Ingenieursbureau Amsterdam

Rapport 700034.A

Bruggen met verstaalde dekken.

Ingenieursbureau Amsterdam
Produktgroep Advies en Ontwikkeling

Rapport 700034.A

Bruggen met verstaalde dekken

Datum : oktober 1991

Auteur : [redacted]

Hoofd Produktgroep
Advies en Ontwikkeling,

[redacted]

Ingenieursbureau Amsterdam
Produktgroep Advies en Ontwikkeling

Rapport 700034.A

Bruggen met verstaalde dekken

Inhoudsopgave blz

1. Inleiding 3

2. Opzet van de berekening 4

3. Berekeningsresultaten 5

4. Vermoeiing 6

5. Conclusies/aanbevelingen 9

6. Literatuur 10

Bijlage 1 11

1 Inleiding

In opdracht van Stedelijk Beheer, sector Infrastructuur, Sport en Recreatie is voor een aantal bruggen een controle-berekening van de hoofdliggers, in nabijheid van de draaias, uitgevoerd.
Het betreft bruggen waarbij het oorspronkelijke houten dek vervangen is door een stalen dek.

De aanleiding tot deze studie is de geconstateerde scheurvorming in drie hoofdliggers van brug 346 (basculebrug over het Westerkanaal voor de Tasmanstraat). Op korte afstand van de draaias is scheurvorming in de bovenflens en lijfplaat waargenomen.

In tabel 1 is een overzicht van de onderzochte bruggen weergegeven.

Brug nr.	Naam brug	Bouwjaar	Aanbrengen stalen dek
80	Ophaalbrug over de Entrepotdoksluis in de Hoogte Kadijk	1902	1958
151	Basculebrug over de Singelgracht voor het Nassauplein	1927	febr. 1974
155	Basculebrug over de Kattensloot in de Nassaukade	1952	apr. 1980
171	Basculebrug over de Kostverlorenvaart voor de Kostverlorenstraat	1931	mrt. 1971
199	Basculebrug over de Kostverlorenvaart voor de Overtoom	1947	apr. 1974
238	Basculebrug over de Nieuwe Herengracht voor de Weesperstraat	1960	I : sept. 1973 II : jan. 1976 III : mrt. 1977
239	Basculebrug over de Nieuwe Herengracht voor de Muiderstraat	1958	mei 1980
266	Basculebrug over de Kostverlorenvaart voor de Kinkerstraat	1936	febr. 1972
324	Basculebrug over de Kostverlorenvaart voor de 2e Hugo de Grootstraat	1933	nov. 1976
382	Basculebrug over het Westelijk Marktkanaal in de Jan van Galenstraat	1935	apr. 1978
423	Basculebrug over de Amstel voor de Vrijheidslaan	1930	jan. 1975

Tabel 1 Overzicht bruggen

2 Opzet van de berekening

In het verleden zijn de oorspronkelijke houten dekken vervangen door stalen dekken en zijn tevens de ballastgewichten verhoogd. Als gevolg van het hogere eigen gewicht van het dek worden de hoofdliggers, ter plaatse van de draaias, zwaarder belast, waardoor hogere staalspanningen optreden. Afhankelijk van de variabele profielhoogte dient te worden vastgesteld welke doorsnede, met betrekking tot de optredende staalspanning, maatgevend is.
Voor de betreffende bruggen worden de staalspanningen in een aantal doorsneden van de hoofdliggers, ter plaatse van de draaias, berekend en beoordeeld of zij nog acceptabel zijn.

De maximale spanningen in de hoofdliggers ter plaatse van de draaias worden bepaald door permanent aanwezige belasting, de verkeersbelasting speelt hierbij geen rol.

De belasting van de hoofdliggers is bepaald aan de hand van in bestekken vermelde gewichten voor de volgende onderdelen:
- hoofdligger
- dwarsliggers
- stalen dek
- slijtlaag

Om inzicht in de opbouw van de brugdekconstructies te krijgen, is gebruik gemaakt van tekeningen uit het centraal archief. In bijlage 1 zijn de gebruikte tekeningen weergegeven.

