

DI ~~W~~:321530

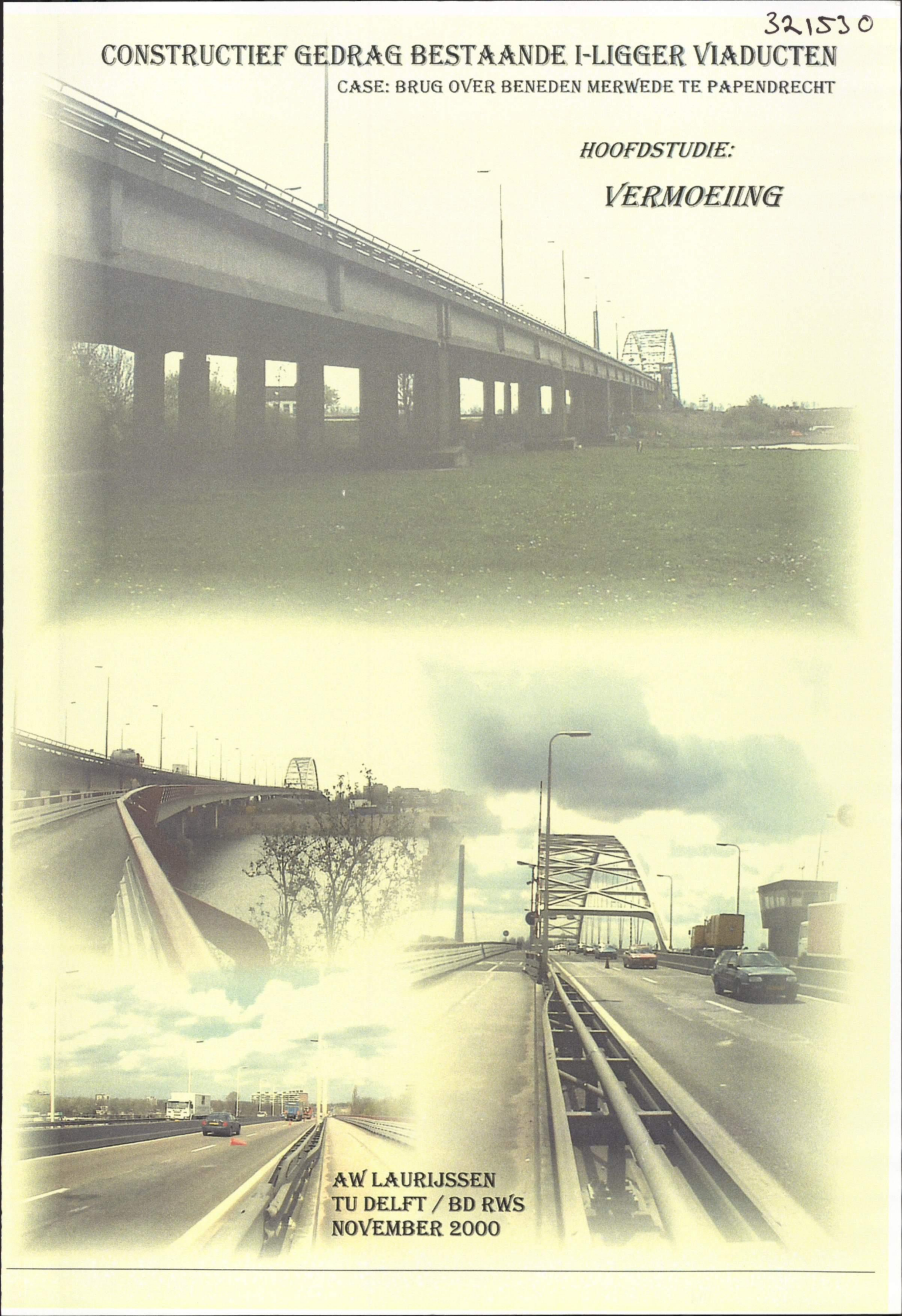
Z3243

CONSTRUCTIEF GEDRAG BESTAANDE I-LIGGER VIADUCTEN

CASE: BRUG OVER BENEDEN MERWEDE TE PAPENDRECHT

HOOFDSTUDIE:

VERMOEIING

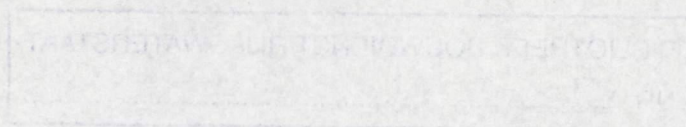


AW LAURIJSEN
TU DELFT / BD RWS
NOVEMBER 2000

Aanvulling op rapport vermoeiing

De in het rapport vermoeiing uitgevoerde controle voor wat betreft de vermoeiinggevoeligheid van het rijdek heeft, door aannames en vereenvoudigingen voor wat betreft de momentenverdeling ten gevolge van de laststelsels, slechts een indicatief karakter. Bovendien is bij het toetsen van het rijdek op vermoeiing uitgegaan van een ongescheurde doorsnede. Het is echter zeer waarschijnlijk dat dit dek, door wat voor belasting dan ook, toch gescheurd is. Indien de doorsnede gescheurd is zal de nuttige hoogte afnemen en dus zullen de optredende spanningen, bij gelijk blijvende belasting, groter worden. In een nauwkeurige berekening waarin ook de momentenverdeling in het rijdek veel preciezer wordt bepaald (bijvoorbeeld met behulp van een elementenpakket) zal dus rekening gehouden moeten worden met het feit dat het dek weleens gescheurd zou kunnen zijn en dus de spanningen hoger zijn dan uit een elastische berekening zou volgen.

