

Engineering fiets/voetgangersbruggen
Recreatiegebied Bijlmerweide te Amsterdam
Hoofdberekening

Projectnr. 270455
Referentienr. 270455-BER-DO-01
Datum 10 september 2014

Opdrachtgever

Jos Scholman Infra b.v.
Postbus 1458
3430 BL NIEUWEGEIN

Datum vrijgave	Beschrijving revisie	Berekening	Controle	Vrijgave
10-9-2014	1.0 definitief	E.R. Valthuis	K.D. Pascha	C.R.J. van Gelder

Contactadres:

Monitorweg 29
Postbus 10044
1301 AA ALMERE

Copyright © 2014

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, elektronisch of op welke wijze dan ook, zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.

Inhoud

blz.

1	Inleiding	6
1.1	Algemeen	6
1.2	Revisiebeheer	6
1.3	Doel en scope van het rapport	6
2	Basis voor het ontwerp	8
2.1	Normen, richtlijnen en literatuur	8
2.2	Eisen, uitgangspunten en randvoorwaarden	8
2.3	Aan project gerelateerde documenten	9
2.4	Rekenprogrammatuur	9
2.5	Gestelde eisen vanuit PVE	9
3	Ontwerp van de constructie	10
4	Materiaal- en grondgegevens	13
4.1	Materiaalgegevens	13
4.2	Grondgegevens	13
5	Belastingen	14
5.1	Permanente belasting	14
5.2	Veranderlijke belasting	14
5.3	Belastingfactoren en belastingcombinaties	14
5.3.1	<i>Belastinggevallen</i>	<i>16</i>
5.3.2	<i>Belastingcombinaties</i>	<i>16</i>
6	Berekening	17
6.1	Groep 1: Voetgangersbruggen	17
6.1.1	<i>Houten dek</i>	<i>17</i>
6.1.2	<i>Stalen dekliggers</i>	<i>17</i>
6.2	Groep 2: Fiets/voetgangersbruggen (incl. dienstvoertuig)	20
6.2.1	<i>Houten dek</i>	<i>20</i>
6.2.2	<i>Stalen dekliggers</i>	<i>20</i>
6.3	Funderingen	24
6.3.1	<i>Paalfunderingen tussensteunpunten</i>	<i>24</i>
6.3.2	<i>Ontwerp funderingsbalken</i>	<i>24</i>
6.3.2.1	Voetgangersbruggen	25
6.3.2.2	Fietsbruggen	25
6.3.3	<i>Paalfundering landhoofden</i>	<i>26</i>
6.3.3.1	Voetgangersbruggen	26
6.3.3.2	Fietsbruggen	27
6.3.3.3	Sonderingen	27
6.3.4	<i>Overige onderdelen</i>	<i>28</i>
7	Samenvatting	29

Bijlagen

Bijlage 1: Grondonderzoek

Bijlage 2: Berekenen en toetsen brugdek

Bijlage 3: Berekening doorsnede krachten dek**Bijlage 4: Paalfunderingsberekening**

Bijlage 4: Paalfunderingsberekening

Bijlage 5: Berekening fundering: landhoofden + buispalen

Bijlage 6: Indicatieve berekening leuningwerk

Bijlage 7: Indicatieve berekening boutverbinding leuningwerk

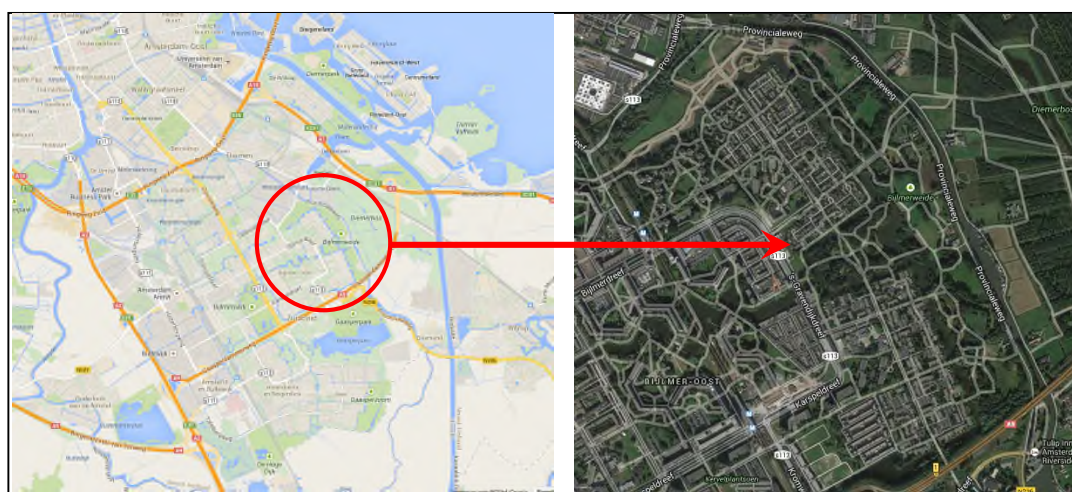
Bijlage 8: Indicatieve paalberekening nieuwe paal

1 Inleiding

1.1 Algemeen

In het kader van de nieuwe routing van het fietspad in het recreatiegebied de Boseilanden moeten twee typen nieuwe bruggen, een voetgangersbrug en een fiets/voetgangersbrug worden gebouwd.

Dit rapport omvat de hoofdberekening van deze twee nieuwe bruggen. De berekeningen zijn uitgevoerd door Antea Group te Almere in opdracht van de gemeente Amsterdam.



Afbeelding 1: Locatie van het gebied Bijlmerweide waar de bruggen gebouwd moeten worden

1.2 Revisiebeheer

Revisie	status	Datum	Gewijzigde hoofdstukken	Beschrijving wijzigingen
0.1	intern	28-08-2014	-	eerste versie voor interne controle
1.0	concept		divers	tweede versie na interne controle

Tabel 1: Revisiebeheer

1.3 Doel en scope van het rapport

Het rapport omvat de hoofdberekening van 19 kunstwerken. Dit houdt in dat de uitgangspunten eenduidig worden vastgelegd en de belastingen worden bepaald. Vervolgens worden de materialen, maatvoering en schematisatie vastgelegd en wordt de constructie berekend om de dimensies te bepalen en vast te stellen. De nieuwe fietsbruggen worden geheel berekend in dit rapport van dek tot fundering.

De bruggen worden in 2 groepen opgedeeld. Een groep is alleen toegankelijk voor voetgangers en een groep is toegankelijk voor een dienstvoertuig (5 tons voertuig).

Groep 1: Voetgangersbruggen					
Brug nummer	Breedte brugdek [m]	Lente totale brug [m]	Aantal overspanningen	Vorm	Lengte grootste overspanning [m]
1181	1,80	7,00	1	Getoogd	7,00
1184	1,80	10,00	1	Getoogd	10,00
1189	1,80	15,50	1	Getoogd	15,50
1190	1,80	14,00	1	Getoogd	14,00
1191	1,80	12,00	1	Getoogd	12,00
1192	1,80	11,50	1	Getoogd	11,50
1196	1,80	11,50	1	Getoogd	11,50

Tabel 2: Overzicht groep 1: Voetgangersbruggen

Groep 2: Fiets/voetgangersbruggen (incl. dienstvoertuig)					
Brug nummer	Breedte brugdek [m]	Lente totale brug [m]	Aantal overspanningen	Vorm	Lengte grootste overspanning [m]
1133	3,00	32,00	3	Getoogd	11,00
1157	3,00	17,00	3	Getoogd	7,00
1180	3,00	17,00	3	Getoogd	7,00
1182	3,00	7,00	1	Getoogd	7,00
1183	3,00	7,00	1	Getoogd	7,00
1186	3,00	11,00	1	Getoogd	11,00
1187	3,00	10,00	1	Getoogd	10,00
1193	3,00	14,00	1	Getoogd	14,00
1195	3,00	11,50	1	Getoogd	11,50
1197	3,00	11,50	1	Getoogd	11,50
1199	3,00	10,00	1	Getoogd	10,00
5000	3,00	18,00	1	Getoogd	18,00

Tabel 3: Overzicht groep 2: Fiets/voetgangersbruggen (incl. dienstvoertuig)

2 Basis voor het ontwerp

2.1 Normen, richtlijnen en literatuur

Bij dit project zal gebruik worden gemaakt van de onderstaande normen en richtlijnen.

