Definitief
Versie 1.0
18 mei 2011
Doc.nr.: 166374

Gemeente Amsterdam

Ingenieursbureau

Constructies Stad

Constructieve beoordeling Brug 167 - Herberekening van bruggen in Raadhuisstraat

Herberekening van boven- en onderbouw van staalbeton brug Beoordeling Brug 167 conform NEN 8700 voor een verlaagde referentieperiode van minimaal 15 jaar

Auteur

[redacted]

Opdrachtgever

DIVV

Projectnummer

30421

Documentnummer: 166374			
autorisatie	naam	paraaf	datum
opstelling	[redacted]		
controle			
vrijgave			

Samenvattingen

Bij de beoordeling van Brug 167 is uitgegaan van o.a. de Eurocode verkeersbelastingen volgens NEN 6706, de grondslagen van het beoordelen van bestaand kunstwerk volgens NEN 8700 en de Nederlandse Praktijk Richtlijnen (ontwerp). Daarbij dient bij de berekeningen uitgegaan te worden van een restlevensduur van 1 jaar (voor de hele brug) en een referentieperiode van 15 jaar (voor wat betreft de verkeersbelastingen).

Conclusie uit de herberekening:

Onderdeel	voldoet	Opmerking
Betondek langs (rijrichting)	Ja (uit berekening van 2009)	*Er zijn wel grote scheuren aangetroffen*
Betondek dwars (lood. op rijrichting)	Ja (uit berekening van 2009)	*Er zijn scheuren aanwezig!*
Stalen liggers	Ja	
Fundering (t.o.v. 100 kN)	Nee	

In het betonnen dek zijn grote scheuren aangetroffen. In 2009 is het brugdek herberekend uitgaande van de verkeersbelasting volgens NEN 6706. In de berekening is echter uitgegaan van ongescheurd beton. De aanwezigheid van de scheuren en de huidige slechte staat van de brug duiden aan dat de afkeurgrens van 15 jaar niet gehaald is en er moeten maatregelen worden genomen om het betondek te laten voldoen aan de relevante eisen. Hiervoor kan het brugdek worden versterkt c.q. vernieuwd voor minimaal 15 jaar. Daarnaast moet de brug regelmatig worden gemonitoord gedurende de gebruikstermijn van minimaal 15 jaar.

Over het algemeen wordt voor de paalfundering geconcludeerd dat de bestaande houtenfundering onvoldoende capaciteit heeft en voldoet dus niet aan de in de vigerende normen gestelde eisen. De bestaande paalfundering van Brug 167 moet versterkt of vernieuwd worden (waarschijnlijk op de fundering van het landhoofd na) voor de gebruiksperiode van 15 jaar. De brug moet echter van een geheel nieuwe funderingsconstructies worden voorzien wanneer een lange gebruiksperiode is gewenst.

Wanneer echter een lange gebruiksperiode (langer dan 15 jaar) voor de te renoveren brug is gewenst zullen alle stalenliggers zeer waarschijnlijk moeten worden versterkt of vervangen en het betondek wordt niet alleen in de rijrichting maar ook in de dwarsrichting van de brug voorzien van de plakwapening. Afhankelijk van de totale kosten van de renovatie kan eventueel nog worden overwogen om de bestaande brug te slopen en te vervangen met een nieuwe brug. Dit moet blijken uit de nog te maken kostenraming.

Inhoudsopgave

1	**Inleiding**	**4**
1.1.	Projectomschrijving	4
1.2.	Leeswijzer	4
2	**Basisinformatie en uitgangspunten**	**5**
2.1.	Algemene basisinformatie	5
2.2.	Bestaande situatie	5
2.3.	Indeling bestaande brug	6
2.4.	Materiaaleigenschappen	6
2.4.1.	Beton	6
2.4.2.	Betonstaal	7
2.4.3.	Stalenliggers	7
2.4.4.	Houtenpalen (landhoofd en pijler)	7
2.5.	Normen, Voorschriften en Richtlijnen	8
2.6.	Software	8
3	**Belastingen en belastingcombinatie**	**9**
3.1.	Permanente belasting Brugdek	9
3.1.1.	Eigen gewicht staalbeton brug	9
3.1.2.	Rustende belasting	9
3.1.3.	Asfalt belasting	10
3.2.	Mobiele belasting Brugdek	10
3.2.1.	Uitgangspunten voor de aan te houden mobiele belasting	10
3.2.2.	Bepaling van ψ-factor behorende bij 15 jaar referentieperiode	10
3.2.3.	Verdeling verkeersbelasting over de rijstroken	11
	Variantenstudie – mogelijke combinaties autoverkeer en trams	12
3.3.	Belastingen op de tussenpijler	13
3.4.	Belastingen op het landhoofd	14
3.5.	Belastingcombinatie brugdek/landhoofd en pijler	15
4	**Berekeningen**	**16**
4.1.	Opzet en schematisatie van onderbouw	16
4.2.	Rekenresultaten	18
4.2.1.	Krachtsverdeling Tussenpijler	18
4.2.2.	Krachtsverdeling Landhoofd	18
4.3.	Samenvatting rekenresultaten	18
5	**Controle paalbelastingen**	**19**
5.1.	Onderbouw - pijler	19
5.2.	Onderbouw - landhoofd	19
6	**Conclusie en aanbevelingen**	**20**
6.1.	Resultaten uit herberekening van Brug 167	20
6.2.	Resultaten visuele inspectie Brug 167	20
6.3.	Conclusie en aanbevelingen Brug 167	21

Bijlage A Onderzoeksrapportage – [redacted]

Bijlage B In- en uitvoer van het model van tussenpijler (gemodelleerd in Scia Engineer)

Bijlage C In- en uitvoer van het model van landhoofd (gemodelleerd in Scia Engineer)

Bijlage D Belastingspreiding – spreiding van oplegreacties door metselwerk ondersteuningsconstructies

Bijlage E Selectie van de archieftekeningen Brug 106

1 Inleiding

1.1. Projectomschrijving

Voor het project Onderzoek naar de constructieve veiligheid van de vijf bruggen in de Raadhuisstraat te Amsterdam zal IBA, in opdracht van de Dienst Infrastructuur Verkeer en Vervoer (DIVV), het vijftal bruggen herberekenen en beoordelen op hun constructieve veiligheid, conform NEN 8700. Bij de beoordeling van de bruggen 8, 22, 106, 117 en 167 wordt uitgegaan van de in april 2007 verschenen nieuwe norm (NEN 6706) voor verkeersbelastingen op bruggen en viaducten. Het oudste deel van de bruggen zijn omstreeks 1765 gebouwd en sindsdien zijn de bruggen een aantal keren gerenoveerd, aangepast of verbreed.

