



DO Ontwerpnota modellering – K30B

Documentcode	DGB-010157		Datum			Paraaf		
Opgesteld			29-10-2020 09:34 CET					
	Ontwerpcoördinator							
Gecontroleerd			29-10-2020 09:47 CET					
	Ontwerpleider							
Goedgekeurd			29-10-2020 17:47 CET					
	Ontwerpmanager							
Vrijgegeven			30-10-2020 08:28 CET					
	Projectmanager							
Extra DocID	DGB-TM-DO-DG1-KW-ONM-K30B-AL-0003							
Versie	1.0							
Datum	21-10-2020							
Status	Definitief							



Register van wijzigingen

Versie	Datum	Wijzigingen t.o.v. vorige versie
0.1	26-09-2019	Eerste interne controle
0.2	01-10-2019	Opmerkingen interne controle verwerkt
1.0	21-10-2020	Opmerkingen integrale controle DGB verwerkt – definitieve versie



Inhoudsopgave

7	Inhoudsopgave	
8		
9		
10	Register van wijzigingen	2
11	Inhoudsopgave	3
12	1 Inleiding	6
13	1.1 Algemene projectomschrijving	6
14	1.2 Doel van het document	7
15	1.3 Leeswijzer	7
16	1.4 Kunstwerkommschrijving	8
17	1.5 Relevante documenten	9
18	1.5.1 Externe documenten	9
19	1.5.2 Interne documenten	9
20	2 Normen en richtlijnen	10
21	2.1 Normen	10
22	2.2 Richtlijnen	11
23	2.3 Overige literatuur	11
24	2.4 Hiërarchie der documenten	12
25	2.5 Contracteisen	12
26	2.6 Software	12
27	3 Beschrijving	13
28	3.1 Objectenboom	13
29	3.2 Onderbouw - landhoofd	14
30	3.2.1 Fundering	14
31	3.2.2 Landhoofd	14
32	3.2.3 Vleugelwanden	14
33	3.2.4 Stootplaten (viaduct)	14
34	3.2.5 Voorzetwanden	14
35	3.2.6 Fundering voorzetwanden	14
36	3.3 Bovenbouw - hoofdconstructie	15
37	3.3.1 In situ dek	15
38	3.3.2 Opleggingen	15
39	3.3.3 Voegovergang landhoofd	15
40	3.4 Bovenbouw - afwerking en weguitrusting	15
41	3.4.1 Dekrand en randelementen	15
42	3.4.2 Schampkanten + geleiderails	15
43	3.4.3 Leuningen	15
44	3.4.4 Verlichting	15
45	3.4.5 Geluidsscherm	15
46	4 Veiligheidsfilosofie	16
47	4.1 Gevolgklasse	16
48	4.2 Referentieperiode en restlevensduur	16
49	5 Constructieve uitgangspunten	17
50	5.1 Beton	17
51	5.2 Wapeningsstaal	17
52	5.3 Voorspanstaal	17
53	5.4 Opleggingen	18
54	5.5 Duurzaamheid	18
55	5.6 Bouwfasering	20
56	5.7 Geotechnische gegevens	21
57	6 Ontwerpsituaties en grenstoestanden	22
58	6.1 Ontwerpsituaties	22
59	6.2 Uiterste grenstoestanden (ULS)	22
60	6.3 Bruikbaarheidsgrenstoestanden (SLS)	22
61	7 Belastingen	23
62	7.1 Overzicht	23
63	7.2 Opmerkingen	24
64	7.3 Permanente belastingen	25
65	7.3.1 Eigen gewicht	25
66	7.3.2 Rustende belasting	25
67	7.3.2.1 Asfaltconstructie	25
68	7.3.2.2 Dekrand en randelementen	25
69	7.3.2.3 Schampkanten	25



70	7.3.2.4	Geleiderails	25
71	7.3.2.5	Verlichting	25
72	7.3.2.6	Geluidsscherm	25
73	7.3.2.7	Uitvullaag dek	26
74	7.3.2.8	Stootplaten	26
75	7.3.3	Grond- en waterdruk	26
76	7.3.4	Negatieve kleeft	27
77	7.3.5	Opspaneffect	27
78	7.3.6	Zettingen	27
79	7.3.7	Krimp en kruip	27
80	7.3.8	Voorspanning	28
81	7.4	Variabele belastingen door wegverkeer	29
82	7.4.1	Verticale belasting door wegverkeer	29
83	7.4.2	Rem- en aanzetbelasting	31
84	7.4.3	Centrifugaalkrachten	31
85	7.4.4	Wegverkeer achter landhoofd	31
86	7.4.4.1	Verticale belastingen	31
87	7.4.4.2	Horizontale belastingen	32
88	7.5	Overige variabele belastingen	33
89	7.5.1	Belasting fiets- en voetpaden	33
90	7.5.2	Belastingen op handregel veiligheidsscherm	33
91	7.5.3	Sneeuwbelasting	34
92	7.5.4	Windbelasting	34
93	7.5.4.1	Uitgangspunten	34
94	7.5.4.2	Windbelasting brugdek in dwarsrichting (X-richting)	35
95	7.5.4.3	Windbelasting brugdek in dwars- en langsrichting (X- en Y-richting)	35
96	7.5.5	Thermische belastingen	36
97	7.6	Belasting tijdens uitvoering	37
98	7.7	Vermoeiing	38
99	7.8	Belastingen voor buitengewone ontwerpsituaties	39
100	7.8.1	Aanrijding door voertuigen onder brug	39
101	7.8.2	Belastingen door voertuigen op de brug	40
102	7.9	Aardbevingsbelasting	41
103	8	Belastingcombinaties	42
104	8.1	Belastinggroepen	42
105	8.2	Belastingfactoren	44
106	8.3	Momentaanfactoren	45
107	8.4	Belastingcombinaties	45
108	9	Modellering	46
109	9.1	Algemeen	46
110	9.2	Constructief systeem	47
111	9.2.1	Beschrijving constructie	47
112	9.2.2	Afdracht verticale en horizontale belastingen	47
113	9.3	Aanpak	48
114	9.4	Omschrijving EE-modellen	50
115	9.4.1	K30B - Bovenbouw – EE-model dekken	50
116	9.4.2	K30B - Onderbouw – EE-model landhoofden	52
117	9.5	Controle EE-modellen	54
118	10	Toetsingscriteria	55
119	10.1	Algemeen	55
120	10.2	Ultimate Limit State (ULS)	56
121	10.2.1	Draagvermogen	56
122	10.2.2	Buiging met of zonder normaalkracht	56
123	10.2.3	Dwarskracht	56
124	10.2.4	Wringing	56
125	10.2.5	Pons	56
126	10.2.6	Vermoeiing	56
127	10.3	Serviceability Limit State (SLS)	57
128	10.3.1	Scheurbeheersing	57
129	10.3.2	Vervormingen	57
130	10.4	Detailering	59
131	11	Aandachtspunten en risico's vervolgfase	61
132	Bijlage 1.	Verificatie eisen	62

DocID DGB-010157
Versie 1.0
Datum 21-10-2020
Status Definitief

DO Ontwerpnota modellering – K30B



133	Bijlage 2.	Berekening krimp en kruip brugdek.....	63
134	Bijlage 3.	Berekening temperatuur brugdek	64
135			
136			



1 Inleiding

1.1 Algemene projectomschrijving

De Rotterdamse regio kampt met problemen op het gebied van bereikbaarheid en kwaliteit van de leefomgeving. In het bijzonder op de A13 bij Overschie en de A20 tussen Kleinpolderplein en Terbregseplein. Hier staan bijna dagelijks files. Omdat weggebruikers files proberen te omzeilen slibben bovendien de lokale wegen dicht. Om deze problemen het hoofd te bieden realiseert RWS het project A16 Rotterdam.

Het project A16 Rotterdam is een autosnelwegverbinding aan de noordrand van Rotterdam die de A13 ter hoogte van de aansluiting Berkel en Rodenrijs verbindt met de A16 ter plaatse van het knooppunt Terbregseplein. De A16 Rotterdam vervangt de huidige provinciale weg N209, waar de ligging van de A16 Rotterdam samenvalt met de huidige N209. Op het deel tussen de aansluiting Ankie Verbeek-Ohrlaan en het Terbregseplein komt een nieuwe verbinding. Ter hoogte van het Lage Bergse Bos bestaat de verbinding uit een halfverdiepte landtunnel.

Zie figuur 1.1 voor het tracé op hoofdlijnen.



Figuur 1.1: Tracé A16 Rotterdam, in groen de tunnel Lage Bergse Bos

Dit document heeft betrekking op K30B – Viaduct Bergschenhoekseweg.



1.2 Doel van het document

Deze ontwerpnota modellering heeft tot doel het vastleggen van de uitgangspunten met betrekking tot de modellering van het constructieve ontwerp van K30B – Viaduct Bergschenhoekseweg.

De volgende aspecten komen onder andere aanbod:

- Basisinformatie (contractdocumenten, normen, richtlijnen enz.);
- Beschrijving van het object;
- Veiligheidsfilosofie;
- Constructieve uitgangspunten (materialen, duurzaamheid etc.);
- Grenstoestanden;
- Belastingen;
- Belastingcombinaties;
- Modellering en berekeningsmethodiek van het kunstwerk;
- Uitgangspunten mbt toetsingen;
- Aandachtspunten en risico's.

1.3 Leeswijzer

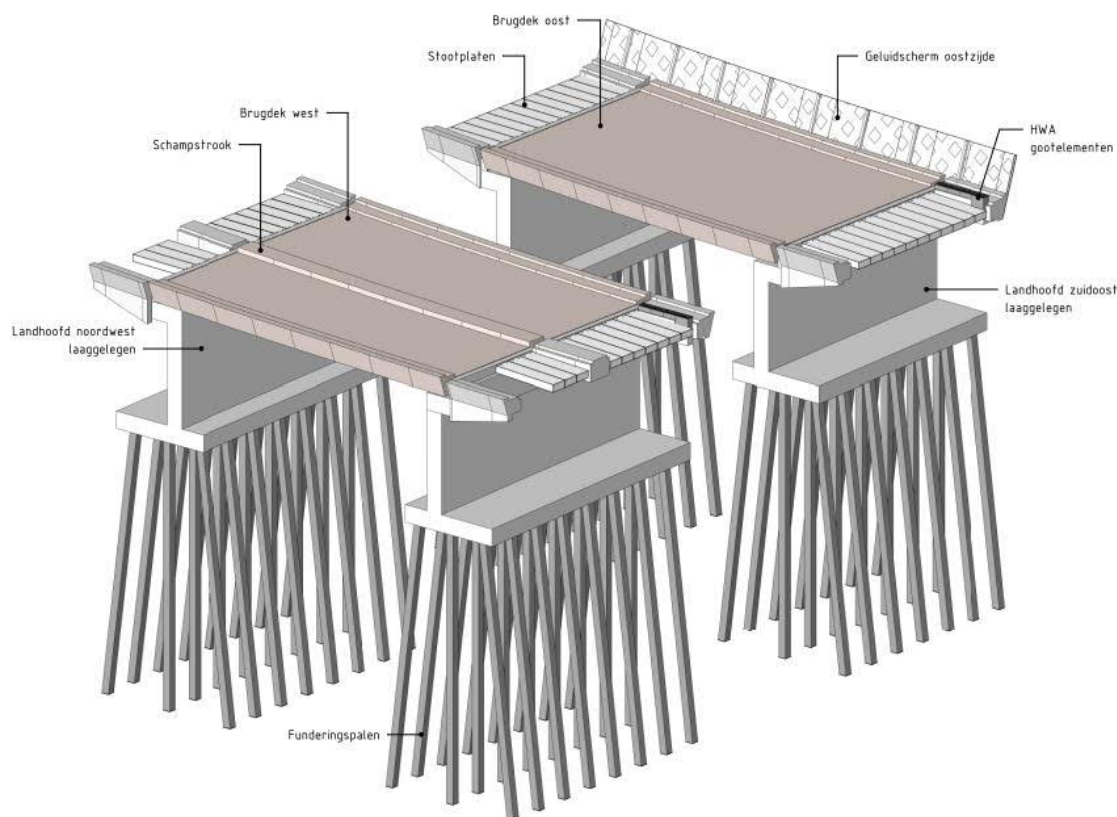
Hoofdstuk	inhoud
1. Inleiding	Algemene gegevens betreffende het project.
2. Normen en richtlijnen	De vigerende normen en richtlijnen zijn gegeven inclusief de hiërarchie.
3. Beschrijving	Hier wordt voor het kunstwerk een objectenboom aangegeven en per object worden de uitgangspunten besproken zoals voorzien aan de start van het DO
4. Veiligheidsfilosofie	Hier zijn de criteria vastgelegd die het niveau van de constructieve veiligheid per onderdeel bepalen.
5. Materiaalkarakteristieken en duurzaamheid	Per object zijn de materialen en duurzaamheid besproken.
6. Ontwerpsituaties en grenstoestanden	De ontwerpsituaties en grenstoestanden zijn kort uiteengezet.
7. Belastingen	Per object zijn de in rekening gebrachte belastingen uiteengezet
8. Belastingcombinaties	Omschreven is hoe de van toepassing zijnde belastingcombinaties zijn opgebouwd
9. Modellering	De algemene uitgangspunten voor de modelleringen zijn aangegeven, en per object is de schematisering voor het rekenkundig ontwerp besproken.
10. Toetsing	Omschrijving van de toetsingscriteria van de onder- en bovenbouw
11. Aandachtspunten en risico's vervolgfase	Er is een lijst met aandachtspunten en risico's gegeven.



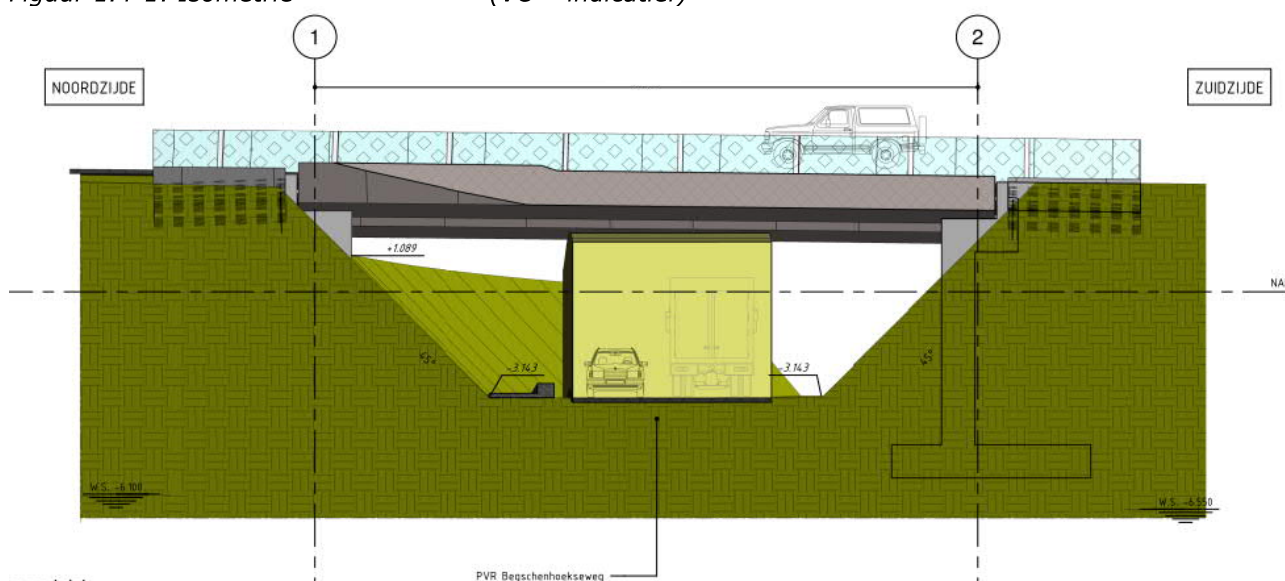
1.4 Kunstwerkschrijving

K30B (Viaduct Bergschenhoekseweg) voert de huidige Ankie Verbeek-Ohrlaan over de verlegde Bergschenhoekseweg. Naast rijstroken voor wegverkeer wordt aan de westzijde ook een fietspad voorzien.

Het kunstwerk is opgebouwd uit 2 separate viaducten: oost en west. Beide dekken hebben een enkele overspanning van ca. 21m en worden in situ gerealiseerd met voorgespannen beton (naspanning). De bovenbouw wordt met gewapende rubber oplegblokken opgelegd op de onderbouw. De onderbouw bestaat uit een laaggefundeerd landhoofd. Achter het landhoofd op as 1 wordt een paalmatras toegepast.



Figuur 1.4-1: Isometrie (VO – indicatief)



Figuur 1.4-2: Langsaanzicht K30B (VO – indicatief)



1.5 Relevante documenten

1.5.1 Externe documenten

Voor een volledig overzicht van de bindende documenten wordt verwezen naar het aanbestedingsdossier. Hierna worden de meest relevante documenten voor de ontwerpfase herhaald (overzicht niet uitputtend).

Ref.	Doc ID	titel
[1.1]	DGB-000977	TB_Bijlagen_definitief_versie_augustus_Inpassingsvisie_en_Landschapsplan
[1.2]	DGB-000995	Referentie Ontwerp Versie F
[1.3]	DGB-000200	EPvE
[1.4]	DGB-001856	Werkboek_A16
[1.5]	DGB-000140	A16_Rotterdam_DBFM_Overeenkomst_Bijlage_9_deel_1_Systeemdefinities
[1.6]	DGB-000141	A16_Rotterdam_DBFM_Overeenkomst_Bijlage_9_deel_2_Outputspecificaties
[1.7]	DGB-000149	A16_Rotterdam_DBFM_Overeenkomst_Bijlage_9_deel_5_UVO_Gem_Rotterdam
[1.8]	DGB-000151	A16_Rotterdam_DBFM_Overeenkomst_Bijlage_9_deel_5_UVO_Provincie_Zuid-Holland
[1.9]	DGB-000153	A16_Rotterdam_DBFM_Overeenkomst_Bijlage_9_deel_6_Afspraken_Belanghebbend
[1.10]	DGB-002986	Waterhuishoudingsplan_HHSK
[1.11]	DGB-001943	PvE Vaste KW PZH

1.5.2 Interne documenten

Ref.	Doc ID	titel
[2.1]	DGB-004410	Stappenplan A13/AVO
[2.2]	DGB-004710	VO - Ontwerpnota Geotechniek K30
[2.3]	DGB-004871	Integraal Plan Vormgeving
[2.4]	DGB-005517	VO ontwerpnota waterhuishouding kunstwerken
[2.5]	DGB-004772	Nota Uitgangspunten en Randvoorwaarden – K30B
[2.10]	DGB-010154	DO Nota maatvoering en tolerantie – K30B
[2.11]	DGB-010157	DO Ontwerpnota modellering – K30B <i>[huidig document]</i>
[2.12]	DGB-010158	DO Ontwerpnota beschrijving – K30B
[2.13]	DGB-010159	DO Ontwerpnota Geotechniek – K30B
[2.14]	DGB-010160	DO berekening - Bovenbouw K30B
[2.15]	DGB-014540	DO berekening - Onderbouw K30B
[2.16]	DGB-008255	OWN Provincie Zuid-Holland DG1-K30B - Raakvlaktekentekening
[2.20]	DGB-015500 t/m -015507	DO tekeningen – K30B



2 Normen en richtlijnen

2.1 Normen

De onderstaande tabel biedt een overzicht van de relevante normen (overzicht niet uitputtend).

norm	titel
NEN-EN 1990	Grondslagen van het constructief ontwerp
NEN-EN 1991	Belasting op constructies:
Deel 1-1	volumieke gewichten
Deel 1-2	belasting bij brand
Deel 1-3	sneeuwbelasting
Deel 1-4	windbelasting
Deel 1-5	thermische belasting
Deel 1-6	belastingen tijdens uitvoering
Deel 1-7	buitengewone belastingen
Deel 2	verkeersbelasting op bruggen
NEN-EN 1992	Ontwerp en berekening van betonconstructies
Deel 1-1	Algemene regels en regels voor gebouwen [let op: NB 2016?]
Deel 1-2	Algemene regels – ontwerp en berekening van constructies bij brand
Deel 2	Betonnen bruggen
NEN-EN 1993	Ontwerp en berekening van staalconstructies
Deel 1-1	Algemene regels en regels voor gebouwen
Deel 1-2	Algemene regels – ontwerp en berekening van constructies bij brand
Deel 1-3	aanvullende regels voor koudgeformde dunwandige profielen en platen
Deel 1-8	Ontwerp en berekening van verbindingen
NEN-EN 1994	Ontwerp en berekening van staal-betonconstructies
NEN-EN 1997	Geotechnisch ontwerp
NEN-EN 1998	Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies
NEN-EN 1337	Opleggingen voor bouwkundige civieltechnische toepassingen
NEN-EN 206	Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit
NEN-EN 8005: 2016	Nederlandse invulling van NEN-EN 206
NEN-EN 12063	Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk – Damwanden
NEN-EN 12699	Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Verdringingspalen

Voor alle normen wordt de vigerende Nationale Bijlage (NB) toegepast.



