de weginfrastructuur en de verkeersveiligheid'. Transport & Mobility Leuven. Geraadpleegd 19 september 2022. <https://www.tmleuven.be/nl/project/Te-zware-voertuigen>.

COST: European Cooperation in Science & Technology. 'Call to Action TU1406 - Quality specifications for roadway bridges, standardization at a European level (BridgeSpec)'. COST, november 2014. <https://www.cost.eu/news/>.

Calvi, Gian Michele, Matteo Moratti, Gerard J. O'Reilly, Nicola Scattarreggia, Ricardo Monteiro, Daniele Malomo, Paolo Martino Calvi, en Rui Pinho. 'Once upon a Time in Italy: The Tale of the Morandi Bridge'. *Structural Engineering International* 29, nr. 2 (3 april 2019): 198–217. <https://doi.org/10.1080/10168664.2018.1558033>.

Universiteit Gent. 'C-Bridge: Stappenplan naar Ontwerp, Regelgeving en Constructie van Composietbruggen in Vlaanderen'. Webpagina. Geraadpleegd 20 september 2022. <https://www.ugent.be/ea/structural-engineering/nl/onderzoek/schoonmeersen/cbridge.htm>.

De Schutter, Geert. 'Van tunnelvisie naar visie op tunnels', 2021.

'De toekomst begint nu: Jaarrapportage 2019 Impulsprogramma Circulaire Economie Rijkswaterstaat'. Rijkswaterstaat, februari 2020.

Deloitte Consulting & Advisory. 'Eerst houden, dan bouwen - i.o.v. Beleidsdomein Mobiliteit en Openbare Werken', 18 maart 2019.

Vlaamse Overheid. 'Duurzame en innovatieve overheidsopdrachten', 29 januari 2016. <https://overheid.vlaanderen.be/duurzame-innovatieve-overheidsopdrachten>.

'Een learning history: Wat leert het eerste circulaire viaduct ons?' Rijkswaterstaat, november 2019. <https://www.uu.nl/sites/default/files/Lie%20Chahboun%20-%20Circulaire%20viaduct.pdf>.

'Europese criteria betreffende groene overheidsopdrachten voor het ontwerp, de bouw en het onderhoud van wegen', 6 oktober 2016. <https://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/toolkit/roads/NL.pdf>.

Frangopol, Dan M. 'Life-Cycle Performance, Management, and Optimisation of Structural Systems under Uncertainty: Accomplishments and Challenges'. *Structure and Infrastructure Engineering* 7, nr. 6 (juni 2011): 389–413. <https://doi.org/10.1080/15732471003594427>.

- Vander Elst Luc, 'Lantis lanceert primeur met eerste NEC4-contract voor Oosterveelverbinding', *ILYA*, 49 (2021): 8–10.
- Maes, Kristof, en Geert Lombaert. 'Monitoring Railway Bridge KW51 Before, During, and After Retrofitting'. *Journal of Bridge Engineering* 26, nr. 3 (3 januari 2021): 04721001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0001668](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001668).
- 'Onderhoudsprogramma Autosnelwegen. PMS-rapport 2017'. Agentschap Wegen en Verkeer, 2017.
- 'Onderhoudsprogramma Autosnelwegen. PMS-rapport 2020'. Agentschap Wegen en Verkeer, 2020.
- Oppen, Cécile van, Godard Croon, en Dirk Bijl de Vroe. *Circulair inkopen in 8 stappen*. Amsterdam: Copper8, 2018.
- Prinssen, Paul, en Sara Rademaker. 'Stappenplan: Inkopen met de Milieukostenindicator'. PIANOo, Expertisecentrum Aanbesteden, augustus 2020.
- Prisco, Marco di. 'Critical Infrastructure in Italy: State of the Art, Case Studies, Rational Approaches to Select the Intervention Priorities'. In *Proceedings of the FIB Symposium 2019: Concrete - Innovations in Materials, Design and Structures*, 49–58, 2019.
- Rijkswaterstaat. 'Design, Build, Finance and Maintaincontract'. Geraadpleegd 20 september 2022. <http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/zakendoen-met-rijkswaterstaat/werkwijzen/werkwijze-in-gww/contracten-gww/dbfm>.
- Taerwe, Luc, en Stijn Matthys. 'FRP for Concrete Construction: Activities in Europe'. *Concrete International* 21, nr. 10 (1 oktober 1999): 33–36.
- Taerwe, Luc R. 'FRP Developments and Applications in Europe'. In *Fiber-Reinforced-Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*, onder redactie van Antonio Nanni, 99–114. Developments in Civil Engineering. Oxford: Elsevier, 1993. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-89689-6.50009-4>.
- 'Toestand van het wegennet. Gewestwegen Antwerpen, Limburg en Vlaams-Brabant: metingen van 2019.' Agentschap Wegen en Verkeer. Geraadpleegd 20 september 2022. <https://wegenenverkeer.be/sites/default/files/uploads/documenten/2019N%20Toestand%20van%20het%20wegennet.pdf>.
- 'Toestand van het wegennet. Gewestwegen Oost- en West-Vlaanderen: metingen van 2018'. Agentschap Wegen en Verkeer. Geraadpleegd 20 september 2022. <https://wegenenverkeer.be/sites/default/files/uploads/documenten/2018N%20Toestand%20van%20het%20wegennet.pdf>.
- 'Trans-European Road Network, TEN-T (Roads): 2019 Performance Report', 2019. Transitieteam Circulaire Bouweconomie. 'Transitie-agenda circulaire economie 2018: Circulaire bouweconomie'. Geraadpleegd 20 september 2022. <https://edepot.wur.nl/440495>.