Norm	Omschrijving	ref
NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011, NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011/NB:2011	Grondslagen van het constructief ontwerp	[N.1]
NEN-EN 1991-1-1+C1:2011, NEN-EN 1991-1-1+C1:2011/NB:2011	Belastingen op constructies - deel 1-1: Algemene belastingen - Volumieke gewichten, eigengewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen	[N.2]
NEN-EN 1991-2+C1:2011, NEN-EN 1991-2+C1:2011/NB:2011	Belastingen op constructies - deel 2: Verkeersbelastingen op bruggen	[N.3]
NEN-EN 1993-1-1+C2:2011, NEN-EN 1993-1-1+C2:2011/NB:2011	Ontwerp en berekening van staalconstructies - deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen	[N.4]
NEN 9997-1+C1:2012	Geotechnisch ontwerp van constructies - deel 1: Algemene regels	[N.5]

Tabel 4: Toegepaste normen

Richtlijn/ ontwerpvoorschrift	Omschrijving	ref
CUR 166 6 ^e druk, deel 1 en 2	Damwandconstructies	[R.1]

Tabel 5: Toegepaste richtlijnen en literatuur

2.2 Eisen, uitgangspunten en randvoorwaarden

De volgende uitgangspunten worden gehanteerd:

Veiligheidsklasse / gevolgklasse:	CC 1
Levensduur:	50 jaar
Fietsvoetgangersbrug:	
Maximale hoogte brugdek:	NAP - 4,35 m;
Maaiveldhoogte:	NAP - 4,40 m;
Waterstand Z.P.:	NAP - 5,85 m;
Waterstand W.P.:	NAP - 6,00 m;
Brugafwerking:	3 mm slijtlaag
Verkeersindeling conform Eurocode:	fiets / voetgangersbrug
Categorie sterke:	categorie 2
Belastingen achter landhoofd:	5 kN/m ² (mensen massa)
Voetgangersbrug:	
Maximale hoogte brugdek:	NAP - 4,45 m;
Maaiveldhoogte:	NAP - 4,50 m;
Waterstand Z.P.:	NAP - 5,85 m;
Waterstand W.P.:	NAP - 6,00 m;
Verkeersindeling conform Eurocode:	voetgangersbrug
Categorie sterke:	categorie 2
Belastingen achter landhoofd:	5 kN/m ² (mensen massa)

2.3 Aan project gerelateerde documenten

Als basis voor de berekening is gebruik gemaakt van de volgende documenten:

Document	Uitgave	ref
Grondonderzoek uitgevoerd door MOS grondmechanica BV Betreft Werkzaamheden Bijlmerweide te Amsterdam	Rapportnr. R1401667-AM_1 d.d. 15-5-2014 Dit onderzoek is als bijlage 1 in dit rapport opgenomen.	[D.1]

Tabel 6: Basisdocumentatie voor dit project

Als basis voor de berekening is gebruik gemaakt van de volgende tekeningen:

Tekening	Uitgave	ref
270455-C-2-01 voorlopig ontwerp fiets / voetgangersbrug	4-7-2014	[T.1]

Tabel 7: Basistekeningen voor dit project

2.4 Rekenprogrammatuur

De volgende computerprogramma's zullen, indien nodig, worden gebruikt.

- Spreadsheetprogramma 'Excel' versie 2003;
- D-Sheet Piling version 9.2 (Build 2.2).

Binnen Antea Group worden de volgende spreadsheets toegepast:

- Standaard spreadsheets Antea Group, zoals:
 - Draagkracht palen belast op druk volgens NEN 9997-1;
 - Berekening houten dekplanken met verkeersbelasting;
 - Berekening houten damwand conform NEN 9997-1;
 - Berekening betonnen funderingsbalk met wapening conform NEN-EN 1992;
 - Indicatieve berekening leuning.

Standaard spreadsheets Antea Group

Standaard spreadsheets opgesteld binnen Antea Group zijn intern geverifieerd en worden bij gebruik enkel getoetst op de juiste toepassing ervan. Deze spreadsheets zijn te herkennen aan de voettekst per blad waarop een versienummer vermeld wordt.

2.5 Gestelde eisen vanuit PVE

In onderstaande tabel worden de eisen gegeven waaraan de bruggen dienen te voldoen.

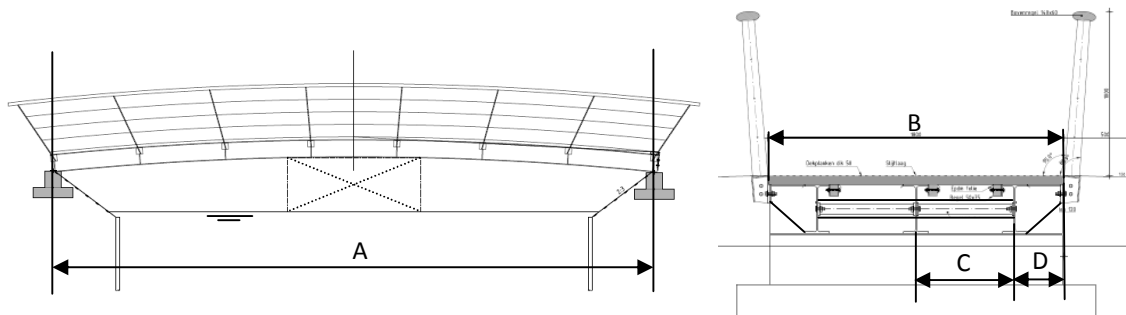
Eisnummer	Gestelde Eis	Behandeld in paragraaf
SES-00018	De onderhoudsbruggen dienen toegankelijk te zijn voor een dienst-/ onderhoudsvoertuig met een gewicht van 5000 kg conform artikel 5.3.2.3 van NEN-EN 1991-2+C1	
SES-00008	De hoofd draagconstructie van de Bruggen Bijlmerweide dient een ontwerp levensduur te hebben van ten minste 80 jaar, uitgaande van gevolgklasse CC1 conform NEN-EN 1990.	
SES-00003	De Bruggen Bijlmerweide dienen bestand te zijn tegen alle van toepassing zijnde belastingen.	
SES-00019	De hoogte van de leuning ten opzichte van het brugdek dient ten minste 1,0 meter te zijn, conform Bouwbesluit 2012.	
SES-00044	De h.o.h. afstand van de balusters dient tussen de 1,60 en 2,00 meter te zijn ter plaatsen van de handregel.	
SES-00015	De leuning van de Bruggen Bijlmerweide dienen te zijn voorzien van een houten handregel die voldoet aan onderstaande eisen: • knoest en splintervrij • met eigenschappen minimaal gelijk aan Bilinga (vaak toegepast houtsoort) • onbehandeld • aantoonbare geleverd met fsc-keurmerk.	

Tabel 8: Eisen conform PVE

3 Ontwerp van de constructie

Groep 1: Voetgangersbruggen

Het dek van de brug is opgebouwd uit stalen liggers (incl. kipsteunen) die zijn voorzien van een hardhouten dek met een slijtlaag. De bruggen worden uitgevoerd met één overspanning (A) en de totale breedte van het brugdek (B) is bij deze bruggen gelijk aan 1,80 m. De stijlen van het leuningwerk staan h.o.h. 2,00 m uit elkaar (daarbij ook de kipsteunen onder de bruggen). De onderbouw bestaat uit twee identieke landhoofden, welke bestaan uit in het werk gestort beton. De landhoofden zijn gefundeerd op stalen buispalen.



Afbeelding 2: Zijaanzicht en dwarsdoorsneden groep 1: voetgangersbruggen

In onderstaande tabel worden de hoofdafmetingen van de verschillende bruggen weergegeven:

Groep 1: Voetgangersbruggen											
Brug nummer	Breedte brugdek [m]		Grootste overspanning brugdek [m]		Aantal liggers	H.o.h. afstand liggers [mm]		Uitkraging dek [mm]		Lente totale brug [m]	Dekdikte [mm]
1181	B	1,80	A	7,00	3	C	600,0	D	300,0	7,00	50,0
1184	B	1,80	A	10,00	3	C	600,0	D	300,0	10,00	50,0
1189	B	1,80	A	15,50	3	C	600,0	D	300,0	15,50	50,0
1190	B	1,80	A	14,00	3	C	600,0	D	300,0	14,00	50,0
1191	B	1,80	A	12,00	3	C	600,0	D	300,0	12,00	50,0
1192	B	1,80	A	11,50	3	C	600,0	D	300,0	11,50	50,0
1196	B	1,80	A	11,50	3	C	600,0	D	300,0	11,50	50,0

Tabel 9: Overzicht groep 1: Voetgangersbruggen

Voetgangersbrug

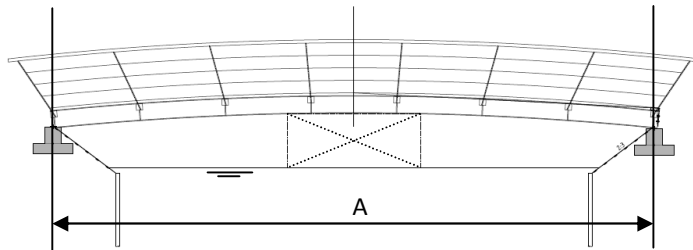
Het brugdek is te smal voor een dienstvoertuig (1,80 m). Uitgegaan wordt van een hardhouten variant. De maatgevende belasting wordt hierdoor $5,0 \text{ kN/m}^2$ variabele belasting.

Gezien de geringe verkeersintensiteit op de weg, wordt vermoeiing niet als maatgevend criterium beschouwd en wordt derhalve niet getoetst.

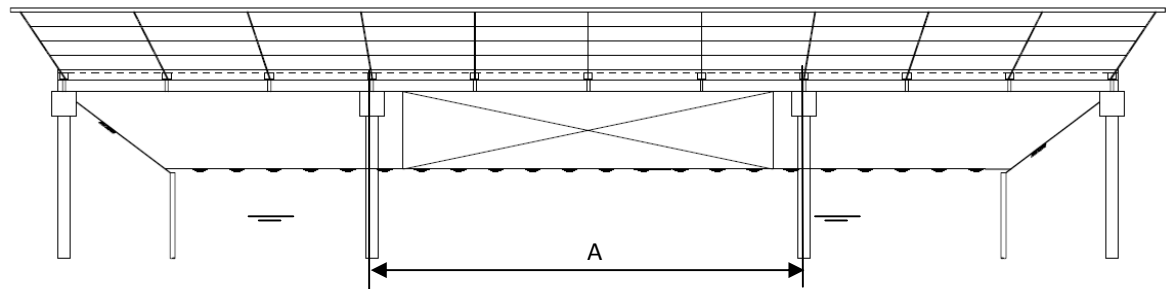
Door het toepassen van kipsteunen bij elke aansluiting van het leuningwerk aan het brugdek wordt de kniklengte van de langsliggers dermate klein dat het effect kip als mede de knik niet zal optreden.