BIBLIOTHEEK BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT
NR. 2.3243 BDU



VOORWOORD

Aan de hand van de bevindingen en resultaten van de voorstudie is een start gemaakt met de hoofdstudie. Deze hoofdstudie is opgebouwd uit een drietal deelrapporten, namelijk:

- Buigende momenten
- Dwarskracht in de langsliggers
- Vermoeiing van het rijdek

Als case-studie voor bovengenoemde deelrapporten is gekozen voor de brug over de Beneden Merwede te Papendrecht.

Dit rapport bevat het deel 'Vermoeiing van het rijdek'.

Aan de hand van de vermoeiingsbelasting zoals deze in de huidige VBB'95 is beschreven zal in dit rapport een onderzoek gedaan worden naar het vermoeiingsgedrag van het in dwarsrichting voorgespannen rijdek. Aangezien het bepalen van de exacte momentenverdeling middels een handberekening praktisch onmogelijk is zal eerst een vermoeiingsberekening aan de hand van een benaderde momentenverdelingen (volgens isolijnen) gemaakt worden. Aan de hand van deze resultaten kan eventueel besloten worden om middels een elementenpakket een meer nauwkeurige berekening uit te voeren.

BIBLIOTHEEK BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT
NR. Z 3243 BDU

1. INLEIDING	1
2. VERANDERLIJKE BELASTING BIJ VERMOEIING	2
2.1 Stootcoëfficiënt	3
2.2 Last-lengtefactor	3
3. MAXIMALE EN MINIMALE MOMENTEN	4
3.1 Momenten ten gevolge van het eigen gewicht en de rustende belasting	4
3.1.1 Moment ten gevolge van permanente belasting ter plaatse van de inklemming	4
3.1.2 Moment ten gevolge van de permanente belasting op 0.2 l	5
3.1.3 Moment ten gevolge van de permanente belasting in het veldmidden	5
3.2 Minimale en maximale momenten ten gevolge van de laststelsels of aslasten	6
3.2.1 moment ter plaatse van de inklemming ten gevolge van de aslast(en)	6
3.2.2 moment op 0.2 l	6
3.2.3 momenten in veldmidden (0.5 l)	7
4. CONTROLE UGT MET BETREKKING TOT VERMOEIING	8
4.1 Doorsnede ter plaatse van de inklemming (hart langsligger)	11
4.1.1 één aslast	11
4.1.2 twee aslasten	11
4.2 Doorsnede op 0.2l van de oplegging (0.725 meter)	12
4.2.1 één aslast	12
4.2.2 twee aslasten	13
4.3 Doorsnede ter plaatse van het veldmidden	13
4.3.1 aslast	13
4.3.2 aslasten	14
5. CONCLUSIE	15
6. LITERATUURLIJST	16

1. INLEIDING

Nadat de liggers op hun opleggingen zijn gelegd is tussen de bovenflenzen van deze liggers een betonnen dek gestort. Dit tussengestorte dek is net als de dwarsdragers voorgespannen met behulp van 40 tons voorspankabels.

Het dek heeft een dikte van 20 cm en een overspanning van 3.625 meter (hoh langsliggers). Aangezien de hoh afstand van de liggers vrij groot is kan een puntlast plaatselijk tot hoge spanningen in het dek leiden. Aangezien deze puntlasten (laststelsels, of enkele aslasten) mobiel zijn vormt dit dus een vermoeiingsbelasting voor het brugdek. Vanwege het feit dat vroeger, bij het ontwerp van de constructie, in de VOSB en RVB geen toets op vermoeiing was voorgeschreven, is een indicatieve berekening omtrent de vermoeiingslevensduur in het kader van dit afstudeerwerk zeer gewenst.

Om een uitspraak te kunnen doen met betrekking tot de vermoeiingslevensduur van dit dek zullen de optredende spanningen gecontroleerd worden voor wat betreft vermoeiing volgens de belastingen en toetsingsmethoden zoals deze in de huidige VBB '95 zijn voorgeschreven.

Alvorens een controle op vermoeiingslevensduur uit te kunnen voeren zal de momenten verdeling in dwarsrichting in dit dek bepaald moeten worden.

De verdeling van de dwarsmomenten is afhankelijk van een groot aantal factoren zoals:

- stijfheid van het dek ten opzichte van de dwarsdragers
- wringstijfheid van de langsliggers
- spreiding van de belasting in het plaatveld

Het is ondoenlijk en ook praktisch onmogelijk om al deze factoren in een handberekening mee te nemen. Een uitgebreide berekening met behulp van een elementenpakket is hier de enige methode om een exacte berekening uit te voeren.

Om met behulp van een handberekening toch een eerste uitspraak omtrent de vermoeiingslevensduur te kunnen doen zullen een aantal aannames worden gedaan.

