

AFSTUDEERONDERZOEK PARAMETRISCH ONTWERPEN

Björn Dijkstra

Parametrisch ontwerpen maakt het mogelijk om een groot aantal varianten in korte tijd met elkaar te vergelijken. De varianten die uit een parametrisch model volgen, dienen op een meetbare manier afgewogen te worden. Een steeds zwaarder wegend afwegingkader is duurzaamheid, in de Green Deal Duurzaam GWW 2.0 is de volgende doelstelling vastgelegd: 'Duurzaamheid is in 2020 een integraal onderdeel van alle spoor-, grond- water- en wegenbouwprojecten' (Rijksoverheid 2017).



1 Bestaande brug in Alkmaar



2 Parametrisch berekeningsmodel in Grasshopper

In dit afstudeeronderzoek is een parametrisch berekeningsmodel ontwikkeld voor het brugdek van een fiets'voetgangersbrug. In dit model zijn varianten op een meetbare manier afgewogen op duurzaamheid. Een bestaande fiets'voetgangersbrug heeft als testcase gediend voor het ontwikkelde model. In het model is gebruik gemaakt van de programma's Rhinoceros, Grasshopper en Excel. Ook zijn in het model enkele scripts toegepast. Het afstudeeronderzoek heeft plaatsgevonden bij NHL Stenden Hogeschool in Leeuwarden en ADONIN in Harlingen.

STAP 1 ARCHIEFONDERZOEK

In het archief van ADONIN zijn bestaande fiets'voetgangersbruggen onderzocht. De gegevens van deze fiets'voetgangersbruggen zijn vastgelegd in een database en geanalyseerd. Op basis van de analyse zijn keuzes gemaakt voor materialen en zijn de afmetingen van de modelbrug gekozen. Daarnaast is een, door ADONIN berekende, bestaande brug in Alkmaar vergeleken met de uitkomsten van het parametrisch berekeningsmodel.

Op basis van het archiefonderzoek zijn de materiaalcombinaties houten dek met houten liggers en kunststof dek met stalen liggers in het parametrisch berekeningsmodel beschouwd. De modelbrug is 14,0 meter lang en 2,5 meter breed. De minimale doorvaartbreedte bedraagt 5,0 meter en het aantal steunpunten is twee of vier.

De bestaande brug in Alkmaar (zie fig.1) heeft een lengte van 13,2 meter en een breedte van 1,70 meter. De brug heeft twee steunpunten en is ontworpen op een levensduur van 60 jaar. Het stalen dek is 12 mm dik met staalkwaliteit S235. De brug heeft drie langsliggers, 2x UNP 400 S235 en 1x HE400B S235. In het ontwerp is gerekend met gevolgklasse CC1 en met een dienstvoertuig is niet gerekend.

STAP 2 LITERATUURONDERZOEK DUBOCALC

Met het programma DuboCalc kunnen varianten van ontwerpen in de GWW meetbaar vergeleken worden op duurzaamheid. Opdrachtgevers in de GWW zetten DuboCalc in bij aanbestedingen om een meetbare waarde toe te kennen aan de mate van duurzaamheid van een variant of een aanbieder. Met DuboCalc wordt de MKI-waarde (MilieuKostIndicator) van een variant berekend in euro's. Hoe lager de MKI-waarde hoe lager de milieubelasting.

Doordat niet alle materialen in DuboCalc staan, is de inzetbaarheid van DuboCalc beperkt. Dit komt doordat het voor leveranciers niet verplicht is om de MKI-waarde van hun materialen in DuboCalc te hebben. Daarnaast werkt DuboCalc met een verouderde versie van de Nationale Milieu Database (NMD), hierdoor zijn er minder materialen beschikbaar. Deze beperkingen van DuboCalc hebben geen invloed gehad op het afstudeeronderzoek.