Groep 2: Fiets/voetgangersbruggen (incl. dienstvoertuig)

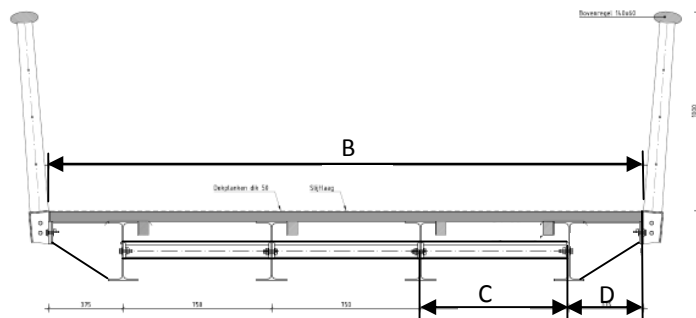
Het dek van de brug is opgebouwd uit stalen liggers (incl. kipsteunen) die zijn voorzien van een hardhouten dek met een slijtlaag. De bruggen worden uitgevoerd met één maatgevende overspanning (A) en de totale breedte van het brugdek (B) is bij deze bruggen gelijk aan 3,00 m (Een drietal bruggen heeft 3 overspanningen. De stijlen van het leuningwerk staan h.o.h. 2,00 m uit elkaar (daarbij ook de kipsteunen onder de bruggen). De onderbouw bestaat uit twee identieke landhoofden, welke bestaan uit in het werk gestort beton. De landhoofden zijn gefundeerd op stalen buispalen.



Afbeelding 3: Zijaanzicht brug met enkele (maatgevende) overspanning groep 2: Fiets/voetgangersbruggen (incl. dienstvoertuig)



Afbeelding 4: Zijaanzicht brug met (maatgevende) overspanning groep 2: Fiets/voetgangersbruggen (incl. dienstvoertuig)



Afbeelding 5: Dwarsdoorsnede brug groep 2: Fiets/voetgangersbruggen (incl. dienstvoertuig)

In onderstaande tabel worden de hoofdafmetingen van de verschillende bruggen weergegeven:

Groep 2: Fiets/voetgangersbruggen (incl. dienstvoertuig)											
Brug nummer	Breedte brugdek [m]		Grootste overspanning brugdek [m]		Aantal liggers	H.o.h. afstand liggers [mm]		Uitkraging dek [mm]		Lente totale brug [m]	Dekdikte [mm]
1133	B	3,00	A	11,00	4	C	750,0	D	375,0	32,00	50,0
1157	B	3,00	A	7,00	4	C	750,0	D	375,0	17,00	50,0
1180	B	3,00	A	7,00	4	C	750,0	D	375,0	17,00	50,0
1182	B	3,00	A	7,00	4	C	750,0	D	375,0	7,00	50,0
1183	B	3,00	A	7,00	4	C	750,0	D	375,0	7,00	50,0
1186	B	3,00	A	11,00	4	C	750,0	D	375,0	11,00	50,0
1187	B	3,00	A	10,00	4	C	750,0	D	375,0	10,00	50,0
1193	B	3,00	A	14,00	4	C	750,0	D	375,0	14,00	50,0
1195	B	3,00	A	11,50	4	C	750,0	D	375,0	11,50	50,0
1197	B	3,00	A	11,50	4	C	750,0	D	375,0	11,50	50,0
1198	B	3,00	A	7,00	4	C	750,0	D	375,0	7,00	50,0

Tabel 10: Overzicht groep 2: Fiets/voetgangersbruggen (incl. dienstvoertuig)

Fiets/voetgangersbruggen (incl. dienstvoertuig)

Het brugdek is 3,00 m breed en daardoor toegankelijk voor een dienstvoertuig (omschreven in paragraaf 5 [art. 5.2]). Uitgegaan wordt van een composiet variant. De maatgevende belasting, voor alle overspanningen, voor de momenten en de dwarskrachten van de liggers is de $5,0 \text{ kN/m}^2$ variabele belasting (voor de overspanningen van 7,00 m levert het dienstvoertuig een nagenoeg gelijk moment en een kleinere dwarskracht).

Gezien de geringe verkeersintensiteit op de weg, wordt vermoeiing niet als maatgevend criterium beschouwd en wordt derhalve niet getoetst.

Door het toepassen van kipsteunen bij elke aansluiting van het leuningwerk aan het brugdek wordt de kniklengte van de langsliggers dermate klein dat het effect kip als mede de knik niet zal optreden.

4 Materiaal- en grondgegevens

4.1 Materiaalgegevens

Voor de materiaaleigenschappen van de verschillende constructieonderdelen zijn de onderstaande gegevens aangehouden:

Onderdeel	Materiaal	Kwaliteit	Milieuklasse	dekking [mm]
Dek	Composiet		-	-
	Staal	S235	-	-
Landhoofden	Beton	C30/37	XC4 / XD3 / XF4	55
Funderingspalen tussensteunpunten	Beton	C45/55 (min.)	XC2 / XD2 / XA2	*
Funderingspalen landhoofden	Staal			

Tabel 11: Materiaal gegevens

* = door leverancier te bepalen

Blijvende voorspanning palen: 4,5 N/mm²

Wapening B500B

Damwanden en gording: D50

Bouten en ankers 8.8

Stalen buispalen met gesloten punt, geheid

4.2 Grondgegevens

De grondopbouw is ontleend aan het grondonderzoek met de sonderingen DSM 002 die terug te vinden is in bijlage 1. Voor het bepalen van de grondparameters is uitgegaan van tabel 2.b van NEN 9997-1.

Grondsoort DSKM1b	BK. laag [m NAP]	$\gamma/\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	φ' [°]	δ [°]	c [kN/m ³]	$k_{h,\text{laag,rep}}$ [kN/m ³]
Zand, schoon, matig	M.V.	18/20	32,5	21,7	0,0	20000/10000/5000
Veen, matig voorbelast, matig	-4,00	12/12	15,0	0,0	2,5	2000/1000/500
Klei, zwak zandig, matig	-5,00	18/18	22,5	7,5	4,0	5000/2500/1250
Zand, schoon, matig	-7,50	18/20	32,5	21,7	0,0	2000/10000/5000
Zand, schoon, vast	-10,00	19/21	35,0	23,3	0,0	40000/20000/10000

Tabel 12: Grondgegevens behorende bij sondering DSK 002

Ter voorkoming van foutmeldingen en om toch met schuine glijvlakken te mogen rekenen dient rekening gehouden te worden in D-Sheet Piling dat het hoekverschil van φ' niet groter wordt dan 15°. Daardoor wordt er gerekend voor de zandlagen met een max. $\varphi' = 30^\circ$. In bovenstaande tabellen worden de zandlagen nog wel met de uit de norm voorgeschreven φ' (glijvlakken) weergegeven.

Neutrale gronddrukcoëfficiënt $\lambda_n = 0,5 -$

5 Belastingen

5.1 Permanente belasting

Eigen gewicht beton:	=	25,0 kN/m ³ ;
Eigen gewicht staal:	=	78,5 kN/m ³ ;
Eigen gewicht hardhout:	=	10,5 kN/m ³ ;
Eigen gewicht asfalt / slijtlaag:	=	23,0 kN/m ³ .

Gewicht leuning (per stuk)	=	1,00 kN/m ¹
----------------------------	---	------------------------

5.2 Veranderlijke belasting

Gelijkmatig verdeelde belasting:	=	5,00 kN/m ²
Bijbehorende horizontale belasting:	=	0,50 kN/m ¹ (10% van gelijkmatig verdeelde belasting)

Dienstvoertuig:	=	conform NEN-EN 1991-2+C1/NB:2011.
Bijbehorende horizontale belasting:	=	15,0 kN/m ¹ (30% van totaal gewicht dienstvoertuig)

Voor een dienstvoertuig moeten de volgende kenmerken zijn aangenomen:

- Twee assen met een wielbasis van 3,00 m;
- Karakteristieke waarde van de aslast is 25,0 kN;
- Voor elke as twee wielen met een spoorbreedte van 1,75 m;
- 0,25 x 0,25 m contactvlak voor elk wiel.

De horizontale belastingen dienen opgenomen te worden door de damwandconstructie die aangebracht wordt. Het dek wordt met klemkickers verbonden aan de betonconstructie van het landhoofd zodat deze de horizontale belasting overdragen aan de passieve gronddruk aan de overzijde van de brug.

5.3 Belastingfactoren en belastingcombinaties

Bruikbaarheidsgrenstoestand

Voor de bruikbaarheidsgrenstoestand behoren de rekenwaarden voor de belastingen uit de NEN-EN 1990 tabel A2.6 te zijn genomen. In deze berekening zijn alleen de frequente belastingcombinaties toegepast.

Combinatie	Blijvende belastingen G_d		Voor- spanning	Veranderlijke belastingen Q_d	
	Ongunstig	Gunstig		Overheersend	Andere
Karakteristiek	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	P	$Q_{k,1}$	$\psi_{0,j} Q_{k,j}$
Frequent	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	P	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,j} Q_{k,j}$
Quasi-blijvend	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	P	$\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,j} Q_{k,j}$

Tabel 13: NEN-EN 1990/NB - Tabel NB.12-A2.4(B) - Rekenwaarde voor belastingen voor gebruik in de belastingcombinaties

Overeenkomstig de NEN-EN1990/NB art. A2.4.1 moeten voor de γ - factoren voor verkeers- en andere belastingen voor de bruikbaarheidsgrenstoestand gelijk zijn genomen aan 1,0.

Fundamentele combinaties uiterste grenstoestand

Voor het vaststellen van de rekenwaarde van de belastingen voor de fundamentele combinaties (STR/GEO) voor de betonconstructie wordt gebruik gemaakt van de tabellen (groep B) NB.12-A2.4(B) en NB.13-A2.4(B) uit de NEN-EN 1990/NB conform art. A.2.3.1(4). Voor de fundering geldt dat uitgegaan kan worden van dezelfde tabellen als bij de betonconstructie overeenkomstig de NEN-EN 1990/NB art. A2.3.1(5). De aan te houden combinaties zijn gegeven in onderstaande tabel.