10 Samenstelling van de werkgroep

Luc Taerwe (KTW en UGent), coördinator
Jan Albert (KVAB)
Anne Beeldens (AB-Roads)
Jean Berlamont (KTW en KU Leuven)
Bart De Pauw (TUC RAIL)
Guido De Roeck (KU Leuven)
Pieter De Winne (Agentschap Wegen en Verkeer)
Dirk Fransaer (KTW en VITO)
Bert Marynissen (+) en Frederic De Meyer (SECO Belgium nv)
Paul Meekels (Departement Mobiliteit en Openbare Werken)
Vincent Thibert (Brussel Mobiliteit, Brussels Hoofdstedelijk Gewest)
Didier Van de Velde (Infrabel Asset Management)
Yvan Verbakel (KU Leuven)
Ronny Verhoeven (KTW en UGent)

KTW: Klasse Technische Wetenschappen van de KVAB

Dank aan Didier De Buyst (Veritas per Scientiam) voor het aanleveren van informatie aangaande PPS en DBFM.

RECENTE STANDPUNTEN (vanaf 2017)

52. Mark Eyskens – *Europa in de problemen*. KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2017.
53. Luc Steels – *Artificiële intelligentie. Naar een vierde industriële revolutie?*. KVAB/Klasse Natuurwetenschappen, 2017.
54. Godelieve Gheysen, René Custers, Dominique Van Der Straeten, Dirk Inzé, *Ggo's anno 2018. Tijd voor een grondige herziening*. KVAB/Klasse Natuurwetenschappen, 2017.
55. Christoffel Waelkens (e.a.) – *Deelname van Vlaanderen aan grote internationale onderzoeksinfrastructuren: uitdagingen en aanbevelingen*, KVAB/Klasse Natuurwetenschappen, 2017.
55. Addendum. Jean-Pierre Henriët. – *Mijlpalen in internationale wetenschappelijke samenwerking*, KVAB/Klassen Natuurwetenschappen, 2017.
56. Piet Swerts, Piet Chielens, Lucien Posman – *A Symphony of Trees. Wereldcreatie naar aanleiding van de herdenking van de Derde Slag bij Ieper, 1917*, KVAB/Klasse Kunsten, 2017.
57. Willy Van Overschée e.a. – *De mobiliteit van morgen: zijn we klaar voor een paradigmawissel?*, KVAB/Klasse Technische Wetenschappen, 2018.
58. Tinne De Laet e.a. - *"Learning Analytics" in het Vlaams hoger onderwijs*, KVAB/Klasse Technische Wetenschappen, 2018.
59. Dirk Van Dyck, Elisabeth Monard, Sylvia Wenmackers e.a. – *Onderzoeker-gedreven wetenschap. Analyse van de situatie in Vlaanderen*, KVAB/Klasse Natuurwetenschappen, 2018.
60. Liliane Schoofs – *Doctoraathouders geven het Vlaanderen van morgen vorm*, KVAB/Klasse Natuurwetenschappen, 2018.
61. Luc Bonte, Aimé Heene, Paul Verstraeten e.a. – *Verantwoordelijk omgaan met digitalisering. Een oproep naar overheden en bedrijfsleven, waar ook de burger toe kan/moet bijdragen*, KVAB/Klasse Technische Wetenschappen, 2018.
62. Jaak Billiet, Michaël Opgenhaffen, Bart Pattyn, Peter Van Aelst – *De strijd om de waarheid. Over nepnieuws en desinformatie in de digitale mediawereld*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2018.
63. Christoffels Waelkens. – *De Vlaamse Wetenschapsagenda en interdisciplinariteit. Leren leven met interdisciplinaire problemen en oplossingen*, KVAB/Klasse Natuurwetenschappen, 2019.
64. Patrick Onghena – *Repliceerbaarheid in de empirische menswetenschappen*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2020.
65. Mark Eyskens – *Als een virus de mensheid gijzelt. Oorzaken en gevolgen van de Coronacrisis*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2020.
66. Jan Rabaey, Rinie van Est, Peter-Paul Verbeek, Joos Vandewalle - *Maatschappelijke waarden bij digitale innovatie: wie, wat en hoe?*, KVAB - Denkersprogramma 2019, KVAB/Klasse Technische Wetenschappen, 2020.
67. Oana Dima (auteur), Dirk Inzé, Hubert Bocken, Pere Puigdomènech, René Custers (eds)., *Genoombewerking voor veredeling van landbouwgewassen. Toepassingen van CRISPR-Cas9 en aanverwante technieken*, ALLEA-KVAB/Klasse Natuurwetenschappen, 2020.
68. Marie-Claire Foblets, *De multiculturele samenleving en de democratische rechtsstaat – Hoe vrijwaren we de sociale cohesie?*, KVAB/Klasse Menswetenschappen 2020
69. Joost Van Roost, Luc Van Nuffel, Pieter Vingerhoets e.a., *De rol van gas in de Belgische energietransitie – Aardgas en Waterstof*, KVAB/Klasse Technische Wetenschappen, 2020.
70. Richard Bardgett, Joke Van Wensem, *Bodem als natuurlijk kapitaal* – KVAB Denkersrapport 2020, KVAB/Klasse Technische Wetenschappen, 2021
71. Jos Smits e.a., *Multifunctionele eilanden in de Noordzee*, KVAB/Klasse Technische Wetenschappen, 2021.
72. Elisabeth Monard, red., *Kunst, Wetenschap en Technologie in Symbiose*, KVAB/Klasse Technische Wetenschappen, 2021.
73. Jan Wouters, Maaïke De Ridder, *De problematiek van de rechtsstaat en democratische legitimiteit binnen de Europese Unie*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2021.
74. Hilde Heynen, Bart Verschaffel, e.a., *Architectuurkwaliteit vandaag, Reflecties over architectuur in Vlaanderen*, KVAB/Klasse Technische wetenschappen en Klasse Kunsten, 2021.