Uitgangspunten voor de berekening:
- In verband met corrosie en boutgatverzwakking is ten behoeve van het berekenen van de staalspanningen 80% van het theoretische (oorspronkelijke) weerstandsmoment in rekening gebracht.

- Bij gebogen liggers zijn de flenzen aan buiging onderhevig. De invloed van de flenskromming wordt in rekening gebracht door de flensbreedte te reduceren (lit. 1). Ten behoeve van de berekening wordt voor de straal 2,50 m aangehouden.

- Aangenomen is dat het gewicht van het brugdek in evenwicht is met het ballastgewicht.

Tevens wordt met behulp van de lineaire cumulatieve beschadigingsregel van Palmgren-Miner en een aantal aannamen met betrekking tot de belastinghistorie de rekentechnische restlevensduur van de bruggen bepaald.

3 Berekeningsresultaten

De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in tabel 2. De toelaatbare staalspanning is met name afhankelijk van de ouderdom van het staal. Aangezien het bouwjaar van de betreffende bruggen bekend is, kunnen de toelaatbare staalspanningen worden vastgesteld (lit. 2).

Brug nr.	Toelaatbare staalspanning	Toelaatbare vergelijk-spanning	Berekende maximale vergelijk-staalspanning
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
80	100	120	97
151	120	144	150
155	140	168	160
171	120	144	157
199	120	144	152
238	140	168	154
239	140	168	149
266	120	144	147
324	120	144	142
382	120	144	142
423	120	144	144

Tabel 2 Maximale staalspanningen

Bij vier bruggen (151, 171, 199 en 266) overschrijden de berekende spanningen de toelaatbare spanningen. De overschrijding van de spanning bij brug 151, 199 en 266 is, de aannamen en nauwkeurigheid van de berekening in beschouwing nemende, echter marginaal.
De overschrijding van de spanning voor brug 171 is zodanig groot dat de normaal gangbare veiligheid/onzekerheid voor staalconstructies niet aanwezig is. De aanwezige veiligheid bedraagt 90% van de voor staalconstructies vereiste veiligheid.
Brug 80 is geen basculebrug maar een ophaalbrug, de verkeersbelasting op het brugdek is dan van belang. De optredende staalspanning voor brug 80 (97 N/mm²) is bepaald uitgaande van verkeersklasse 15.

4 Vermoeiing

De levensduur van een constructie, uit het oogpunt van vermoeiing, wordt primair bepaald door het aantal belastingwisselingen en de hoogte van het daarbij behorende spanningsinterval. Het spanningsinterval is het verschil tussen maximum en minimum spanning in een spanningswisseling.

Bij beweegbare bruggen is het eigen gewicht een variabele belasting ten gevolge van het openen en sluiten van de brug.

Variabele belastingen veroorzaken variabele spanningen, die onder bepaalde omstandigheden de oorzaak van vermoeiingsbreuk kunnen zijn.

De betrekkingen tussen spanningsinterval en levensduur worden aangegeven met zogenaamde Wöhler-lijnen (s-n lijnen). Bij het opstellen van vermoeiingsberekeningen is het vaststellen van de juiste Wöhler-lijn het grootste probleem, per type constructie en materiaalkwaliteit zijn de lijnen verschillend. Met behulp van Wöhler-lijnen en de lineaire cumulatieve beschadigingsregel van Palmgren-Miner kan voor een constructiedeel de (rest)levensduur worden bepaald.

De lineaire cumulatieve beschadigingsregel van Palmgren-Miner:

$$n = \frac{1 - \sum_{i=1}^{a} \left[\frac{Ni}{Ni_{max}} \right]}{\sum_{i=1}^{b} \left[\frac{Ni^{*}}{Ni_{max}} \right]}$$

n	=	restlevensduur in jaren
Ni^{*}	=	aantal nog te verwachten spanningswisselingen
Ni	=	aantal reeds opgetreden spanningswisselingen
Ni_{max}	=	maximaal aantal toegestane spanningswisselingen bij een bepaald spanningsinterval
a, b	=	aantal verschillende belastingintervallen

De volgende Wöhler-lijnen worden in beschouwing genomen (lit. 3):

AASHTO

$0 \leq N \leq 6 * 10^6$ log (N) = 12,23 - 3,24 log (σ)
$N > 6 * 10^6$ σ = 48,3 N/mm²