- De stijfheid van de dwarsdragers ten opzichte van de stijfheid van het dek wordt als zeer groot aangenomen. Dit betekent dat de dwarsmomenten die het gevolg zijn van spreiding van de belasting over de verschillende langsliggers volledig voor rekening van de dwarsdragers komen. Het dek zal dus alleen met momenten, die het gevolg zijn van belastingen tussen de langsliggers, belast worden.
- Indien aangenomen wordt dat de dwarsdragers oneindig stijf zijn betekend dit dat de langsligger ter plaatse van deze dwarsdragers niet kunnen verdraaien. De hart op hart afstand van de dwarsdragers is ongeveer 15 meter en dus zal de langsligger halverwege deze 15 meter dus wel iets torderen. Bij het torderen neemt de langsligger dus, afhankelijk van zijn torsiestijfheid, een deel van het inklemmingsmoment als torsiemoment op. De werkelijkheid zit dus tussen een, over meerdere steunpunten, doorgaande plaat en een ter plaatse van de steunpunten ingeklemde plaat in.
- De exacte momentenverdeling kan alleen met een elementenpakket bepaald worden. Om een goede indruk te krijgen van de momenten, ten gevolge van de aslasten, zal gebruik gemaakt worden van isolijnen die de momenten in een bepaalde doorsnede als functie van de plaats van de lasten geeft. Deze isolijnen gaan uit van een ingeklemde plaatrand. Uit het hierboven staande is duidelijk dat de inklemming ter plaatse van de langsligger nooit helemaal volledig is. Indien dit echter meegenomen zou worden zal de momentenverdeling ook wijzigen en zal de benadering middels de isolijnen niet juist meer zijn.

2. VERANDERLIJKE BELASTING BIJ VERMOEIING

Voor de veranderlijke belasting in de uiterste grenstoestand met betrekking tot vermoeiing dient alleen de verkeersbelasting in de vorm van een laststelsel of een of twee aslasten in rekening gebracht te worden. De gelijkmatig verdeelde verkeersbelasting mag hier buiten beschouwing gelaten worden.

Het werkelijke vrachtwagen gewicht ligt tussen de 75 kN en 1200 kN
De werkelijke aslasten liggen tussen de 20 en 200 kN

De relatief lage waarden voor de aslasten zijn het gevolg van het feit dat de werkelijke vrachtwagens meer assen hebben dan de drie zoals die voor het laststelsel in de VBB zijn voorgeschreven.

Uitgaande van de regel van Miner zijn er α -waarden bepaald waarmee de aslasten of het totale laststelsel vermenigvuldigt dienen te worden opdat de totale beschadiging veroorzaakt door de wisseling van de referentie belasting overeenkomt met de totale beschadiging veroorzaakt door de , in het histogram opgeslagen, verkeersbelasting. Dit histogram zal als uitgangspunt gehanteerd worden.

α		
Wagen	Direct bereden delen	
	Enkele aslast	Dubbel aslast
1.00	0.50	0.50

Er wordt in de VBB '95 uitgegaan van een referentieperiode van 80 jaar.
Het aantal wisselingen (n) van de referentiebelasting in deze periode van 80 jaar is gegeven in onderstaande tabel

Belasting	aantal wisselingen (n)	
	2 of meer rijstroken per rijrichting	1 rijstrook per rijrichting
wagens per rijrichting; op de drukst door vrachtverkeer bereden rijstrook	10^8	$2.5 \cdot 10^7$
wagens op de overige rijstroken	10^7	-
dubbele aslasten op direct bereden delen	10^8	$2.5 \cdot 10^7$
enkele aslasten op direct bereden delen	$3 \cdot 10^8$	$7.5 \cdot 10^7$

2.1 Stootcoëfficiënt

Voor de stootcoëfficiënt geldt in de uiterste grenstoestand met betrekking tot vermoeiing dezelfde waarde als bij de controle van de bruikbaarheidsgrenstoestand.

$$S = 1 + C_0 \frac{l}{h(100 + l)} = 1 + 0.7 * \frac{44.1}{2.5 * (100 + 44.1)} = 1.09$$

2.2 Last-lengtefactor

Voor deze last-lengtefactor dient voor een vermoeiingsberekening een ander waarde gehanteerd te worden, namelijk:

