

Tekst | Jan Mol Beeld | Antea Group

Instandhouding van beweegbare bruggen dichterbij door onderzoek naar dynamica van bewegingswerken

In GWW nummer 4 van vorig jaar heeft u kunnen lezen over het in de praktijk kunnen testen van dynamische krachten op beweegbare bruggen. Kodo Sektani, Ingenieur en Adviseur Kunstwerken bij Antea Group, doet experimenteel onderzoek om tot een rekenmodel te komen dat geverifieerd en gevalideerd wordt. Dit onderzoek richt zich op de theoretische levensduur van bewegingswerken die mechanisch aangedreven worden door zowel een krukstang, als een heugelopstelling.

De geverifieerde rekenmodellen moeten een betrouwbaarder en realistischer beeld geven van de dynamische krachten in de onderdelen van brugbewegingsmechanismen, in vergelijking met de vereenvoudigde dynamischmodellen die we tegenkomen in de in 2001 opgestelde regels, die de uit 1965 stammende Voorschriften voor het Ontwerpen van Beweegbare Bruggen (NEN 6786) aanvullen. De kennis en inzichten die uit dit onderzoek worden opgedaan, zijn van groot maatschappelijk belang. In het kader van de belangrijke nationale Vervanging en Renovatie-opgave kunnen nieuwe rekenmodellen

mogelijk leiden tot langer gebruik van bestaande beweegbare bruggen.

EEN BELANGRIJKE TUSSENSTAP IN HET ONDERZOEK TEN AANZIEN VAN DE AANDRIJVING

De imposante en uit de kluiten gewassen meetopstelling bij de TU Delft maakt het mogelijk om de rekenmodellen in de praktijk te testen, zonder last te hebben van schaal-effecten. In het vorige artikel werd uitvoerig beschreven welke mechanische onderdelen van de aandrijving in de praktijk getest kunnen worden. Door

de coronacrisis heeft het praktijkonderzoek echter stilgelegen. Sektani gebruikte de tijd die vrijkwam voor een tussenstap in het promotieonderzoek op het theoretisch vlak. "Ik heb een analytische formule ontwikkeld, waarmee de koppel-toerenkarakteristiek van niet-geregelde aandrijvingen benaderd kan worden, door alleen nog gebruik te maken van bekende bedrijfspecificaties van een motor", vertelt Sektani.

Waarom is dit nodig? Sektani antwoordt: "Allereerst, de norm maakt onderscheid tussen geregelde en niet-geregelde aandrijvingen. Bij een geregelde aandrijving wordt er gebruik gemaakt van een VT-diagram, waarin de opgelegde snelheid in tijd wordt aangegeven. De snelheid wordt dan geregeld door een PLC met frequentieomvormer. Zie het als een cruise control van een auto, waarbij terugkoppeling plaatsvindt. Je geeft aan welke snelheid je wenst en de techniek regelt die snelheid, ongeacht de veranderende belastingen die de auto ondervindt." Sektani vervolgt: "Bij een niet-geregelde aandrijving wordt er direct een bepaald koppel door de motor geleverd volgens de bijbehorende koppel-toerenkarakteristiek. Hierbij heb je het niet in de hand wat de snelheid wordt omdat deze onder andere afhankelijk van de last is. Het is dus, voornamelijk in het begintraject van een brugopening, ook niet te voorspellen wat de maximale optredende belastingen zijn in de aandrijflijn bij de belastingssituatie 'begin openen vanuit gesloten stand', voordat de brug eenparig beweegt. In mijn nieuwe formule kunnen de bedrijfsspecificaties



De imposante en uit de kluiten gewassen meetopstelling bij de TU Delft maakt het mogelijk om de rekenmodellen in de praktijk te testen, zonder last te hebben van schaal-effecten.



De motor karakteristiek is vanaf nu analytisch benaderbaar en het hieruit voorgestelde dynamisch model dat niet-lineair is, kan numeriek opgelost worden.

van de motor ingegeven worden, waardoor de koppel-toerenkarakteristiek, zowel voor een kooianker- als een sleepingankermotor te benaderen is. Vervolgens kunnen we hiermee het huidige dynamisch model voor niet-geregelde aandrijvingen realistischer maken, want de rekenregels gaan momenteel uit van een constant maximaal koppel dat onrealistisch hoog is, waarmee de brug geopend zou worden. In de praktijk is dit echter afhankelijk van het toerental zoals het koppel-toerenkarakteristiek dat impliceert. Door in plaats van een constante te rekenen, zoals de norm voorschrijft, maar juist te werken met de niet-lineaire koppel-toerenkarakteristiek van de motor, heb ik het theoretisch model verbeterd en weer een stap dichterbij de realiteit laten aansluiten. De motor karakteristiek is vanaf nu analytisch benaderbaar en het hieruit voorgestelde dynamisch model dat niet-lineair is, kan numeriek opgelost worden. In de praktijk betekent dit dat we de optredende vermoeiingsbelastingen in de aandrijflijn realistischer kunnen voorspellen, wat een levensduur verlengend effect zal hebben bij de (her)beoordeling van de brugbewegingsmechanismen."