Blijvend en tijdelijke ontwerpsituaties	Blijvende belastingen		Voor- spanning	Overheersende veranderlijke belasting ^{a)}	Tegelijkertijd optredende veranderlijke belastingen ^{a)}	
	Ongunstig	Gunstig			Belangrijkste (indien aanwezig)	Andere
(Vgl. 6.10a)	$\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	γ_P		$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j}$
(Vgl. 6.10b)	$\xi \gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$ waarbij $\xi = 0,80$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	γ_P	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j}$

^{a)} Veranderlijke belastingen zijn die, die zijn beschouwd in tabellen NB.9 – A2.1, NB.10 – A2.2 en A2.3.

Tabel 14: NEN-EN 1990/NB - Tabel NB.12-A2.4(B) - Rekenwaarde voor de belastingen (STR/GEO) (groep B)

De aan te houden belastingfactoren zijn in onderstaande tabel weergegeven. De factoren voor gevolgklasse CC1 te worden aangehouden.

Gevolgklasse	β	G		Verkeer (met $\psi = 1$)	Overig veranderlijk (met $\psi = 1$)
		$\gamma_{G,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf}$		
		6.10a (incl. ξ)	6.10b en 6.10b		
CC1	3,3	1,20	1,10	0,9	1,35
CC2	3,8	1,30	1,20	0,9	1,5
CC3	4,3	1,40	1,25	0,9	1,65

$\gamma = 0$ voor gunstig werkende veranderlijke belastingen

Voor γ_P zie de aanbevelingen in de desbetreffende materiaalgebonden Eurocodes 1992 t.m. 1999.

Voor de berekening van het effect van ongelijkmatige zettingen geldt dat $\gamma_{Q,sett} = 1,20$ in het geval van een lineaire berekening en $\gamma_{Q,sett} = 1,35$ in het geval van een niet lineaire berekening. Gunstig werkende zettingsverschillen worden niet in rekening gebracht. De grootte van de zettingen is bepaald op basis van de karakteristieke belastingcombinatie en de karakteristieke waarden voor de grondeigenschappen.

OPMERKING De factor K_{ψ} volgens B 3.3 is in de waarden van γ verwerkt; voor de zettingsberekening blijft de betrouwbaarheidsdifferentiatie achterwege.

Tabel 15: NEN-EN 1990/NB - Tabel NB.13-A2.4(B) - Belastingfactoren (STR/GEO) (groep B)

Momentaanfactoren

De ψ - factoren voor groepen van verkeersbelastingen en de meer algemene andere belastingen moeten zijn genomen uit NEN-EN 1990/NB tabel NB.9 - A2.1.

Belasting	Symbool	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Verkeersbelastingen (zie NEN-EN 1991-2+C1, tabel 4.4)	gr1a (LM1 + voetgangers- of fietspad-belastingen)	0,8	0,8	0,4
	TS		0,8	
	UDL		0,8	
	Horizontale belasting		0,8	
	voetgangers- + fietspad-belastingen		0,8 ^d	
	gr1b (enkele as)	0	0,8 ^b	0
	gr2 (horizontale krachten dominant)	0,8	0,8 ^c	0
	gr3 (voetgangersbelastingen)	0	0,8 ^b	0
	gr4 (LM4 – belasting door een menigte)	0	0,8 ^b	0
	gr5 (LM3 – speciale voertuigen)	0	0,8 ^b	0
Windkrachten	F_{Wk} blijvende ontwerpsituatie		0,3	0,6 ^b
	uitvoering		0,8	0
	F_{W*}		1,0	0
Thermische belastingen	T_k	0,3	0,8 ^b	0,3 ^a
Sneeuwbelastingen	$Q_{S,k}$ blijvende ontwerpsituatie	0	0	0
	uitvoering	0,6	0	0
Belastingen tijdens de bouw	Q_c	1,0	0	1,0

^{a)} In de uiterste grenstoestand mag voor ψ_2 voor thermische belasting de waarde 0 zijn aangehouden.

^{b)} Voor aanrijding op of onder de brug en aanvaring is $\psi_1 = 0$.

^{c)} Voor scheurvormingsberekeningen van beton zijn de verschillende waarden van ψ_1 gelijk aan de waarden behorend bij gr1a.

^{d)} Voor scheurvormingsberekeningen van beton moet $\psi_1 = 0,4$ zijn aangehouden.

OPMERKING Groepen verkeersbelastingen hoeven niet met elkaar te zijn gecombineerd.

Tabel 16: NEN-EN 1990/NB tabel NB.9 - A2.1 - momentaanfactoren

5.3.1 Belastinggevallen

Voor de belastinggevallen wordt alleen naar de brug gekeken. Voor de variabele belastingen op de brug wordt alleen uitgegaan van de maatgevende verkeersbelastingen. Overige belastingcombinaties (als wind en sneeuw) worden beschouwd als niet maatgevend.

In onderstaande tabel worden de maatgevende belastinggevallen weergegeven.

Geval	Type	Omschrijving	Afkorting
BG1	Permanent	Eigen gewicht	PB
BG2	Permanent	Grondbelasting	
BG3	Permanent	Liggers brugdek	
BG4	Permanent	Druklaag brugdek	
BG6	Permanent	Leuning op rand brugdek	
BG7	Veranderlijk	Verkeer op brugdek	VB
BG8	Veranderlijk	Verkeer achter landhoofd	

Tabel 17: Maatgevende belastinggevallen.

5.3.2 Belastingcombinaties

De belastingcombinaties waarmee gerekend wordt zijn de fundamentele combinaties en de bruikbaarheidgrenstoestand conform gevolgklasse CC1.

Fundamentele combinaties		
Naam	Verg.	Combinatie
FC1	6.10a	$1,20 * PB + 1,20 * 0,8 * VB$
FC2	6.10b	$1,10 * PB + 1,20 * VB$

Tabel 18: Fundamentele combinaties

Bruikbaarheidgrenstoestand		
Naam	Verg.	Combinatie
IC1	6.10a	$1,0 * PB + 0,80 * VB$
IC2	6.10b	$1,0 * PB + 1,0 * VB$

Tabel 19: Bruikbaarheidgrenstoestand

6 Berekening

In dit hoofdstuk worden de twee bruggen berekend. Per brug worden de betreffende onderdelen afzonderlijk doorgerekend en getoetst.

6.1 Groep 1: Voetgangersbruggen

6.1.1 Houten dek

Het dek bestaat uit hardhouten dekliggers met als langsliggers staalprofielen (welke gekoppeld zijn met staalprofielen als kipsteunen).

Houten dekdelen

Voor het hardhouten dek wordt uitgegaan van sterkteklasse D60. Planken met afmeting 200 x 50 mm en voorzien een slijtlaag. Het maatgevende belastinggeval is het dienstvoertuig.

In bijlage 2: "Berekening en toetsen brugdek" wordt het dek doorgerekend.

Maatgevende toetsingen zijn:

Buiging:

$$\begin{aligned}\sigma_{m,y,d} &= M_{\max} / W_y &= 10,9 \text{ N/mm}^2 \\ f_{m,y,d} &= \text{toelaatbare buigtrekspanning} &= 32,3 \text{ N/mm}^2 \\ \text{U.C.} &= 10,9 / 32,3 = 0,33 \leq 1,0 &\Rightarrow \text{Voldoet}\end{aligned}$$

Dwarskracht:

$$\begin{aligned}\tau_d &= V_{\max} / (I_y / 3 \times A) &= 0,8 \text{ N/mm}^2 \\ f_{v,d} &= \text{toelaatbare schuifspanning} &= 2,4 \text{ N/mm}^2 \\ \text{U.C.} &= 0,8 / 2,4 = 0,33 \leq 1,0 &\Rightarrow \text{Voldoet}\end{aligned}$$

Doorbuiging:

$$\begin{aligned}u_{\text{bij;excl.krp}} &= \text{alleen t.g.v. verkeer} &= 0,81 \text{ mm} \\ u_{\text{bij;toel.}} &= \text{toelaatbare buiging} &= 0,90 \text{ mm} \\ \text{U.C.} &= 0,81 / 0,90 = 0,90 > 1,0 &\Rightarrow \text{Voldoet}\end{aligned}$$

6.1.2 Stalen dekliggers

Voor de berekening van de stalen liggers van alle voetgangersbruggen wordt in tabel 21 een samenvatting gegeven. Als voorbeeld wordt voor brugnummer 1189 de berekening verder uitgewerkt. De overige profielen zijn doorgerekend in bijlage 3, waarbij de maatgevende brug berekend is.