2.2 Richtlijnen

De onderstaande tabel(len) biedt een overzicht van de relevante richtlijnen.

Richtlijnen Rijkswaterstaat (RWS)

Richtlijn	titel	datum
ROK 1.4	Richtlijnen Ontwerpen Kunstwerken	2017
RTD 1007-1	Meerkeuzematrix voegovergangen	2013
RTD 1007-2	Eisen voor voegovergangen	2014
RTD 1007-3	Leidraad geluidseisen aan voegovergangen	2013
RTD 1010	Standaarddetails voor betonnen bruggen	2017
RTD 1011	Eisen stootplaten	2014
RTD 1012	Eisen voor brugopleggingen	2017

CUR rapporten en aanbevelingen

Richtlijn	titel	datum
CUR aanbeveling 68	vijzelen en schuiven	
CUR aanbeveling 81	vijzelen en schuiven (aanvulling op aanbeveling 68)	2001
CUR aanbeveling 100	Schoon beton	2013
CUR aanbeveling 112	Beton met betongranulaat als grof toeslagmateriaal	2014
CUR aanbeveling 114	Toezicht op de realisatie van paalfunderingen	2009
CUR 166	Damwandconstructies (deel 1 en 2)	
CUR aanbeveling 236	ankerpalen	
CUR aanbev. 2001-4	Ontwerpregels voor trekpalen	

2.3 Overige literatuur

Ref.	titel
[3.1]	Breugel, v. K., 2006: "Betonconstructies onder temperatuur- en krimpvervormingen", Betonprisma, 's-Hertogenbosch
[3.2]	Voorgespannen Beton; betonpraktijkreeks 3; prof. Dr. Ir. J.C. Walraven en ir. J.C. Galjaard; BetonPrisma 's-Hertogenbosch 1997
[3.3]	CIRIA rapport C660; early-age thermal crack in concrete; P.B. Bamforth 2007



2.4 Hiërarchie der documenten

Daar waar gegevens onderling strijdig zijn, geldt de volgende rangorde:

1. Eisen uit het contract;
2. Documenten uit RIC (indien van toepassing);
3. ROK bepalingen;
4. RWS richtlijnen;
5. EC's + NB's, NEN-normen, CUR- en CROW-documenten.

Bij tegenstrijdigheden tussen bindende documenten die vallen onder dezelfde rangorde, gaat het meest recente document boven het document van een vroegere datum.

2.5 Contracteisen

Voor de contracteisen betreffende K30B wordt verwezen naar het verificatieplan en verificatierapport.

In bijlage 1 staat een overzicht van de eisen die met deze nota aangetoond worden.

2.6 Software

- MS Office 365 - 2016;
- IDEA Statica 10;
- TS Raamwerken versie 6;
- TS liggers versie 6;
- TS construct versie 6;
- Scia Engineer versie 19;



3 Beschrijving

3.1 Objectenboom

Het kunstwerk wordt opgedeeld in verschillende objecten, zie onderstaande tabel.

Voor zover relevant, wordt de invulling per object met betrekking tot de modellering in navolgend hoofdstuk vastgelegd.

Objectenboom K30B (Viaduct Bergschenhoekseweg)		
onderdeel	object	Opmerking
Onderbouw - landhoofd	onderlangs kruisende infra	<i>Geen nadere invulling</i>
	talud onder dek	<i>Geen nadere invulling</i>
	fundering	
	landhoofd	
	vleugelwanden	
	stootplaten	
	voorzetwanden	
	fundering voorzetwanden	
Bovenbouw – dek	in situ dek	
	opleggingen	
	voegovergang landhoofd	
Bovenbouw - afwerking en weguitrusting	dekrand en randelementen	
	schampranden	
	geleiderails	
	leuningen	
	vides	<i>Geen nadere invulling</i>
	verlichting	<i>Betreft verlichting op dek</i>
	hemelwater	<i>Geen nadere invulling</i>
	geluidsscherm	<i>Oostelijke dekrand</i>



3.2 Onderbouw - landhoofd

3.2.1 Fundering

De landhoofden worden gefundeerd op in de grond gevormde schroefpalen met groutinjectie en verloren punt. De palen worden fysiek gemodelleerd in de EE-modellen (staafelementen). De geotechnische gegevens (draagkracht, veren, beddingen etc.) worden overgenomen uit referentie [2.2] en [2.13].

Bij het ontwerp van de palen dient rekening gehouden te worden met:

- Belastingen ten gevolge van lastendaling;
- Negatieve kleeft;
- Bouwfasering (ev. afstempelen dekconstructie).

3.2.2 Landhoofd

De landhoofden worden laag gefundeerd en in situ gestort (traditioneel gewapend). In de EE-modellen worden de landhoofden fysiek gemodelleerd met plaalementen.

Aandachtspunten voor het constructief ontwerp:

- verplaatsingen landhoofden;
- horizontale gronddruk tpv as 1 alleen op wand, bovenkant paalmatras = bovenkant vloer;
- horizontale gronddruk op wand en vloer volledig in rekening brengen.

3.2.3 Vleugelwanden

Aan weerszijden van de landhoofden worden vleugelwanden voorzien ter opsluiting van de aardebaan. De vleugelwanden worden fysiek gemodelleerd in de EE-modellen (plaalementen) of als belasting in rekening gebracht op de landhoofden.

3.2.4 Stootplaten (viaduct)

De landhoofden worden voorzien van stootplaten over de hele breedte van het landhoofd (uitwerking cf RTD1011). De platen worden gemodelleerd als belasting op de landhoofden (lijnlast).

3.2.5 Voorzetwanden

Bij het landhoofd op as 1 (noordzijde) worden voorzetwanden toegepast. De voorzetwanden worden als verticale belasting op de onderbouw (vloer landhoofd / funderingsbalk) geplaatst.

De verdere constructieve uitwerking van de voorzetwanden valt buiten de scope van dit rapport (detailuitwerking UO).

3.2.6 Fundering voorzetwanden

Ter plaatse van het landhoofd wordt de voorzetwand gefundeerd op de vloer van het landhoofd.



3.3 Bovenbouw - hoofdconstructie

3.3.1 In situ dek

De verkeersdekken worden in situ uitgevoerd met voorspanning (nagespannen beton). De dekken worden gemodelleerd met plaalementen in de EE-modellen.

Aandachtspunten voor het constructief ontwerp:

- orthotropie dek (gescheurd vs ongescheurd);
- invloed tijdelijke ondersteuning bouwphase (stijfheidsverschillen).

3.3.2 Opleggingen

Het dek wordt opgelegd op gewapende rubber oplegblokken. In het EE-model van de dekken worden de oplegblokken gemodelleerd als puntveren met horizontale en verticale stijfheid.

3.3.3 Voegovergang landhoofd

Ter plaatse van de overgang van het landhoofd naar het brugdek wordt een voegovergang toegepast (uitwerking cf RTD 1007-1). Uitgegaan wordt van een renovatieprofiel (type 1.2b) met detaillering conform standaarddetail RWS-VOEG-03.

Door het gebruik van dit type voegen zijn de dekken niet verankerd in het landhoofd, waardoor deze isostatisch gemodelleerd worden.

3.4 Bovenbouw - afwerking en weguitrusting

3.4.1 Dekrand en randelementen

De randelementen worden als belasting meegenomen in de EE-modellen.

3.4.2 Schampkanten + geleiderails

De schampkanten worden constructief gezien niet benut en worden daarom als belasting meegenomen in de EE-modellen. Ook de geleiderails worden als belasting (lijnlast) gemodelleerd.

3.4.3 Leuning

De leuning worden als lijnlast in rekening gebracht in de EE-modellen.

3.4.4 Verlichting

Op het dek worden geen lichtmasten voorzien.

3.4.5 Geluidsscherm

Op de oostelijke rand van het oostelijke verkeersdek wordt een geluidsscherm gerealiseerd. Dit scherm wordt als belasting meegenomen in de EE-modellen.



4 Veiligheidsfilosofie

4.1 Gevolgklasse

Onderdeel	Gevolgklasse	Voldoet aan
Nieuw kunstwerk	CC3	ROK1.4 / EC0
Stootplaten	CC2	RTD 1011 / EN 1990

4.2 Referentieperiode en restlevensduur

Onderdeel	Ontwerplevensduur	Voldoet aan
Nieuw kunstwerk	100 jaar	ROK1.4 / EC0
Schamkanten en (prefab) randelementen	50 jaar zonder onderhoud betonconstructie	DGB-092
Onderbouwmaterialen	50 jaar	OBE-0016
Stootplaten	100 jaar	RTD 1011 / EN 1990
Voegovergangen	20 jaar na BD 40 jaar	DGB-096 RTD 1007-2
Voegovergang vervangbare rubber/kunststof onderdelen	25 jaar	RTD 1007-2
Opleggingen	50 jaar	RTD 1012
Hemelwaterafvoer	50 jaar	RTD 1008 / eis HWA.15
Hemelwaterafvoer vervangbare onderdelen	25 jaar	RTD 1008
Conservering stalen onderdelen	25 jaar	DGB-078
Leuningwerk	25 jaar	SYS-0044



5 Constructieve uitgangspunten

5.1 Beton

Gewicht $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ (gewapend)

Materiaaleigenschappen

Betonkwaliteit	f_{ck} [N/mm ²]	f_{cm} [N/mm ²]	f_{ctm} [N/mm ²]	E_{cm} [N/mm ²]
C20/25	20	28	2,2	30000
C30/37	30	38	2,9	33000
C35/45	35	43	3,2	34000
C40/50	40	48	3,5	35000
C45/55	45	53	3,8	36000
C53/65	53	61	4,2	38000
C60/75	60	68	4,4	39000

Alle in het zicht blijvende ter plaatse gestorte en geprefabriceerde gladde betonoppervlakken dienen te voldoen aan respectievelijk oppervlaktebeoordelingsklasse B1 en B2 van CUR 100 (eis EpvE-0248). De volgende project specifieke bepalingen zijn van toepassing:

- a.- kleur: 'naturel' grijs tint II volgens CUR grijschaal beton (tenzij anders aangegeven hieronder)
- d.m.v. licht, wit zand en hoogovencement.
- b.- bekisting in 1 soort plaatmateriaal en 1 vast patroon, met centerpennenpatroon in 1 vast modulair ritme.
- c.- eventuele stortnaden dienen onopvallend te worden opgenomen in het patroon van de bekistingbeplating.
- d.- vellingkanten van randelementen en landhoofdbeeindigingen: Facetvormige vellingkant, met een hoek van 20 graden.

Geprofileerd beton (bijv. voorzetwanden en randelementen) dient geprefabriceerd te zijn en te voldoen aan beoordelingsklasse B9 van de CUR 100, waarbij voor beoordelingsaspecten het geprofileerde beton dient te voldoen aan klasse B1 van de CUR 100 (EpvE-0249).

Een nadere specificatie van het betonmengsel gebeurt in overleg met een betontechnoloog.

5.2 Wapeningsstaal

Gewicht $\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$

Materiaaleigenschappen

Betonstaal	f_{yk} [N/mm ²]	f_{yd} [N/mm ²]	E_s [N/mm ²]
B500B	500	435	200.000

5.3 Voorspanstaal

Gewicht $\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$

Materiaaleigenschappen

Voorspanstaal	f_{pk} [N/mm ²]	$f_{p0,1k}$ [N/mm ²]	E_p [N/mm ²]
Y1860S7	1860	1600	195.000



5.4 Opleggingen

Voor de DO berekeningen wordt uitgegaan van gewapende rubber oplegblokken. Op basis van de DO resultaten zal verder geverifieerd moeten worden of deze voldoen. De veerstijfheden van de oplegblokken worden bepaald in de DO-berekening. Er wordt daarbij uitgegaan van volgende moduli voor het rubber:

$$E = 2000 \text{ N/mm}^2$$

$$G = 0,9 \text{ N/mm}^2$$

Conform ROK1.4 dient rekening gehouden te worden met het vervangen van de opleggingen door vijzels onder het dek.

5.5 Duurzaamheid

Betonkwaliteit, milieuklasse en betondekking

De toe te passen milieuklassen en betondekkingen zijn bepaald op basis van EC2-1-1 en de aanvullingen uit ROK1.4.

Onderdeel	beton	milieuklasse	constr. klasse	C _{min} [mm]	ΔC _{dev} [mm]	C _{nom} [mm]	C _{toeg} [mm]
In situ dek			betonstaal				
bovenzijde	≥C35/45	XC4, XD3, XF4	S5 ¹⁾	55 ³⁾	+10	65	65
onder + flank		XC4, XD3, XF4	S5	45	+10	55	67 ¹¹⁾
			Voorspanstaal				
bovenzijde	≥C35/45	XC4, XD3, XF4	S5 ¹⁾	60 ⁴⁾	+10	70	>70
onder + flank		XC4, XD3, XF4	S5	50	+10	60	>60
Schampranden	C30/37	XC4, XD3, XF4	S5 ¹⁾	50 ⁵⁾	+10	60	60
Landhoofd	C30/37		Betonstaal				
frontwand / oplegvlak		XC4, XD3, XF4	S5 ¹⁾	50 ⁶⁾	+10	60	60
wand		XC4, XD3, XF4	S5	50	+10	60	60
wand, onder achterzijde*		XC2, XA2	S5	35 ⁷⁾	+10	45	60
vloer – algemeen		XC4, XD3, XF4	S5	50 ⁶⁾	+10	60	60
vloer – onderzijde		XC2, XF3, XA2	S5	35 ⁸⁾	+10	45	57 ¹²⁾
vleugelwanden		XC4, XD3, XF4	S5	45	+10	55	60
Stootplaat	C30/37		Betonstaal				
bovenzijde		XC4, XD3, XF4	S5 ¹⁾	50 ⁶⁾	+10	60	60
onderzijde		XC2, XD2, XF3	S5	45	+10	55	60
Schroefpalen	C30/37	XC2, XA2	S6 ²⁾	35	+10	75 ⁹⁾	92 ¹⁰⁾
Prefab palen	≥C55/67						
betonstaal		XC2, XA2	S4 ¹³⁾	25	+10	35	40
voorspanstaal		XC2, XA2	S4	30	+10	40	40

*) Voor een laaggelegen landhoofd met meer dan 1m gronddekking

1) S5 = S4 + 2 klassen (100 jr.) - 1 klasse (plaat)

2) S6 = S4 + 2 klassen (100 jr.)

3) 55 mm = 45 (tabel 4.4N) + 5 (onbekist/nabehandeld) + 5 (asfalt)

4) 55 mm = 50 (tabel 4.5N) + 5 (onbekist/nabehandeld) + 5 (asfalt)

5) 50 mm = 45 (tabel 4.4N) + 5 (risicovol of onbekist)

6) 50 mm = 45 (tabel 4.4N) + 5 (voeg en/of slecht inspecteerbaar/onderhoudbaar)

7) 35 mm = 30 (tabel 4.4N) + 5 (voeg en/of slecht inspecteerbaar/onderhoudbaar)

8) 35 mm = 30 (tabel 4.4N) + 5 (onbekist/nabehandeld)

9) Minimale dekking conform NEN-EN 12699

10) dekking schroefinjectiepaal Ø460/560 cf opgave leverancier

11) C_{toeg} = C_{nom} + borgstaaf Ø12 = 55 + 12 = 67mm (borgstaven buiten de dekking)

12) C_{toeg} = C_{nom} + borgstaaf Ø12 = 45 + 12 = 57mm

13) S4 = S4 + 2 klassen (100 jr.) - 1 klasse (kwaliteit) - 1 klasse (≥C35/45)



Grenswaarden scheurwijdte

De grenswaarden van de scheurwijdte worden bepaald aan de hand van EC2-1-1 artikel 7.3.1:

Onderdeel		milieuklasse		w_{max}
In situ dek	rondom	XC4, XD3, XF4	alleen betonstaal ¹⁾	$\leq 0,2mm$
			betonstaal en voorspanstaal met aanhechting	$\leq 0,1mm$
Schampkanten	bovenzijde + flank	XC4, XD3, XF4	alleen betonstaal	$\leq 0,2mm$
Landhoofd	overige onderdelen	XC4, XD3, XF4	alleen betonstaal	$\leq 0,2mm$
	Wand – achterzijde	XC2, XA2		$\leq 0,3mm$
	vloer – onderzijde	XC2, XF3, XA2		$\leq 0,3mm$
Stootplaten	bovenzijde	XC4, XD3, XF4	alleen betonstaal	$\leq 0,2mm$
	onderzijde	XC2, XD2, XF3		$\leq 0,2mm$
Schroefpalen	rondom	XC2, XA2	alleen betonstaal	$\leq 0,3mm$
Prefab palen	rondom	XC2, XA2	betonstaal en voorspanstaal met aanhechting	$\leq 0,2mm$

- 1) Indien de dekking op een voorspankanaal $\geq 200mm$ is, mag de toelaatbare scheurwijdte worden getoetst aan de eisen voor "elementen met betonstaal en/of voorspanstaal zonder aanhechting". E.e.a. conform ROK1.4 H6 art.7.3.1 (5).