De verkeersbelastingen volgens VOSB 1938 en later ook VOSB 1963 zijn vanaf 1927 aangehouden bij zowel het ontwerp van nieuwe bruggen als het renoveren van de bestaande bruggen. Vergeleken met de verkeersbelastingen van de oude normen zijn de verkeersbelastingen van de nieuwe norm NEN 6706 hoger en het ligt daarom voor de hand om bij het beoordelen van de bestaande bruggen met enige voorzichtigheid te betrachten. In NEN 8700 (aangevuld met de naar deze norm verwezen NPR's) zijn de nieuwe rekenregels voor de beoordeling van bestaande bruggen opgenomen. De norm verwijst naar de verkeersbelastingen van de Eurocode – zoals in NEN 6706 zijn voorgeschreven – als de aan te houden verkeersbelastingen in de berekeningen. Verder mag volgens de norm de bestaande brug worden beoordeeld op een gebruiksduur anders dan 100 jaar (de gebruiksduur van nieuwe bouw) met een minimale referentieperiode van 15 jaar.

In dit document wordt onderzocht of de optredende paalbelastingen onder Brug 167 groter zijn geworden indien er voor de verkeersbelasting uitgegaan is van de verkeersbelasting volgens NEN 6706. Voor deze brug is in april 2009 het brugdek herberekend uitgaande van de verkeersbelasting volgens NEN 6706 (NEN 8700 was toen nog niet gereed). In de conclusie van de rapportage werd toen geadviseerd om de brede voetgangerspaden te weren van het autoverkeer. In de nog uit te voeren berekeningen wordt uitgegaan van een restlevensduur van één jaar en een referentieperiode van 15 jaar (voor de verkeersbelasting), e.e.a. conform NEN 8700 de nieuwe norm voor bestaande constructies.

1.2. Leeswijzer

In dit document is de herberekening van Brug 167 aan de orde gesteld. In hoofdstuk twee worden de uitgangspunten van de berekeningen geformuleerd, hoofdstuk drie gaat in op de belastingen, inclusief de aan te houden verkeersbelastingen. Hoofdstuk vier beschrijft de opzet van de berekening, de computer modellering van de brugconstructie en de rekenresultaten, hoofdstuk vijf behandelt het toetsen van de brugconstructie. In hoofdstuk zes wordt de conclusie van deze berekening gegeven.

2 Basisinformatie en uitgangspunten

2.1. Algemene basisinformatie

In deze rapportage van de herberekening van Brug 106, is gebruik gemaakt van de volgende documenten:

- Globale herberekening van de vijf bruggen in Raadhuisstraat inclusief Brug 167 (Rapport; document nr. 8462; project nr. 30118, datum 19 oktober 2007) uitgevoerd door IBA;
- Herberekening Brug 167, projectnummer 30319, datum 23-04-2009;
- Diverse tekeningen van Brug 106 uit Stadsarchief die zijn gevonden na het uitvoeren van archiefonderzoek;
- Onderzoeksrapportages (met projectcode: 11p014, datum 14 april 2011 en status definitief) van de materiaalonderzoeken en de visuele inspecties van de vijf bruggen in Raadhuisstraat die door het onderzoeksbureau [redacted] zijn uitgevoerd.

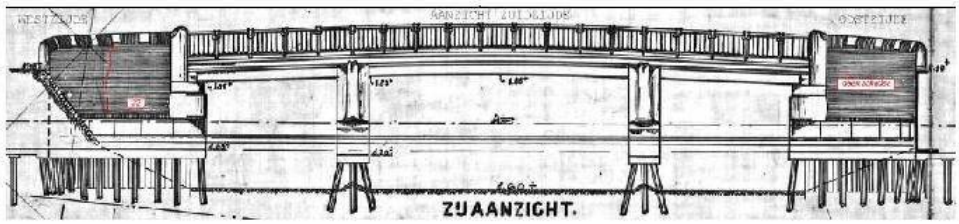
2.2. Bestaande situatie

Brug 167 ligt in De Clercqstraat en gaat over de Singelgracht. De brug is een vaste brug en is uitgevoerd in een staalbeton constructie waarin de twee constructieonderdelen niet met elkaar zijn verbonden.



Het middelste deel van de brug (gezien vanuit het dwarsprofiel van de brug) is omstreeks 1892 als eerst gebouwd. Daarna is de brug in 1927 vernieuwd en verbreed. In 1978 is het gedeelte van de brug waar de trams rijden vervangen.

De brug spant over drie velden en is opgelegd op twee op houtenpalen gefundeerde landhoofden en op twee eveneens op houtenpalen gefundeerde tussenpijlers. De ondersteuningsconstructies zijn in metselwerk uitgevoerd. De overspanning van de middelste doorvaart bedraagt 10 m en de overspanning van de zijdoorvaarten bedraagt elk 5 m. De dikte van de pijler is 1,2 m en de totale breedte van de brug bedraagt ca. 26 m.



Zijaanzicht Brug 167

2.3. Indeling bestaande brug

Het brugdek is ingedeeld in fiets- en voetgangersstroken (aan weerszijden van de brug), twee rijbanen voor het autoverkeer (in twee richtingen) en een trambaan.



De breedte van een voetpad en de fietsstrook bedraagt respectievelijk 4,2 m en 1,5 m aan de westzijde. De breedte van het voetpad aan de oostzijde is 3,5m. De breedte van een autorijbaan is 4,3 m aan de westzijde (voor enkele rijstrook) en de breedte van de rijbaan aan de oostzijde is 6,8 m (voor twee rijstroken). De breedte van de trambaan bedraagt 5,7 m en de totale breedte van de brug is 26 m.

2.4. Materiaaleigenschappen

2.4.1. Beton

Voorafgaand aan de constructieve berekening van Brug 167 heeft de firma [redacted] (materiaal)onderzoek naar de sterkte van het betonnen dek en de stalenliggers uitgevoerd (zie bijlage A). Voor het betonnen dek is een aantal monsters uitgenomen en geproefd in een laboratorium ter bepaling van de druk- en treksterktes. De resultaten uit de acht monsters zijn middels statistische berekeningen omgerekend naar de rekenwaarde van de druk- respectievelijk treksterkte (zie bijlage B). De resultaten van het onderzoek tonen aan dat de huidige

sterkte van het betonnen dek gelijk is aan die van beton sterkteklasse B35. Hierna wordt voor zowel de berekening van het betondek als het toetsen van de betondoorsnede uitgegaan van betonsterkteklasse B35.