Groep 1: Voetgangersbruggen										
Brug nr.	Maatgevende oversp. [m]	H.o.h. afstand liggers [mm]	Type ligger	Max. Moment [kNm/m']	Max. Dwarskracht [kN/m']	Max Buiging [mm]	Frequentie [Hz]			
1181	A 7,00	C 600,0	IPE 220	34,0 (< 59,0)	20,0 (< 161,0)	21,5 (< 28,0)	7,7 (> 5,0)			
1184	A 10,00	C 600,0	IPE 300	72,0 (< 131,0)	29,0 (< 268,0)	29,7 (< 40,0)	7,0 (> 5,0)			
1189	A 15,50	C 600,0	IPE 400	181,0 (< 273,0)	47,0 (< 435,0)	61,9 (< 62,0)	5,4 (> 5,0)			
1190	A 14,00	C 600,0	IPE 400	148,0 (< 273,0)	42,0 (< 435,0)	41,2 (< 56,0)	6,3 (> 5,0)			
1191	A 12,00	C 600,0	IPE 330	105,0 (< 168,0)	35,0 (< 312,0)	43,7 (< 46,0)	6,1 (> 5,0)			
1192	A 11,50	C 600,0	IPE 330	97,0 (< 168,0)	34,0 (< 312,0)	36,9 (< 46,0)	6,5 (> 5,0)			
1196	A 11,50	C 600,0	IPE 330	97,0 (< 168,0)	34,0 (< 312,0)	36,9 (< 46,0)	6,5 (> 5,0)			

Tabel 20: Overzicht groep 1: Voetgangersbruggen

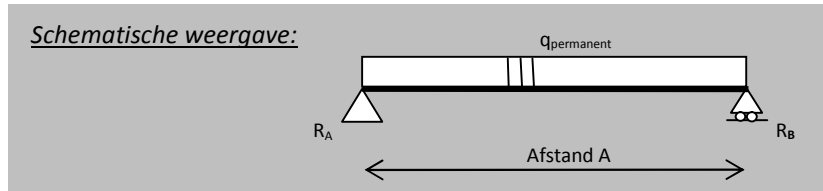
Voor de dekliggers wordt uitgegaan van IPE 400 profielen.

$$\begin{aligned}I_{y;IPE400} &= &= 23130 \times 10^4 \text{ mm}^4 \\ W_{y;IPE400} &= &= 1160 \times 10^3 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

Permanente belasting:

Het gewicht van de IPE 400 is 77,6 kg/m. Dit geeft een belasting van:

$$\begin{aligned} q_{\text{IPE400}} &= (66,3 \times 10) / 1000 &= 0,66 \text{ kN/m}^1 \\ q_{\text{dek}} &= (0,05 \times 10,5 + 0,01 \times 23,0) \times 0,60 &= 0,45 \text{ kN/m}^1 + \\ & &\approx 1,10 \text{ kN/m}^1 \end{aligned}$$



Reactiekracht per ligger:

$$R_A = R_B = (1,10 \times 15,5) / 2 = 8,50 \text{ kN}$$

Maximale moment:

$$M_{\text{max}} = \frac{1}{8} \times 1,10 \times 15,5^2 = 33,0 \text{ kNm}$$

Maximale vervorming:

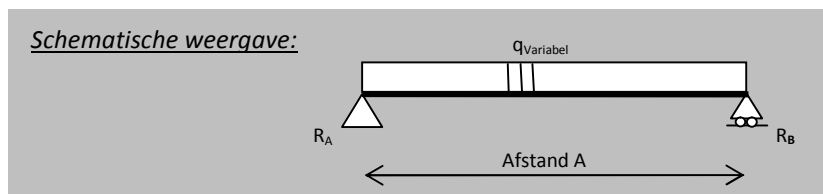
$$u_{\text{max}} = \frac{5}{384} \times \frac{1,10 \times 15.500^4}{2,1 \cdot 10^5 \times 23.130 \cdot 10^4} = 17,0 \text{ mm}$$

Variabele belasting:

Uitgegaan wordt van een gelijkmatig verdeelde belasting. Waarbij vanuit het leuningwerk ca. 1,0 kN/m¹ extra gewicht op de ligger werkt.

De h.o.h. afstand van de liggers is 600 mm (afstand C). Voor de gelijkmatig verdeelde belasting geldt:

$$q_k = 5,00 \times 0,60 + 1,0 = 4,0 \text{ kN/m}^1$$



Reactiekracht per ligger:

$$R_A = R_B = (4,00 \times 15,5) / 2 = 31,0 \text{ kN}$$

Maximale moment:

$$M_{\text{max}} = \frac{1}{8} \times 4,00 \times 15,5^2 = 120,1 \text{ kNm}$$

Maximale vervorming:

$$u_{\text{max}} = \frac{5}{384} \times \frac{4,00 \times 15.500^4}{2,1 \cdot 10^5 \times 23.130 \cdot 10^4} = 61,9 \text{ mm}$$

Bruikbaarheidsgrenstoestand

Maximale moment (IPE 400) conform 6.10b (maatgevend):

$$IC2, M_{\text{max}} = 1,0 \times 33,0 + 1,0 \times 120,1 = 153,1 \text{ kNm}$$

Maximale dwarskracht (IPE 400) conform 6.10b (maatgevend):

$$IC2, R_{\text{max}} = 1,0 \times 8,5 + 1,0 \times 31,0 = 39,5 \text{ kN}$$

Fundamentele combinaties

Maximale moment (IPE 400) conform 6.10a en 6.10b:

$$\begin{aligned} \text{FC1, } M_{\max} &= 1,20 \times 33,0 + 1,20 \times 0,8 \times 120,1 &= 154,9 \text{ kNm} \\ \text{FC2, } M_{\max} &= 1,10 \times 33,0 + 1,20 \times 120,1 &= 180,4 \text{ kNm}^* \end{aligned}$$

Maximale dwarskracht (IPE 400) conform 6.10a en 6.10b:

$$\begin{aligned} \text{FC1, } R_{\max} &= 1,20 \times 8,5 + 1,20 \times 0,8 \times 31,0 &= 40,0 \text{ kN} \\ \text{FC1, } R_{\max} &= 1,10 \times 8,5 + 1,20 \times 31,0 &= 46,6 \text{ kN}^* \end{aligned}$$

*) maatgevend.

Toetsing

Momentcapaciteit

De rekenweerstand voor buiging is berekend volgens [6] art. 6.2.5:

In onderstaande berekening is de capaciteit van de liggers berekend:

$$\text{IPE 400: } M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1160 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} = 272 \text{ kNm}$$

Toetsing IPE 400:

$$\text{U.C.} = 180,4 / 272 = 0,66 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Voldoet}$$

Dwarskrachtcapaciteit

De rekenweerstand voor dwarskracht is volgens [6] art. 6.2.5:

In onderstaande berekening is de capaciteit van de liggers berekend:

$$\text{IPE 400: } V_{c,Rd} = \frac{\tau_{u,d} \cdot (h - 2 \cdot t_f) \cdot t_w}{\gamma_{M0}} = \frac{136 \cdot (400 - 2 \cdot 13,5) \cdot 8,6}{1,0} = 437 \text{ kN}$$

Toetsing IPE 400:

$$\text{U.C.} = 46,6 / 437 = 0,11 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Voldoet}$$

Vervormingcapaciteit

$$\begin{aligned} u_{fin} &= &= 61,8 \text{ mm} \\ u_{fin,toel;IPE 400} &= 1/250 \times 15.500 &= 62,0 \text{ mm} \\ \text{U.C.} &= 61,8 / 62,0 = 0,99 \leq 1,0 &\Rightarrow \text{Voldoet} \end{aligned}$$

Brug voorzien van een zeeg van ca. 20 mm.

Toetsing eigen frequentie conform NB.5 uit de NEN-EN 1991-2 C1 NB:

$$\begin{aligned} C_1 &= &= 9,87 \\ m &= (66 + 45) \times 10 &\approx 1100 \text{ kg} \\ EI &= 2,1 \times 10^5 \times 23130 \times 10^4 &= 4,86 \times 10^7 \text{ Nm}^2 \\ f_e &= (C_1 / 2\pi) \times \sqrt{(EI / m l^3)} &= 5,4 \text{ Hz} \\ &= (9,87 / 2\pi) \times \sqrt{(4,75 \times 10^7 / 1100 \times 15,5^3)} &= 5,0 \text{ Hz} \\ f_{e,toel} &= &= 5,0 \text{ Hz} \\ \text{U.C.} &= 5,4 > 5,0 &\Rightarrow \text{Voldoet} \end{aligned}$$

Toetsing Kip en Knik stabiliteit

Door het toepassen van kipsteunen bij elke aansluiting van het leuningwerk aan het brugdek wordt de kniklengte van de langsliggers dermate klein dat het effect kip als mede de knik opneembaar wordt geacht. De krachten in de kipsteunen zijn dermate laag, dat het toepassen van een praktisch profiel voldaan wordt, uitgegaan is van een IPE 80 profiel.

6.2 Groep 2: Fiets/voetgangersbruggen (incl. dienstvoertuig)

6.2.1 Houten dek

Het dek bestaat uit hardhouten dekliggers met als langsliggers staalprofielen (welke gekoppeld zijn met staalprofielen als kipsteunen).

Houten dekdelen

Voor het hardhouten dek wordt uitgegaan van sterkteklasse D60. Planken met afmeting 200 x 50 mm en voorzien een slijtlaag. Het maatgevende belastinggeval is het dienstvoertuig.

In bijlage 2: "Berekening en toetsen brugdek" wordt het dek doorgerekend.

Maatgevende toetsingen zijn:

Buiging:

$$\begin{aligned}\sigma_{m,y,d} &= M_{\max} / W_y &= 16,3 \text{ N/mm}^2 \\ f_{m,y,d} &= \text{toelaatbare buigtrekspanning} &= 40,2 \text{ N/mm}^2 \\ \text{U.C.} &= 16,3 / 40,2 = 0,41 \leq 1,0 &\Rightarrow \text{Voldoet}\end{aligned}$$

Dwarskracht:

$$\begin{aligned}\tau_d &= V_{\max} / (I_3 \times A) &= 1,4 \text{ N/mm}^2 \\ f_{v,d} &= \text{toelaatbare schuifspanning} &= 2,4 \text{ N/mm}^2 \\ \text{U.C.} &= 1,4 / 2,4 = 0,58 \leq 1,0 &\Rightarrow \text{Voldoet}\end{aligned}$$

Doorbuiging:

$$\begin{aligned}u_{bij;excl.krp} &= \text{alleen t.g.v. verkeer} &= 1,06 \text{ mm} \\ u_{bij;toel.} &= \text{toelaatbare buiging} &= 1,45 \text{ mm} \\ \text{U.C.} &= 0,46 / 0,43 = 1,08 > 1,0 &\Rightarrow \text{Acceptabel}\end{aligned}$$

6.2.2 Stalen dekliggers

Voor de berekening van de stalen liggers van alle voetgangersbruggen wordt in tabel 20 een samenvatting gegeven. Als voorbeeld wordt voor brugnummer 5000 de berekening verder uitgewerkt. De overige profielen zijn doorgerekend in bijlage 3, waarbij de maatgevende brug berekend is.