Bovenstaande grenswaarde mogen worden verhoogd met de factor k_x :

$$k_x = C_{toegepast} / C_{nom} \leq 2$$



5.6 Bouwfasering

Voor het constructief ontwerp van K30B wordt uitgegaan van onderstaande globale fasering:

- Voorbelasting bergschenhoekseweg (tussen de landhoofden) en achter as 2;
- Verwijderen overhoogte, aanbrengen heiplateau;
- Aanbrengen paalfundering landhoofd as 1 en 2;
- Betonwerk landhoofd as 1 en 2;
- Betonwerk verkeersdek oost en west;
- Realisatie paalmatras noordzijde K30B (achter as 1);
- Realisatie EPS zuidzijde K30B (achter as 2);
- Gelijkmatic aanvullen grondlichaam noordzijde;
- Dekafwerking (asfalt. etc.);
- Ingebruikname.

Aandachtpunten constructief ontwerp volgend uit de bouwfasering:

- Eventuele ontgraving voor het aanbrengen van EPS aan de zuidzijde van K30B.



5.7 Geotechnische gegevens

Voor de geotechnische informatie wordt verwezen naar ref. [2.2] en [2.13]. Hieronder worden de belangrijkste uitgangspunten voor het constructief ontwerp opgesomd.

Gemiddelde freatische grondwaterstand

K30B: -6,55m NAP (polderpeil)

Het aanlegniveau van de poeren ligt boven of beperkt onder de grondwaterstand en is derhalve niet of nauwelijks van invloed op de berekening van K30B.

Fundering

De landhoofden worden gefundeerd op in de grond gevormde schroefpalen met groutinjectie en verloren punt.

Achter het landhoofd op as 1 (noordzijde) wordt een ophoging aangebracht. Aangezien de planning een consolidatieperiode niet toelaat, wordt een paalmatras toegepast om te voorkomen dat de paalfundering horizontaal belast wordt. Uitgangspunt is dat de lengte van het paalmatras dusdanig is, dat de invloed van de ophoging op het constructieve ontwerp van K30B nihil. De uitwerking van het paalmatras valt buiten de scope van deze DO-rapportage. Opgemerkt wordt dat de wanden van de landhoofden wel direct horizontaal belast worden door de ophoging.

Achter het landhoofd op as 2 (zuidzijde) wordt een ophoging aangebracht. Ondanks de voorbelasting wordt er nog wel een restzetting verwacht welke invloed heeft op de landhoofden. De ophoging vanaf de vloer van de landhoofden wordt met EPS uitgevoerd. Opgemerkt wordt dat de wanden van de landhoofden en de vloer achter de wanden niet belast wordt door gronddruk ten gevolge van de ophoging.



6 Ontwerpsituaties en grenstoestanden

6.1 Ontwerpsituaties

Ontwerpsituaties moeten als volgt zijn onderscheiden:

- Blijvende ontwerpsituaties, die verwijzen naar de omstandigheden van normaal gebruik;
- Tijdelijke ontwerpsituaties, die verwijzen naar tijdelijke omstandigheden die van toepassing zijn op de constructie, bijv. tijdens uitvoering of herstel;
- Buitengewone ontwerpsituaties, die verwijzen naar uitzonderlijke omstandigheden die van toepassing zijn op de constructie of waaraan ze is blootgesteld, bijv. aan brand, ontploffing, schokbelasting of de gevolgen van lokaal bezwijken;
- Aardbevingsontwerpsituaties, die verwijzen naar omstandigheden die van toepassing zijn op de constructie wanneer zij aan aardbevingsvoorvallen worden blootgesteld.

6.2 Uiterste grenstoestanden (ULS)

De grenstoestanden die betrekking hebben op:

- de veiligheid van personen, en/of
- de veiligheid van de constructie moeten zijn ingedeeld als uiterste grenstoestanden.

De volgende uiterste grenstoestanden moeten zijn getoetst indien van toepassing:

- EQU: verlies van statisch evenwicht van de constructie, of van welk deel ervan ook, beschouwd als star lichaam, waarbij kleine variaties van de waarde of de ruimtelijke verdeling van blijvende belastingen afkomstig van één enkele oorsprong van groot belang zijn, en de sterktes van de bouwmaterialen of de grond in het algemeen niet bepalend zijn.
- STR: intern bezwijken of buitensporige vervorming van de constructie of van constructieve elementen, met inbegrip van funderingen op staal, palen, kelderwanden; enz., waarbij de sterkte van bouwmaterialen van de constructie bepalend is;
- GEO: bezwijken of buitensporige vervorming van de grond waarbij de sterktes van grond of rots bepalend zijn voor de te leveren weerstand;
- FAT: bezwijken door vermoeiing van de constructie of constructie-onderdelen.
- UPL: verlies van evenwicht van de constructie of de ondergrond ten gevolge van opdrijven door waterdruk (opwaartse druk) of andere verticale belastingen;

De belastingcombinaties in dit rapport hebben betrekking op de uiterste grenstoestanden STR/GEO (groep B volgens NEN-EN1990) en FAT.

6.3 Bruikbaarheidsgrenstoestanden (SLS)

De grenstoestanden die betrekking hebben op:

- het functioneren van de constructie of delen ervan, onder normaal gebruik;
- het comfort van mensen;
- het uiterlijk van de bouwwerken;

Een onderscheid moet zijn gemaakt tussen omkeerbare en onomkeerbare bruikbaarheidsgrenstoestanden. De toetsing van bruikbaarheidsgrenstoestanden behoort te zijn gebaseerd op maatstaven die betrekking hebben op de volgende aspecten:

- Vervormingen die het uiterlijk, het comfort van gebruikers of het functioneren van de constructie (met inbegrip van die van machines en diensten) aantasten, of schade toebrengen aan afwerkings- en niet-constructieve elementen.
- Trillingen die ongemak voor mensen veroorzaken of de functionele doeltreffendheid van de constructie beperken.
- Schade die waarschijnlijk nadelig uitwerkt op het uiterlijk, de duurzaamheid of het functioneren van de constructie.

De belastingcombinaties in dit rapport zullen karakteristieke, frequente en quasi-permanente situaties definiëren.



7 Belastingen

7.1 Overzicht

Onderstaande standaardnummering wordt aangehouden voor de belastinggevallen:

Belastinggevallen	beschrijving	Voorbeelden
BG1 t/m 9	Permanente belasting	Eigen gewicht, asfalt, voorspanning
BG10 t/m 29	Wegverkeer belasting	LM1, rem-/aanzetkracht
BG30 t/m 39	Voetgangers en fietsverkeer belasting	Gelijkmatige belasting, dienstvoertuig
BG40 t/m 49	Overige variabele belasting	Wind, temperatuur
BG50 t/m 59	Buitengewone belasting	Aanrijding, ontsparing

Onderstaande tabel biedt een overzicht van de optredende belastinggevallen die ingevoerd worden in de EE-modellen van boven- en onderbouw, waarbij telkens ook wordt aangegeven of ze optreden op de boven- en/of onderbouw. In navolgende paragrafen zullen voor de volledigheid ook andere belastinggevallen worden beschreven die in detailberekeningen beschouwd moeten worden.

Belastinggevallen		Bovenbouw	Onderbouw
<i>Permanente belastingen</i>			
BG1	Eigen gewicht	X	X
BG2	Rustende belasting	X	X
BG3	Gronddruk		X
BG4	Opspaneffect		
BG5	Zetting		
BG6	Krimp en kruip	X	X
BG7	Werkvoorspanning	X	X
<i>Variabele belastingen door wegverkeer</i>			
BG10	LM1 – config A - UDL - [pos]	X	X
BG11	LM1 – config A - TS str1N - [...]	X	
BG12	LM1 – config A - TS str2N - [...]	X	
BG13	LM1 – config A - TS str3N - [...]	X	
BG14	LM1 – config A - TS+UDL – stootplaten		X
BG15	LM1 – config B - UDL - [pos]	X	X
BG16	LM1 – config B - TS str1M - [...]	X	
BG17	LM1 – config B - TS str2M - [...]	X	
BG18	LM1 – config B - TS str3M - [...]	X	
BG19	LM1 – config B - TS+UDL - stootplaten		X
BG20	LM1 – config C - UDL - [pos]	X	X
BG21	LM1 – config C - TS str1Z - [...]	X	
BG22	LM1 – config C - TS str2Z - [...]	X	
BG23	LM1 – config C - TS str3Z - [...]	X	
BG24	LM1 – config C - TS+UDL - stootplaten		X
BG25	Rem-/aanzetkracht – [config A/B/C] - [...]	X	X
BG26	Rem-/aanzetkracht – [config A/B/C] – stootplaten		X
BG27	Centrifugaalkrachten - [config A/B/C] - [...]	X	
BG28	Centrifugaalkrachten – [config A/B/C] – stootplaten		X
BG29	Wegverkeer achter landhoofd - [..]		X
<i>Overige variabele belastingen</i>			
BG40	Wind dwarsrichting dek (X-ri)	X	X
BG41	Wind dwars- en langsrichting dek (X- en Y-ri)	X	X
BG42	Temperatuurstijging	X	X
BG43	Temperatuurdaling	X	X



BG44	Bouwbelasting	X	X
<i>Buitengewone belastingen</i>			
BG50	Aanrijding onderbouw - [...]		
BG51	Aanrijding bovenbouw - [...]	X	X
BG52	Verkeersongeval op brugdek - [...]	X	

7.2 Opmerkingen

De verkeersbelastingen in NEN-EN 1991-2+C1 worden geacht te zijn gedefinieerd voor een referentieperiode van 100 jaar, incl. de daarin optredende trends.

Karakteristieke waarden van de veranderlijke belastingen voor gebouwen in NEN-EN 1991 zijn in het algemeen gebaseerd op een ontwerplevensduur van 50 jaar. Indien de ontwerplevensduren afwijkend van de ontwerplevensduur van 50 jaar zijn gebruikt, mogen de extreme waarden van gelijkmatig verdeelde belastingen zijn aangepast. In een aantal gevallen zijn daarvoor regels opgenomen in de desbetreffende normbladen in de reeks NEN-EN 1991. Bijvoorbeeld:

- EC1-1-3+C1 – Sneeuwbelasting: Bijlage D
- EC1-1-4+A1+C2 – Windbelasting: Opmerking 4 van 4.2
- EC1-1-5+C – Thermische belastingen: bijlage A.2



7.3 Permanente belastingen

7.3.1 Eigen gewicht

- Beton	γ	= 25,0 kN/m ³ (gewapend)
	γ	= 23,8 kN/m ³ (minimaal gewapend)
	γ	= 23,0 kN/m ³ (ongewapend beton)
- Asfalt	γ	= 23,0 kN/m ³
- Staal	γ	= 78,5 kN/m ³

7.3.2 Rustende belasting

7.3.2.1 Asfaltconstructie

Asfaltpakket $Q_{\text{asfalt}} = 0,14\text{m} \times 23 \text{ kN/m}^3 = 3,22 \text{ kN/m}^2$

Met: dikte asfaltpakket en uitvulling o.b.v. ROK1.4 - §5.1 – 5.2.3 (3):

$$D = 140 + 0 = 140\text{mm}$$

$$a = (22 - 30) / 4 = -2\text{mm} > \text{kies: } a = 0$$

Opmerkingen:

- De werkelijke asfaltdikte bedraagt 100mm. De rekentechnische asfaltdikte is dus voldoende (100mm < 140mm OK).

7.3.2.2 Dekrand en randelementen

Betonnen randelement $g_k = 0,175\text{m} \times 1,2\text{m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 5,25 \text{ kN/m}$ (aanname)
 (incl. ophangconstructie)

7.3.2.3 Schampranden

Schamprand, $d_{\text{gem}} = 0,25\text{m}$ $Q_{\text{schamp}} = 0,25\text{m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 6,25 \text{ kN/m}^2$

7.3.2.4 Geleiderails

Geleiderailconstructie $g_k = 0,6 \text{ kN/m}$

Deze waarde is gebaseerd op een maximaal gewicht van 230kg voor 4m geleiderail.

In ROK1.4 §5.8 staat omschreven dat voor de afstand van de rand van de verkeersbrug tot de rijweg geen grotere afstand dan 1,40 m mag worden aangehouden. De lijnlast wordt derhalve op 1,4m vanaf de rand van het brugdek geplaatst.

7.3.2.5 Verlichting

Geen lichtmasten aanwezig op dek. De rustende belasting ten gevolge van verlichtingsarmaturen aan de onderzijde van het kunstwerk is beperkt en wordt buiten beschouwing gelaten.

7.3.2.6 Geluidsscherm

EG geluidsscherm, $h=2,0\text{m}$ $g_k = 4,0 \text{ kN/m}$ (aanname)



7.3.2.7 Uitvulling dek

Het dek wordt voorzien van een blijvende toeg van 1/1000 van de overspanning conform ROK1.4. Dit resulteert in een opbolling van het dek van 30mm (naar boven afgerond). Aangezien bovenkant dek het wegontwerp volgt, leidt dit ter plaatse van de landhoofden en het tussensteunpunt tot een extra uitvulling van 30mm verlopend naar 0mm ter plaatse van het veldmidden.

tpv landhoofden	$Q_{k \max} = 0,03m \times 25 \text{ kN/m}^3 = 0,75 \text{ kN/m}^2$
tpv veld	$Q_{k \min} = 0 \text{ kN/m}^2$

Gezien de tegengestelde dwarsverkanting van het fietspad wordt het dek niet met de dwarsverkanting van de weg meegelegd, maar onder een flauwere dwarsverkanting. Het hoogte verschil wordt uitgevuld waardoor een extra verlopende oppervlaktelast in dwarsrichting (dek west) wordt gemodelleerd:

tpv overgang fietspad- rijbaan	$Q_{k \max} = 3,22 \text{ kN/m}^2$ (ca. 5,3 m – $\geq 9,8$ m)
tpv rand	$Q_{k \min} = 0 \text{ kN/m}^2$

7.3.2.8 Stootplaten

Configuratie stootplaat:	$l \times b \times h = 5000 \times 1000 \times 400$	(aanname)
eigen gewicht plaat, beton	$\frac{1}{2} \times 5,0m \times 0,4m \times 25 \text{ kN/m}^3$	$= 25,0 \text{ kN/m}$
asfalt	$\frac{1}{2} \times 5,0m \times 3,22 \text{ kN/m}^2$	$= 8,1$
	g_k	$= 33,1 \text{ kN/m}$

7.3.3 Grond- en waterdruk

Uitgangspunten

- grond nat $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- grond droog $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
- gronddrukcoëfficiënt $k_0 = 0,5$
- grondwaterstanden -6,55m NAP (polderpeil)

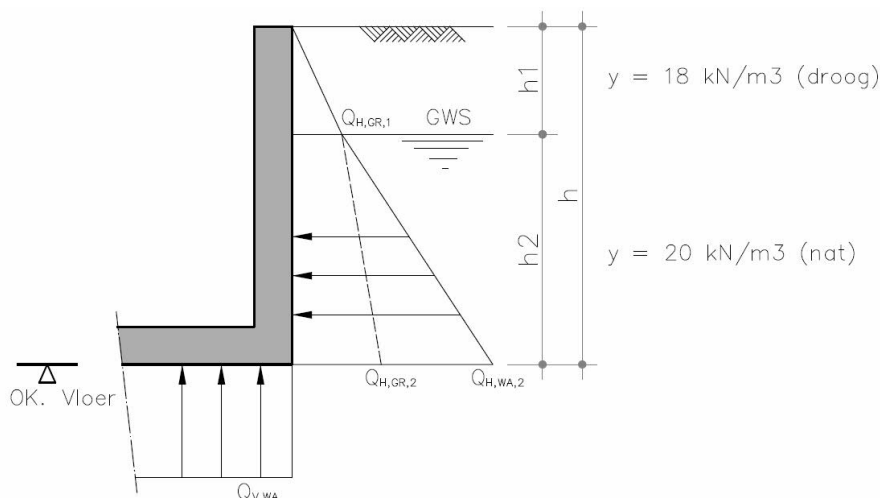
Grond- en waterdruk

De horizontale gronddruk op de constructie wordt als volgt bepaald:

$Q_{h \text{ gr I}} = 0,5 \times 18 \text{ kN/m}^3 \times h_1$	horizontaal
$Q_{h \text{ gr II}} = (0,5 \times 18 \text{ kN/m}^3 \times h_1) + (0,5 \times (20 - 10) \times h_2)$	horizontaal

De hydrostatische waterdruk op de constructie wordt als volgt bepaald:

$Q_{h \text{ wa II}} = (\text{GWS} - \text{ok vloer}) \times 10 \text{ kN/m}^3 = h_2 \times 10 \text{ kN/m}^3$	horizontaal
$Q_{v \text{ wa}} = (\text{GWS} - \text{ok vloer}) \times 10 \text{ kN/m}^3$	verticaal



Figuur 7.3-1: Belastingen grond- en waterdruk



7.3.4 Negatieve kleeft

Negatieve kleeft treedt op over alle steunpunten. Dit wordt verwerkt in een gereduceerd paal draagvermogen.

7.3.5 Opspaneffect

Ten gevolge van de temperatuurswisselingen zal de betonconstructie willen verlengen en verkorten. De verlenging van het dek van K30B wordt relatief weinig verhinderd door het toepassen van een vrij opgelegd dek met oplegblokken. Van het opspaneffect is derhalve geen sprake.

7.3.6 Zettingen

De zettingseisen met betrekking tot de steunpunten op basis van ROK1.4 - §10.1 zijn:

maximale steunpuntzakking $\delta = 0,05\text{m}$

maximaal zettingsverschil 2 opeenvolgende steunpunten $\delta = 0,03\text{m}$

Aangezien de verkeersdekken isostatisch worden opgelegd, geeft een ongelijkmatige zetting van de onderbouw geen spanningen in de dekken. Dit belastinggeval is derhalve niet relevant voor K30B.

7.3.7 Krimp en kruip

De krimpverkorting en de kruipcoëfficiënt worden bepaald aan de hand van EC2-1-1 art.3.1.4.

Bij het bepalen van de horizontale wandwapening wordt rekening gehouden met opgelegde vervormingen door krimp- en temperatuureffecten (krimpwapening). De beschouwing wordt uitgevoerd op basis van EC2-1, EC2-3.

Krimp en kruip zorgt voor een verkorting van de dekconstructie. Dit geeft een horizontale belasting op de onderbouw, welke afhankelijk is van de stijfheid van de toegepaste oplegblokken. De grootte van de verkorting is afhankelijk van meerdere factoren die nu nog niet bekend zijn zoals de betonspanning in het dek t.g.v. de voorspanning, de ouderdom van het dek op het moment van belasten. Een inschatting van de optredende krimp en kruip in het dek is opgenomen in bijlage 2. Daarbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Betonkwaliteit: C35/45
- Cementklasse: N
- Tijdstip neerlaten dek op onderbouw: 28 dagen na storten dek
- Relatieve vochtigheid buitenlucht: 75 %
- Betonspanning t.g.v. voorspanning: 5 N/mm²

Schatting resterende verkorting door krimp en kruip: 0,402‰ (t = 28dg > t = ∞)



7.3.8 Voorspanning

Algemeen

Het dek van K30B worden voorzien van voorspanning met nagerekt staal met aanhechting (VMA).