Betondruksterkte	f'_{ck} (N/mm^2)	f'_b(N/mm^2)	f_b(N/mm^2)	E_b(N/mm^2)
C28 / B35	35	21	1,4	31000

2.4.2. Betonstaal

In het betonnen dek zijn zachtstaal wapeningsstaven opgenomen. Voor de staalkwaliteit is uitgegaan van QR24. Conform RBBK versie 1.0 zijn de volgende eigenschappen afgeleid (de uit het onderzoek bepaalde vloeispanning $R_{p0,2}$ en treksterkte R_m van de wapeningsstaven vertonen grote spreiding in de resultaten):

Wapeningsstaal	f_s (N/mm^2)	E_s (N/mm^2)
QR 24	209	200000

De gemiddelde staafdiameter en de h.o.h. afstand van de staven zijn bepaald uit het onderzoek naar de staat van de brug die door de firma [redacted] is uitgevoerd. De wapening aan de onderkant van het betondek is in de tabel opgenomen.

	Diameter	H.o.h afstand (onderkt.)	H.o.h afst. (bovenk.)
Dwarswapening	8 mm	90 mm	120
Langswapening	8 mm	100 mm	120

2.4.3. Stalenliggers

Het dek is opgebouwd uit stalenliggers. Uit de resultaten van de trekproef blijkt dat de staalkwaliteit van de liggers gelijk is aan S235. De kerfslagwaarde voldoet niet aan de eisen van constructiestaal S235. Deze waarde is van belang voor vermoeiingsberekeningen. De stalen ligger zijn in het beton ingestort en zijn daardoor enigszins beschermd tegen vermoeiingsbreuk. Voor de sterkte berekening kan gebruikt gemaakt worden van constructiestaal S235JR.

2.4.4. Houtenpalen (landhoofd en pijler)

Er is geen onderzoek verricht naar de fundering van brug167. In deze berekening is aangenomen dat het maximale paaldraagvermogen van de houtenpalen 100 kN bedraagt. Er is ook aangenomen dat de aantasting van de houtenpalen nihil is en dat de draagcapaciteit (druk) van de houtenpalen niet wordt overschreden.

Wanneer er echter onderzoeken naar de paalafmetingen, de houtsoort, de tapse toeloop van de paalschacht (van de houtenpalen) en de bacteriële aantasting worden uitgevoerd kan er een nog nauwkeurig paaldraagvermogen worden bepaald. Voor deze controle berekening wordt aangehouden:
$F_{r;max;punt;d}$ = 100 kN

Aangenomen grondbeddingen (Deze aanname is gebaseerd op het Amsterdams profiel).

Grondlaag	Boven-/onderzijde Grondlaag	Dikte laag (m)	Kh (kN/m3)
Hollandveen	-2 / -4 m/NAP	2	2000
Wadafzeting (klei, veen)	-4 / -9 m/NAP	5	4000
Zandhoudend klei	-9 / -11 m/NAP	2	6000
Klei en veen	-11 / -12,6 m/NAP	1,6	1600
1e zandlaag	-12,6 / -15 m/NAP	2,4	36000

2.5. Normen, Voorschriften en Richtlijnen

Naam :	Jaar :	Omschrijving :
NEN 6700	1991	Technische grondslagen voor bouwconstructies. TGB 1990. Algemene basiseisen.
NEN 6702	1991	Technische grondslagen voor bouwconstructies TGB 1990. Belastingen en vervormingen.
NEN 6720	1995	TGB 1990-Voorschriften Beton (TGB 1990) Constructieve eisen en rekenmethoden (VBC 1995).
NEN 6740	1991	TGB 1990- Geotechniek: Basiseisen en belastingen
NEN 6743	1991	TGB 1990- Geotechniek: Berekeningsmethodiek voor funderingen op palen
NEN –EN 1990	2002	Eurocode 0, Grondslagen van het constructieve ontwerp
NEN 6706	2007	TGB 1990, Verkeersbelastingen op Bruggen
RBBK 1.01	2006	Richtlijn Beoordelen Bestaande Kunstwerken
NEN 8700	2009	Grondslagen van beoordeling van een bestaand bouwwerk
NPR		Nederlandse Praktijk Richtlijn

2.6. Software

De volgende computerprogramma's worden in de berekeningen toegepast :

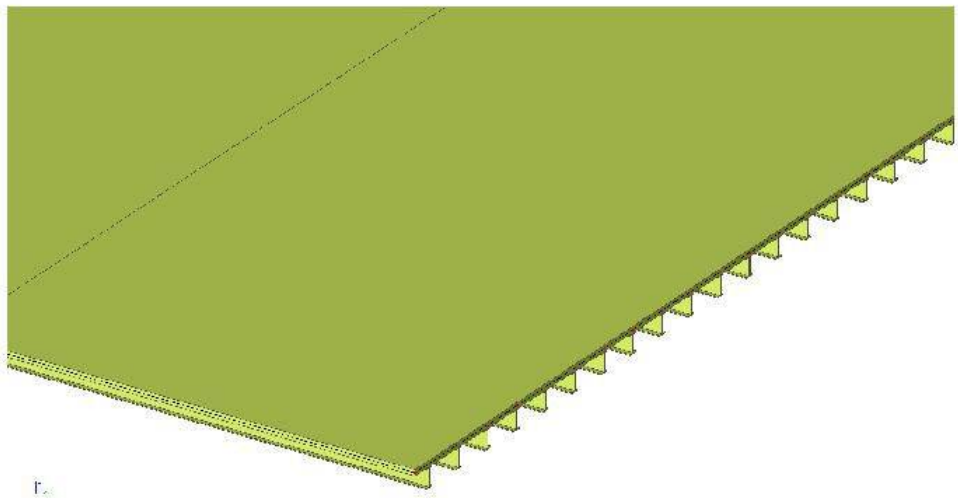
Tabel: programmatuur

Software	Soort berekening	Versienummer /Jaar
D-BET	Doorsnedenberekening	4.2.0
Scia - Engineer	2D/3D- Plaat berekening	2010
Mathcad 13	Rekensheet	13

3 Belastingen en belastingcombinatie

3.1. Permanente belasting Brugdek

3.1.1. Eigen gewicht staalbeton brug



Het dek is opgebouwd uit stalen liggers en betonnen plaat. Ter plaatse van de middendoorvaart is het dek opgebouwd uit 24 BP36 stalenliggers, 10 NP38 stalenliggers en 2 BP24 (alleen langs de randen) en een gewapend betonnen rijplaat. Het dek van de zijdoorvaart is opgebouwd uit 34 NP32 stalen liggers. De h.o.h. afstand van de stalenliggers is ca. 76 cm.