SN14

$0 \leq N \leq 1 * 10^7$ log (N) = 14,11 - 4 log (σ)
$N > 1 * 10^7$ log (N) = 19,45 - 7 log (σ)

Materiaalonderzoek brug 348

$0 \leq N \leq 5 * 10^6$ log (N) = 12,69 - 3,26 log (σ)
$N > 5 * 10^6$ σ = 70 N/mm²

Uitgangspunten voor de vermoelingsberekening:

- Voor de maximale openingshoek van de bruggen wordt 80 graden aangehouden.
- Het aantal brugopeningen is geschat op 7500 per jaar.
- De belasting van de hoofdligger ten gevolge van het houten brugdek bedroeg 70% van de belasting van de hoofdligger ten gevolge van het stalen dek.
- De in paragraaf 3 berekende spanningen (tabel 2) worden beschouwd als werkelijk optredende spanningen.

Met de uitgangspunten is door middel van een vermoeiingsberekening een indicatieve restlevensduur voor de betreffende bruggen berekend. De restlevensduur van de bruggen voor de drie verschillende Wöhler-lijnen is in tabel 3 weergegeven. In de tabel is tevens de restlevensduur voor brug 346 (Tasmanstraat) weergegeven.
Indien de restlevensduur een positieve waarde heeft, kan de constructie als voldoende veilig worden beschouwd. Wanneer de restlevensduur een negatieve waarde heeft, is het noodzakelijk de desbetreffende constructie aan een uitgebreid onderzoek te onderwerpen.

brugnr	restlevensduur (jaren)			
	SN 14	AASHTO	onderzoek brug 348	
80	364	100	332	
151	42	4	64	versterkt
155	37	9	58	
171	32	1	53	versterkt
199	44	9	66	
238	42	11	66	
239	56	19	80	
266	49	8	72	
324	63	15	86	
382	65	17	88	
423	57	11	79	
346	2	-7	17	versterkt

Tabel 3 Restlevensduren van de bruggen voor doorsneden nabij de draaias

De negatieve restlevensduur van brug 346 wordt veroorzaakt door de hoge spanningswisselingen (197 N/mm^2) in de hoofdligger ten gevolge van het openen en sluiten van de brug. De negatieve levensduur voor deze brug stemt dan ook overeen met de geconstateerde scheurvorming in een aantal hoofdliggers.
Met uitzondering van de bruggen 151 en 171 hebben de overige bruggen een voldoende hoge restlevensduur, waaruit kan worden geconcludeerd dat vermoeiing, rekentechnisch gezien, nog geen probleem vormt. De rekentechnische restlevensduur van de bruggen 151 en 171 is klein, beide bruggen dienen daarom nader onderzocht te worden (zie paragraaf 5).

5 Conclusies/aanbevelingen

De optredende spanningen in de hoofdliggers, ter plaatse van de draaias, kunnen als toelaatbaar worden beschouwd. Alleen de berekende spanning voor brug 171 is zodanig groot dat de normaal gangbare veiligheid voor staalconstructies (1,50) niet aanwezig is. De aanwezige veiligheid bedraagt 90% van de voor staalconstructies vereiste veiligheid (1,35).
Op basis van een aantal aannamen is met behulp van een vermoeiingsberekening de restlevensduur voor de betreffende bruggen bepaald. Op basis van de berekeningsresultaten mag worden geconcludeerd dat, met uitzondering van brug 151 en 171, vermoeiing nog geen rol speelt. Geadviseerd wordt de bruggen 151 en 171 aan een nader onderzoek te onderwerpen.

Kanttekeningen met betrekking tot de berekeningen:
- Van de constructie van het brugdek is slechts de maatgevende doorsnede van de hoofdligger nabij de draaias in beschouwing genomen.
- In verband met corrosieverlies en boutgatverzwakking is, ten behoeve van de berekening van staalspanningen, 80% van het theoretische weerstandsmoment aangehouden. Indien dit percentage hoger is, hetgeen uit inspectie zou moeten blijken, worden de waarden van de optredende staalspanning en restlevensduur gunstiger.
- Met nadelige effecten ten gevolge van aanvaringen en aanrijdingen is geen rekening gehouden.
- Veroudering van het staal ten gevolge van eventuele afkoeling van laswarmte ontstaan bij de uitvoering van het stalen dek is niet in deze beschouwing meegenomen.
- Klinknagelgaten zijn nadelig met betrekking tot vermoeiing omdat vermoeiingsscheurtjes vaak op deze plaatsen starten.
- Vanwege de vele aannamen ten behoeve van de vermoeiingsberekening dient geen absolute waarde aan de berekende restlevensduur te worden verbonden, zij dienen als indicatieve waarden te worden beschouwd.