Uitgangspunten

Systeem	voorspanning met aanhechting (VMA)		
Type	leverancier DSI, systeem cf ETA-13/0815		
Kabels	12Ø15,7 – 500 mm		
Omhuilingsbuis	Ø80/87		
Spansysteem	eenzijdig voorspannen (om & om)		
	$\sigma_{p,max} = 1430 \text{ N/mm}^2$ Y1860S		
Spanfasering	1e spanfase	15% VSP	(krimpvoorspanning)
	2e spanfase	60% VSP	(eigen gewicht)
	3e spanfase	100% VSP	(eindvoorspanning)
	na minimaal 28 dagen of bereiken eindsterkte		

Kabelverloop voorspanning Zie DO berekening bovenbouw ref. [2.14]

Methodiek voorspanberekening

De voorspankrachten worden bepaald op basis van EC2-1-1 artikel 5.10:

$$P_{m0}(x) = P_{max} - \Delta P_i(x)$$

Met: $P_{m0}(x)$: aanvangsvoorspankracht direct na spannen en verankeren
 P_{max} : kracht op het spanelement tijdens het spannen
 $\Delta P_i(x)$: direct optredende voorspanverliezen t.g.v. de elastische vervorming van het beton, wrijving en wigzetting

$$P_{m,t}(x) = P_{m0}(x) - \Delta P_{c+s+r}(x)$$

Met: $P_{m,t}(x)$: werkvoorspankracht op $t > t_0$
 $\Delta P_{c+s+r}(x)$: tijdsafhankelijke voorspanverliezen t.g.v. krimp, kruip en relaxatie

Direct optredende verliezen

- Verliezen tgv direct optredende vervorming van het beton:
 - o In rekening gebracht cf EC2-1-1 art.5.10.5.1;
 - o Alleen de laatste spanfase wordt beschouwd, omdat de verliezen uit eerdere spanfasen weer worden weggespannen;
- Verliezen ten gevolge van wrijving:
 - o in rekening gebracht cf EC2-1-1 art.5.10.5.2;
 - o de wrijvingscoëfficiënt (μ) en de factor voor het Wobble-effect (k) worden overgenomen uit ETA-13/0815. Deze waarden worden voor de voorspanverliezen, aanvangs kracht en verlenging t.b.v. spanprotocol gehanteerd.
 - $\mu = 0,19 \text{ rad}^{-1}$
 - $k = 0,005 \text{ rad/m}$
- Verliezen ten gevolge van wigintrekking:
 - o In rekening gebracht cf EC2-1-1 art.5.10.5.3;
 - o De wigintrekking wordt overgenomen uit ETA-13/0815:
 - 6mm wigzetting aan de spanzijde
 - 5mm wigzetting aan niet-spanzijde

Tijdsafhankelijke voorspanverliezen

- Verliezen door krimp, kruip en relaxatie:
 - o In rekening gebracht cf EC2-1-1 art.5.10.6.



7.4 Variabele belastingen door wegverkeer

7.4.1 Verticale belasting door wegverkeer

De verticale belasting door wegverkeer wordt gekozen o.b.v. artikel 4.3 van EC1-2.

Belastingmodel 1 (LM1)

Per rijstrook van 3,0m breed, bestaat deze belasting uit twee geconcentreerde aslasten (tandemlast) en een gelijkmatig verdeelde belasting. In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de belastingen.

Positie	Tandemstelsel (TS)	Gelijkmatig verdeelde last (UDL)	
	$Q_i = \text{..[kN]}$	$q_i = \text{..[kN/m}^2\text{]}$	$q_r = \text{..[kN/m}^2\text{]}$
Rijstrook 1	300	9,0	
Rijstrook 2	200	2,5	
Rijstrook 3	100	2,5	
Overige stroken		2,5	
Resterend opp.			2,5

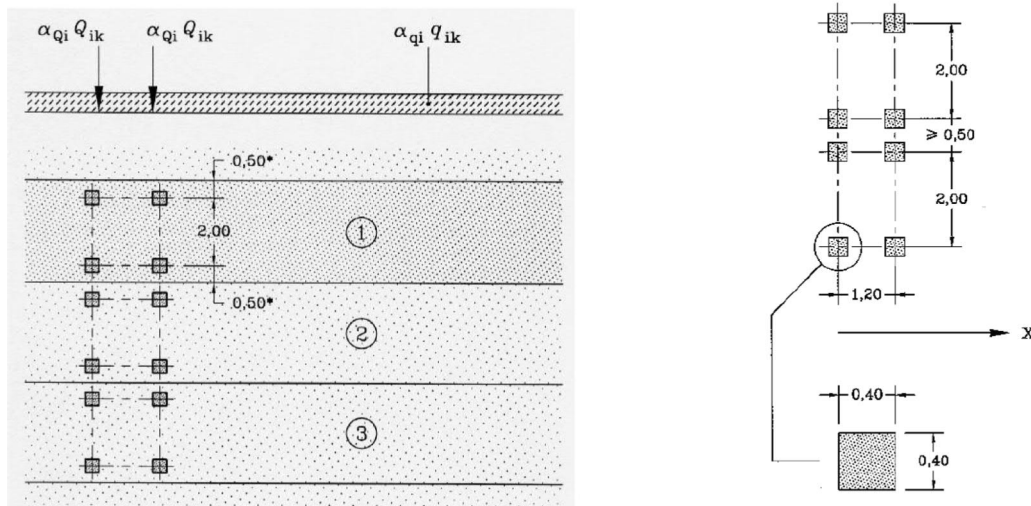
De correctiefactoren (α) worden bepaald aan de hand van de verkeersintensiteit:

$$N_{\text{obs}} \geq 2,0 \times 10^6 \text{ vrachtwagens per jaar per rijstrook voor zwaar verkeer}$$

Op basis van tabel NB.1 uit EC1-2 worden de volgende correctiefactoren aangehouden bij 3 of meer theoretische rijstroken:

$$\begin{aligned} \alpha_{Q1} &= 1,0 \quad \text{TS} \\ \alpha_{q1} &= 1,15 \quad \text{UDL rijstrook 1} \\ \alpha_{qi>1} &= 1,4 \quad \text{UDL overig} \end{aligned}$$

De belastingen worden volgens onderstaand figuur geplaatst op het dek:



Figuur 7.4-1: Configuratie LM1

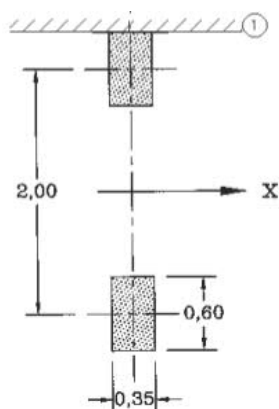


Het aantal theoretische rijstroken wordt bepaald op basis van de afstand tussen de vaste voertuigkeringen (geleiderail). Conform ROK1.4 (§5.8 – art. 4.2.3) wordt voor de afstand van de rand van het dek tot de rijweg geen grotere afstand dan 1,40 m aangehouden. In verband met vrije indeelbaarheid wordt de indeling over de gehele dekbreedte beschouwd, dus ook ter plaatse van het fietspad.

	breedte rijweg	aantal stroken	breedte strook	resterend opp.
onderdeel	$w = \dots$ [m]	$n = \dots$ [-]	$w_l = \dots$ [m]	[m]
Verkeersdek west	17,7	5	3,0	2,7
Verkeersdek oost	12,4	4	3,0	0,4

Belastingmodel 2 - enkele aslast (LM2)

BM2 bestaat uit een enkele aslast van $Q_{ak} = 400$ kN die op iedere willekeurige positie van de rijweg geplaatst kan worden. De aslast bestaat uit 2 wielprenten met de configuratie volgens onderstaand figuur.



Verklaring

X Lengterichting van de brug
 I Stootrand

Figuur 7.4-2: Configuratie LM2

Belastingmodel 3 – bijzonder voertuig

Niet van toepassing (geen specifieke eis voor gedefinieerd).

Belastingmodel 4 - mensenmenigte (LM4)

Deze belasting is niet relevant voor K30B. De effecten van de model zijn reeds afgedekt door LM1.

Spreiding wielprenten op vloer

De wielprenten worden 1:1 ($= 45^\circ$) gespreid tot de systeemlijn van het dek.



7.4.2 Rem- en aanzetbelasting

De rem- en aanzetbelasting wordt bepaald op basis van art.4.4.1 van EC1-2.

Voor een veld met lengte L geldt:

$$Q_{lk} = 0,6 \times a_{Q;1} \times (2 \times Q_{1;k}) + 0,10 \times a_{q;1} \times q_{1;k} \times w_{th;1} \times L \leq 800 \text{ kN}$$

$$Q_{lk} = 0,6 \times 1,0 \times (2 \times 300) + 0,10 \times 1,15 \times 9,0 \times 3,0 \times L$$

$$= 360 \text{ kN} + 3,1 \text{ kN/m} \times L \leq 800 \text{ kN} \quad \text{per rijrichting}$$

Configuratie belasting:

- Kracht werkt in lengterichting brugdek, aangrijpingspunt bovenzijde wegdek;
- Kracht grijpt aan in as van een willekeurige rijstrook en mits excentriciteitsinvloeden verwaarloosbaar zijn, mag kracht gelijkmatig verdeeld worden over de belaste lengte.

7.4.3 Centrifugaalkrachten

De centrifugaalkracht wordt bepaald op basis van art.4.4.2 van EC1-2.

	$Q_{tk} = \dots [\text{kN}]$	$q_{tk} = \dots [\text{kN/m}]$
$r < 200 \text{ m}$	$0,2 \times Q_v$	$0,2 \times (\sum q_{ik} \times 3 \times L)$
$200 \text{ m} \leq r \leq 1500 \text{ m}$	$40 \times Q_v / r$	$40 \times (\sum q_{ik} \times 3 \times L) / r$
$r > 1500 \text{ m}$	0	0

Configuratie belasting:

- Kracht in dwarsrichting (radiaal t.o.v. as wegdek), aangrijpingspunt bovenzijde wegdek;
- Q_{tk} t.g.v. stelsel kan aangrijpen op ieder willekeurige dwarsdoorsnede;
- q_{tk} t.g.v. UDL moet gelijkmatig verdeeld langs de as van het kunstwerk zijn aangenomen.

De gemiddelde straal van de lengte-assen van de Ankie Verbeek-Ohrlaan wordt afgelezen uit het wegontwerp, ref. [2.10]:

$$\left. \begin{array}{ll} \text{dek West} & r = 272\text{m} \\ \text{dek Oost} & r = 258\text{m} \end{array} \right\} \text{ kies } r = 250\text{m} \text{ voor beide dekken}$$

7.4.4 Wegverkeer achter landhoofd

7.4.4.1 Verticale belastingen

De veranderlijke belasting achter de landhoofden, de vleugelwanden, de zijmuren en andere brugonderdelen die in contact staan met de grond, wordt bepaald op basis van EC1-2 art. 4.9.1. In dit artikel wordt gesteld dat er een oppervlaktelast achter het landhoofd in rekening gebracht moet worden, equivalent aan het relevante laststelsel (LM1).

Voor de spreiding van het stelsel in het grondlichaam wordt een hoek van 30° ten opzichte van de verticaal gehanteerd.

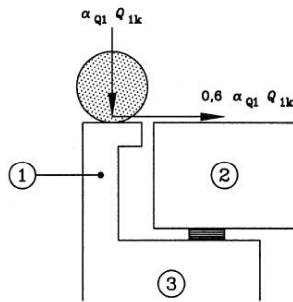


7.4.4.2 Horizontale belastingen

Boven de aanvulling hoeft, op het niveau van het wegdek van de rijweg, geen horizontale kracht in rekening te zijn gebracht.

Voor het ontwerp en de berekening van de frontmuren van een landhoofd, behoort een remkracht in lengterichting in rekening te zijn gebracht, met een karakteristieke waarde gelijk aan $0,6 \alpha_{Q1} Q_{1k}$, die gelijktijdig aangrijpt met de aslast $\alpha_{Q1} Q_{1k}$ van belastingmodel 1 en met de gronddruk van de aanvulling. De aanvulling wordt niet gelijktijdig belast.

$$0,6 \alpha_{Q1} Q_{1k} = 0,6 \times 1,0 \times 300 = 180 \text{ kN}$$



Verklaring

- (1) frontmuur
- (2) brugdek
- (3) landhoofd

Figuur 7.4-3: Schematisering van de belastingen op frontmuren

De horizontale belasting op een stootplaat moet gelijk zijn genomen aan de in §7.4.2 genoemde horizontale belasting ten gevolge van remmen/aanzetten. Deze horizontale belasting moet zijn gecombineerd met de aanwezigheid op de stootplaat van het tandemstel Q_{1k} van belastingmodel 1. Volgens ROK 1.4 (§5.8) mag aangenomen worden dat deze horizontale belasting opgenomen wordt door de wegverharding.



7.5 Overige variabele belastingen

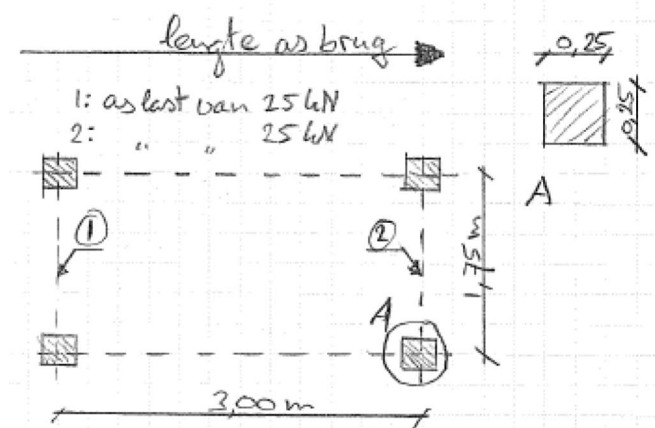
7.5.1 Belasting fiets- en voetpaden

De verticale en horizontale belasting op het fiets- en voetpad wordt bepaald op basis van EC1-2, H5:

Gelijkmatig verdeelde belasting $q_{fk} = 5,0 \text{ kN/m}^2$
 $q_{flk} = 10\% \times 5,0 \text{ kN/m}^2 = 0,5 \text{ kN/m}^2$

Geconcentreerde belasting $Q_{fvd} = 7 \text{ kN}$ niet maatgevend

Dienstvoertuig



Figuur 7.55-1: Configuratie dienstvoertuig

Totaal gewicht dienstvoertuig: $Q_{fk} = 2 \times 25 \text{ kN} = 50 \text{ kN}$
 $Q_{flk} = 30\% \times (25 \text{ kN} + 25 \text{ kN}) = 15 \text{ kN}$

Bovenstaande belastingen worden volledig afgedekt door LM1. Dit belastingmodel wordt in verband met vrije indeelbaarheid over de volledige dekbreedte in rekening gebracht.

7.5.2 Belastingen op handregel veiligheidsscherf

Het leuningwerk aan de westzijde van het westelijk dek schermt het fietspad af. De belasting wordt gekozen cf. EC1-2 art.4.8 / NB, op basis van een voor publiek toegankelijk gebied:

- Een lijnbelasting van 3,0 kN/m, die zowel een keer horizontaal als verticaal moet zijn beschouwd op de bovenzijde van de leuning.

Het leuningwerk aan weerszijden van de vide tussen de dekken schermt het inspectiepad af en wordt gekozen cf. EC1-2 art.4.8 / NB, op basis van een niet voor publiek toegankelijk gebied:

- Een lijnbelasting van 0,8 kN/m, die zowel een keer horizontaal als verticaal moet zijn beschouwd op de bovenzijde van de leuning.

Opmerkingen:

- De leuningen worden op afdoende wijze beschermd tegen aanrijdingen door voertuigen en hebben geen voertuigkerende functie. Ze dienen niet berekend te zijn op aanrijding door voertuigen.
- De vermelde belastingen zijn relevant voor het lokaal ontwerp, bijvoorbeeld voor zijn verankering. Ze dienen echter niet meegenomen te worden in de analyse van de algemene stabiliteit van brug. Deze horizontale lijnlast wordt veroorzaakt door personen die op het dek staan en leidt tot een interne kracht in het dek die geen invloed heeft op de krachten in de oplegblocken.



7.5.3 Sneeuwbelasting

De sneeuwbelasting op de dekken wordt bepaald volgens EC1-1-3 – art.4, met toepassing van bijlage D.

In verband met de referentieperiode van 100 jaar moet de sneeuwbelasting bepaald worden volgens formule:

$$s_n = s_k \left\{ \frac{1 - V \frac{\sqrt{6}}{\pi} [\ln(-\ln(1 - P_n)) + 0.57222]}{(1 + 2.5923V)} \right\}$$

Met: $P_n = 0,01$ Voor T = 100 jaar, jaarlijkse waarschijnlijkheid van overschrijding;
 $V = 0,8$ NB, Bijlage D: variatiecoëfficiënt van de jaarlijkse sneeuwbelasting
 $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$ NB, art.4.1: karakteristieke waarde van de sneeuwbelasting op de grond

Sneeuwbelasting op dek: $s_n = s_k * 1,14 = 0,80 \text{ kN/m}^2$

Sneeuwbelasting op brugdekken komt niet voor in maatgevende belastingcombinaties en wordt verder buiten beschouwing gelaten.

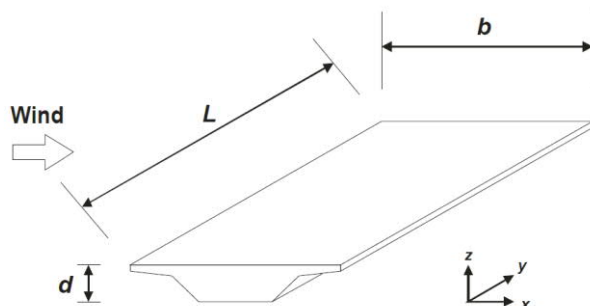
7.5.4 Windbelasting

7.5.4.1 Uitgangspunten

De windbelasting wordt bepaald op basis van EC1-1-4 met aanvullingen vanuit de ROK1.4:

- Windgebied II (Rotterdam);
- Terreincategorie II - onbebouwd gebied (cf ROK1.4);

Voor de omschrijving van de windbelasting wordt onderstaande notatie toegepast:



Figuur 7.5-2: Gebruik van symbolen voor windbelasting op bruggen

Conform art. 8.2 van EC1-1-4 is een dynamische responsieberekening niet nodig voor verkeersdekken met overspanningen kleiner dan 40m en waarvan de vorm van de dwarsdoorsnede in overeenstemming is met figuur 8.1 van EC1-1-4.

Voor K30B geldt dat het dek overspanningen heeft kleiner dan 40m. Een responsieberekening is derhalve niet noodzakelijk.

Hieronder is de basisstuwdruk bepaald voor de dekken van K30B ($z_e \leq 20 \text{ m}$).