$$B_v = 0.8 + (l - 20) * 0.004 = 0.8 + (44.1 - 20) * 0.004 = 0.90$$

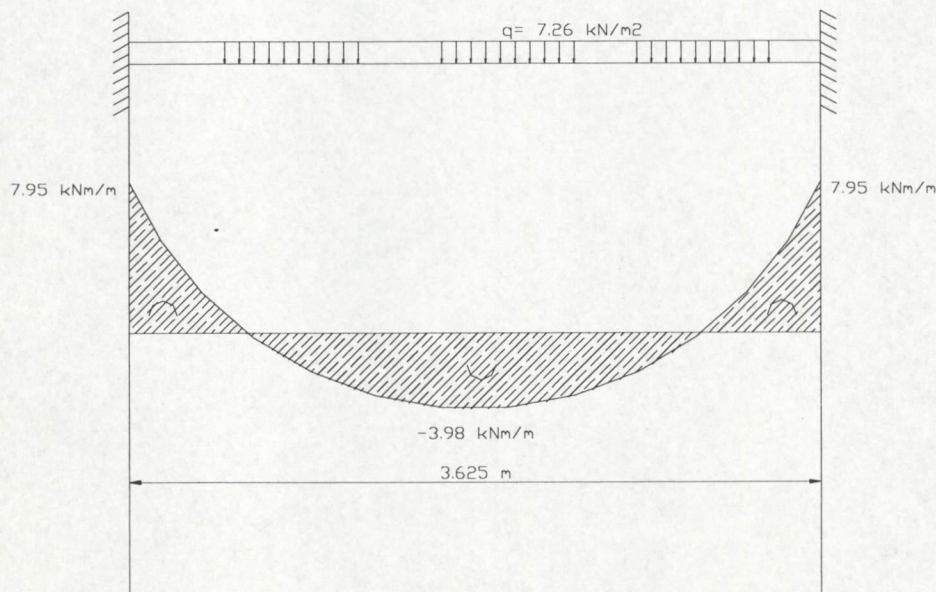
In deze last-lengtefactor is het gegeven verwerkt dat in werkelijkheid de vrachtwagens langer zijn dan de aangenomen laststelsels.

3. MAXIMALE EN MINIMALE MOMENTEN

3.1 Momenten ten gevolge van het eigen gewicht en de rustende belasting

Bij het bepalen van de momenten ten gevolge van het eigen gewicht en de rustende belasting zal uitgegaan worden de dikte van het asfalt 6.8 cm bedraagt.

$$P_{\text{permanent};d} = 0.2 * 25 + 0.7 + 1.564 = 7.26 \text{ kN} / \text{m}^2$$



Er zullen drie doorsneden bekeken worden:

1. doorsnede ter plaatse van de inklemming
2. doorsnede op 0.2 l
3. doorsnede in veldmidden

3.1.1 Moment ten gevolge van permanente belasting ter plaatse van de inklemming

De overspanning is gekozen van hart langsligger tot hart langsligger. De maatgevende doorsnede bij de inklemming bevindt zich dus op 0.30 meter van de oplegging. Aangezien het moment over 30 cm nauwelijks is afgenomen zal in deze doorsnede gewoon met het inklemmingsmoment gerekend worden.

$$M_{\text{inklem min g;d}} = -\frac{1}{12} q l^2 = -\frac{1}{12} * 7.26 * 3.625^2 = -7.95 \text{ kNm} / \text{m}^1$$

3.1.2 Moment ten gevolge van de permanente belasting op 0.2 l

Op een afstand van 0.2 l (= $0.2 * 3.625 = 0.725$ m) van de oplegging bevindt zich de voegovergang van de bovenflens naar het tussengestorte dek.
De locatie van deze voeg wordt meestal in het momentennulpunt gekozen.

$$M_{0.725m} = -7.95 + 13.2 * 0.725 - \frac{1}{2} * 7.26 * 0.725^2 = -0.29 kNm / m$$

Het moment ten gevolge van de permanente belasting blijkt dus in de voegovergang inderdaad bijna 0 te zijn.

3.1.3 Moment ten gevolge van de permanente belasting in het veldmidden

Het moment in het midden van de overspanning bedraagt:

$$M_{0.5l} = -\frac{1}{12} ql^2 + \frac{1}{8} ql^2 = \frac{1}{24} ql^2 = \frac{1}{24} * 7.26 * 3.625^2 = 3.98 kNm / m$$

3.2 Minimale en maximale momenten ten gevolge van de laststelsels of aslasten

Zoals reeds eerder vermeld zullen de momenten ten gevolge van de geconcentreerde belasting bepaald worden aan de hand van isolijnen. Aangezien het om een direct bereden constructiedeel gaat zal alleen de situatie met een of twee aslasten bekeken hoeven te worden. In het geval in een van de doorsneden de ene locatie van de aslast(en) een positief en de andere een negatief moment opleveren zal de ene situatie maatgevend zijn bij het minimale moment terwijl de andere situatie maatgevend is voor het maximale moment. In doorsneden waar elke positie een moment met eenzelfde teken oplevert zal de positie die het grootste moment oplevert maatgevend zijn voor het maximale moment. Het minimale moment wordt nu bereikt door alleen permanente belasting.

Voor de hieronder berekende minimale en maximale momenten wordt verwezen naar de bijgevoegde isolijnen. (zie bijlage D)

3.2.1 moment ter plaatse van de inklemming ten gevolge van de aslast(en)

- 1 aslast

$$M_{\min} = (-0.318 - 0.2) * \alpha * S * B_v * F = -0.518 * 0.5 * 1.09 * 0.9 * 100 = -25.4 \text{ kNm} / \text{m}^1$$

- 2 aslasten

$$M_{\min} = (-0.318 - 0.2 - 0.025 - 0.12) * \alpha * S * B_v * F = -0.663 * 0.5 * 1.09 * 0.9 * 100 = -32.5 \text{ kNm} / \text{m}^1$$

3.2.2 moment op 0.2 l

- 1 aslast

$$M_{\max} = (+0.15) * \alpha * S * B_v * F = +0.15 * 0.5 * 1.09 * 0.9 * 100 = +7.4 \text{ kNm} / \text{m}^1$$

$$M_{\min} = (-0.029 - 0.019) * \alpha * S * B_v * F = -0.048 * 0.5 * 1.09 * 0.9 * 100 = -2.4 \text{ kNm} / \text{m}^1$$