Geometrische uitgangspunten

Totale bruglengte (m) 13.2

Breedte (m) 1.7

Doorvaartbreedte (m) 4.4

Overstek (m) 0.00

Ontwerplevensduur 60

Maaiveldhoogte links (m) 1.0

Maaiveldhoogte rechts (m) 1.0

Startpunt x (m) 0

Startpunt y (m) 0

Uitgangspunten waarin gevarieerd wordt

Aantal steunpunten 4

Aantal liggers 8

Constructieve uitgangspunten

Gevolgklasse CC 1

Wielast dienstvoertuig (kN) 0.0

Wielbasis dienstvoertuig (m) 3.0

Breedte contactvlak wielast (m) 0.25

Breedte contactvlak puntlast (m) 0.10

Toelaatbare factor totale doorbuiging (hout) 0.005

Toelaatbare factor totale doorbuiging (staal) 0.004

Toelaatbare factor totale doorbuiging (KLP) 0.004

3 Invoer in parametrisch berekeningsmodel

STAP 3 (zie p. 35 boven) ONTWIKKELEN PARAMETRISCH BEREKENINGSMODEL

Er is een parametrisch berekeningsmodel ontwikkeld voor het dek en de liggers van een fiets*voetgangersbrug. Dit model is gemaakt met de programma's Rhinoceros en Grasshopper. Hierbij is ook gebruik gemaakt van scripts, bijvoorbeeld bij het selecteren van de variant met de laagste MKI-waarde.

In het parametrisch berekeningsmodel worden de benodigde afmetingen van dek en liggers berekend en beoordeeld. In Excel zijn databases van dekprofielen en liggers gemaakt. In deze databases zijn per profiel afmetingen en eigenschappen opgenomen. Bijvoorbeeld het profielafhankelijke weerstandsmoment en de materiaal-afhankelijke elasticiteitsmodulus. Het dek en de liggers worden getoetst aan de geldende normen en richtlijnen. Het dek wordt gecontroleerd op moment, dwarskracht en doorbuiging. Dit geldt ook voor de liggers; bovendien worden de liggers gecontroleerd op eigen frequentie.

Er wordt bij beide materiaalcombinaties voor het dek en de liggers gezocht naar het profiel met de laagste MKI-waarde. De dek- en liggerprofielen die voldoen aan de geldende normen en richtlijnen, worden in het model op duurzaamheid beoordeeld. Om profielen die wel voldoen te scheiden van profielen die niet voldoen, is gebruik gemaakt van scripts.

Deze stap komt een aantal keer in het model voor. In het model wordt gevarieerd in het aantal liggers en het aantal steunpunten. Bij beide materiaalcombinaties worden per variant de benodigde profielen voor dek en liggers berekend. Daarnaast worden de MKI-waarde en de materiaalkosten per variant berekend. Bij beide materiaalcombinaties wordt de variant met de laagste MKI-waarde geselecteerd. In de berekening van de MKI-waarde en de materiaalkosten is rekening gehouden met de onderbouw. De afmetingen van de onderbouw zijn voor beide materiaalcombinaties ingeschat.

Een afbeelding van het totale berekeningsmodel in Grasshopper is te zien in figuur 2. Het met rood omkaderde gebied linksboven bevat de uitgangspunten. Het met rood omkaderde gebied rechtsboven bevat de resultaten. Tussen de uitgangspunten en de resultaten zijn de benodigde profielafmetingen van de constructieve elementen per variant berekend.

STAP 4 TOEPASSING

De bestaande stalen brug in Alkmaar heeft een MKI-waarde van € 663,87. Deze brug is ingevoerd in het parametrisch berekeningsmodel, de invoer is te zien in figuur 3.

In het model is gevarieerd in het aantal steunpunten en het aantal liggers. In totaal zijn er 32 varianten, 16 per materialencombinatie, beschouwd. Het model tussen uitgangspunten en resultaten, (de met rood omkaderde gebieden in figuur 2), is voor elke

variant doorlopen. De 32 varianten zijn in een tijdsbestek van circa 30 seconden berekend, waarbij bij beide materiaalcombinaties de variant met de laagste MKI-waarde is geselecteerd.

De resultaten voor de materialencombinatie houten dek met houten liggers zijn te zien in figuur 4.

De variant met de laagste MKI-waarde heeft de volgende eigenschappen:
4 steunpunten; maatgevende overspanningslengte 4,4 m
3 liggers azobé 100 x 300 mm²
dek azobé 35 x 190 mm²
MKI € 40,18; materiaalkosten € 13.274,43
De resultaten voor de materialencombinatie kunststof dek met stalen liggers zijn te zien in figuur 5.