Windbelasting bruggen conform NEN-EN 1991-1-4+C2:2011/NB:2011									
Gegevens									
windgebied	II			windgebied	I	II	III		
gebied	onbebouwd gebied			v_b	29,5	27,0	24,5	m/s	
Ontwerplevensduur	100 jaar	p	0,01 -						
z_e	7 m			$v_{b,0}$	23,0 m/s (conform art. 8.1 (4))				
d	1,2 m (dek)	b	15,5 m	ρ	1,25 kg/m ³				
verkeersband	2 m (hoogte)			d_1	2 m (hoogte dichte kering)				
d_{tot}	3,2 m (zonder verkeer)	type leuning/kering	dichte leuning of kering						
d_{tot}	3,2 m (met verkeer)	aantal zijden	1 st.						

Windbelasting (conform EC1-1-4 art. 8.3.2)									
$C_{prob} = ([1 - K \times \ln(-\ln(1 - p))] / [1 - K \times \ln(-\ln(1 - p))])^n$	1,0418 -				windgebied	I	II	III	
$v_{b,p} = v_b \times C_{prob}$	28,13 m/s				K	0,200	0,234	0,281	-
$C_{zonder\ verkeer}$	3,00 (zonder verkeer, met $b/d_{tot} = 4,84$)				n	0,50	0,50	0,50	-
$C_{met\ verkeer}$	3,00 (met verkeer, met $b/d_{tot} = 4,84$)								
$F_w = 1/2 \times \rho \times v_b^2 \times C \times A_{ref,x}$					C	$z_e \leq 20$ m		$z_e = 50$ m	
$F_{w,zonder\ verkeer}$	4,7 kN/m ¹				b/d_{tot}	kust	onbebouwd	kust	onbebouwd
$F_{w,met\ verkeer}$	4,7 kN/m ¹				$\leq 0,5$	8,0	5,6	9,4	7,3
$F_{w,*}$	3,4 kN/m ¹				$\geq 4,0$	4,3	3,0	5,1	4,0

7.5.4.2 Windbelasting brugdek in dwarsrichting (X-richting)

Windbelasting zonder verkeer: $F_{w;x} = 4,7 \text{ kN/m}^1$

Windbelasting met verkeer: $F_{w;x} = 4,7 \text{ kN/m}^1$

Windbelasting met dominante verkeersbelasting, maximale van onderstaande:

dwarsrichting $F_{w;x} = 4,7 \text{ kN/m}^1 \times \Psi_0$ met: $\Psi_0 = 0,3$ (blijvende ontwerpsituatie)

dwarsrichting $F_{w;x}^* = 3,4 \text{ kN/m}^1 \times \Psi_0$ met: $\Psi_0 = 1$

7.5.4.3 Windbelasting brugdek in dwars- en langsrichting (X- en Y-richting)

De belasting in langsrichting bedraagt 40% van de totale windkracht in X-richting van het brugdek. De windkracht in Y-richting treedt gelijktijdig op met een even grote windkracht in de X-richting.

Windbelasting met / zonder verkeer:

dwarsrichting $F_{w;x} = 40\% \times 4,7 \text{ kN/m}^1$

langsrichting $F_{w;y} = 40\% \times 4,7 \text{ kN/m}^1 \times (L / b)$

Windbelasting met dominante verkeersbelasting, maximale van onderstaande:

dwarsrichting $F_{w;x} = 40\% \times 4,7 \text{ kN/m}^1 \times \Psi_0$ met: $\Psi_0 = 0,3$ (blijvende ontwerpsituatie)

langsrichting $F_{w;y} = 40\% \times 4,7 \text{ kN/m}^1 \times (L / b) \times \Psi_0$

dwarsrichting $F_{w;x}^* = 40\% \times 3,4 \text{ kN/m}^1 \times \Psi_0$ met: $\Psi_0 = 1$

langsrichting $F_{w;y}^* = 40\% \times 3,4 \text{ kN/m}^1 \times (L / b) \times \Psi_0$



7.5.5 Thermische belastingen

Voor de blijvende ontwerpsituaties wordt de temperatuurbelasting bepaald aan de hand van EC1-1-5. Dektype 3 (betonnen dek) is van toepassing.

Gelijkmatige temperatuurcomponent (Jaarlijkse temperatuurinvloeden)

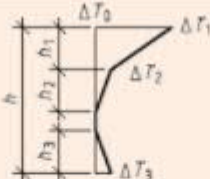
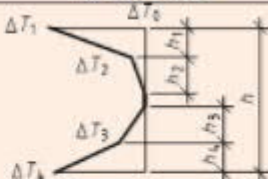
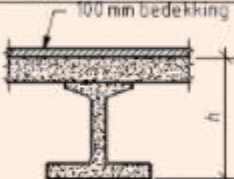
Referentietemperatuur $T_0 = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatuurstijging $T_{\max} = 1,04 * 30 = 31,2\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $T_{e,\max} = T_{\max} + 2 = 33,2\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $\Delta T_{N,\exp} = 33,2 - 10 = 23,2\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatuurdaling $T_{\min} = 1,10 * -25 = -27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $T_{e,\min} = T_{\min} + 8 = -19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $\Delta T_{N,\text{con}} = -19,5 - 10 = -29,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

NB.* De waarde van de jaarlijkse temperatuurswisseling uit EC1-1-5 is gebaseerd op een referentieperiode van 50 jaar (overschrijdingskans 0,02). Omdat DGB een ontwerplevensduur van 100 jaar heeft (overschrijdingskans 0,01), worden de waarden $T_{\max}$ en $T_{\min}$ gecorrigeerd conform bijlage A van EC1-1-5.

Temperatuurverschilcomponent (Dagelijkse temperatuurinvloeden)

Constructietype	Temperatuurverschil (ΔT)																																																								
	(a) Opwarming	(b) Afkoeling																																																							
 3a. Betonnen plaat	 $h_1 = 0,3\ h$ maar $\leq 0,15\ \text{m}$ $h_2 = 0,3\ h$ maar $\geq 0,10\ \text{m}$ en $\leq 0,25\ \text{m}$ $h_3 = 0,3\ h$ maar $h_3 \leq h - h_1 - h_2$ en $h_3 \leq (0,10\ \text{m} + \text{slijtlaagdikte (m)})$	 $h_1 = h_4 = 0,20\ h$ maar $\leq 0,25\ \text{m}$ $h_2 = h_3 = 0,25\ h$ maar $\leq 0,20\ \text{m}$																																																							
 3b. Betonnen liggers	<table><tr><th>h m</th><th>ΔT_1 $^{\circ}\text{C}$</th><th>ΔT_2 $^{\circ}\text{C}$</th><th>ΔT_3 $^{\circ}\text{C}$</th></tr><tr><td>$\leq 0,2$</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td></tr><tr><td>0,4</td><td>10</td><td>7</td><td>0</td></tr><tr><td>0,6</td><td>10</td><td>5</td><td>0</td></tr><tr><td>$\geq 0,8$</td><td>10</td><td>4,5</td><td>0</td></tr></table>	h m	ΔT_1 $^{\circ}\text{C}$	ΔT_2 $^{\circ}\text{C}$	ΔT_3 $^{\circ}\text{C}$	$\leq 0,2$	–	–	–	0,4	10	7	0	0,6	10	5	0	$\geq 0,8$	10	4,5	0	<table><tr><th>h m</th><th>ΔT_1 $^{\circ}\text{C}$</th><th>ΔT_2 $^{\circ}\text{C}$</th><th>ΔT_3 $^{\circ}\text{C}$</th><th>ΔT_4 $^{\circ}\text{C}$</th></tr><tr><td>$\leq 0,2$</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td></tr><tr><td>0,4</td><td>–5</td><td>–3</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0,6</td><td>–5</td><td>–3</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0,8</td><td>–5</td><td>–2,5</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1,0</td><td>–5</td><td>–1,5</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>$\geq 1,5$</td><td>–5</td><td>–0,5</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	h m	ΔT_1 $^{\circ}\text{C}$	ΔT_2 $^{\circ}\text{C}$	ΔT_3 $^{\circ}\text{C}$	ΔT_4 $^{\circ}\text{C}$	$\leq 0,2$	–	–	–	–	0,4	–5	–3	0	0	0,6	–5	–3	0	0	0,8	–5	–2,5	0	0	1,0	–5	–1,5	0	0	$\geq 1,5$	–5	–0,5	0	0
h m	ΔT_1 $^{\circ}\text{C}$	ΔT_2 $^{\circ}\text{C}$	ΔT_3 $^{\circ}\text{C}$																																																						
$\leq 0,2$	–	–	–																																																						
0,4	10	7	0																																																						
0,6	10	5	0																																																						
$\geq 0,8$	10	4,5	0																																																						
h m	ΔT_1 $^{\circ}\text{C}$	ΔT_2 $^{\circ}\text{C}$	ΔT_3 $^{\circ}\text{C}$	ΔT_4 $^{\circ}\text{C}$																																																					
$\leq 0,2$	–	–	–	–																																																					
0,4	–5	–3	0	0																																																					
0,6	–5	–3	0	0																																																					
0,8	–5	–2,5	0	0																																																					
1,0	–5	–1,5	0	0																																																					
$\geq 1,5$	–5	–0,5	0	0																																																					
 3c. Betonnen kokerligger																																																									

Figuur 7.5-3: Invloed dagelijkse temperatuurbelasting dektype 3



De temperatuurbelasting is verder uitgewerkt in bijlage 3. Hieronder staande resulterende belastingen op het dek samengevat.

Gelijktijdigheid van gelijkmatige component en verschilcomponenten art. 6.1.5										
$\Delta T = 0,75 \times \Delta T_{M,heat} (of \Delta T_{M,cool}) + \Delta T_{N,exp} (of \Delta T_{N,con})$ en					$\Delta T = \Delta T_{M,heat} (of \Delta T_{M,cool}) + 0,35 \times \Delta T_{N,exp} (of \Delta T_{N,con})$					
Temperatuurstijging met gelijkmatige component extreem										
ΔT_{boven}	=	0,75	x	7,2 °C	+		23,2 °C	=	28,6 °C	
ΔT_{onder}	=	0,75	x	-2,5 °C	+		23,2 °C	=	21,3 °C	
$\Delta T_{gemiddeld}$									=	25,0 °C
Temperatuurstijging met verschilcomponent extreem										
ΔT_{boven}	=			7,2 °C	+	0,35	x	23,2 °C	= 15,3 °C	
ΔT_{onder}	=			-2,5 °C	+	0,35	x	23,2 °C	= 5,6 °C	
$\Delta T_{gemiddeld}$									=	10,5 °C
Temperatuurdaling met gelijkmatige component extreem										
ΔT_{boven}	=	0,75	x	-3,4 °C	+		-29,5 °C	=	-32,1 °C	
ΔT_{onder}	=	0,75	x	1,2 °C	+		-29,5 °C	=	-28,6 °C	
$\Delta T_{gemiddeld}$									=	-30,3 °C
Temperatuurdaling met verschilcomponent extreem										
ΔT_{boven}	=			-3,4 °C	+	0,35	x	-29,5 °C	= -13,7 °C	
ΔT_{onder}	=			1,2 °C	+	0,35	x	-29,5 °C	= -9,1 °C	
$\Delta T_{gemiddeld}$									=	-11,4 °C

7.6 Belasting tijdens uitvoering

Bouwbelasting door personeel op dek

$q_{ca,k}$	= 1,0 kN/m ²	ROK1.4 - §5.6 - art.4.11.1 (1)
$q_{ca,k}$	= (1,5 - (A/800 m ²) x 1,0 kN/m ²	voor A < 400 m ²
$q_{ca,k}$	= 0,5 kN/m ²	voor 400 m ² ≤ A ≤ 800 m ²
		voor A > 800 m ²

Hierbij is A het belaste gedeelte van het dek in m², waarbij de plaats van dit belaste gedeelte zo ongunstig mogelijk aangenomen moet worden.

De bouwbelasting is beperkt en wordt volledig afgedekt door de toepassing van LM1 op het dek. Deze belasting wordt daarom verder buiten beschouwing gelaten.



7.7 Vermoeiing

Voor de vermoeiingsberekening wordt "Belastingmodel 1 voor vermoeiing" conform EC1-2 art.4.6.2 toegepast. Er wordt uitgegaan van verkeerscategorie 1 (autosnelwegen).

De configuratie van het model is gelijk aan LM1 als omschreven in paragraaf 7.4.1. Alle α -factoren zijn 1,0. Voor de karakteristieke waarde van de belastingen geldt:

$$\text{Aslasten (TS)} = 0,7 \times q_{Q,i} \times Q_{i,k}$$

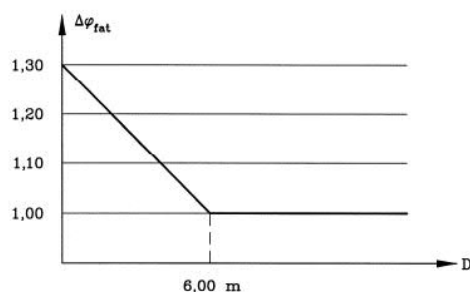
$$\text{Q-last (UDL)} = 0,3 \times q_{Q,i} \times q_{i,k}$$

Het aantal spanningswisselingen wordt bepaald volgens EC1-2 art.4.6.1+NB (tabel NB.5 – 4.5(n)). Er wordt uitgegaan van twee of meer rijstroken met verkeer in dezelfde richting.

$$n = 100 \times 2,0 \times 10^6 = 2,0 \times 10^8$$

Indien een verfijning van de vermoeiingstoets noodzakelijk is, wordt belastingmodel 4a toegepast voor stalen onderdelen en belastingmodel 4b voor beton ($N_{obs,a,sl} = 2,25 \times 10^6$ / jaar).

In de nabijheid van uitzettingsvoegen dient een vergrotingsfactor $\Delta\varphi_{fat}$ toegepast te worden voor de verkeersbelasting:



Verklaring

$\Delta\varphi_{fat}$ aanvullende vergrotingsfactor

D: afstand tussen de beschouwde dwarsdoorsnede en de uitzettingsvoeg

Figuur 7.7-1: Invloedslenge dynamische effect voegovergang tbv vermoeiing

Daarbij wordt D gemeten vanaf de as die zich het dichtst bevindt bij de overgang. Indien een voertuig met een of meer assen binnen de 6m-zone van een overgang bij een doorsnede buiten de 6m-zone een maatgevende situatie oplevert (bijvoorbeeld het steunpuntmoment bij een brug met overstek) is $\Delta\varphi_{fat}$ ook van toepassing. Conform ROK1.4 mag $\Delta\varphi_{fat}$ verlaagd worden naar 1,15 voor kwalitatief goede wegdekken.

Vereenvoudigend kan $\Delta\varphi_{fat} = 1,15$ gesteld worden voor dwarssecties met een afstand tot de uitzettingsvoeg $\leq 6,0m$.

Toetsingsvoorwaarden vermoeiing

Conform NEN-EN 1992-2, par 6.8.1 (102) is een vermoeiingstoets in het algemeen niet nodig voor o.a. funderingen of landhoofden van wegverkeersbruggen die niet star verbonden zijn met de bovenbouw. Er zijn geen aanvullende regels in de Nationale Bijlage of ROK 1.4 gesteld.

De onderbouw van K30B wordt derhalve niet getoetst op vermoeiing. De bovenbouw (dek) wordt wel getoetst op vermoeiing.



7.8 Belastingen voor buitengewone ontwerpsituaties

7.8.1 Aanrijding door voertuigen onder brug

Voor het bepalen van de belastingen wordt uitgegaan van de verkeerscategorie "wegen in stedelijke gebieden" (Bergschenhoekseweg).

Aanrijding onderbouw door wegverkeer

Aanrijding landhoofden fysiek niet mogelijk door aanwezigheid talud.

Aanrijding zij- of onderkant bovenbouw door wegverkeer EC1-1-7; NB art.4.3.2

a - Aanrijding zijkant dek

De belasting die in rekening wordt gebracht (statische horizontale puntlast) grijpt aan op de meest ongunstige plaats op de zijkant van de bovenbouw boven de desbetreffende rijbaan.

$$F_{dx} = 1000 \text{ kN} \quad \text{aangrijpingsoppervlak } 0,25 \times 2,0 \text{ m}$$

b - Giekelasting

De belasting die in rekening wordt gebracht (statische puntlast) grijpt aan tegen de onderkant van de bovenbouw op de meest ongunstige plaats boven de desbetreffende rijbaan.

$$F_{a,\beta} = 450 \text{ kN} \quad \text{aangrijpingsoppervlak } 0,25 \times 0,25 \text{ m}$$

De resulterende opwaartse belasting ten gevolge van de giekelasting is $F_v = 225 \text{ kN}$ ($= \sin 30^\circ \times 450 \text{ kN}$) bij een hoek van $\beta = 30^\circ$. Deze belasting komt overeen met een te mobiliseren dekoppervlak van $A = 225 \text{ kN} / (0,85 \times 25) = 11 \text{ m}^2$. Gezien het geringe dekoppervlak dat gemobiliseerd moet worden om stabiliteit te behouden, wordt geconcludeerd dat dit belastinggeval niet maatgevend is.



7.8.2 Belastingen door voertuigen op de brug

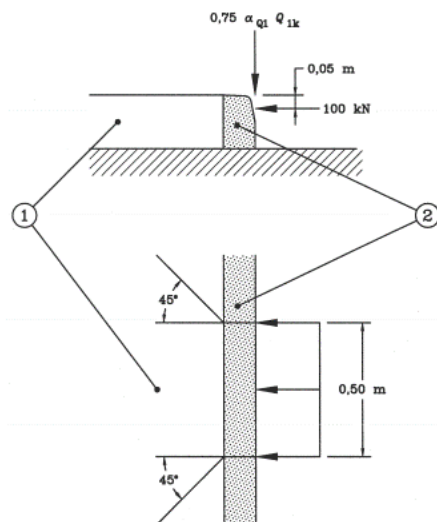
Verkeersongeval op brugdek ROK1.4 art. 5.8 - art. 4.7.1 (1)P

Er wordt rekening gehouden met een tandemstelsel conform LM1 ($2 \times Q_{1;k}$) die met de buitenste wielen geplaatst is op de rand van het brugdek (evenwijdig met de as van de weg).

Op de rest van het brugdek wordt de representatieve belasting volgens EC1-2 art. 4.3.2 in rekening gebracht, verminderd met het tandemstelsel dat op de rand staat.

Aanrijdingsbelasting op stootranden EC1-2; art.4.7.3.2

Voor de aanrijdbelasting van een voertuig op een stootrand wordt een horizontale kracht van 100 kN aangehouden. In onderstaand figuur staat de configuratie van deze belasting verder uitgewerkt:



Verklaring

- (1) voetpad
- (2) stootrand

Figuur 7.8-1: Aanrijding stootranden

Aanrijdingskrachten op voertuigkeringen EC1-2; art.4.7.3.3 + ROK1.4

Voor de aanrijdbelasting op de geleiderail wordt klasse A aangehouden, aangezien de geleiderails een relatief zwakke bevestiging hebben met de onderbouw.

Klasse A resulteert in een horizontaalkracht van 100 kN. Deze kracht (werkend in dwarsrichting) moet zijn verdeeld over een lengte van 0,5 m en moet aangrijpen op een hoogte van 100 mm onder de bovenzijde van de uitgevoerde voertuigkering, of 1,0 m boven de rijweg of het voetpad, waarbij de laagste van beide mogelijkheden is aangehouden. De verticale kracht die gelijktijdig met de horizontale aanrijdingskracht optreedt, moet gelijk zijn genomen aan $0,5 \alpha_{Q1} Q_{1k}$.