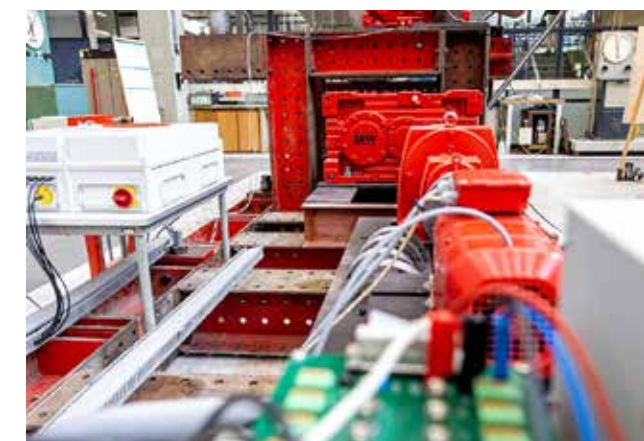
VOORKOMEN VAN OVERDIMENSIONEREN DOOR TE REKENEN MET TIJDAFHANKELIJKE VARIABELEN

In de rekenregels van de huidige norm is er sprake van een vereenvoudigd dynamisch model met twee vrijheidsgraden. Sektani legt uit dat de eerste vrijheidsgraad de massa traagheid van de motoras met rechtstreeks gekoppelde onderdelen representeert, zoals de rotor, remschijf, koppeling en in sommige gevallen een vliegwiel. De tweede vrijheidsgraad wordt gemodelleerd door een tweede massa traagheid, die alle componenten aan de brugzijde behelst, zoals het brugdek en ballastgewicht. Deze twee massa traagheden zijn met elkaar verbonden met één lineaire rotatieveer, die de stijfheid van de totale aandrijflijn voorstelt. Dit is een grote simplificatie van de werkelijkheid, waarbij veel variabelen zijn weggelaten. "Op de eerste plaats zijn het motor- en remkoppel tijdafhankelijke variabelen, maar in de norm worden deze als een constante gehanteerd, altijd uitgaande van een maximaal koppel. Daarnaast is in het huidige rekenmodel voor vereenvoudiging ook demping constant gehouden", vervolgt Sektani. "Tegenwoordig hebben

we geavanceerde rekentools voorhanden en kunnen we overdimensioneren van de aandrijving voorkomen door modellen toe te passen die de realiteit beter benaderen en een gunstig effect op het resultaat hebben. ➤



Kodo Sektani, Ingenieur en Adviseur Kunstwerken bij Antea Group.



Bij een geregelde aandrijving wordt er gebruik gemaakt van een VT-diagram, waarin de opgelegde snelheid in tijd wordt aangegeven. De snelheid wordt dan geregeld door een PLC met frequentieomvormer.

“De klant dacht aan een tunnel.
Wij adviseerden een brug.”



werkenbijanteagroup.nl

Kijk voor deze en meer vacatures op onze website:

Projectleider Asset Management

Als projectleider Asset Management lever jij een belangrijke bijdrage aan onze projecten en de ontwikkeling van multidisciplinaire teams. Je zorgt onder meer voor kwaliteitsborging, risicomanagement en financiële rapportages. Daarnaast ben jij een vraagbaak voor onze opdrachtgevers en ben je betrokken bij het verkrijgen van nieuwe projecten.

Projectleider Kunstwerken

Bij de realisatie of reconstructie van vaste en beweegbare kunstwerken geef je leiding aan projectteams. Je bent de rechterhand van de projectmanager en onderhoudt het contact met de opdrachtgever. Met jouw kennis en expertise breng je jouw passie voor techniek over aan je team.