- 2 aslasten

$$M_{\max} = (+0.15 + 0.04) * \alpha * S * B_v * F = +0.19 * 0.5 * 1.09 * 0.9 * 100 = +9.3 \text{ kNm} / \text{m}^1$$

$$M_{\min} = (-2 * 0.030 - 2 * 0.005) * \alpha * S * B_v * F = -0.007 * 0.5 * 1.09 * 0.9 * 100 = -3.4 \text{ kNm} / \text{m}^1$$

3.2.3 momenten in veldmidden (0.5 l)

- 1 aslast

$$M_{\max} = (0.20 + 0.01) * \alpha * S * B_v * F = +0.21 * 0.5 * 1.09 * 0.90 * 100 = +10.3 \text{ kNm} / \text{m}^1$$

- 2 aslasten

$$M_{\max} = (2 * 0.14 + 2 * 0.01) * \alpha * S * B_v * F = +0.30 * 0.5 * 1.09 * 0.90 * 100 = +14.7 \text{ kNm} / \text{m}^1$$

4. CONTROLE UGT MET BETREKKING TOT VERMOEIING

Voor beton met grind als toeslagmateriaal geldt voor de drukspanning in het beton

$$\sigma'_{b;d;\max} \leq f'_{b;u;v}(n)$$

$\sigma'_{b;d;\max}$ = rekenwaarde van de maximaal optredende betondrukspanning

$f'_{b;u;v}(n)$ = rekenwaarde van de betondruksterkte bij n wisselingen

$$f'_{b;u;v}(n) = (1 - 0.1 * \beta * \sqrt{1 - R} * \log n) * f'_{b;v} \geq 0.25 * f'_{b;v}$$

β = 1.0 voor drukzones en 0.9 voor voorgedrukte trekzones

$$R = \frac{\sigma'_{b;d;\min}}{\sigma'_{b;d;\max}}$$

$f'_{b;v}$ = rekenwaarde van de druksterkte van het beton in de grenstoestand bij vermoeiing

Voor sterkte klassen hoger dan B30 geldt:

$$f'_{b;rep;v} = 0.5 * (f'_{b;rep;k} - 0.85 * 30) + 0.85 * 30$$

$$f'_{b;v} = \frac{f'_{b;rep;v}}{\gamma_m} = \frac{f'_{b;rep;v}}{1.2}$$

$f'_{b;rep;k}$ = representatieve waarde voor de éénassige korte duur sterkte van beton gelijk aan
 $0.85 * f'_{c;k}$

De betonkwaliteit van het tussengestorte dek heeft een kwaliteit gelijk aan B39.7

$$f'_{b;rep;k} = 0.85 * f'_{ck} = 0.85 * 39.7 = 33.75 N / mm^2$$

$$f'_{b;rep;v} = 0.5 * (f'_{b;rep;k} - 0.85 * 30) + 0.85 * 30 = 0.5 * (33.75 - 0.85 * 30) + 0.85 * 30 = 29.63 N / mm^2$$

$$f'_{b;v} = \frac{f'_{b;rep;v}}{\gamma_m} = \frac{29.63}{1.2} = 24.69 N / mm^2$$

$$\beta = 1.0$$

Werkvoorspankracht:

De gebruikte 40 tons kabels zijn dezelfde als die in de langsliggers zijn gebruikt. De werkkraft is mogelijk afwijkend aangezien de verliezen anders zullen zijn.

■ Verliezen:

• Wrijving

De kabels hebben een recht verloop (lengte 16 meter) en de enige wrijving die optreedt wordt dus veroorzaakt door het zogenaamde 'wobble effect'.

$$F_{16m} = F_0 * e^{-0.20 * 0.007 * 16} = 0.978 * F_0$$

$$\tan \gamma = \frac{\sigma_0 - \sigma_{16m}}{16000} = \frac{1084 - 0.978 * 1084}{16000} = 1.4905 * 10^{-3}$$

- slip van de verankering

De slip van de 40 tons kabels bij verankeren bedraagt 7 millimeter.

$$\text{De invloedslengte bedraagt: } a = \sqrt{\frac{E \cdot s}{\tan \gamma}} = \sqrt{\frac{2.0 \cdot 10^5 \cdot 7}{1.4905 \cdot 10^{-3}}} = 30648 \text{ mm} = 31 \text{ m}$$

De invloedslengte bedraagt dus tweemaal de totale lengte van de kabel.

De maximale spanning in de kabel bevindt zich dus aan het uiteinde van de kabel (aan de zijde die niet gespannen wordt).

Er mag dus overspannen worden opdat de spanning op het einde van de kabel gelijk is aan 1084 N/mm^2 .

Het verlies door wrijving over 16 meter bedraagt $(1 - 0.978) \cdot 100\% = 0.022\%$

$$\left(1 - \frac{31}{16} \cdot 0.022\right) \cdot \sigma_0 = 1084 \rightarrow \sigma_0 = 1132 \cdot \text{N/mm}^2$$

Om de directe verliezen door slip in de verankering op te heffen mag dus overspannen worden met:

$$\frac{1132 - 1084}{1084} \cdot 100\% = 4.4\%$$

De spanning in de voorspankabel verloopt dus rechtlijnig van 1084 N/mm^2 aan het einde van de kabel tot $0.978 \cdot 1084 = 1060 \text{ N/mm}^2$ direct achter de spankop.