De stalenliggers zijn met het (gewapend) constructieve beton omgestort. De dikte van de betonplaat is gemiddeld 30 cm t.p.v. de rijbanen en ca. 16 cm t.p.v. de voetgangersstroken. De schuine delen van de onderkant van het betondek zijn in de berekening als gescheurd beschouwd en zijn niet gerekend tot het constructieve deel van de dekplaat (maar zijn als doodgewicht ingevoerd in het rekenprogramma). Op de gewapend betonplaat is een laag vulbeton (dikte gemiddeld 10 cm, uit metingen) aangebracht. Onder de rijbaan zijn de stalenliggers enigszins gekoppeld d.m.v. hoekprofielen die kruiselings met elkaar scharnierend zijn verbonden (dit onderdeel werkt gunstig voor de lastspreiding). Het model van de bovenbouw is ingevoerd in het rekenprogramma Scia Engineer en is door het programma doorgerekend. Het eigen gewicht van de brug wordt door de belastinggenerator van het programma bepaald.

3.1.2. Rustende belasting

Op de constructieve betonplaat is een laag vulbeton aangebracht. Uit metingen bedraagt de dikte van het vulbeton 0,1 m en is over de hele brug aanwezig. Het volumieke gewicht van vulbeton, $\gamma_{vulbeton}$, is 24 kN/m^3 en het in rekening te brengen gewicht van het vulbeton bedraagt:

$q_{vulbeton}$ = 24 kN/m^3 * 0,1 m = 2,4 kN/m^2

Op het voetpad (trottoir, breedte is 4,2 m) is een laag tegels aanwezig (bovenop het vulbeton). En langs de rand van het dek is er een blok natuursteen en een leuning aanwezig. Het totale gewicht van respectievelijk tegels, natuursteenblok en leuning samen is uitgesmeerd over de breedte van het voetpad en bedraagt:
$q_{voetpad}$ = 22kN/m^3*0,1m+27kN/m^3*0,3m*0,25m/ 4,1m +1 kN/m / 4,1m = 2,9 kN/m^2

3.1.3. Asfalt belasting

Op de daadwerkelijke rijbanen (breedte 6,8 m + 5,7 m + 5,8 m) voor het auto- en tramverkeer is een asfaltlaag aangebracht. Uit metingen is vastgelegd dat de gemiddelde dikte van asfalt gelijk is aan 10 cm.

Het gewicht van asfalt, q_{asfalt} = 23 kN/m^3 * 0,10 m = 2,3 kN/m^2.

3.2. Mobiele belasting Brugdek

3.2.1. Uitgangspunten voor de aan te houden mobiele belasting

- De huidige rijbaanindeling is aangehouden;
- Tabel 3 van NEN 6706 is van toepassing, aantal vrachtwagens per jaar per rijstrook (van de drukbereden rijstrook) is 20.000, $\alpha_{Q1} = \alpha_{qi}$ = 0,90;
- Totale breedte voor weg- en tramverkeer bedraagt 16,8 m;
- De breedte van een rijstrook is 4,3 respectievelijk 3,4 m i.p.v. 3,0 m;
- De breedte van trottoir en fietsstrook is 5,8m en aan de andere zijde de breedte van de trottoir is 3,5 m ;
- De referentieperiode voor de mobiele belasting is verlaagd tot 15 jaar;
- Minimum randafstand van het autoverkeer bedraagt 3,5 m (breedte van trottoir; totale breedte is: 16,8m + 4,2m +1,5m + 3,5m = 26,0 m);
- De h.o.h. afstand van de staalliggers is even groot genomen en bedraagt 0,76 m.

3.2.2. Bepaling van ψ-factor behorende bij 15 jaar referentieperiode

Aantal vrachtwagens, n_a = 20.000
Beschouwde referentieperiode, t = 15 jaar
Vereiste referentieperiode nieuwbouw, T = 100 jaar
Conform Bijlage C van NEN 6706 geldt:

$$\psi_t := \left(\frac{\ln(n_a \cdot t)}{\ln(n_a \cdot T)}\right)^{0.45} \qquad \psi_t = 0.939$$

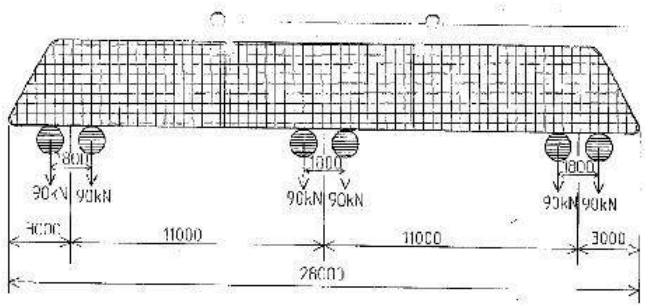
3.2.3. Verdeling verkeersbelasting over de rijstroken

Aantal rijstroken van de rijbaan voor gemengd verkeer, n = 16,8 m / 4,3 m = 3 rijstroken en een reststrook van 3,9 m (Trambaan inbegrepen).

Voetgangersbelasting
Aan weerskanten van rijbaan zijn er voetgangerspaden met breedte van 4,2 m respectievelijk 3,5 m. Aan een zijde van de brug is een fietsstrook aangebracht op de rijbaan. De breedte van de fietsstrook is 1,5 m. De fiets- en voetgangersbelasting bedraagt 5 kN/m^2. De momentaan-/combinatiefactor is 0,5.

Autoverkeersbelasting
1^e rijstrook: Q_1 = 300 kN/as; q_1 = 9 kN/m^2 *3,0m / 4,3m = 6,2 kN/m^2
2^e rijstrook: Q_2 = 200 kN/as; q_2 = 2,5 kN/m^2 *3,0m / 4,3m = 1,67 kN/m^2
3^e rijstrook: Q_3 = 100 kN/as; q_3 = 2,5 kN/m^2 *3,0m / 4,3m = 1,67 kN/m^2
4^e rijstrook: q_4 = 2,5 kN/m^2 (resterend oppervlak)
De wiellast wordt verdeeld over een oppervlak van 0,9m x 0,9m (= 0,81 m^2).

Trambelasting
Uitgegaan is van het nieuwe tram materieel van 6 assen (type EE-779-B).
Aantal assen = 6
Alvast, P = 90 kN
Afstand tussen assen = 1,8 m en 9,2 m (afwisselend c.q. om-en-om)
Lengte = ca. 28 m



De gemidd. totale horizontale kracht: 6 X 9 X 3 = 162 kN
– Piekwaarde: 6 X 9 X 4,5 = 243 kN

De in rekening te brengen reductiefactor bij de verkeersbelastingen is gelijk aan:

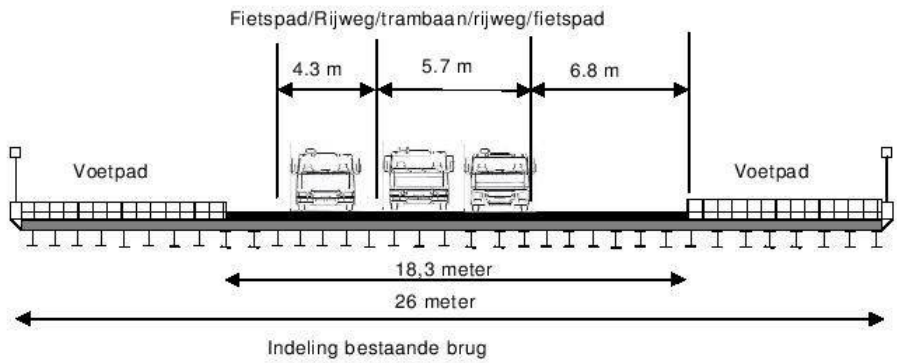
$\psi_{mobiel;tot;Q;i} = \psi_t * \alpha_{Q;1} = 0,845$ → 0,939 * 0,9 = 0,845
$\psi_{mobiel;tot;q;i} = \psi_t * \alpha_{q;i} = 0,845$ → 0,939 * 0,9 = 0,845
$\psi_{mobiel;tot;q;r} = \psi_t * \alpha_{q;r} = 0,751$ → 0,939 * 0,8 = 0,751

De mobiele belasting wordt gereduceerd door de belasting te vermenigvuldigen met deze factor.

Variantenstudie – mogelijke combinaties autoverkeer en trams

De brug is gebruikt door een gemengd verkeer van voetgangers, fietsers, auto's / vrachtwagens en trams. Aan weerszijden liggen de trottoirs (breedte 4,2 of 3,5 m) die door voetgangers worden belast. In deze berekening is de maatgevende verkeers-belasting bepaald uit 3 varianten van de belastingen van de auto's en trams.

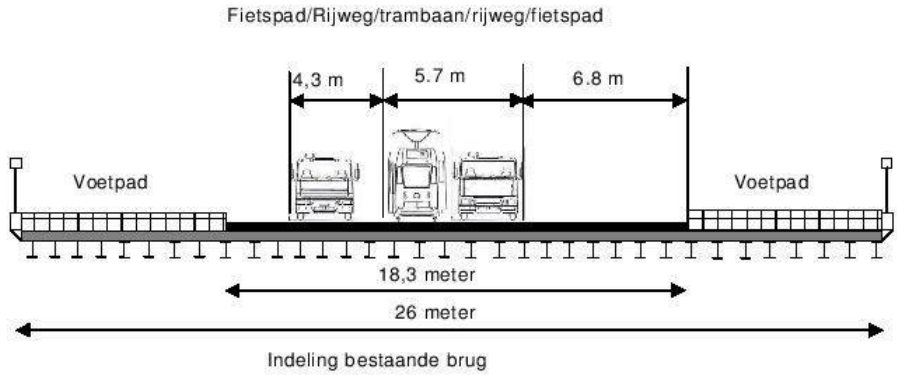
Variant 1: Variant 1 bestaat uit de laststelsels van LM 1 van NEN 6706 waarin zijn verwerkt de reductiefactoren $\alpha_{Q1} = \alpha_{qi} = 0,9$ (alleen bij de aslast van 300 kN en de gelijkmatig verdeelde verkeersbelasting) en een $\psi_{t=15jaar}$ van 0,94 voor de in deze berekening aangehouden referentieperiode van 15 jaar.



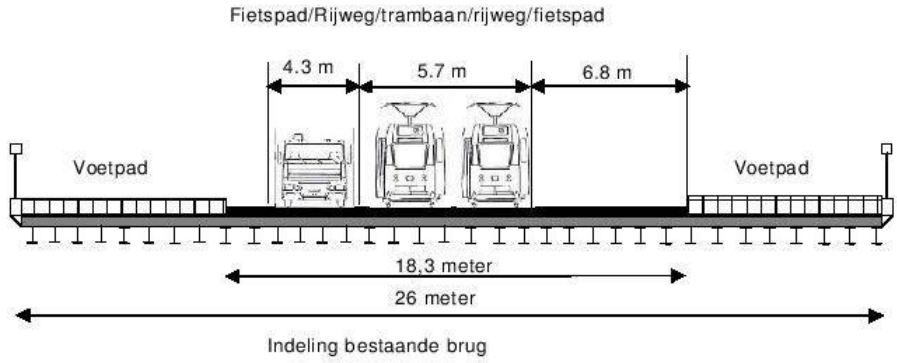
Voor variant 1 blijft de huidige wegindeling van toepassing waarbij wagen 2 en 3 over de trambaan rijden.

De breedte van het te bereiden brugdek (rijbanen + trambaan) is 18,3 meter. De breedte van de rijstroken is 4,3 m per rijstrook en de breedte van de reststrook bedraagt 3,9 m. De breedte van voetganger/fietsstrook is 5,7 m (aan een zijde van brug). In de NEN 6706 wordt gesteld dat wanneer er bij een rijbaan 3 of meer rijstroken op de brug zijn de gelijkmatig verdeelde verkeersbelastingen verhoogd moeten worden. De gelijkmatig verdeelde verkeersbelasting op de 1^e rijstrook wordt met 15% verhoogd en die op de overige rijstroken wordt met 40% verhoogd. In deze berekening wordt afgeweken van deze eis omdat er uitgegaan is van de werkelijke rijbaanindeling van de brug. De rijbanen zijn van elkaar gescheiden door bermen en er is maximaal twee rijstroken per rijbaan. Bovendien is de kans nihil dat er meer dan 2 wagens naast elkaar rijden op de brug.

Variant 2: Variant 2 bestaat uit twee (van de drie) laststelsels van LM 1 van NEN 6706 waarin de reductiefactoren zijn verwerkt. Eén tram (in de tegenovergestelde richting) vormt het derde laststelsel op de brug.



Variant 3: Variant 3 bestaat uit één (van de drie) laststelsels van LM 1 van NEN 6706 waarin de reductiefactoren zijn verwerkt en twee trams (in de tegenovergestelde richtingen).



Doordat de afstand tussen de assen van de tram groot is en bovendien de aslast slechts 90 kN zwaar is, is de trambelasting ondergeschikt (niet maatgevend) t.o.v. Load model 1 van NEN 6706. In deze berekening is voor de verkeersbelasting daarom uitgegaan van variant 1. Varianten 2 en 3 worden verder buiten beschouwing gelaten.

3.3. Belastingen op de tussenpijler

De tussenpijlers worden voornamelijk door het brugdek en door eigen gewicht van de pijlers belast.

Oplegreacties uit brugdek
In bijlage F zijn de oplegreacties uit het brugdek gespreid door het metselwerk en verder bewerkt tot gelijkmatig verdeelde belasting op de houtenvloer.

Eigen gewicht metselwerkpijler (vertikaal)
Soortelijk gewicht metselwerk: γ_m = 17 kN/m^3,
Hoogte wand pijler, h = 3,2 m
$q_{v;metselwerk;rep}$ = 3,2 m x 17 kN/m^3 = 54,3 kN/m^2

De verticale belastingen uit de tussenpijlers worden als oppervlaktebelasting aangebracht op de houtenvloer over het gebied waar de pijler op de houtenvloer is geplaatst.