De volledige lijst met standpunten en alle pdf's kunnen worden geraadpleegd op
www.kvab.be/standpunten



Dit Standpunt kwam tot stand naar aanleiding van onder meer de spectaculaire instorting van de Morandibrug in Genua in 2018, problemen met tunnels in Brussel in de periode 2015-2016 en de opmaak van de Lijst van Prioritaire Kunstwerken met daarin diverse kritieke 'brokkelbruggen'. De bruggen en viaducten in deze lijst worden onderworpen aan een strikter inspectieregime. Ze staan niet op instorten, zoals men in de pers soms laat uitschijnen.

Het grootste deel van de wegbruggen in Vlaanderen is ongeveer 50 jaar oud. Het patrimonium van spoor- en wegbruggen dat beheerd wordt door Infrabel varieert in leeftijd van vrij jong tot meer dan 80 jaar oud. Het gaat hier dus om een (deels) verouderde infrastructuur die in toenemende mate allerlei schadeverschijnselen vertoont onder invloed van externe factoren. Bovendien stellen we de laatste decennia op de hoofdverkeersassen een duidelijke toename van de verkeersintensiteit vast, in het bijzonder door het vrachtverkeer, waardoor de toestand van de infrastructuur nog sneller achteruitgaat. Om verdere en versnelde schade te vermijden is het belangrijk tijdig kleine gebreken te herstellen, maar voor zo'n regulier onderhoud waren in het verleden onvoldoende budgetten beschikbaar.

De voornaamste aanbeveling van dit Standpunt is te voorzien in een significante budgetverhoging voor het regulier preventief onderhoud van infrastructuur, in het bijzonder van bruggen. Dit is noodzakelijk om verdere aantasting te vermijden en zo het risico op onverwachte instortingen te reduceren. De tweede aanbeveling is dat men bij het ontwerp gebruik maakt van nieuwe inzichten, waaronder de toepassing van methodieken voor de Levenscyclus Analyse. Die brengt zowel de initiële kosten als de milieu-impact van de verschillende stadia van de levenscyclus in rekening.

De reeks Standpunten van de Academie is een bijdrage tot het wetenschappelijk onderbouwd debat over actuele maatschappelijke en artistieke thema's. De auteurs, leden en werkgroepen van de Academie schrijven in eigen naam, onafhankelijk en met volledige intellectuele vrijheid. De goedkeuring voor publicatie door een of meerdere Klassen van de Academie waarborgt de kwaliteit van de gepubliceerde studies.