De variant met de laagste MKI-waarde heeft de volgende eigenschappen:
4 steunpunten;
4 liggers;
2x UNP120 S235; 2x HEA120 S235
Dek KLPV 47x200
MKI € 337,04;
Materiaalkosten € 5.429,41

Bij de resultaten van de materialencombinatie kunststof dek met stalen liggers valt op dat het aantal liggers begint bij 4. Dit komt doordat het kunststof dek bij een kleiner aantal liggers, en dus een grotere overspanning, niet voldoet.

De fiets*voetgangersbrug in Alkmaar is uitgevoerd met een stalen dek en stalen

Aantal steunpunten	Aantal liggers	Meest duurzame profielen voor randligger, tussenligger en dekplanken	MKI-waarde	Materiaalkosten
{0}	{0}	{0}	{0}	{0}
0 4	0 3	0 WOODB100H300, WOODB100H300, Azobed35B190	0 40.180404	0 13274.432229
1 4	1 4	1 WOODB100H250, WOODB100H250, Azobed35B190	1 41.197332	1 13604.432229
2 4	2 2	2 WOODB150H250, geen tussenligger, Azobed50B190	2 41.248178	2 13721.912229
3 4	3 5	3 WOODB100H200, WOODB100H250, Azobed35B190	3 42.722724	3 14099.432229
4 4	4 7	4 WOODB100H200, WOODB100H200, Azobed35B190	4 45.265044	4 14924.432229
5 4	5 6	5 WOODB100H200, WOODB100H250, Azobed35B190	5 45.265044	5 14924.432229
6 4	6 8	6 WOODB100H200, WOODB100H200, Azobed35B190	6 47.2989	6 15584.432229
Meest duurzame variant voor de materialen combinatie houten dek met houten liggers				
{0}	{0}	{0}	{0}	{0}
0 4	0 3	0 WOODB100H300, WOODB100H300, Azobed35B190	0 40.180404	0 13274.432229

4 Resultaten voor houten dek met houten liggers

Aantal steunpunten	Aantal liggers	Meest duurzame profielen voor randligger, tussenligger en dekplanken	MKI-waarde	Materiaalkosten
{0}	{0}	{0}	{0}	{0}
0 4	0 4	0 UNP120S235, HEA120S235, KLPV 47x200	0 337.037327	0 5429.407024
1 4	1 5	1 UNP120S235, HEA100S235, KLPV 47x200	1 351.839775	1 5618.575696
2 4	2 6	2 UNP120S235, HEA100S235, KLPV 39x180	2 356.27153	2 5452.767328
3 4	3 7	3 UNP120S235, HEA100S235, KLPV 39x180	3 380.382267	3 5760.89176
4 4	4 8	4 UNP120S235, HEA100S235, KLPV 39x180	4 396.774092	4 5123.843392
5 2	5 4	5 UNP380S235, HEA340S235, KLPV 47x200	5 601.234229	5 8990.36424
6 2	6 5	6 UNP380S235, HEA320S235, KLPV 47x200	6 721.787913	6 10530.9864
7 2	7 6	7 UNP350S235, HEA320S235, KLPV 39x180	7 836.2845	7 11771.75736
8 2	8 7	8 UNP350S235, HEA300S235, KLPV 39x180	8 909.956196	8 12713.24868
9 2	9 8	9 UNP350S235, HEA300S235, KLPV 39x180	9 1029.942458	9 13400.09088
Meest duurzame variant voor de materialen combinatie kunststof dek met stalen liggers				
{0}	{0}	{0}	{0}	{0}
0 4	0 4	0 UNP120S235, HEA120S235, KLPV 47x200	0 337.037327	0 5429.407024

5 Resultaten voor kunststof dek met stalen liggers

liggers. De brug heeft twee steunpunten. Deze keuzes zijn gemaakt door de opdrachtgever in het programma van eisen. In dit programma van eisen is geen rekening gehouden met DuboCalc. De MKI-waarde van het dek en de liggers van de uitgevoerde brug is € 663,87. Uit het parametrisch berekeningsmodel volgt dat het uitgevoerde ontwerp niet de laagste MKI-waarde heeft. De variant met de laagste MKI-waarde bestaat uit een houten dek met houten liggers en heeft een MKI-waarde van € 40,18. Dit is dus de meest duurzame variant.