3.4. Belastingen op het landhoofd

De landhoofden worden voornamelijk door de oplegreacties van het brugdek, het eigen gewicht van het landhoofd en de gronddruk achter het landhoofd belast.

Oplegreacties uit brugdek
In bijlage F zijn de oplegreacties uit het brugdek bewerkt tot gelijkmatig verdeelde belasting op de houtenvloer.

Eigen gewicht metselwerk landhoofd (vertikaal)
Soortelijk gewicht metselwerk: γ_m = 17 kN/m^3,
Hoogte wand pijler, H = 3,2 m
$q_{v;metselwerk;rep}$ = 3,2 m x 17 kN/m^3 = 66,3 kN/m^2

De verticale belastingen uit de gewichtsmuur van het landhoofd worden als oppervlaktebelasting aangebracht op de houtenvloer over het gebied waar de muur op de houtenvloer is geplaatst

Bovenbelasting landhoofd (vertikaal)
De bovenbelasting bestaat voornamelijk uit het verhardingspakket boven de grond achter het landhoofd. De dikte van de grind- en verdikte grondlagen achter het landhoofd bedraagt ca. 45 cm. Het soortelijk gewicht van het pakket is ca. 22 kN/m^3,

$q_{v;rep}$ = 0,45 m x 22 kN/m^2 = 10 kN/m^2

Grondbelasting vertikaal
Soortelijk gewicht grond: γ_m = 18 kN/m^3,
Grondhoogte tegen wand landhoofd: h = 3,2 m
$q_{v;rep}$ = 3,2 m x 18 kN/m^2 = 57,6 kN/m^2

Totaal verticale grondbelasting op de houtenvloer, $q_{v;grond;rep}$ = 67,6 kN/m^2

Grondbelasting horizontaal

De gewichtsmuur is in de loop der jaren onderhevig aan verplaatsingen waardoor de actieve gronddrukcoëfficiënt (k_a) – i.p.v. de neutrale gronddrukcoëfficiënt, k_n – geactiveerd is. In deze berekening is aangenomen dat de bovengrens van de actieve gronddrukcoëfficiënt 0,38 bedraagt (k_a = 0,38);

$q_{h;rep;boven}$ = 0,38 * 10 kN/m^2 = 3,8 kN/m^2
$q_{h;rep;onder}$ = 0,38 * (10 kN/m^2 + 57,6 kN/m^2) = 25,7 kN/m^2

De horizontale grondbelasting (in de vorm van een trapezium) wordt op de gewichtsmuur opgezet.

3.5. Belastingcombinatie brugdek/landhoofd en pijler

Conform NEN-EN 1990 (Eurocode 0) en NPR is vergelijking 6.10b van toepassing bij de fundamentele belastingcombinatie. De brug is ingedeeld in Gevolgklasse 2 (gelijk aan veiligheidsklasse 3 van de TGB-series NEN 6700) met een restlevensduur van 1 jaar (conform NEN 8700). Volgens tabel A1.2(B) en A1.2(C) – Belastingsfactoren (γ) voor de uiterste grenstoestand STR en GEO kunnen de volgende belastingfactoren worden aangehouden bij de berekeningen:

UGT.

Bel. Comb.	Blijvende belastingen (Perm.)		Mobiel bel.	Overige ver.bel.
	Ongunstig	Gunstig		
Vgl. 6.10b	$\gamma_{Gj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf}$	$\gamma_{Q,1}$	$\gamma_{Q,1}$
Gevolg kl. 2	1,10	0,90	1,15	1,30

In de BGT bedraagt de belastingsfactor 1,0 voor alle belastinggevallen.

Maatgevende combinaties:
UGT: 1,1*(E.gwt. + Asfalt + Rustende bel.) + 1,15*Mob.bel.*ψ +1,3*Tram.bel.
BGT: 1,0*(E.gwt. + Asfalt + Rustende bel.) + 1,0*Mob.bel.*ψ + 1,0*Tram.bel.

(Bij mobiele belasting is ook de combinatiewaarde van de fiets-en voetgangersbelasting inbegrepen).

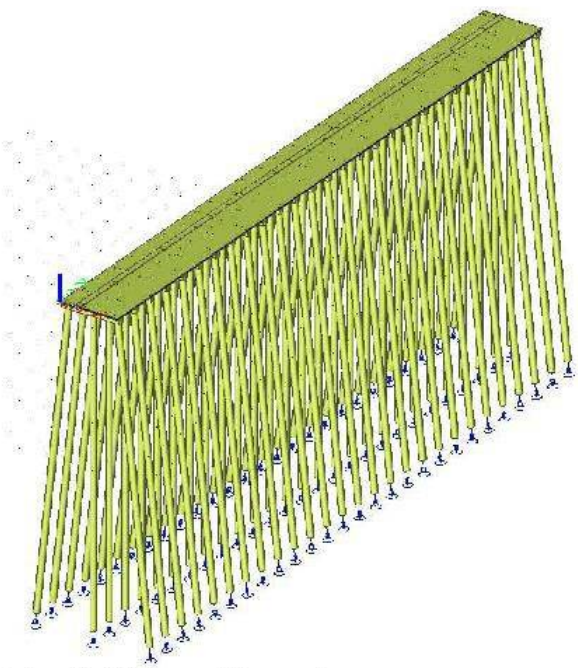
4 Berekeningen

4.1. Opzet en schematisatie van onderbouw

Tussenpijler

De pijler is opgebouwd uit een metselwerk wand, een houtenvloer van ca. 8cm dik, houtenkespen en ronde houtenpalen. De gewichtsmuur is 1,2 m dik en ca. 4,1 m hoog, de breedte is ca. 26,5 m. De diameter van de houtenpalen is aangenomen en bedraagt ca. 25 cm. De palen zijn even lang en de lengte is beperkt tot ca. 13 m (in de eerste zandlaag). De h.o.h. afstand van de palen is 1,0 m. De schoorstanden zijn overgenomen van bestaande tekeningen. Het model van de pijler is ingevoerd in Scia Engineer en doorgerekend. De maximum paalbelasting wordt hiermee bepaald.