Business Manager Infra

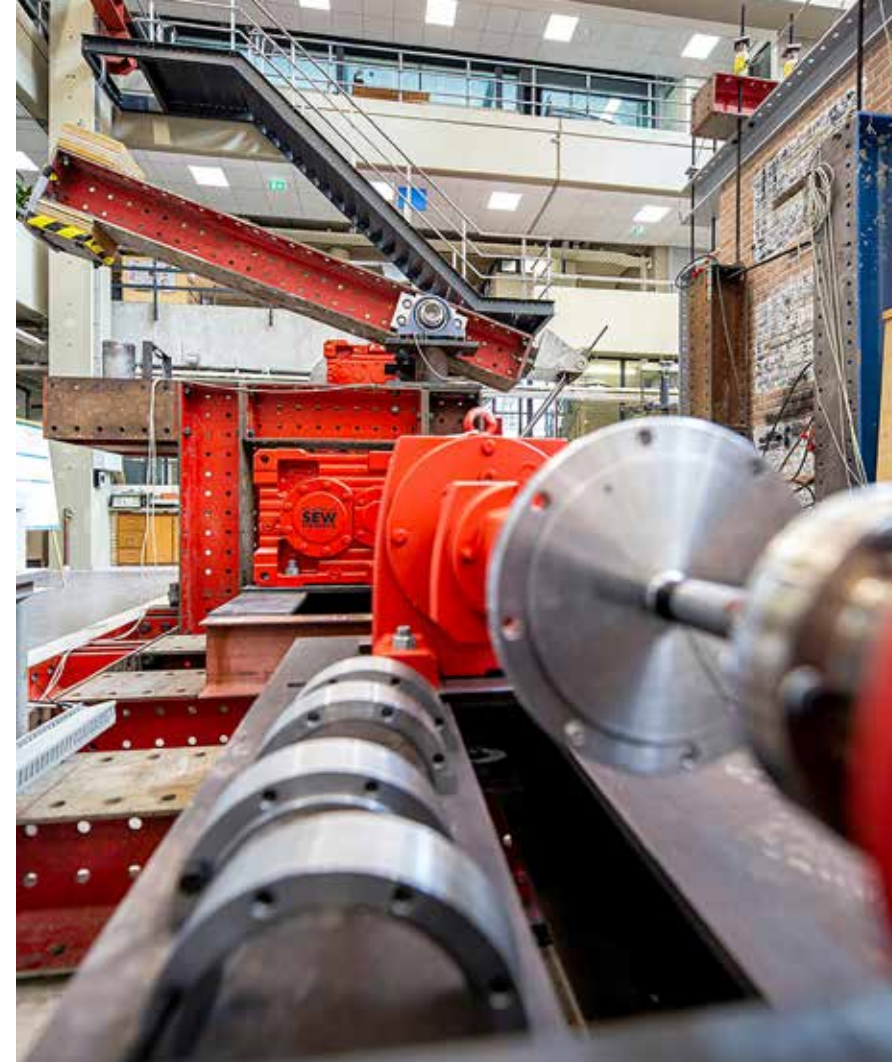
In je rol van projectmanager met senioriteit zet je jouw passie voor techniek, leidinggevende kwaliteiten, commercieel talent en je relatienetwerk in om mooie opdrachten op het gebied van infrastructurele projecten te verwerven en naar tevredenheid te realiseren voor onze opdrachtgevers.

Ontwerper Rail

Als Autocad-ontwerper ben jij een belangrijke schakel in de uitwerking van ontwerpen voor onze railprojecten. Van spoor tot onderdoorgang: het opstellen van uitvoeringsontwerpen voor verschillende disciplines binnen de railsector heb je met enige jaren werkervaring al goed in de vingers.