Groep 2: Fiets/voetgangersbruggen (incl. dienstvoertuig)									
Brug nr.	Maatgevende oversp. [m]	H.o.h. afstand liggers [mm]	Type ligger	Max. Moment [kNm/m']	Max. Dwarskracht [kN/m']	Max Buiging [mm]	Frequentie [Hz]		
1133	A	11,00	C	750,0	IPE 330	104,0 (< 168,0)	38,0 (< 312,0)	36,6 (< 44,0)	6,6 (> 5,0)
1157	A	7,00	C	750,0	IPE 220	40,0 (< 59,0)	23,0 (< 161,0)	25,5 (< 28,0)	7,1 (> 5,0)
1180	A	7,00	C	750,0	IPE 220	40,0 (< 59,0)	23,0 (< 161,0)	25,5 (< 28,0)	7,1 (> 5,0)
1182	A	7,00	C	750,0	IPE 220	40,0 (< 59,0)	23,0 (< 161,0)	25,5 (< 28,0)	7,1 (> 5,0)
1183	A	7,00	C	750,0	IPE 220	40,0 (< 59,0)	23,0 (< 161,0)	25,5 (< 28,0)	7,1 (> 5,0)
1186	A	11,00	C	750,0	IPE 330	104,0 (< 168,0)	38,0 (< 312,0)	36,6 (< 44,0)	6,6 (> 5,0)
1187	A	10,00	C	750,0	IPE 300	85,0 (< 131,0)	34,0 (< 268,0)	35,2 (< 40,0)	6,6 (> 5,0)
1193	A	14,00	C	750,0	IPE 400	173,0 (< 273,0)	49,0 (< 435,0)	48,9 (< 56,0)	6,0 (> 5,0)
1195	A	11,50	C	750,0	IPE 330	113,0 (< 168,0)	39,0 (< 312,0)	43,8 (< 46,0)	6,2 (> 5,0)
1197	A	11,50	C	750,0	IPE 330	113,0 (< 168,0)	39,0 (< 312,0)	43,8 (< 46,0)	6,2 (> 5,0)
1199	A	10,00	C	750,0	IPE 300	85,0 (< 131,0)	34,0 (< 268,0)	35,2 (< 40,0)	6,6 (> 5,0)
5000	A	18,00	C	750,0	IPE 500	296,0 (< 454,0)	66,0 (< 648,0)	64,1 (< 72,0)	5,4 (> 5,0)

Tabel 21: Overzicht groep 2: Fiets/voetgangersbruggen (incl. dienstvoertuig)

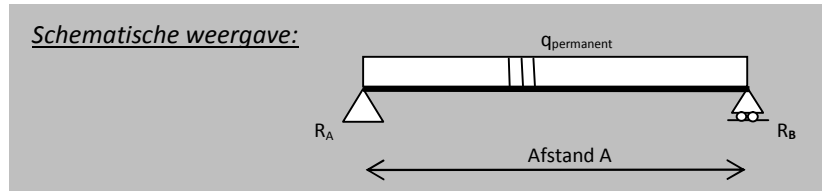
Voor de dekliggers wordt uitgegaan van IPE 500 profielen.

$$\begin{aligned}I_{y;IPE500} &= &= 24820 \times 10^4 \text{ mm}^4 \\ W_{y;IPE500} &= &= 1930 \times 10^3 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

Permanente belasting:

Het gewicht van de IPE 500 is 77,6 kg/m. Dit geeft een belasting van:

$$\begin{aligned} q_{\text{IPE450}} &= (90,7 \times 10) / 1000 &= 0,91 \text{ kN/m}^1 \\ q_{\text{dek}} &= (0,05 \times 10,5 + 0,01 \times 23,0) \times 0,75 &= 0,57 \text{ kN/m}^1 + \\ & &\approx 1,50 \text{ kN/m}^1 \end{aligned}$$



Reactiekracht per ligger:

$$R_A = R_B = (1,50 \times 18,0) / 2 = 13,5 \text{ kN}$$

Maximale moment:

$$M_{\text{max}} = \frac{1}{8} \times 1,50 \times 18,0^2 = 60,8 \text{ kNm}$$

Maximale vervorming:

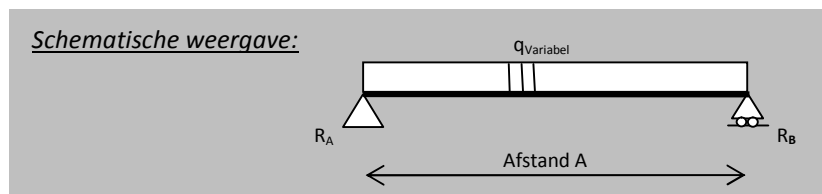
$$u_{\text{max}} = \frac{5}{384} \times \frac{1,10 \times 18.000^4}{2,1 \cdot 10^5 \times 48.200 \cdot 10^4} = 19,9 \text{ mm}$$

Variabele belasting:

Uitgegaan wordt van een gelijkmatig verdeelde belasting. Waarbij vanuit het leuningwerk ca. 1,0 kN/m¹ extra gewicht op de ligger werkt.

De h.o.h. afstand van de liggers is 750 mm (afstand C). Voor de gelijkmatig verdeelde belasting geldt:

$$q_k = 5,00 \times 0,75 + 1,0 = 4,75 \text{ kN/m}^1$$



Reactiekracht per ligger:

$$R_A = R_B = (4,75 \times 18,0) / 2 = 42,8 \text{ kN}$$

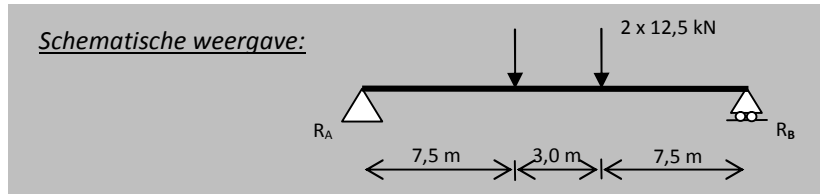
Maximale moment:

$$M_{\text{max}} = \frac{1}{8} \times 4,75 \times 18,0^2 = 192,4 \text{ kNm}$$

Maximale vervorming:

$$u_{\text{max}} = \frac{5}{384} \times \frac{4,00 \times 18.000^4}{2,1 \cdot 10^5 \times 48.200 \cdot 10^4} = 64,1 \text{ mm}$$

Uitgegaan wordt dat twee wielen volledig op een ligger staat en een tussenafstand van 3,00 m. Voor de belasting van het dienstvoertuig geldt:



Reactiekracht per ligger:

$$R_A = R_B = (2 \times 12,50) / 2 = 12,5 \text{ kN}$$

$$R_{a;\max} = 2 \times 12,50 \text{ (dienstvoertuig volledig op 1 landhoofd)} = 50,0 \text{ kN}$$

Maximale moment:

$$M_{\max} = (12,50 \times 3,0 \times 7,5) / 3,0 = 93,8 \text{ kNm}$$

Maximale vervorming (eenvoudige benadering door beschouwing 1 last in het midden):

$$u_{\max} = \frac{5}{48} \times \frac{50 \cdot 10^3 \times 18.000^2}{2,1 \cdot 10^5 \times 48.200 \cdot 10^4} = 16,7 \text{ mm}$$

Uitgegaan mag worden dat de belasting vanuit het dienstvoertuig niet maatgevend is voor de liggerconstructie van de brug.

Bruikbaarheidsgrenstoestand

Maximale moment (IPE 500) conform 6.10b (maatgevend):

$$IC2, M_{\max} = 1,0 \times 60,8 + 1,0 \times 192,4 = 253,2 \text{ kNm}$$

Maximale dwarskracht (IPE 500) conform 6.10b (maatgevend):

$$IC2, R_{\max} = 1,0 \times 13,5 + 1,0 \times 42,8 = 56,3 \text{ kN}$$

Fundamentele combinaties

Maximale moment (IPE 500) conform 6.10a en 6.10b:

$$FC1, M_{\max} = 1,20 \times 60,8 + 1,20 \times 0,8 \times 192,4 = 257,7 \text{ kNm}$$

$$FC2, M_{\max} = 1,10 \times 60,8 + 1,20 \times 192,4 = 296,0 \text{ kNm}^*$$

Maximale dwarskracht (IPE 500) conform 6.10a en 6.10b:

$$FC1, R_{\max} = 1,20 \times 13,5 + 1,20 \times 0,8 \times 42,8 = 40,0 \text{ kN}$$

$$FC1, R_{\max} = 1,10 \times 13,5 + 1,20 \times 42,8 = 66,0 \text{ kN}^*$$

**) maatgevend.*

Toetsing

Momentcapaciteit

De rekenweerstand voor buiging is berekend volgens [6] art. 6.2.5:

In onderstaande berekening is de capaciteit van de liggers berekend:

$$IPE 500: M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1930 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} = 454 \text{ kNm}$$

Toetsing IPE 500:

$$U.C. = 296,0 / 454 = 0,65 \leq 1,0 \Rightarrow \text{Voldoet}$$

Dwarskrachtcapaciteit

De rekenweerstand voor dwarskracht is volgens [6] art. 6.2.5:

In onderstaande berekening is de capaciteit van de liggers berekend:

$$\text{IPE 500: } V_{c,Rd} = \frac{\tau_{u,d} \cdot (h - 2 \cdot t_f) \cdot t_w}{\gamma_{M0}} = \frac{136 \cdot (500 - 2 \cdot 16,0) \cdot 10,2}{1,0} = 648 \text{ kN}$$

Toetsing IPE 500:

$$\text{U.C.} = 66,0 / 648 = 0,10 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Voldoet}$$

Vervormingcapaciteit

$$u_{fin} = 64,1 \text{ mm}$$

$$u_{fin,toel;IPE 400} = 1/250 \times 18.000 = 72,0 \text{ mm}$$

$$\text{U.C.} = 64,1 / 72,0 = 0,89 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{Voldoet}$$

Brug voorzien van een zeeg van ca. 20 mm.