- Krimp, kruip en relaxatie

De krimp en kruip is gelijk aan de krimp en kruip in langsrichting van de constructie. Verlies aan voorspanning door krimp en kruip van het beton bedraagt 130 N/mm^2

$$\text{relaxatie: } 0.12 \cdot \frac{1084 + 1060}{2} \cdot 462 \cdot 10^{-3} = 59 \text{ kN}$$

$$F_{pw;0m} = (1060 - 130) \cdot 462 \cdot 10^{-3} - 59 = 371 \text{ kN}$$

$$F_{pw;16m} = (1084 - 130) \cdot 462 \cdot 10^{-3} - 59 = 382 \text{ kN}$$

4.1 Doorsnede ter plaatse van de inklemming (hart langsligger)

$$\sigma'_{b;d;\min} = -\frac{F_{pw}}{A_b} - \frac{M_{eg+rust} * z}{I_{xx}} = -\frac{1.5 * 371 * 10^3}{1.97 * 10^5} - \frac{7.95 * 10^6 * 100}{6.401 * 10^8} = -2.82 - 1.24 = -4.06 N / mm^2$$

4.1.1 één aslast

$$\sigma'_{b;d;\max} = -\frac{F_{pw}}{A_b} - \frac{M_{eg+rust} * z}{I_{xx}} - \frac{M_{last;\max} * z}{I_{xx}} = -\frac{1.5 * 371 * 10^3}{1.97 * 10^5} - \frac{7.95 * 10^6 * 100}{6.401 * 10^8} - \frac{25.4 * 10^6 * 100}{6.401 * 10^8}$$

$$\sigma'_{b;d;\max} = -2.82 - 1.24 - 3.97 = -8.03 N / mm^2$$

$$R = \frac{\sigma'_{b;d;\min}}{\sigma'_{b;d;\max}} = \frac{4.06}{8.03} = 0.506$$

Het aantal wisselingen van de referentiebelasting bij een aslast bedraagt $3 * 10^8$

Toets:

$$f'_{b;u;v}(n) = (1 - 0.1 * \beta * \sqrt{1 - R} * \log n) * f'_{b;v} > 0.25 * f'_{b;v}$$

$$f'_{b;u;v}(3 * 10^8) = (1 - 0.1 * 1.0 * \sqrt{1 - 0.506} * \log(3 * 10^8)) * 24.69 = 0.404 * 24.69 = 9.98 N / mm^2$$

$f'_{b;u;v} \geq \sigma'_{b;d;\max}$ in het geval van 1 aslast voldoet de doorsnede ter plaatse van de inklemming dus qua vermoeing.

4.1.2 twee aslasten

$$\sigma'_{b;d;\min} = -\frac{F_{pw}}{A_b} - \frac{M_{eg+rust} * z}{I_{xx}} - \frac{M_{last;\max} * z}{I_{xx}} = -\frac{1.5 * 371 * 10^3}{1.97 * 10^5} - \frac{7.95 * 10^6 * 100}{6.401 * 10^8} - \frac{32.5 * 10^6 * 100}{6.401 * 10^8}$$

$$\sigma'_{b;d;\max} = -2.82 - 1.24 - 5.08 = -9.14 N / mm^2$$

$$R = \frac{\sigma'_{b;d;\min}}{\sigma'_{b;d;\max}} = \frac{4.06}{9.14} = 0.444$$

Het aantal wisselingen van de referentiebelasting bij een aslast bedraagt $1 \cdot 10^8$
Toets:

$$f'_{b;u;v}(n) = \left(1 - 0.1 \cdot \beta \cdot \sqrt{1 - R} \cdot \log n\right) \cdot f'_{b;v} \succ 0.25 \cdot f'_{b;v}$$

$$f'_{b;u;v}(1 \cdot 10^8) = \left(1 - 0.1 \cdot 1.0 \cdot \sqrt{1 - 0.444} \cdot \log(10^8)\right) \cdot 24.69 = 0.403 \cdot 24.69 = 9.96 \text{ N / mm}^2$$

$f'_{b;u;v} \geq \sigma'_{b;d;\max}$ ook in het geval van 2 aslasten voldoet de doorsnede ter plaatse van de inkeleming dus qua vermoeiing.

4.2 Doorsnede op 0.2l van de oplegging (0.725 meter)

4.2.1 één aslast

$$\sigma'_{b;d;\min} = -\frac{F_{pw}}{A_b} - \frac{M_{eg+rust} \cdot z}{I_{xx}} + \frac{M_{last;\max} \cdot z}{I_{xx}} = -\frac{1.5 \cdot 371 \cdot 10^3}{1.97 \cdot 10^5} - \frac{0.29 \cdot 10^6 \cdot 100}{6.401 \cdot 10^8} + \frac{7.4 \cdot 10^6 \cdot 100}{6.401 \cdot 10^8} = -2.82 - 0.05 + 1.16 = -1.71 \text{ N / mm}^2$$

$$\sigma'_{b;d;\max} = -\frac{F_{pw}}{A_b} - \frac{M_{eg+rust} \cdot z}{I_{xx}} - \frac{M_{last;\min} \cdot z}{I_{xx}} = -\frac{1.5 \cdot 371 \cdot 10^3}{1.97 \cdot 10^5} - \frac{0.29 \cdot 10^6 \cdot 100}{6.401 \cdot 10^8} - \frac{2.4 \cdot 10^6 \cdot 100}{6.401 \cdot 10^8}$$

$$\sigma'_{b;d;\max} = -2.82 - 0.05 - 0.37 = -3.24 \text{ N / mm}^2$$

$$R = \frac{\sigma'_{b;d;\min}}{\sigma'_{b;d;\max}} = \frac{1.71}{3.24} = 0.528$$