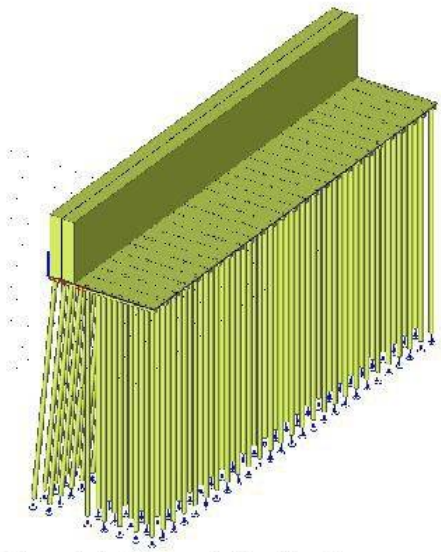
De belastingen op de pijler zijn geheel afkomstig van de bovenbouw (oplegreacties van het brugdek, zie bijlage F). Doordat de (metselwerk)gewichtsmuur geen buigligger is maar dat de verticale belastingen via de contactdruk van de stenen worden afgedragen naar de houtenvloer was het ook niet nodig de gewichtsmuur toe te voegen in het rekenmodel van de tussenpijler. Voor optimale verdeling van de verticale belasting over de houtenpalen is het rekenmodel van de pijler opgebouwd alleen uit de houtenvloer met kesp en de houtenpalen. De verticale belastingen uit de gewichtsmuur (inclusief eigen gewicht van de muur) worden verdeeld over een gebied op de houtenvloer waar de gewichtsmuur heeft gestaan.



Schematisch Rekenmodel tussenpijler

Landhoofd

Het landhoofd is opgebouwd uit een metselwerk gewichtsmuur, een houtenvloer van ca. 8cm dik, houtenkespen en ronde houtenpalen. De gewichtsmuur is 1,2 m dik en ca. 3,9 m hoog, de breedte is ca. 26,5 m. De diameter van de houtenpalen is ca. 25 cm en de lengte van de palen is ca. 13 m. (eerste zandlaag). De palen staan ca. h.o.h. 1,0 meter uit elkaar. Het model van het landhoofd is ingevoerd in Scia Engineer en doorgerekend. De maximum paalbelasting wordt hiermee bepaald.



Schematisch Rekenmodel Landhoofd

De belastingen op het landhoofd zijn deels afkomstig van de bovenbouw (oplegreacties, zie bijlage F) en deels van de gronddruk achter de gewichtsmuur. De berekening is uitgevoerd op grond van de volgende uitgangspunten:

- De gewichtsmuur (metselwerk) is geen buigligger maar ontleent zijn stijfheid aan de aanwezige afschuifstijfheid en zijn gewicht;
- De constructie is in de loop der jaren onderhevig aan verplaatsingen waardoor de actieve gronddruk (k_a) (i.p.v. de neutrale gronddruk, k_n) geactiveerd is;
- Het brugdek fungeert als een stempelconstructie voor het landhoofd. In de berekening van het landhoofd is een horizontaal slappe veer aangebracht op het niveau van de oplegging. De veer is ontleend aan de rekstijfheid van de stalenliggers (h.o.h afstand is 0,76 m), de bijdrage van het beton is verwaarloosd ($k_h = ¾*EA/L_{totaal}$ / h.o.h. afstand van de liggers);
- De grondbedding langs de paalfundering is afgeleid uit de sonderingen en is geschat uit de formule: $k_h * D = 3q_c$. Hier is k_h de grondbedding, D is de equivalente middellijn van de paal en q_c is de conusweerstand;
- Een bovenbelasting van 10 kN/m^2 is in rekening gebracht.

Het rekenmodel is vooral gebruikt om optimale verdeling van de belastingen over de palen te bepalen. De verticale belastingen uit de gewichtsmuur (inclusief eigen

gewicht van de muur) worden verdeeld over de houtenvloer (direct onder de muur) gebracht. Dit om te voorkomen dat de houtenvloer slechts lokaal langs de hartlijn (systeemlijn) van de muur wordt belast door de verticale belastingen uit de muur. In het programma is de gewichtsmuur ingevoerd als een betonwand die dezelfde elasticiteitsmodulus en hetzelfde volumieke gewicht heeft als een metselwerk.

4.2. Rekenresultaten

4.2.1. Krachtsverdeling Tussenpijler

De krachtsverdeling in de tussenpijler is berekend m.b.v. Scia Engineer. De invoer van het model en de uitvoerresultaten zijn opgenomen in bijlage D. Deze berekening is uitgevoerd ter bepaling van de maximale paalbelasting onder de tussenpijler. Het toetsen van het metselwerk, de houtenvloer en de kespen zijn in deze berekening niet beschouwd.

Paalkrachten

		Momenten (kNm, U.G.T.)			
constructie	snede	mxD-	mxD+	myD-	N (kN)
Pijler	Palen				-184

4.2.2. Krachtsverdeling Landhoofd

De krachtsverdeling in het landhoofd is berekend m.b.v. Scia Engineer. De invoer van het model en de uitvoerresultaten zijn opgenomen in bijlage E.
Deze berekening is uitgevoerd ter bepaling van de maximum paalbelasting onder het landhoofd. Het toetsen van het metselwerk, de houtenvloer en de kespen zijn in deze berekening niet beschouwd.

De maatgevende palen zijn in de 2e palenrij direct onder de gewichtsmuur.

		Momenten (kNm, U.G.T.)			
constructie	snede	mxD-	mxD+	myD-	N (kN)
Landhoofd	Palen				-109

4.3. Samenvatting rekenresultaten

			Momenten (kNm, U.G.T.)			
Deel	constructie	snede	mxD-	mxD+	myD-	Vz / N (kN)
Onderbouw	Pijler	Palen				-193
	Land-hoofd	Palen				-132

5 Controle paalbelastingen

5.1. Onderbouw - pijler

De paalbelastingen van alle palen onder de tussenpijler zijn berekend.

Aangenomen Paalpuntdraagvermogen: $F_{r;max;punt;d}$ = 100 kN.
De maximale paalvoetbelasting, $F_{voet;max;d}$ = 184 kN

U.C. = 184 kN / 100 kN = 1,84 *(voldoet niet – 84% overschrijding van het aangenomen puntdraagvermogen)*

5.2. Onderbouw - landhoofd

Palen van het landhoofd
De maximum paalbelasting treedt op in de 2e paalrij onder de gewichtsmuur en bedraagt, $F_{max;d}$ = 109 kN.

Aangenomen Paalpuntdraagvermogen: $F_{r;max;punt;d}$ = 100 kN.
De maximale paalvoetbelasting, $F_{voet;max;d}$ = 109 kN

U.C. = 109 kN / 100 kN = 1,09 *(voldoet niet – 9% overschrijding van het aangenomen puntdraagvermogen).*

6 Conclusie en aanbevelingen

6.1. Resultaten uit herberekening van Brug 167

In dit document is de herberekening van de onderbouw van Brug 167 uitgevoerd en de maatgevende paalbelasting is vergeleken met het in deze berekening aangenomen paaldraagvermogen van de houten palen. Brug 167 ligt in de route van De Clercqstraat en gaat over de Singelgracht. Het doel van de herberekening van Brug 167 is om te beoordelen of de onderbouw van de brug gehandhaafd moet worden voor de komende 15 jaar, zonder dat de onderbouw ingrijpend wordt gerenoveerd. De brug is diverse keren aangepast in de periode tussen 1900 en 1925 en geschikt gemaakt voor verkeersklasse B van VOSB 1938.