De ondersteuningsconstructie van de geleiderail moet weerstand bieden aan $1,75 \times$ de karakteristieke lokale weerstand van de geleiderail. De karakteristieke lokale weerstand bedraagt $M_{a,x} = 24 \text{ kNm}$ per stijl. Deze belasting hoeft niet gecombineerd te worden met andere variabele belastingen.



7.9 Aardbevingsbelasting

De aardbevingsbelasting bestaat uit een gebiedsafhankelijke horizontale en verticale versnelling. Deze versnellingen worden overgenomen uit EC1-1-7/NB tabel NB.6. Rotterdam valt binnen intensiteit klasse V.

Horizontale versnelling	$= 0,2 \text{ m/s}^2 \times 0,5^*$	$= 0,1 \text{ m/s}^2$	$\approx 0,01 \text{ g}$
Verticale versnelling	$= 2/3 \times 0,2 \times 0,5^*$	$= 0,07 \text{ m/s}^2$	$\approx 0,007 \text{ g}$

NB.* De versnellingswaarden uit EC1-1-7/NB tabel NB.6 zijn gedefinieerd voor een herhalingstijd van 5000 jaar. Voor een referentie herhalingstijd van 475 jaar moeten deze waarden met 0,5 vermenigvuldigd worden.

In ROK1.4 H11 art.11.2 staat aangegeven dat geen rekening gehouden hoeft te worden met aardbevingsbelasting wanneer de piekgrondversnelling op maaiveldniveau (a_g) kleiner is dan 0,04g. Hier wordt ruimschoots aan voldaan ($0,01 \text{ g} < 0,04 \text{ g}$).

Daarnaast wordt in hetzelfde artikel opgemerkt dat in de praktijk alleen rekening gehouden dient te worden met aardbevingen in gebieden met intensiteit VII en VIII. Rotterdam valt in klasse V ($V < \text{VII/VIII}$).

In het constructieve ontwerp wordt geen rekening gehouden met aardbeving.



8 Belastingcombinaties

8.1 Belastinggroepen

De gelijktijdigheid van de belastinggevallen die het verkeer weerspiegelen wordt gedefinieerd in onderstaande tabel. De resulterende belastinggroepen dienen als één karakteristieke belasting beschouwd te worden voor de combinatie met niet- verkeersbelastingen.

Wegverkeer - karakteristiek

Tabel NB.3 – 4.4a — Bepaling van groepen verkeersbelastingen (karakteristieke waarden van de belastingen met verschillende componenten)

Belastings- type	Rijweg						Voet- en fietspaden
	Verticale krachten				Horizontale krachten		Alleen verticale krachten
Verwijzing	4.3.2	4.3.3	4.3.4	4.3.5	4.4.1	4.4.2	5.3.2.1
Belastings- systeem	BM1 (TS en UDL)	BM2 (enkele as)	BM3 (bijzondere voertuigen)	BM4 (mensen- menigte)	Rem- en versnellings- krachten	Centrifugaal- krachten en krachten in dwarsrichting	Gelijkmatig verdeelde belastingen
Groepen van belastingen	gr1a	Karakteristieke waarde			0,8× Karakteristieke waarde	0,8× Karakteristieke waarde	0,4× Karakteristieke waarde
	gr1b		Karakteristieke waarde				
	gr2	0,8× Karakteristieke waarde			Karakteristieke waarde	Karakteristieke waarde	0,4× Karakteristieke waarde
	gr3						Karakteristieke waarde ^a
	gr4			Karakteristieke waarde ^b			
	gr5	0,8× Karakteristieke waarde ^c		Karakteristieke waarde	0,8× Karakteristieke waarde ^c	0,8× Karakteristieke waarde ^c	
De gearceerde vakken zijn de overheersende belastingscomponent (aangeduid als component behorend bij de groep)							
^a Zie 5.3.2.1. Er behoort slechts één voetpad als belast te zijn beschouwd, indien het effect hiervan ongunstiger is dan bij belasting op twee voetpaden.							
^b Inclusief de belasting op voet- en fietspaden.							
^c Vast te stellen voor afzonderlijke projecten.							



1074
1075

Wegverkeer - frequent

Tabel NB 4 – 4.4b – Bepaling van groepen verkeersbelastingen (frequente waarden van de belastingen met meer componenten)

Belastings- type	Rijweg						Voet- en fietspaden
	Verticale krachten				Horizontale krachten		Alleen verticale krachten
Verwijzing	4.3.2	4.3.3	4.3.4	4.3.5	4.4.1	4.4.2	5.3.2 (1)
Belastings- systeem	BM1 (TS en UDL)	BM2 (enkele as)	BM3 (bijzondere voertuigen)	BM4 (mensen- menigte)	Rem- en versnellings- krachten	Centrifugaal- krachten en krachten in dwarsrichting	Gelijkmatig verdeelde belastingen
Groepen van belastingen	gr1a	Frequente waarde			Frequente waarde	Frequente waarde	Frequente waarde
	gr1b		Frequente waarde				
	gr2	Frequente waarde			Frequente waarde	Frequente waarde	Frequente waarde
	gr3 ^b						Frequente waarde ^a
	gr4			Frequente waarde ^b			
	gr5	Frequente waarde ^c		Karakteristieke waarde	Frequente waarde ^c	Frequente waarde ^c	
De gearceerde vakken zijn de overheersende belastingscomponent (aangeduid als component behorend bij de groep)							
^a Zie 5.3.2.1. Er behoort slechts één voetpad als belast te zijn beschouwd, indien het effect hiervan ongunstiger is dan bij belasting op twee voetpaden. ^b Inclusief de belasting op voet- en fietspaden. ^c Vast te stellen voor afzonderlijke projecten. OPMERKING de frequente waarde is verkregen door vermenigvuldiging van de karakteristieke waarde met de waarde van ψ_1 uit tabel NB.9 – A2.1 van NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB.							

1076
1077



8.2 Belastingfactoren

De belastingfactoren voor de ULS en SLS worden gekozen op basis van tabel NB.13-A.2.4(B) van EC0.

Voor een wegverkeersbrug met gevolgklasse CC3 geldt:

Belastinggeval	ULS		
	(STR / GEO) verg. 6.10a	(STR / GEO) verg. 6.10b	Buitengewoon verg. 6.11a
Permanente belasting:			
- ongunstig werkend	1,4	1,25	1,0
- gunstig werkend	0,9	0,9	1,0
- voorspanning	1,0	1,0	1,0
- zettingen (lineair)	1,2	1,2	1,0
Verkeersbelasting	$1,5 \times \Psi_0$	$1,5 \times \Psi_0$	$1,0 \times \Psi_{1 \text{ of } 2}$
Overige veranderlijke belastingen	$1,65 \times \Psi_0$	$1,65 \times \Psi_0$	$1,0 \times \Psi_{1 \text{ of } 2}$
Buitengewone belasting			1,0

Belastinggeval	SLS		
	Karakteristiek verg. 6.14a	Frequent verg. 6.15a	Quasi-blijvend verg. 6.16a
Permanente belasting:	1,0	1,0	1,0
Verkeersbelasting	$1,0 \times \Psi_0$	$1,0 \times \Psi_{1 \text{ of } 2}$	$1,0 \times \Psi_2$
Overige veranderlijke belastingen	$1,0 \times \Psi_0$	$1,0 \times \Psi_{1 \text{ of } 2}$	$1,0 \times \Psi_2$

Opmerking:

- De belasting door krimp en kruip wordt beschouwd als permanente belasting.



8.3 Momentaanfactoren

Wegverkeer en langzaam verkeerbruggen

De ψ -factoren worden gekozen op basis van tabel NB.9 – A2.1 van EC0 voor bruggen voor weg- en langzaamverkeer.

Belasting			Ψ-factoren		
			Ψ ₀	Ψ ₁	Ψ ₂
Verkeers- belastingen	gr1a	TS	0,8	0,8	0,4
		UDL		0,8	
		Horizontale belasting		0,8	
		Voetgangers + fietspad - belastingen		0,8	
	gr1b (enkele as)		0	0,8	0
	gr2 (horizontale krachten dominant)		0,8	0,8	0
	gr3 (voetgangers belastingen)		0	0,8	0
	gr4 (LM4 – belasting door een menigte)		0	0,8	0
	gr5 (LM3 – speciale voertuigen)		0	0,8	0
	TS			0,8	
	UDL			0,8	
	horizontale belast. Speciaal voertuig			0,8 1,0	
Windkrachten			0,3	0,6	0
Thermische belastingen			0,3	0,8	0,3
Sneeuwbelastingen			0	0	0
Belastingen tijdens de bouw			1,0	0	1,0

8.4 Belastingcombinaties

De belastingcombinaties voor respectievelijk de ULS, SLS en FAT worden bepaald aan de hand van EC0 artikel 6.4 en 6.5.

De combinaties worden op basis van bovenstaande paragrafen uitgewerkt in de DO-berekening, zie ref. [2.14] en [2.15].



9 Modellering

9.1 Algemeen

Lineaire berekeningen zijn gemaakt met de volgende uitgangspunten:

- Doorsneden in de basis gescheurd;
- Voor de palen wordt het bovenste deel als gescheurd gemodelleerd, de rest als een ongescheurde doorsnede;
- Lineaire spanning-rekrelatie ;
- Voor de gescheurde doorsneden : een derde van de elasticiteitsmodulus.

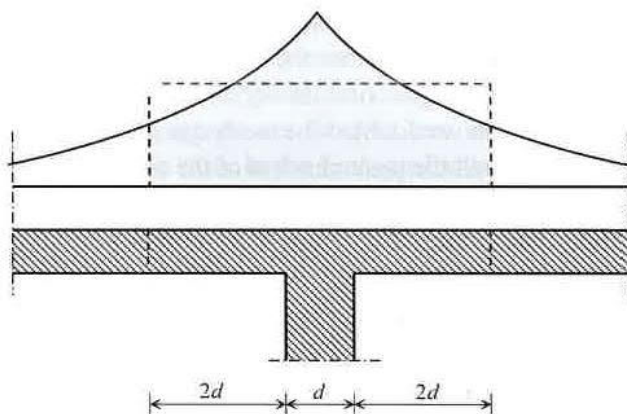
Alle rekenmodellen zijn opgezet met het eindige elementen programma SCIA waarin 2D-elementen (eventueel in combinatie met ribben) worden gebruikt voor de rijdekken en een combinatie van 1D- en 2D-elementen voor de onderbouw en de fundering. Alle elementen hebben de afmetingen van de constructie zodat de modellering een kopie is van de constructie. Dit betekent dat het eigen gewicht van de constructie door het programma berekend kan worden. Bij het toepassen van 2D-elementen is het belangrijk een juiste netfijnheid in te stellen om betrouwbare resultaten te verkrijgen.

Aflezen snedekrachten

Ten gevolge van het numerieke model in SCIA Engineer worden soms niet realistisch hoge piekwaarden gevonden die slechts optreden over een zeer klein oppervlak. Om te voorkomen dat er onnodig hoge snedekrachten in rekening worden gebracht, worden onderstaande methoden toegepast om de snedekrachten af te lezen:

Aansluiting paal/kolom met plaalement

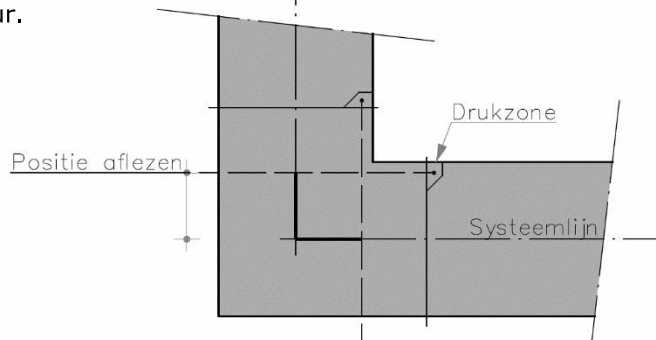
Ter plaatse van de palen/kolommen worden de momenten afgetopt volgens onderstaand figuur. Bij deze methode wordt de totale momentensom over een afstand $5d$ (d = diameter paal/oplegblok) gelijkmatig verdeeld.



Figuur 9.1-1: Methode aftoppen piekmoment tpv palen (bron: "Plates and FEM" van J. Blaauwendraad)

Aansluiting plaalementen onderling

Ter plaatse van de aansluiting van verschillende platen (bijv. wand – vloer) wordt het maatgevende moment afgelezen ter plaatse van het zwaartepunt van de betondrukzone van het aansluitende element. Zie onderstaand figuur.



Figuur 9.1-2: Methode keuze moment tpv aansluiting platen



9.2 Constructief systeem

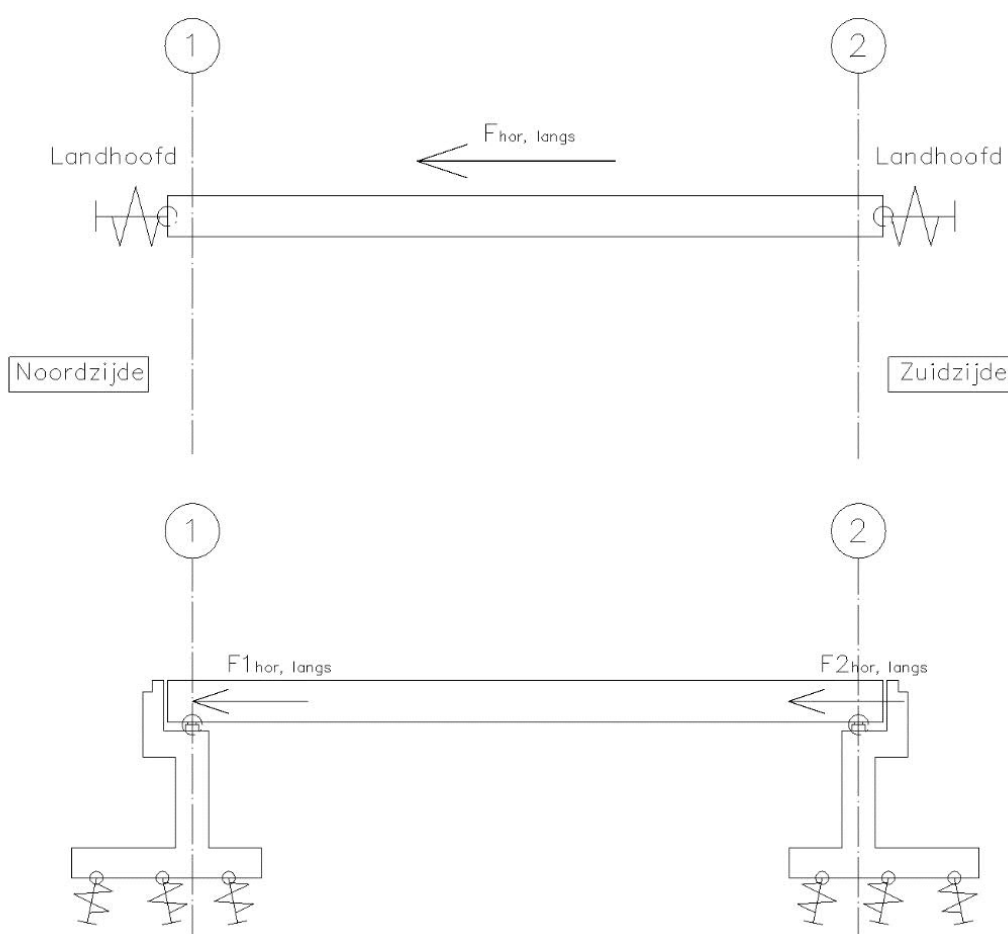
9.2.1 Beschrijving constructie

De verkeersdekken van K30B worden in situ gerealiseerd met naspanning en overspannen in één enkel veld (statisch bepaalde ligger). Bij de landhoofden worden de dekken opgelegd op gewapende rubber oplegblokken. De oplegblokken moeten ruimte bieden aan de horizontale verplaatsingen en rotaties van het brugdek (door o.a. temperatuur, krimp, kruip) en daarnaast de horizontale belastingen (o.a. wind en remkrachten) afdragen door wrijving.

De onderbouw bestaat uit laaggefundeerde landhoofden met een paalfundering. Achter het landhoofd op as 1 (noordzijde) wordt een paalmatras toegepast.

9.2.2 Afracht verticale en horizontale belastingen

De verticale belastingen uit de brugdekken worden via de oplegblokken afgedragen naar de landhoofden, waarna de lasten dalen naar de paalfundering.



Figuur 9.2-1: K30B - schematische weergave afdracht horizontale belastingen

Het brugdek fungeert in horizontale richting als stijve schijf die de horizontale belastingen kan afdragen naar de steunpunten. Via de oplegblokken worden de lasten door wrijving overgedragen aan de onderbouw.

De horizontale belasting op de onderbouw wordt direct via de (schoor)palen afgedragen naar de ondergrond.



Geotechnische gegevens

De geotechnische gegevens (draagkracht, veren, beddingen etc.) worden overgenomen uit referentie [2.2] en [2.13]. Deze informatie geldt als input voor deze DO-rapportage.

Voor alle modellen geldt dat de invloed van de stijfheid van de fundering wordt onderzocht. Hiertoe wordt een boven- en ondergrensbenadering toegepast met een variatiefactor 2 (lees: $/\sqrt{2}$ en $*\sqrt{2}$).

EE-Modellen

Bovenstaande aanpak is vertaald in onderstaande EE-modellen. Aangezien beide landhoofden nagenoeg gelijk zijn, wordt volstaan met één representatief EE-model voor beide landhoofden.