Het aantal wisselingen van de referentiebelasting bij een aslast bedraagt $3 \cdot 10^8$
Toets:

$$f'_{b;u;v}(3 \cdot 10^8) = \left(1 - 0.1 \cdot 1.0 \cdot \sqrt{1 - 0.528} \cdot \log(3 \cdot 10^8)\right) \cdot 24.69 = 0.418 \cdot 24.69 = 10.31 \text{ N / mm}^2$$

$f'_{b;u;v} \geq \sigma'_{b;d;\max}$ in het geval van 1 aslast voldoet de doorsnede op 0.2l dus qua vermoeiing.

4.2.2 twee aslasten

$$\sigma'_{b;d;\min} = -\frac{F_{pw}}{A_b} - \frac{M_{eg+rust} * z}{I_{xx}} + \frac{M_{last;\max} * z}{I_{xx}} = -\frac{1.5 * 371 * 10^3}{1.97 * 10^5} - \frac{0.29 * 10^6 * 100}{6.401 * 10^8} + \frac{9.3 * 10^6 * 100}{6.401 * 10^8} = -2.82 - 0.05 + 1.45 = -1.42 \text{ N / mm}^2$$

$$\sigma'_{b;d;\min} = -\frac{F_{pw}}{A_b} - \frac{M_{eg+rust} * z}{I_{xx}} - \frac{M_{last;\max} * z}{I_{xx}} = -\frac{1.5 * 371 * 10^3}{1.97 * 10^5} - \frac{0.29 * 10^6 * 100}{6.401 * 10^8} - \frac{3.4 * 10^6 * 100}{6.401 * 10^8}$$

$$\sigma'_{b;d;\max} = -2.82 - 0.05 - 0.53 = -3.40 \text{ N / mm}^2$$

$$R = \frac{\sigma'_{b;d;\min}}{\sigma'_{b;d;\max}} = \frac{1.42}{3.40} = 0.418$$

Het aantal wisselingen van de referentiebelasting bij een aslast bedraagt $1 * 10^8$
Toets:

$$f'_{b;u;v}(1 * 10^8) = \left(1 - 0.1 * 1.0 * \sqrt{1 - 0.418} * \log(10^8)\right) * 24.69 = 0.390 * 24.69 = 9.62 \text{ N / mm}^2$$

$f'_{b;u;v} \geq \sigma'_{b;d;\max}$ ook in het geval van 2 aslasten voldoet de doorsnede op 0.2l dus qua vermoeiing.

4.3 Doorsnede ter plaatse van het veldmidden

$$\sigma'_{b;d;\min} = -\frac{F_{pw}}{A_b} + \frac{M_{eg+rust} * z}{I_{xx}} = -\frac{1.5 * 371 * 10^3}{1.97 * 10^5} - \frac{3.98 * 10^6 * 100}{6.401 * 10^8} = -2.82 - 0.62 = -3.44 \text{ N / mm}^2$$

4.3.1 aslast

$$\sigma'_{b;d;\max} = -\frac{F_{pw}}{A_b} - \frac{M_{eg+rust} * z}{I_{xx}} - \frac{M_{last;\max} * z}{I_{xx}} = -\frac{1.5 * 371 * 10^3}{1.97 * 10^5} - \frac{3.98 * 10^6 * 100}{6.401 * 10^8} - \frac{10.3 * 10^6 * 100}{6.401 * 10^8}$$

$$\sigma'_{b;d;\max} = -2.82 - 0.62 - 1.61 = -5.05 \text{ N / mm}^2$$

$$R = \frac{\sigma'_{b;d;\min}}{\sigma'_{b;d;\max}} = \frac{3.44}{5.05} = 0.68$$

Het aantal wisselingen van de referentiebelasting bij een aslast bedraagt $3 \cdot 10^8$
Toets:

$$f'_{b;u,v}(3 \cdot 10^8) = \left(1 - 0.1 \cdot 1.0 \cdot \sqrt{1 - 0.681} \cdot \log(3 \cdot 10^8)\right) \cdot 24.69 = 0.521 \cdot 24.69 = 12.87 \text{ N / mm}^2$$

$f'_{b;u,v} \geq \sigma'_{b;d;\max}$ in het geval van 1 aslast voldoet de doorsnede in het veldmidden dus qua vermoeiing.