Ingenieurs en adviseurs
met karakter

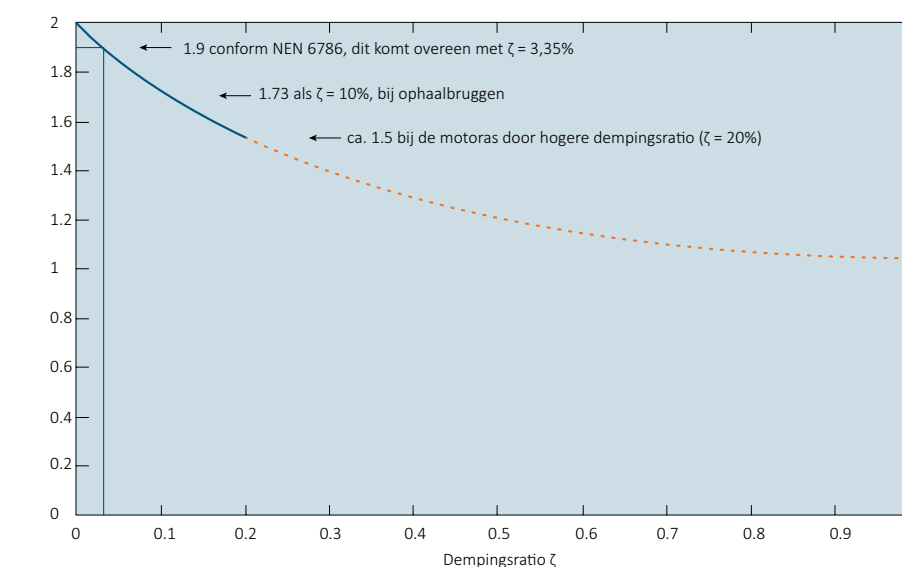


“In de praktijk betekent dit dat we de optredende vermoeiingsbelastingen in de aandrijflijn realistischer kunnen voorspellen.”

De huidige rekenregels houden ter vereenvoudiging geen rekening met deze gunstige effecten. Dit heeft in sommige gevallen overdimensionering van de aandrijving tot gevolg bij nieuwbouw. Hierdoor dien je dan ook alle daarop aangesloten delen te overdimensioneren, zoals bijvoorbeeld de tandwielkasten. Ook bij de herbeoordeling van een bestaande brug kun je daardoor een hele aandrijflijn afschrijven, terwijl dat misschien niet nodig is. Dat brengt extra kosten met zich mee, laat staan dat er wellicht bouwkundige aanpassingen nodig zijn die helemaal niet realiseerbaar zijn in de bestaande bouw. Bereken je dus 'conservatief' dan kan dat zowel werktuigbouwkundig als civieltechnisch grote gevolgen hebben voor nieuw te ontwerpen of bestaande bruggen. Mijn onderzoek met experimenteel gevalideerde modellen geeft daarom ook een passend antwoord op de vraag hoe de vervangingsopgave van beweegbare bruggen innovatief kan worden ingevuld. Ik wil graag bruikbaar maken wat ik heb ontdekt, door uiteindelijk de vertaalslag te maken van onderzoeksresultaten naar rekenregels voor de praktijk. De algehele doelstelling van mijn promotieonderzoek is dus om te komen tot een totale optimalisatie.”

OP WEG NAAR NIET-LINEAIRE DYNAMISCHE MODELLEN

“Nog een belangrijke variabele, naast de tijdafhankelijkheid van de koppels, is demping. De norm neemt een beetje demping mee, wat resulteert in een constante dynamische vergro-



De dynamische vergrotingsfactor is geen constante, maar afhankelijk van de dempingsratio. Deze verschilt per brugtype en de locatie van het beschouwde onderdeel in de aandrijflijn.

tingsfactor van 1,9, die in geval van geen demping een waarde van 2,0 zou aannemen. Dit is in de norm van toepassing op alle type beweegbare bruggen. Niet redelijk, aangezien de demping per type brug wel degelijk verschilt. TNO heeft hier al eens over gepubliceerd. In mijn formule heb ik deze dynamische vergrotingsfactor afhankelijk gemaakt van de dempingsratio. Door demping mee te nemen in de theorie, kunnen we het effect ervan laten zien.”

Sektani heeft voor de theoretische verbeteringen inzake de tijdafhankelijkheid van externe koppels en demping, niet-lineaire rekenmodellen opgesteld, die hij met Matlab numeriek oplost. “De resultaten zijn verrassend. De dynamische belasting kan tot wel 30% gereduceerd worden door mijn rekenmodellen toe te passen.” Ook waar de norm voor demping uitkomt op een constante dynamisch vergrotingsfactor van 1,9, heeft Sektani winst behaald en deze factor weten te verlagen naar 1,5. Dus door zo gedetailleerd mogelijk te rekenen met variabelen, die ooit buiten beschouwing zijn gelaten, kan er op alle vlakken veel gewonnen worden.

Tot besluit zegt Sektani: “De vraag is nu of wij deze verbeterde rekenmodellen ook experimenteel kunnen verifiëren. Sinds kort hebben wij het experimenteel onderzoek, wat door de coronacrisis stil lag, weer opgepakt. Dankzij meewerkende overheden, tal van sponsors en niet in de laatste plaats Antea Group, zal de gerealiseerde meetopstelling in het Stevinlab II van de TU Delft hier een sluitend antwoord op geven.” ■