1. *K30B – Bovenbouw – EE-model dek* (voor uitwerking zie §9.4.1)
 - Krachtsverdeling dek
 - Oplegreacties onderbouw
 - model K-gem (stijfheid niet van invloed op statisch bepaald systeem)
2. *K30B – Onderbouw – EE-model LH* (voor uitwerking zie §9.4.2)
 - paalreacties palen t.b.v. toetsing draagkracht
 - snedekrachten palen t.b.v. dimensionering + paalwapening
 - snedekrachten betonwerk t.b.v. dimensionering + hoofdwapening
 - verplaatsingen onderbouw
 - model K-hoog en K-laag



9.4 Omschrijving EE-modellen

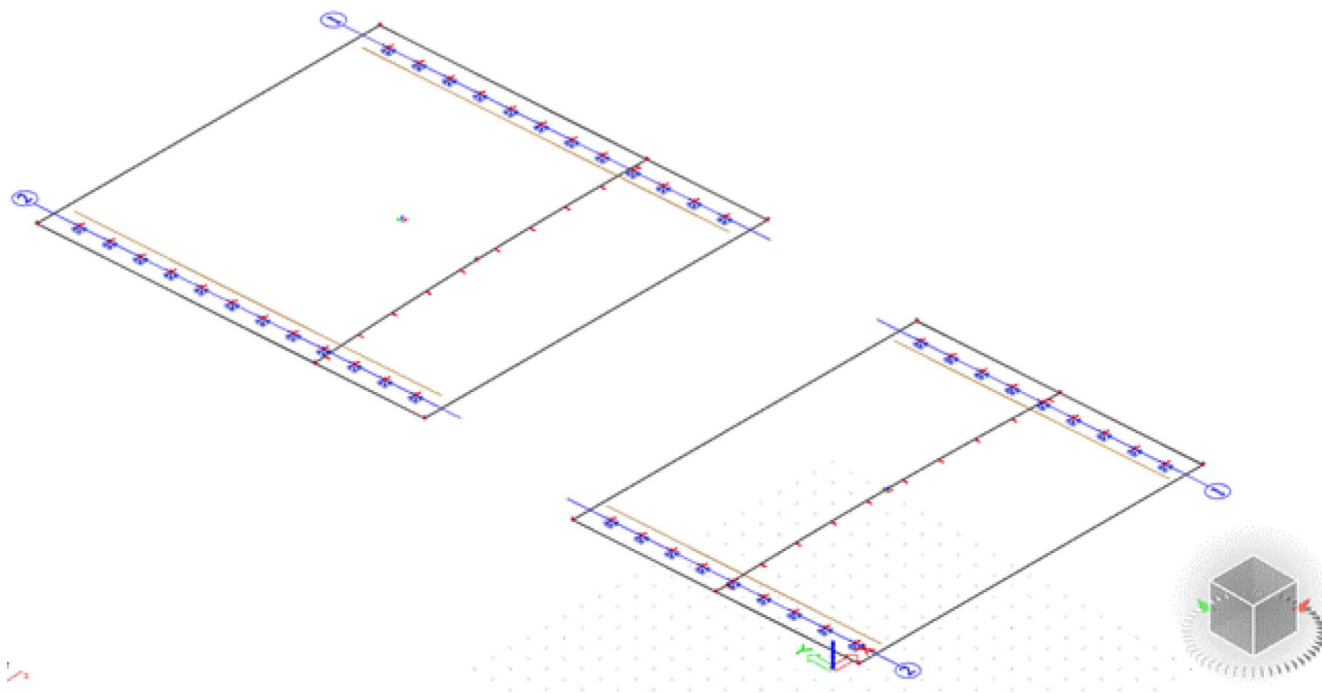
9.4.1 K30B - Bovenbouw – EE-model dekken

Algemeen

Er wordt een lineair elastisch (LE) model in een XYZ-omgeving opgesteld, waarbij het dek wordt gemodelleerd met plaalementen. De opleggingen (oplegblokken) zijn geschematiseerd als puntveren met een horizontale en verticale stijfheid. Voor het voorgespannen dek wordt een orthotropie ingevoerd waarbij ongescheurd beton in overspanningsrichting en gescheurd beton in dwarsrichting wordt aangenomen. In de DO-berekening wordt deze aanname geverifieerd.

Geometrie en schematisering

Onderstaande geometrie wordt aangehouden voor de modellering. Voor de oplegblokken wordt een gemiddelde h.o.h.-afstand van 1,6m aangehouden. In de UO-fase wordt deze maat definitief vastgesteld.



Figuur 9.4-1: Isometrie EE-model dek



Doorsneden en materiaaleigenschappen

	Onderdeel	Element	Afmeting [mm]	Beton [-]	E-modulus [N/mm ²]	Opmerkingen
1	Verkeersdek	Plaat / 2D	750	C35/45 orthotroop	34000 11300 ¹⁾	Langs ongescheurd dwars gescheurd

1) $E_{\text{gescheurd}} = 1/3 \times E_{\text{cm}} = 113000 \text{ N/mm}^2$

Orthotropie

Voor het dek wordt een fysische orthotropie ingevoerd waarbij ongescheurd beton in overspanningsrichting wordt aangenomen (voorspanning) en gescheurd beton in dwarsrichting.

De volgende parameters worden ingevoerd in het plaatmodel:

$h =$	750 [mm]	
$E_1 =$	34000 [N/mm ²]	
$E_2 =$	11300 [N/mm ²]	
$\nu_{12} =$	0,2 [-]	conform EC (gescheurd = 0, ongescheurd = 0,2)
$\nu_{21} =$	0,07 [-]	
$G_{12} =$	8787 [MPa]	$= \sqrt{(E_1 \cdot E_2) / (2 (1 + \nu_{12} \cdot \nu_{21}))}$
$D_{11} =$	1211 [MNm]	$= (E_1 \cdot h^3) / (12 (1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}))$
$D_{22} =$	403 [MNm]	$= (E_2 \cdot h^3) / (12 (1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}))$
$D_{12} =$	81 [MNm]	$= \nu_{21} \cdot D_{11}$
$D_{33} =$	309 [MNm]	$= (G_{12} \cdot h^3) / 12$
$G_{13} =$	14167 [MPa]	$= E_1 / (2 (1 + \nu_{12}))$
$G_{23} =$	4708 [MPa]	$= E_2 / (2 (1 + \nu_{12}))$
$D_{44} =$	10625 [MN/m]	$= G_{13} \cdot h$
$D_{55} =$	3531 [MN/m]	$= G_{23} \cdot h$
$d_{11} =$	25844 [MN/m]	$= (E_1 \cdot h) / (1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21})$
$d_{22} =$	8589 [MN/m]	$= (E_2 \cdot h) / (1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21})$
$d_{33} =$	6590 [MN/m]	$= G_{12} \cdot h$
$d_{12} =$	1718 [MN/m]	$= \nu_{21} \cdot d_{11}$
$d_{21} =$	1718 [MN/m]	$= \nu_{12} \cdot d_{22}$

Veerstijfheid onderbouw

De totale veerstijfheid van de onderbouw wordt in feite bepaald door de oplegblokken in combinatie met de fundering (seriesysteem). In eerste instantie wordt de fundering als oneindig stijf beschouwd. De veerstijfheid wordt dan ingegeven door de configuratie van de oplegblokken.

Opgemerkt wordt dat deze benadering de bovengrens geeft van de veerstijfheid van de ondersteuning. Wanneer het aandeel van de fundering wel in rekening wordt gebracht, zal de veerwaarde van de opleggingen immers altijd lager zijn: $1/k_{\text{tot}} = 1/k_{\text{oplegblok}} + 1/k_{\text{fundering}}$.

Belastingen en belastingcombinaties

In de DO-berekening bovenbouw van K30B, ref. [2.14], zijn de belastingen en belastingcombinaties voor de EE-modellen uitgewerkt op basis van hoofdstuk 7 (belastingen) en hoofdstuk 8 (belastingcombinaties).

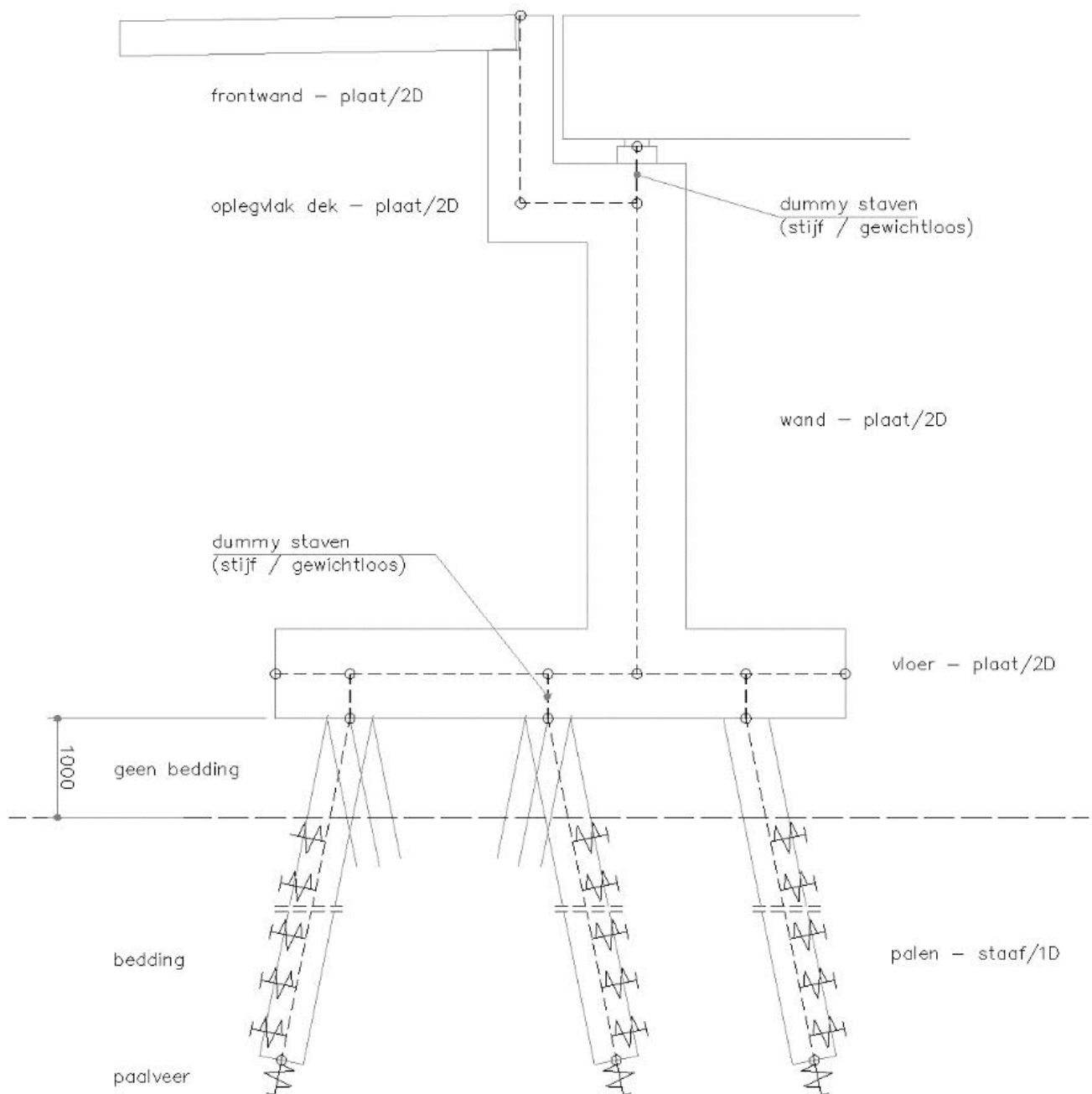


9.4.2 K30B - Onderbouw – EE-model landhoofden

Algemeen

Voor de landhoofden wordt een lineair elastisch (LE) model opgesteld in een XYZ-omgeving. De (front)wand, vloerplaat en vleugelwanden worden met plaalementen gemodelleerd. De palen zijn als staafelement ingevoerd, ondersteund door horizontale beddingen (X, Y) en verticale puntveren aan de onderzijde (Z).

Geometrie en schematisering



Figuur 9.4-2: Systeemlijnen EE-model landhoofden



Doorsneden en materiaaleigenschappen

	Onderdeel	Element	Afmeting [mm]	Beton [-]	E-modulus [N/mm ²]	opmerkingen
1	Frontwand	2D-macro	650	C30/37	11000 ¹⁾	gescheurd
2	Oplegvlak dek	2D-macro	ntb	C30/37	11000	gescheurd
3	Wand	2D-macro	1000	C30/37	11000	gescheurd
4	Vloerplaat	2D-macro	ntb	C30/37	11000	gescheurd
5	Vleugelwanden	2D-macro	ntb	C30/37	11000	gescheurd
6	Palen (1 ^e meter)	1D-macro	Ø460	C30/37	11000	gescheurd ²⁾
7	Palen (rest)	1D-macro	Ø460	C30/37	33000	ongescheurd

1) $E_{\text{gescheurd}} = 1/3 \times E_{\text{cm}} = 1/3 \times 33000 = 11000 \text{ N/mm}^2$

2) De bovenste m¹ van de paal ter plaatse van de aansluiting met de vloerplaat, wordt als gescheurd verondersteld.

Overige (niet-constructieve) onderdelen EEM-model:

- Dummy tbv aangrijpingspunt krachten oplegblokken: stijve, gewichtsloze staven vk150;
- Dummy staven hart poer – palen (stijve, gewichtsloze staven);

Verticale paalveren

Als startpunt voor het ontwerpproces worden de verticale paalveren overgenomen uit de ontwerpnota geotechniek (K30) uit het VO, zie ref. [2.2]. De definitieve waarden worden bepaald in een iteratief proces tussen constructeur en geotechnisch adviseur. Deze waarden worden gepresenteerd in de DO-berekening. Voor de boven- en ondergrens van deze parameters wordt een variatiefactor $1/\sqrt{2}$ en $\sqrt{2}$ toegepast.

Hieronder zijn de veren ter plaatse van de paalpunt opgesomd. Het aandeel van de elastische verkorting van de palen wordt verdisconteerd in de modellering van de palen.

Startpunt verticale veerwaarden			Zie ref.[2.2] – §4.5.1 – tabel 11	
Positie	Paal	PPN (indicatief) [m t.o.v. NAP]	Kv;punt; gem [MN/m]	Opmerkingen
Landhoofd as 1+2	Ø460/560	-26,0	267	PPN cf VO

Horizontale beddingen op palen

Als startpunt voor het ontwerpproces worden de horizontale beddingen overgenomen uit de ontwerpnota geotechniek (K30) uit het VO, zie ref. [2.2]. De definitieve waarden worden bepaald in een iteratief proces tussen constructeur en geotechnisch adviseur. Deze waarden worden gepresenteerd in de DO-berekening. Voor de boven- en ondergrens van deze parameters wordt een variatiefactor $1/\sqrt{2}$ en $\sqrt{2}$ toegepast.

De bovenste meter van de bedding tegen de palen wordt niet meegenomen conform ROK1.4.

Startpunt horizontale beddingen – paal Ø460/560			Zie ref.[2.2] – §4.6.3 – tabel 17	
Laag	Bk laag [m t.o.v. NAP]	Ok laag [m t.o.v. NAP]	Kh;gem [kN/m ²]	Opmerkingen
Zand, los	-4,00	-7,00	3923	
Klei humeus	-7,00	-8,00	390	
Hollandveen	-8,00	-10,00	388	
Klei siltig	-10,00	-12,50	546	
Basisveen	-12,50	-13,50	1630	
Zand, los	-13,50	-14,50	5492	
Klei humeus	-14,50	-17,00	2732	
Zand, vast	-17,00	-39,50	27459	



Belastingen en belastingcombinaties

In de DO-berekening onderbouw van K30B, ref. [2.15], zijn de belastingen en belastingcombinaties voor de EE-modellen uitgewerkt op basis van hoofdstuk 7 (belastingen) en hoofdstuk 8 (belastingcombinaties).

9.5 Controle EE-modellen

Ter verificatie van de EE-modellen, wordt de resultante van de belastinggevallen (ΣF_x , ΣF_y , ΣF_z) volgend uit het berekeningsverslag vergeleken met de ingevoerde belastingen. Deze controle wordt uitgevoerd in de DO-berekeningen van boven- en onderbouw.



10 Toetsingscriteria

10.1 Algemeen

De belangrijkste aanvullingen uit de ROK1.4 op EC0 zijn:

A.2.3.2	Eis
Aardbeving moet worden beschouwd voor bruggen (bekende bijzondere belasting). De aardbevingsbelasting bestaat uit een gebiedsafhankelijk horizontale versnelling en een verticale versnelling volgens de ROK bepalingen bij NEN-EN 1998-1. Alleen bruggen in gevolgklasse 3 hoeven op aardbevingen te worden ontworpen.	

A.2.4.2 (3)	Eis
Toetsing aan het profiel van vrije ruimte van de onderdoorgaande rijbaan of vaarweg moet worden uitgevoerd uitgaande van de frequente waarde van de verkeersbelasting. Windbelasting en thermische belastingen hoeven voor die toets niet te worden beschouwd. Eventuele tijdsafhankelijke vervormingen (beton) moeten in rekening worden gebracht.	

Bij betonnen bruggen voor wegverkeer moet in verband met het voorkomen van trillingshinder de elastische doorbuiging ten gevolg van de frequente waarde van de verkeersbelasting voldoen aan:

$$u_{el} \leq L / 1000 \quad \text{voor } L \leq 3 \text{ m}$$
$$u_{el} \leq L / 300 \quad \text{voor } L > 10 \text{ m}$$

Voor een overspanning van $3 \text{ m} < L \leq 10 \text{ m}$ moet rechtlijnig worden geïnterpoleerd tussen beide eisen.

Toelichting:

Voor trillingseisen bij voetgangersbruggen geldt NEN-EN 1990, A.2.4.3.



10.2 Ultimate Limit State (ULS)

10.2.1 Draagvermogen

De toetsingen worden uitgevoerd volgens EC7-1 artikel 7.6 + NB.

Er zijn geen aanvullingen uit de ROK1.4.

10.2.2 Buiging met of zonder normaalkracht

De toetsingen worden uitgevoerd volgens EC2-1-1 en EC2-2 artikel 6.1 + NB.

De belangrijkste aanvullingen uit de ROK1.4 op EC2-1-1 en EC2-2 zijn:

6.1 (2)P	Eis
----------	-----

Drukwapening in plaatconstructies mag alleen worden meegerekend indien beugels, die het onder- en bovennet met elkaar verbinden, aanwezig zijn die het uitknikken van de drukstaven voorkomen.

10.2.3 Dwarskracht

De toetsingen worden uitgevoerd volgens EC2-1-1 en EC2-2 artikel 6.2 + NB.

Er zijn geen aanvullingen uit de ROK1.4.

10.2.4 Wringing

De toetsingen worden uitgevoerd volgens EC2-1-1 en EC2-2 artikel 6.3.

Er zijn geen aanvullingen uit de ROK1.4.

10.2.5 Pons

De toetsingen worden uitgevoerd volgens EC2-1-1 en EC2-2 artikel 6.4.

Er zijn geen aanvullingen uit de ROK1.4.

10.2.6 Vermoeiing

De toetsingen worden uitgevoerd volgens EC2-1-1 en EC2-2 artikel 6.8.

De belangrijkste aanvullingen uit de ROK1.4 op EC2-1-1 en EC2-2 zijn:

6.8.7	Toelichting
-------	-------------

De vermoeiingstoets voor beton onder druk of afschuiving mag volgens de norm op drie manieren worden uitgevoerd:

1. Vereenvoudigde methode met λ -waarden (Bijlage NN);
2. Regel van Miner (NEN-EN 1992-2, 6.8.7 (101));
3. Volgens NEN-EN 1992-1-1, 6.8.7 (2) tot en met (4).

Methode 1 valt af voor wegverkeer, omdat in Annex NN alleen λ -waarden zijn opgenomen voor spoorverkeer.



10.3 Serviceability Limit State (SLS)

10.3.1 Scheurbeheersing

De toetsingen worden uitgevoerd volgens EC2-1-1 en EC2-2 artikel 7.3 + NB.

Voor de scheurwijdtebeheersing in jong beton (krimpwapening) wordt gerekend volgens ref. [3.1]. De rekenmethodiek is omgezet naar de berekening van de scheurwijdte volgens EC2-1-1 art.7.3.4. Zie ook cement artikel "Rekenen in de praktijk", Cement 4-2018.