4.3.2 aslasten

$$\sigma'_{b;d;\min} = -\frac{F_{pw}}{A_b} - \frac{M_{eg+rust} \cdot z}{I_{xx}} - \frac{M_{last;\max} \cdot z}{I_{xx}} = -\frac{1.5 \cdot 371 \cdot 10^3}{1.97 \cdot 10^5} - \frac{3.98 \cdot 10^6 \cdot 100}{6.401 \cdot 10^8} - \frac{14.7 \cdot 10^6 \cdot 100}{6.401 \cdot 10^8}$$
$$\sigma'_{b;d;\max} = -2.82 - 0.62 - 2.30 = -5.74 \text{ N / mm}^2$$

$$R = \frac{\sigma'_{b;d;\min}}{\sigma'_{b;d;\max}} = \frac{3.44}{5.74} = 0.599$$

Het aantal wisselingen van de referentiebelasting bij een aslast bedraagt $1 \cdot 10^8$
Toets:

$$f'_{b;u,v}(1 \cdot 10^8) = \left(1 - 0.1 \cdot 1.0 \cdot \sqrt{1 - 0.599} \cdot \log(10^8)\right) \cdot 24.69 = 0.493 \cdot 24.69 = 12.18 \text{ N / mm}^2$$

$f'_{b;u,v} \geq \sigma'_{b;d;\max}$ ook in het geval van 2 aslasten voldoet de doorsnede in het veldmidden

5. CONCLUSIE

Uit het bovenstaande kan dus geconcludeerd worden dat het tussengestorte dek geen problemen zal geven voor wat betreft vermoeiing.

De aanwezige voorspanning in de vorm van 3 40 tons kabels over twee strekkende meter rijdek zorgt ervoor dat er ten alle tijden druk in het beton aanwezig is.

Bovendien zijn de spanningen ten gevolge van de laststelsels relatief klein ten opzichte van de spanningen door de voorspanning, het eigen gewicht en de rustende belasting hetgeen betekent dat de spanningsrimpel (R) klein is en dus de belasting door vermoeiing ook gering is.

Zoals reeds eerder vermeld is, om rekentechnische redenen, uitgegaan van een volledige inklemming ter plaatse van het hart van de langsliggers. Ter plaatse van de dwarsdragers is deze aanname juist echter halverwege deze dwarsdragers zal deze inklemming, door de beperkte torsiestijfheid van de langsliggers, niet 100% zijn.

Indien er enige torsie van de langsligger zal plaatsvinden zal het inklemmingsmoment iets afnemen en zal het veldmoment wat toenemen. Bovendien zal een moment in een naast gelegen veld voor een opbuigend moment kunnen zorgen.

Voor de spanningen ten gevolge van het eigen gewicht, de rustende belasting en de voorspanning is de mate van inklemming niet belangrijk aangezien deze belasting over meerdere velden doorloopt.

De maatgevende doorsnede is de doorsnede ter plaatse van de inklemming. Het berekende maximale inklemmingsmoment ten gevolge van het laststelsel is door de aangenomen volledige inklemming groter dan in werkelijkheid en dus zal de doorsnede in werkelijkheid minder zwaar belast worden dan hier aangenomen. Hier komt nog bij dat de doorsnede over de eerste 30 cm van het hart van de ligger een veel grotere hoogte heeft en ter plaatse van de maatgevende doorsnede het moment dus al iets is afgenomen.

De vermoeiingseis ter plaatse van de voegovergang (0.2 l) en het veldmidden voldoet ruimschoots en heeft dus nog de nodige overcapaciteit.

6. LITERATUURLIJST

- J. van Zutphen, Compendium van het voorgespannen beton, 1970
- Ir.J. Brakel, diktaat betonnen bruggen deel 1 t/m 3, okt 1997
- Prof.dr.ir.J.C. Walraven / ir.J.C. Galjaard, Voorgespannen beton, 1997
- CUR Rapport n° 55, rechte balkbruggen, 1972
- Diktaat Bijlage berekeningen (Hogeschool Midden-Brabant), jan 1992
- G. Fisseha, constructief gedrag van bestaande plaatbruggen (afstudeerwerk), nov 1998
- W.A. Gellweiler, Constructief gedrag bestaande bruggen - vermoeiing betonnen bruggen-afstudeerwerk, sept 1999
- Bestek + tekeningen Brug over Beneden-Merwede te Papendrecht, 1964

Voorschriften

- N.N.I. , Voorschriften voor het Ontwerpen van Stalen Bruggen, VOSB 1963 (NEN1008)
- N.N.I. , Gewapend- BetonVoorschriften, GBV 1962 (NEN 1009)
- STUVO, Richtlijnen voor Voorgespannen Beton, RVB 1962
- STUVO, Richtlijnen voor Voorgespannen Beton, RVB 1967
- N.N.I. , Belastingen en vervormingen, TGB 1990 (NEN 6702)
- N.N.I. , Voorschriften Beton TGB 1990 (constructieve eisen en rekenmethoden VBC 1995), (NEN 6720)
- N.N.I. , Voorschriften beton. Bruggen (constructieve eisen en rekenmethoden), VBB 1995 (NEN 6723)
- N.N.I. , Eurocode 1: Ontwerpgrondslagen en belastingen op constructies, Deel 1: Ontwerpgrondslagen, NVN-ENV 1991-1
- N.N.I. , Eurocode 1: Ontwerpgrondslagen en belastingen op constructies, Deel 3: Verkeersbelastingen op bruggen NVN-ENV 1991-3
- N.N.I. , Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies, Deel 2: Betonnen Bruggen, NVN-ENV 1992-2