Toetsing eigen frequentie conform NB.5 uit de NEN-EN 1991-2 C1 NB:

$$C_1 = 9,87$$

$$m = (91 + 57) \times 10 \approx 1500 \text{ kg}$$

$$EI = 2,1 \times 10^5 \times 48200 \times 10^4 = 1,01 \times 10^8 \text{ Nm}^2$$

$$f_e = (C_1 / 2\pi) \times \sqrt{(EI / m \text{ l}^3)} = 5,4 \text{ Hz}$$

$$f_{e,toel} = 5,0 \text{ Hz}$$

$$\text{U.C.} = 5,4 > 5,0 \quad \Rightarrow \text{Voldoet}$$

Toetsing Kip en Knik stabiliteit

Door het toepassen van kipsteunen bij elke aansluiting van het leuningwerk aan het brugdek wordt de kniklengte van de langsliggers dermate klein dat het effect kip als mede de knik opneembaar wordt geacht. De krachten in de kipsteunen zijn dermate laag, dat het toepassen van een praktisch profiel voldaan wordt, uitgegaan is van een IPE 80 profiel.

6.3 Funderingen

6.3.1 Paalfunderingen tussensteunpunten

De bruggen met nummer 1133, 1157 en 1180 zijn bruggen bestaande uit 3 overspanningen (twee tussen steunpunten). Hierbij wordt onderzocht of de tussensteunpunten op de originele palen gebouwd kunnen worden. Hiervoor worden de palen als nieuw berekend. Deze berekening is gedaan in bijlage 4. Bij deze belastingen is geen rekening gehouden met het eigengewicht van de palen of de sloof.

Het draagvermogen dat volgt is:

Sondering	DKM 001	DKM 002	DKM 003	DKM 002*
Draagvermogen	217 kN	348 kN	159 kN	179 kN

Tabel 22: De resulterende draagkracht per sondering.

* De capaciteit van DKM 002 wordt berekend voor een nieuwe paal: 220x220 (zie bijlage 8).

De belasting per paal per brug is:

Brug	1133	1157	1180
Paalbelasting	152 kN	79 kN	79 kN

Tabel 23: De resulterende paalbelasting per brug.

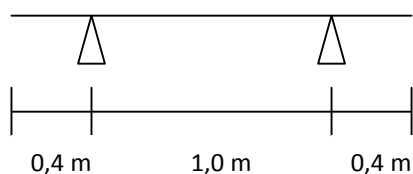
Aangezien brug 1133 het dichtst in de buurt ligt van sondering DKM 002, zullen alle paalfunderingen voldoen.

Let op: voor het bepalen van de draagkracht van de bestaande palen is gerekend met sonderingen die verder van de brug zijn genomen dan gewenst. Aan te bevelen is om hier extra sonderingen te maken en/of de brug proef te belasten. Aangezien de nieuwe constructie minder weegt dan de bestaande, zal het risico te overzien zijn.

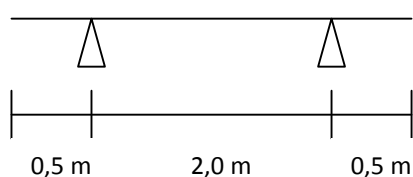
6.3.2 Ontwerp funderingsbalken

De bestaande bruggen zijn grotendeels op staal gefundeerd. De nieuwe bruggen zullen op stalen buispalen gefundeerd worden omdat de bruggen iets verlengd worden en de landhoofden dus verschuiven. Aan de hand van de reactiekrachten, zullen de maximale belastingen op de landhoofden bepaald worden. Hiermee zullen de landhoofden (ook wel funderingsbalken) en palen ontworpen worden. De landhoofden worden gevormd door betonnen funderingsbalken met een vierkante doorsnede.

De brugdekken worden opgelegd op betonnen funderingsbalken die gefundeerd zijn op stalen buispalen. Elke funderingsbalk wordt ondersteund door 2 stalen buispalen.



Afbeelding 6 afmetingen funderingsbalk voetgangersbruggen



Afbeelding 7 afmetingen funderingsbalk fietsbruggen

6.3.2.1 Voetgangersbruggen

De maximale belasting bedraagt voor de voetgangersbruggen als volgt:

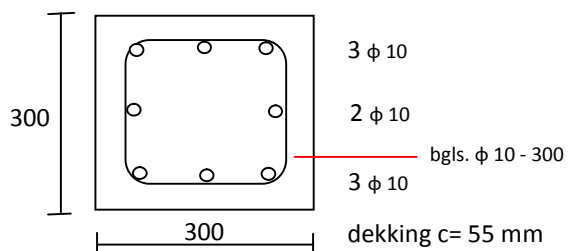
Groep 1: Voetgangersbruggen							
Brug nr.	Totale belasting	Totale belasting per overspanning [kN]		BGT combinatie [kN]		UGT Combinatie [kN]	
		L=14,0m	L=15,5m	L=14,0m	L=15,5m	L=14,0m	L=15,5m
Dekplanken	0,05 x 10,5 x 1,8 x L	6,6	7,3	6,6	7,3	7,3	8,1
Slijtlaag	0,01 x 23,0 x 1,8 x L	2,9	3,2	2,9	3,2	3,2	3,5
Hoofdligger	3 x 0,66 x L / 1000	13,9	15,3	13,9	15,3	15,2	16,9
Leuning	2 x 1,0 x L	14,0	15,5	14,0	15,5	15,4	17,1
Landhoofd	(0,3 x 0,3) x 25 x 1,8	4,1	4,1	4,1	4,1	4,5	4,5
Variabele belasting	5,0 x 1,8 x L	63,0	69,8	63,0	69,8	75,6	83,7
Totaal		104	115	104	115	121	134

Tabel 24 voetgangersbruggen: maatgevende belasting op funderingsbalk

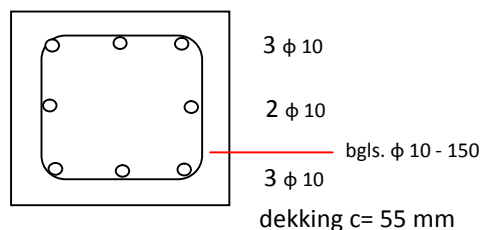
Voetgangersbrug 1189 geeft de grootste belasting op het landhoofd (UGT: 134 kN) en is maatgevend voor het landhoofdontwerp. Voor de ontwerpberekeningen van de balk wordt verwezen naar bijlage 5A.

Groep 1: Voetgangersbruggen				
Balkdoorsnede b x h [mm]	Langwapening veld	Beugelwapening veld	Langwapening steunpunt	Beugelwapening steunpunt
300 x 300	3 ϕ 10 mm	ϕ 10 mm - 300 mm (2sn.)	3 ϕ 10 mm	ϕ 10 mm - 150 mm (2sn.)

Tabel 25 Voetgangersbruggen: Overzicht van wapening funderingsbalk



Afbeelding 8 Doorsnede met veldwapening



Afbeelding 9 Doorsnede met steunpuntwapening

6.3.2.2 Fietsbruggen

De maximale belasting bedraagt voor de fietsbruggen als volgt:

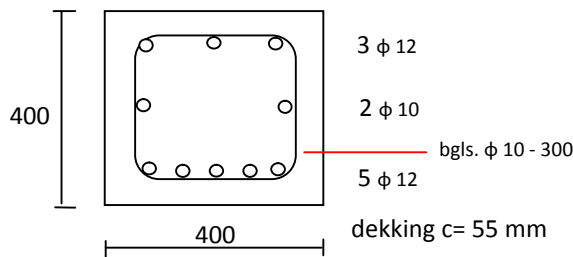
Groep 2: Fiets/voetgangersbruggen							
Brug nr.	Totale belasting	Totale belasting per overspanning [kN]		BGT combinatie [kN]		UGT Combinatie [kN]	
		L=14,0m	L=18,0m	L=14,0m	L=18,0m	L=14,0m	L=18,0m
Dekplanken	0,05 x 10,5 x 3,0 x L	11,0	14,2	11,0	14,2	12,1	15,6
Slijtlaag	0,01 x 23,0 x 3,0 x L	4,8	6,2	4,8	6,2	5,3	6,8
Hoofdligger	4 x 0,91 x L	25,5	32,8	25,5	32,8	28,0	36,0
Leuning	2 x 1,0 x L	14,0	18,0	14,0	18,0	15,4	19,8
Landhoofd	(0,4 x 0,4) x 25 x 3	12,0	12,0	12,0	12,0	13,2	13,2
Variabele belasting	5,0 x 3,0 x L	105,0	135,0	105,0	135,0	126,0	162,0
Totaal		173	219	173	219	200	253

Tabel 26 fietsbruggen: maatgevende belasting op funderingsbalk

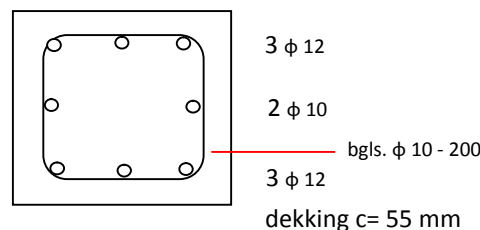
Fietsbrug 5000 geeft de grootste belasting op het landhoofd (UGT: 253 kN) en is maatgevend voor het landhoofdontwerp. Voor de ontwerpberekeningen van de balk wordt verwezen naar bijlage 5B.