CONCLUSIE

Met het ontwikkelde parametrisch berekeningsmodel zijn verschillende materialen en varianten van het dek en de liggers van een fiets*voetgangersbrug berekend en afgewogen op duurzaamheid. De afweging op duurzaamheid is gebaseerd op duurzaamheidsgegevens uit DuboCalc. Deze gegevens zijn bepaald volgens een onafhankelijke bepalingsmethode, daarom is de afweging op duurzaamheid een meetbare afweging.

Wanneer DuboCalc wordt gebruikt om varianten van een fiets*voetgangersbrug te beoordelen op duurzaamheid, is de materialencombinatie houten dek met houten liggers (met houtsoort azobé) de combinatie met de laagste MKI-waarde. Behalve wanneer de overspanningslengte van de liggers zo groot is, dat er geen houten liggers te verkrijgen zijn die voldoen aan de geldende normen en richtlijnen.

De berekening van een fiets*voetgangersbrug in Alkmaar die is opgebouwd uit een stalen dek en stalen liggers, is vergeleken met de

uitkomsten van het parametrisch berekeningsmodel. Uit deze vergelijking volgt dat de gerealiseerde variant niet de laagste MKI-waarde heeft. De opdrachtgever heeft in het programma van eisen keuzes gemaakt die daarvoor gezorgd hebben.

Voor vervolgonderzoek is aanbevolen om het aantal materiaalcombinaties en het aantal profielen in de databases uit te breiden. Daarnaast is aanbevolen om onderzoek te doen naar de parametrische berekening van de funding. Ook is het interessant om te kijken naar afweging op andere kaders dan duurzaamheid. Ten slotte is aanbevolen om de gegevens in DuboCalc te controleren bij updates.

LITERATUURLIJST

- Cement (2018). Cement 2018/3 *Versnelling voetgangersbrug*. Cement, 42-45.
- Cement (2018). Cement 2018/7 *Parametrisch ontwerpen (2)*. Cement, 4-14.
- Cement (2018). *Versnelling voetgangersbrug*. Cement (3), 42-45.
- DuboCalc (2018). *Wat is DuboCalc?* <https://dubocalc.nl/wat-is-dubocalc/>
- Folmer, P. (2018). *Vervangen brug 284 te Alkmaar*. Harlingen: ADONIN.
- Groot Lemmer B.V. (2018). *Prijslijst Groot Lemmer B.V. Heerenveen: Groot Lemmer B.V.*
- KLP. (2016). *Control- calculation structural element NEN1990-1991*. Sneek: KLP.
- KMVC. (2017). *Volddoet u per 1 januari 2019 aan de MPG-grenswaarde?* <https://www.kvmc.nl/volddoet-u-per-1-januari-2018-aan-de-mpg-grenswaarde/>
- NIBE Reserarch B.V. (2018). *Save Plastics*. Hahn (Duitsland): NIBE Reserarch bv.

- Provincie Fryslân (2018). *Aanbesteding N392 Aldeboarn, Tijnje*. Leeuwarden.
- Provincie Groningen (2018). *Inschrijvingsleidraad HOV Leek deelproject D*. Groningen.
- Rijksoverheid (2017, januari 17). *Duurzaam GWW 2.0*. <https://www.greendeals.nl/sites/default/files/uploads/2017/01/GD209-dealtekst-Duurzaam-GWW-2.0.pdf>, ingezien op 13 december 2018, Rijkswaterstaat. (sd). DuboCalc.
- Rijkswaterstaat: *inkoopbeleid/ duurzaam-inkopen/ duurzaamheid-bij-contracten-en aanbestedingen*. <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/zakendoen-metrijkswaterstaat/>, ingezien op 13 december 2018
- dubocalc/index.aspx
- Schweitzer, G. (2018). *CO₂ beprijzing werkt!* (p. 20). Rijkswaterstaat.
- SpoorPro (3 mei 2018). *ProRail gebruikt voortaan MKI bij aanbestedingen*. <https://www.spoorpro.nl/spoorbouw/2018/05/03/prorailgebruikt-voortaan-mki-bij-aanbestedingen>
- Stichting Bouwkwaliiteit (2019). *De bepalingsmethode*. <https://www.milieudatabase.nl/index.php?q=bepalingsmethode>
- Tauw. Lankhorst, 2018, *CO₂-Footprint voor KLP-materiaal*. Tauw, Capelle aan den IJssel

Ook is het interessant om te kijken naar afwegingen op basis van andere kaders dan duurzaamheid.