Bij de beoordeling van de onderbouw van Brug 167 is uitgegaan van o.a. de Eurocode verkeersbelasting volgens NEN 6706, de grondslagen van het beoordelen van bestaand kunstwerk volgens NEN 8700 en de Nederlandse Praktijk Richtlijnen (ontwerp). Daarbij dient bij de berekeningen uitgegaan te worden van een restlevensduur van 1 jaar (voor de hele brug) en een referentieperiode van 15 jaar (voor wat betreft de verkeersbelasting). Dit houdt in dat er, naast het toepassen van reductiefactoren - ψ waarden – bij de dominante mobiele belasting, verlaagde belastingfactoren behorende bij een betrouwbaarheidsindex voor een restlevensduur van 1 jaar (= 2,5) mogen worden gebruikt. In de berekeningen zijn die reductiefactoren en de verlaagde belastingfactoren verwerkt in de rekenresultaten.

Uit de berekeningsresultaten van de paalbelastingen is gebleken dat de berekende paalbelastingen op de houten paalfundering van de tussenpijler ruim boven het aangenomen paaldraagvermogen van 100 kN heen gaan (84% overschrijding). Bij het landhoofd is deze overschrijding beperkt en bedraagt slechts 9%. Gezien de grote overschrijdingen in de paalbelastingen is het maar nog de vraag of het zinvol is om het onderzoek naar de huidige paalfunderingen te laten uitvoeren. Wanneer er echter een onderzoek wordt uitgevoerd naar het type fundering, de bacteriële aantasting en de houtspecificaties kan een nauwkeurig paaldraagvermogen worden bepaald.

6.2. Resultaten visuele inspectie Brug 167

Op basis van de bevindingen van de visuele inspecties die door het onderzoeksbureau [redacted] zijn uitgevoerd en verwerkt in het rapport met projectcode 11p014 zijn de volgende conclusies afgeleid:

- De brug is overbelast, er zijn grote scheuren in de (metselwerk) ondersteuningsconstructies;
- Er vindt degradatie in het metselwerk en de stalen profielen plaats a.g.v. ernstige lekkages in de brug;

- Het betonnen brugdek is in slechte staat, er zijn grote scheuren gedetecteerd in het betonnen brugdek;

Voorts is van het rapport het volgende aanbevolen:

- Het uitvoeren van een onderzoek naar eventuele uitspoeling van grond door de scheuren waardoor mogelijk holle ruimtes ontstaan achter de landhoofden;
- Het herstellen betonschades aan het brugdek;;
- Het herstellen van corrosieschade aan de stalen liggers;
- Uitvoeren van stabiliteitsberekening van het metselwerk;
- Toetsen van de stalenliggers;
- Het herstellen van alle lekkages.

Uit de inspectierapportage wordt geconcludeerd dat Brug 167 in een slechte staat verkeert. In het metselwerk van de ondersteuningsconstructies zijn grote scheuren waargenomen en die duiden op mogelijk overbelasten van de houtenpalen onder de brug.

6.3. Conclusie en aanbevelingen Brug 167

Er wordt geconcludeerd dat er bij Brug 167 onvoldoende capaciteit aanwezig is in de onderbouw om de verkeersbelasting volgens NEN 6706 toe te laten op het brugdek voor een gebruiksperiode van 15 jaar. In 2009 is de bovenbouw van Brug 167 herberekend. Uit die berekening is geadviseerd om geen verkeer op de voetpaden te laten rijden. De berekening is echter niet uitgevoerd conform de regels van NEN 8700. Bovendien is uit de visuele inspectie van de brug gebleken dat de brug in slechte staat verkeert maar in de berekening van het brugdek is daar geen rekening mee gehouden. De onderbouw voldoet niet en de afkeurgrens van 15 jaar niet is gehaald. De brug voldoet dus niet aan de minimaal wettelijk veiligheidsniveau. De brug moet worden versterkt of geheel worden vernieuwd.

Versterken van het brugdek: De grote scheuren in het betonnen dek moeten worden gerepareerd. Het betondek t.p.v. de tussenpijlers moet versterkt worden door aanbrengen van bijvoorbeeld koolstoflijmwapening (uitwendig plakwapening). Afhankelijk van de investeringskosten in de versterking van de brug moet worden vastgelegd of de brug regelmatig moet worden geïnspecteerd en/of gemonitoord op (watervoerende) scheuren en deformaties (in x, y en z richtingen). De uitwerking van de plakwapening en van het monitoringsplan kan in een vervolgfase worden uitgezet.

Versterken van houtenpaalfundering: De houten paalfundering voldoet niet aan de eis t.a.v. het paaldraagvermogen. Ook is de kans aanwezig dat de fundering van de pijler niet voldoet nadat er funderingsonderzoek is uitgevoerd. Het gevolg hiervan is dat de fundering van de brug versterkt of vernieuwd moet worden. Er dient een

nieuw paalsysteem te worden aangebracht dat de dragende functie overneemt van de bestaande houtenpalen. De bestaande houtenpalen kunnen blijven staan.

Vervangen van huidige brug

De huidige brug kan worden gesloopt en worden vervangen door een geheel nieuw te ontwerpen brug voor een gebruiksduur van 100 jaar. Voor het in bedrijf houden van het tramvervoer zal het nodig zijn om gedurende het eigenlijke bouwen van de nieuwe brug een hulpbrug naast de huidige brug te plaatsen. Hierop kunnen het autoverkeer, het tramverkeer en fietsers worden omgeleid. Het gefaseerde bouwen van de nieuwe brug is ook mogelijk, maar de kosten van het omleggen van de tramsporen kunnen aanzienlijk zijn.

Bijlage A Onderzoeksrapportage – [redacted]

Bijlage B In- en uitvoer van het model van tussenpijler (gemodelleerd in Scia Engineer)

Bijlage C In- en uitvoer van het model van landhoofd (gemodelleerd in Scia Engineer)

Bijlage D Belastingspreiding – spreiding van oplegreacties door metselwerk ondersteuningsconstructies

Bijlage E Selectie van de archieftekeningen Brug 106

Colofon
Constructieve beoordeling Brug 167 - Herberekening van bruggen in Raadhuisstraat, Herberekening van boven- en onderbouw van staalbeton brug

Tekst
Gemeente Amsterdam
Ingenieursbureau

Niets uit deze uitgave mag worden overgenomen zonder bronvermelding.

Ingenieursbureau Amsterdam
Weesperstraat 430
Postbus 12693
1100 AR Amsterdam