Groep 2: Fiets/voetgangersbruggen				
Balkdoorsnede b × h [mm]	Langswapening veld	Beugelwapening veld	Langswapening steunpunt	Beugelwapening steunpunt
400 × 400	5 ϕ 12 mm	ϕ 10 mm - 300 mm (2sn.)	3 ϕ 12 mm	ϕ 10 mm - 200 mm (2sn.)

Tabel 27 Fietsbruggen: Overzicht van wapening funderingsbalk



Afbeelding 10 Doorsnede met veldwapening



Afbeelding 11 Doorsnede met steunpuntwapening

6.3.3 Paalfundering landhoofden

De landhoofden worden elk gefundeerd op 2 stalen buispalen. Voor alle voetgangersbruggen wordt dezelfde diameter buispaal toegepast, hetzelfde geldt voor alle fietsbruggen. Het inheinniveau van de paalpunt is niet voor elke paal gelijk, dit niveau hangt af van de diepte van de dragende zandlaag, deze verschilt namelijk per sondering.

6.3.3.1 Voetgangersbruggen

De 2 voetgangersbruggen met de grootste belasting op de landhoofden worden beschouwd als maatgevend voor het ontwerpen van de funderingspalen. Dit zijn brug 1189 en brug 1190. Aangezien brug 1190 een lagere belasting op de landhoofden geeft dan brug 1189 en beide bruggen met dezelfde sondering berekend dienen te worden, is enkel brug 1189 maatgevend voor het ontwerp van de funderingspalen.

In bijlage 5C worden de stalen buispalen berekend voor de maatgevende brug. De benodigde draagkracht per paal bedraagt $134/2 = 67$ kN (zie Tabel 24);
 Het draagvermogen van de paal bedraagt $R_{c,net;d} = 173$ kN

$$67 \text{ kN} < 173 \text{ kN} \quad \text{Voldoet}$$

Brug nr.	paaldiameter ϕ [mm]	Paalpuntniveau [..m NAP]	paalkopniveau [..m NAP]	Paallengte [m]	Gebruikte sondering
1181	219	-10,25	- 3,75	6,5	DKM 1
1184	219	-10,25	- 3,75	6,5	DKM 1
1189	219	-10,25	- 3,75	6,5	DKM 2
1190	219	-10,25	- 3,75	6,5	DKM 2
1191	219	- 9,50	- 3,75	5,75	DKM 3
1192	219	- 9,50	- 3,75	5,75	DKM 3
1196	219	- 9,50	- 3,75	5,75	DKM 3

Tabel 28 Voetgangersbruggen: gegevens stalen buispalen per brug

6.3.3.2 Fietsbruggen

De 2 fietsbruggen met de grootste belasting op de landhoofden worden beschouwd als maatgevend voor het ontwerpen van de funderingspalen. Dit zijn brug 1193 en brug 5000.

In bijlage 5D worden de stalen buispalen berekend voor brug 1193 met DKM 3. De benodigde draagkracht per paal bedraagt $200/2 = 100$ kN (zie Tabel 26);
 Het draagvermogen van de paal bedraagt $R_{c,net;d} = 109$ kN

$100 \text{ kN} < 109 \text{ kN}$ Voldoet

In bijlage 5E worden de stalen buispalen berekend voor brug 5000 met DKM 2. De benodigde draagkracht per paal bedraagt $253/2 = 127$ kN (zie Tabel 26);
 Het draagvermogen van de paal bedraagt $R_{c,net;d} = 238$ kN

$127 \text{ kN} < 238 \text{ kN}$ Voldoet

Brug nr.	paaldiameter ϕ [mm]	Paalpuntniveau [..m NAP]	paalkopniveau [..m NAP]	Paallengte [m]	Gebruikte sondering
1133	273	- 10,25	- 3,75	6,5	DKM 2
1157	273	- 10,25	- 3,75	6,5	DKM 2
1180	273	- 10,25	- 3,75	6,5	DKM 2
1182	273	- 10,25	- 3,75	6,5	DKM 1
1183	273	- 10,25	- 3,75	6,5	DKM 1
1186	273	- 10,25	- 3,75	6,5	DKM 1
1187	273	- 10,25	- 3,75	6,5	DKM 1
1193	273	- 9,50	- 3,75	5,75	DKM 3
1195	273	- 9,50	- 3,75	5,75	DKM 3
1197	273	- 9,50	- 3,75	5,75	DKM 3
1199	273	- 10,25	- 3,75	6,5	DKM 2
5000	273	- 10,25	- 3,75	6,5	DKM 2

Tabel 29 Fietsbruggen: gegevens stalen buispalen per brug

6.3.3.3 Sonderingen

De draagkracht is ontleend aan slechts 3 sonderingen. Om risico's in de uitvoering te verkleinen, verdient het aanbeveling om aanvullende sonderingen te nemen.

6.3.4 Overige onderdelen

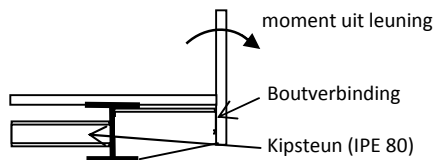
Kipsteunen

Door het toepassen van kipsteunen bij elke aansluiting van het leuningwerk aan het brugdek wordt de kniklengte van de langsliggers dermate klein dat het effect kip als mede de knik opneembaar wordt geacht. De krachten in de kipsteunen zijn dermate laag, dat het toepassen van een praktisch profiel voldaan wordt, uitgegaan is van een IPE 80 profiel.

Leuningwerk

In bijlage 6 is een indicatieve berekening voor het leuningwerk toegevoegd aan deze berekening. Hierbij is uitgegaan van een leuningstijl van 100x15 mm. Dit resulteert in een dwarskracht U.C. van 0,95, waardoor deze voldoet.

De leuningstijlen dienen moment vast aan het brugdek verbonden te worden, middels bout- of lasverbinding. In bijlage 7 is de boutverbinding gedimensioneerd. Hierbij is uitgegaan van een M16 met een 8.8 kwaliteit. De maatgevende toetsing is dan de trekweerstand: $0,16 < 1,0$. Deze voldoet.



Afbeelding 12: Krachten op de randligger

Per leuningstijl dient er tussen de randligger en de eerstvolgende ligger een koppeling gemaakt te worden zodat het moment uit de leuning opgenomen kan worden en dat er geen torsie in de randligger meegerekend moet worden. Deze steunen kunnen gelijk als kipsteun gebruikt worden. De krachten in deze kipsteunen zijn dermate laag, dat het toepassen van een praktisch profiel voldaan wordt, uitgegaan is van een IPE 80 profiel.

7 Samenvatting

In het recreatiegebied Boseilanden te Hoofddorp worden 2 typen bruggen gebouwd, één fiets / voetgangersbrug en één voetgangersbrug. De fiets/voetgangersbrug wordt gebouwd conform tekening 270455-C-2-01, waarin:

- Dekplanken:
 - o Composiet
 - o Afmeting plank: 200 x 50 mm;
 - o H.o.h. afstand: 210 mm;
 - o Breedte dek: 3,00 m (tussen leuningwerk).
- Liggers:
 - o Profiel: IPE 500;
 - o Staalsoort: S235;
 - o H.o.h. afstand: 750 mm;
 - o Zeeg: 20 mm;
 - o Verbinding: Klemkickers (staalprofiel/beton).
- Landhoofd:
 - o Betonbalk: C30/37;
 - o Wapeningsstaal: B500B (zie 6.3.2.2 voor berekende wapening);
 - o Afmeting balk: 400 x 400 mm; lang 3000 mm (500 mm - 2000 mm - 500 mm)
 - o Stalen buispalen (2 stuks per landhoofd, h.o.h. 2000 mm):
 - Paaldiameter: ϕ 273 mm;
 - Lengte palen: 5,75 m (DKM 3) en 6,50 m (DKM 1 en 2);
 - Paalpunt niveau: NAP - 9,5 m (DKM 3) en NAP - 10,25 m (DKM 1 en 2);

De Voetgangersbrug wordt gebouwd conform tekening 270455-C-2-02, waarin:

- Dekplanken:
 - o Composiet
 - o Afmeting plank: 200 x 50 mm;
 - o H.o.h. afstand: 210 mm;
 - o Breedte dek: 1,80 m (tussen leuningwerk).
- Liggers:
 - o Profiel: IPE 400;
 - o Staalsoort: S235;
 - o H.o.h. afstand: 600 mm;
 - o Zeeg: 20 mm;
 - o Verbinding: Klemkickers (staalprofiel/beton).
- Landhoofd:
 - o Betonbalk: C30/37;
 - o Wapeningsstaal: B500B (zie 6.3.2.1 voor berekende wapening);
 - o Afmeting balk: 300 x 300 mm; lang 1800 mm (400 mm - 1000 mm - 400 mm)
 - o Stalen buispalen (2 stuks per landhoofd, h.o.h. 1000 mm):
 - Paaldiameter: ϕ 219 mm;
 - Lengte palen: 5,75 m (DKM 3) en 6,50 m (DKM 1 en 2);
 - Paalpunt niveau: NAP - 9,5 m (DKM 3) en NAP - 10,25 m (DKM 1 en 2);

Bijlagen

Bijlage 1: Grondonderzoek

Bijlage 2: Berekenen en toetsen brugdek

Bijlage 3: Berekening doorsnedekrachten dek

Bijlage 4: Paalfunderingsberekening

Bijlage 5: Berekening fundering: landhoofden + buispalen

Bijlage 6: Indicatieve berekening leuningwerk

Bijlage 7: Indicatieve berekening boutverbinding leuningwerk

Bijlage 8: Indicatieve paalberekening nieuwe paal