Geadviseerd wordt de betreffende bruggen jaarlijks grondig te inspecteren om beter inzicht in optredende corrosieverliezen en scheurvorming te krijgen.

Indien twijfels bestaan aan de staalconstructie van een brug (brug 151 en 171) zou een nader onderzoek kunnen worden uitgevoerd, bestaande uit:
- De optredende spanningen in de kritische doorsneden bepalen door middel van rekstrookmetingen. Op deze wijze is het mogelijk het dynamisch effect van het openen en sluiten van de brug te bepalen.
- Door middel van materiaalproeven (vermoeiingsproeven) een ~~Wöhler-lijn~~ COD-proeven voor het staal bepalen. de scheursnelheid
- Door middel van uitgebreid scheuronderzoek aan de constructie defecten opsporen. Verflagen dienen te worden verwijderd, waarna het staaloppervlak met behulp van een penetratievloeistof op scheurvorming kan worden onderzocht.
- Door middel van onderzoek in de archieven meer inzicht verkrijgen in de belastinghistorie.

6 Literatuur

1 Berekening van een stalen val in een scheve kruising
[redacted]
PT Civiele Techniek, september 1983

2 Ingenieursbureau Amsterdam
Produktgroep Advies en Ontwikkeling
[redacted]
Rapport A20E66
Onderzoek naar de reparatiemogelijkheden van oude staalsoorten
Amsterdam, juni 1991

3 Ingenieursbureau Amsterdam
Produktgroep Advies en Ontwikkeling
[redacted]
Rapport A20E83
Aanvullend onderzoek naar de vermoeiingssterkte van brug no. 348, basculebrug over de Schinkel in de Zeilstraat
Amsterdam, juni 1991

4 Dienst Openbare Werken Amsterdam
Hoofdafdeling Waterbouw
Advies- en Ontwikkelingsgroep
[redacted]
Rapport 30.243
Oriënterend onderzoek en onderzoeksvoorstel naar de vermoeiingssterkte van bestaande beweegbare bruggen in Amsterdam
Amsterdam, maart 1987

5 Dienst Openbare Werken Amsterdam
Hoofdafdeling Waterbouw
Advies- en Ontwikkelingsgroep
[redacted]
Rapport 20.417
Onderzoek naar de vermoeiingssterkte van brug no. 348, basculebrug over de Schinkel in de Zeilstraat
Amsterdam, maart 1989

6 NS / Centrum voor Technisch Onderzoek
[redacted]
Bruggenstaal brugnummer 348, basculebrug over de Schinkel
Utrecht, april 1990

Bijlage 1 Archieftekeningen

Nummers waaronder de tekeningen in het Centraal Tekeningen Archief terug zijn te vinden

brug 80	35921/1 35921/2 35921/3
brug 151	56477/5 56477/6
brug 155	58581/2 58581/3 58581/4 58580/2 58580/3 58580/4
brug 171	25852/1 25852/20 51359/1 51359/4
brug 199	54420/2 54420/3
brug 238	56479/1 56479/4 42891/2 42891/4
brug 239	58559/2 58559/3 58559/4 58614/3 58614/7 58614/8
brug 266	52538/10 52538/11
brug 324	56483/1 56483/2
brug 382	tek. 305 en 306 uit bestekkenmap (Bruggen en Waterbouwkundige Werken)
brug 423	56487/1 56487/2 56487/3

Ingenieursbureau Amsterdam
Wibautstraat 3
1091 GH Amsterdam
Telefoon 020-596 26 66
Telefax 020-596 44 16

ngenieursbureau Amsterdam maakt deel uit van Stedelijk Beheer Amsterdam.