De belangrijkste aanvullingen uit de ROK1.4 op EC2-1-1 en EC2-2 zijn:

7.3.1 (5)	Advies
-----------	--------

Indien de betondekking op een voorspankanaal ≥ 200 mm is, mag bij "elementen met een combinatie van betonstaal en voorspanstaal met aanhechting" de scheurwijdte worden getoetst aan de eisen voor "elementen met betonstaal en/of voorspanstaal zonder aanhechting".

Opmerking:

Eventueel voorspanstaal in dwarsrichting moet ook worden beschouwd.

10.3.2 Vervormingen

De toetsingen worden uitgevoerd volgens EC2-1-1 en EC2-2 artikel 7.4 + NB, conform EC0 bijlage A2 wordt geadviseerd voor vervormingen de frequente belastingcombinatie toe te passen.

De belangrijkste aanvullingen uit ROK1.4 op EC2-1-1 en EC2-2 zijn:

7.4.1	Eis (Bruggen)
-------	---------------

Voor betonnen bruggen geldt het volgende ten aanzien van de blijvende zeeg.

Een blijvende zeeg wordt gedefinieerd als de opbuiging van de onderzijde van het rijdek ten opzichte van een rechte lijn die loopt van bovenzijde hart oplegging tot bovenzijde hart oplegging, nadat alle blijvende belastingen zijn aangebracht en alle tijdsafhankelijke effecten geheel zijn opgetreden.

Ten aanzien van de blijvende zeeg gelden de volgende bepalingen:

- Een eventuele (significante) vervorming van bekisting en bijbehorende ondersteuning moet meegenomen worden in de vervormingsberekeningen;
- De bouwfasering moet in beschouwing worden genomen indien relevant;



- Bij constructies met een recht c.q. vrijwel recht verlopende onderzijde moet een blijvende zeeg aangehouden worden van 1/1000 van de overspanning. Bij constructies die worden uitgevoerd volgens het mootgewijze schuifstelsel mag van deze richtlijn worden afgeweken. De esthetische consequenties hiervan moeten dan wel bij de afweging tussen alternatieven worden meegenomen;
- Bij constructies waarbij de doorbuiging door eigen gewicht plus voorspanning groot is (> 100 mm) en waarbij dus ook de variatie in grootte van de doorbuiging groot kan zijn, moet een extra zeeg op het verticale alignment van de rijbaan worden aangebracht. Deze extra zeeg wordt opgebouwd uit twee waarden:
 - 10 % van de direct optredende vervorming door eigen gewicht plus voorspanning, berekend met het definitieve statische systeem.
 - 60 % van de kruipvervorming die rekentechnisch gezien nog optreedt na de bouwphase. Deze kruipvervorming moet betrokken worden op het eigen gewicht plus voorspanning.

Toelichting:

10 % vanwege de variatie op de grootte van de voorspanning en de E-modulus en 60 % vanwege de variatie op kruip.

Verondersteld mag worden dat constructies met geprefabriceerde liggers voldoen aan de bepalingen voor de blijvende zeeg indien een opbuiging resteert van ten minste 1/2000 van de elementlengte bij een belasting van 1,1 maal eigen gewicht plus voorspanning in de eindtoestand ($t = \infty$).

Toelichting:

Bij eigengewicht is asfalt(beton), schampkanten etc. inbegrepen.

Toelichting:

Argumenten om een blijvende zeeg toe te passen, zijn:

- *Esthetica: een rechte onderkant oogt alsof deze doorhangt (met een niet rechte onderbelijning heeft het toepassen van een optische zeeg geen nut).*
- *Vervormingen door de verkeersbelastingen: deze vervormingen kunnen aanzienlijk zijn en daarom het profiel van vrije ruimte negatief beïnvloeden.*
- *Verskil tussen theorie en praktijk: de werkelijke optredende vervormingen kunnen afwijken van de theoretisch berekende vervormingen.*

1369
1370
1371



10.4 Detaillering

De constructie wordt gedetailleerd volgens EC2-1-1 en EC2-2 HFST 8, 9 en 10 + NB.

De belangrijkste aanvullingen uit ROK1.4 op EC2-1-1 en EC2-2 zijn:

8	Eis (Bruggen)
---	---------------

In aanvulling op de regels in hoofdstuk 8, gelden de eisen in de volgende artikelen van de **vervallen norm** NEN 6723:2009:

- 10.1.5 wapening in kolommen
- 10.1.6 wapening bij geconcentreerde lasten
- 10.1.7 minimale wapening in consoles
- 10.1.8 minimale kenmiddellijn
- 10.1.9 wapening in betonscharnieren
- 10.1.10 wapening i.v.m. krommingsdrukken door gebogen voorspanelementen
- 10.1.11 niet-vervangbare voorspanelementen
- 10.2 lassen en branden nabij voorspanelementen
- 10.3 klemmofverbindingen
- 10.5 uitvoering
- 10.6 voegen

Bij tegenstrijdigheid tussen de eisen in bovenstaande artikelen en artikelen in NEN-EN 1992-1-1 of NEN-EN 1992-2, is de strengste eis van toepassing.

8.10.1.3 (3)	Verificatie
--------------	-------------

Bij de minimale vrije afstand tussen voorspankanalen volgens dit artikel, kan worden aangenomen dat de ruimte tussen de voorspankanalen voldoende is om een trilnaald Ø 63 mm in te brengen en een goede verdichting van het beton mogelijk te maken, op voorwaarde dat de kabels niet zijn gekromd in dwarsrichting.

Indien de voorspankabels in dwarsrichting zijn gekromd, is een grotere vrije afstand noodzakelijk als de kromtestraal kleiner is dan volgens tabel 6-6 (en moet berekende splits- en/of ponswapening worden toegepast).

Tabel 6-6: Grenswaarden kromtestraal in relatie tot ruimte tussen voorspankanalen

kabels bestaande uit	kromtestraal
strengen 12 x 12.9 en draden 40 Ø 7	R < 7,0 m
strengen 19 x 12.9 en draden 50 Ø 7	R < 9,5 m
strengen 19 x 15.2 en 19 x 15.7	R < 14,0 m

Bij toepassen van een stortkoker Ø 100 mm mag worden aangenomen dat de ruimte tussen de voorspankanalen voldoende is om het beton te storten zonder de voorspankanalen te beschadigen, als een minimale h.o.h. afstand volgens onderstaande tabel 6-7 wordt gehanteerd (tabel is gebaseerd op 15 mm speling).

Tabel 6-7: Minimale h.o.h. afstand voorspankanalen voor stortkoker Ø 100 mm

kabels bestaande uit	Ø	min. h.o.h. afstand
strengen 12 x 12.9	75 mm	190 mm
strengen 19 x 12.9	90 mm	205 mm
strengen 19 x 15.2	102 mm	220 mm
strengen 19 x 15.7	102 mm	220 mm
draden 40 Ø7	75 mm	190 mm
draden 50 Ø7	90 mm	205 mm

waarin:

Ø is de uitwendige diameter voorspankanaal



9.3.1.1 (2)	Eis (Bruggen)
-------------	---------------

Voor de minimale wapening in dwarsrichting in platen (waaronder massieve platen) die als brugdek worden toegepast, moet deze wapening in dwarsrichting als hoofdwapening worden beschouwd en niet als verdeelwapening.

9.4.3	Eis
-------	-----

Bij toepassing van haarspelden als ponswapening moeten de overlappings van de rechte einden voldoen aan de eisen met betrekking tot verankeringslengte. In plaats van haarspelden mogen ook open beugels met voldoende verankeringslengte worden toegepast volgens figuur 9.5 van NEN-EN 1992-1-1, op voorwaarde dat ze het boven- en ondernet omsluiten.

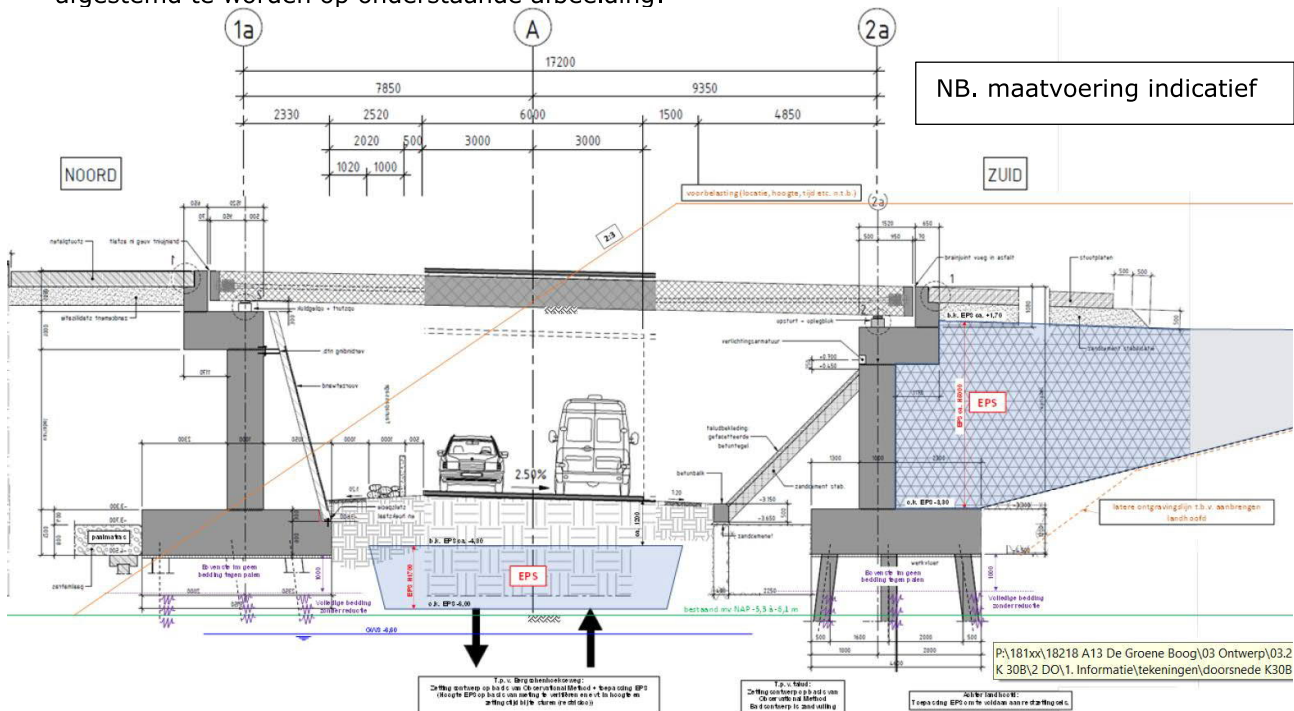
1381
1382



11 Aandachtspunten en risico's vervolfase

Zie ook DO-berekening onder- en bovenbouw, ref [2.14] en [2.15].

- Uitgangspunt is dat de lengte van het paalmatras achter het landhoofd op as 1 (noordzijde) dusdanig is, dat geen horizontale belasting optreedt op de palen van K30B.
- De eventuele ontgraving ten behoeve van de EPS-ophoging t.p.v. bestaande duiker zuidzijde dient afgestemd te worden op onderstaande afbeelding.



- Uitwerking ondersteuningsconstructie.



Bijlage 1. Verificatie eisen

Code	Naam	Eistekst	Aangetoond in
SYS-1260	Kunstwerk Gemeente Rotterdam, gevolgklasse	Kunstwerk Gemeente Rotterdam, dat Nieuw is, dient een gevolgklasse CC3 te hebben.	§4.1
SYS-1560	Kunstwerk Gemeente Rotterdam, voldoen aan ROK	Kunstwerk Gemeente Rotterdam, dat Nieuw is, en verbreding van Bestaand Kunstwerk Gemeente Rotterdam dient te voldoen aan de [ROK].	§2.2



Bijlage 2. Berekening krimp en kruip brugdek

Berekening kruip en krimp conform NEN-EN 1992-1-1+C2:2011/NB:2011					
Gegevens					
Betonkwaliteit	C35/45	$E_c = 1,05 \times E_{cm}$	35781 N/mm ²		
cementklasse	N -	u	32700 mm (omtrek direct beïnvloed door temp)		
$t_0 =$	14 dagen (ouderdom bij belasten)	A_c	13175000 mm ²		
$t =$	28 dagen (ouderdom op beschouwde tijdstip)	RH	75 % (relatieve luchtvochtigheid)		
$t_s =$	3 dagen (ouderdom aan het begin van uitdrogingskrimp)				
Berekening Kruip (conform EC2 Bijlage B.1 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de kruipcoëfficiënt)					
Lineair kruip verloop		f_{cm}	43 N/mm ²		
	$h_0 = 2 \times A_c / u$	806 mm	$\alpha_1 = [35 / f_{cm}]^{0,7} = 0,87 -$		
	$\beta(t_0) = 1 / (0,1 + t_0^{0,20})$	0,56 -	$\alpha_2 = [35 / f_{cm}]^{0,2} = 0,96 -$		
	$\beta(f_{cm}) = 16,8 / \sqrt{f_{cm}}$	2,56 -	$\alpha_3 = [35 / f_{cm}]^{0,5} = 0,90 -$		
	$\beta_H = 1,5 \times [1 + (0,012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \leq 1500$	1640 ≤ 1500	(voor $f_{cm} \leq 35$)		
	$\beta_H = 1,5 \times [1 + (0,012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \times \alpha_3 \leq 1500 \times \alpha_3$	1616 ≤ 1353	(voor $f_{cm} \geq 35$)		
	$\beta_c(t, t_0) = [(t - t_0) / (\beta_H + t - t_0)]^{0,3}$	0,25 -			
	$\varphi_{RH} = 1 + (1 - RH / 100) / (0,1 \times \sqrt[3]{h_0})$	1,27 (voor $f_{cm} \leq 35$)			
	$\varphi_{RH} = [1 + (1 - RH / 100) / (0,1 \times \sqrt[3]{h_0}) \times \alpha_1] \times \alpha_2$	1,18 (voor $f_{cm} \geq 35$)			
	$\varphi_0 = \varphi_{RH} \times \beta(f_{cm}) \times \beta(t_0)$	1,69 -	kruipfactor		
	$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \times \beta_c(t, t_0)$	0,43 -	kruipfactor op t		
	$\varepsilon_{cc}(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) \times (\sigma_c / E_c)$	0,236 ‰	totale kruipvervorming		
	$\varepsilon_{cc}(t, t_0) = \varphi(t, t_0) \times (\sigma_c / E_c)$	0,060 ‰	kruipvervorming op t		
Berekening uitdrogingskrimp (conform EC2 Bijlage B.2 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de uitdrogingskrimp)					
	$\beta_{RH} = 1,55 \times [1 - (RH / RH_0)^3]$	0,90 -	f_{cm0}	10 N/mm ²	
	$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 [(220 + 110 \times \alpha_{ds1}) \times \exp(-\alpha_{ds2} \times f_{cm} / f_{cm0})] \times 10^6 \times \beta_{RH}$	0,300 ‰	totale uitdrogingskrimp	α_{ds1}	4 -
	$\beta_{ds}(t, t_s) = (t - t_s) / [(t - t_s) + 0,04 \times \sqrt[3]{h_0^3}]$	0,027 -		α_{ds2}	0,12 -
	$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \times k_h \times \varepsilon_{cd,0}$	0,006 ‰	uitdrogingskrimp op t	k_h	0,70 -
Berekening autogene krimpverktorting (conform EC2 art. 3.1.4 (6))					
	$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5 \times (f_{ck} - 10) \times 10^{-6}$	0,06 ‰	totale autogene krimp	f_{ck}	35 N/mm ²
	$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0,2 \times t^{0,5})$	0,65 -			
	$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \times \varepsilon_{ca}(\infty)$	0,041 ‰	autogene krimp op t		
Kruip- en krimpverktorting					
	$\varepsilon_{tot}(t=\infty) = \varepsilon_{cc}(\infty, t_0) + \varepsilon_{cd}(\infty) \times k_h + \varepsilon_{ca}(\infty)$	0,508 ‰	totale krimp en kruip op $t=\infty$		
	$\varepsilon_{tot}(t) = \varepsilon_{cc}(t, t_0) + \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t)$	0,106 ‰	totale kruip en krimp op t		
	$\varepsilon_{tot}(t_\infty - t) = \varepsilon_{tot}(t=\infty) - \varepsilon_{tot}(t)$	0,402 ‰	kruip- en krimpverschil tussen $t=\infty$ en t		



1400

Bijlage 3. Berekening temperatuur brugdek

Thermische belasting in betonnen dekken (dektype 3) conform NEN-EN 1991-1-5 (versie 1.0)						
Gegevens						
Dekdikte	h	850 mm	Ontwerplevensduur		100 jaar	
Slijtlaagdikte		100 mm	Referentietemperatuur	T ₀	10,0 °C	
Gelijkmatige temperatuurcomponent art. 6.1.3						
Temperatuurstijging			Temperatuurdaling			
T _{max}	30 °C		T _{min}	-25 °C		
T _{max,c}	31,2 °C	$T_{max,c} = 1,04 \times T_{max} (>50jr)$	T _{min,c}	-27,5 °C	$T_{min,c} = 1,1 \times T_{min} (>50jr)$	
T _{e,max}	33,2 °C	$T_{e,max} = T_{max,c} + 2$	T _{e,min}	-19,5 °C	$T_{e,min} = T_{min,c} + 8$	
ΔT _{N,exp}	23,2 °C	$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0$	ΔT _{N,con}	29,5 °C	$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min}$	
Temperatuurverschilcomponent art. 6.1.4						
Opwarming bovenzijde			Afkoeling bovenzijde			
ΔT ₁	10,0 °C	Tabel NB.7-B.3-ΔT	ΔT ₁	-5,0 °C	Tabel NB.7-B.3-ΔT	
ΔT ₂	4,5 °C	Tabel NB.7-B.3-ΔT	ΔT ₂	-2,3 °C	Tabel NB.7-B.3-ΔT	
h ₁	150 mm	$h_1 = 0,3h \leq 150$	h ₁	170 mm	$h_1 = 0,2h \leq 250$	
h ₂	250 mm	$100 \leq h_2 = 0,3h \leq 250$	h ₂	200 mm	$h_2 = 0,25h \leq 200$	
a	400 mm	$a = h_1 + h_2$	a	370 mm	$a = h_1 + h_2$	
ΔT _E	2,4 °C	$\Delta T_E = a / 2h \times \Delta T_1$	ΔT _E	-1,1 °C	$\Delta T_E = a / 2h \times \Delta T_1$	
ΔT _M	9,7 °C	$\Delta T_M = [3a/h - 2(a/h)^2] \times \Delta T_1$	ΔT _M	-4,6 °C	$\Delta T_M = [3a/h - 2(a/h)^2] \times \Delta T_1$	
T _{M,heat,bk}	7,2 °C	$T_{M,heat,bk} = \Delta T_E + \frac{1}{2}\Delta T_M$	T _{M,cool,bk}	-3,4 °C	$T_{M,cool,bk} = \Delta T_E + \frac{1}{2}\Delta T_M$	
T _{M,heat,ok}	-2,5 °C	$T_{M,heat,ok} = \Delta T_E - \frac{1}{2}\Delta T_M$	T _{M,cool,ok}	1,2 °C	$T_{M,cool,ok} = \Delta T_E - \frac{1}{2}\Delta T_M$	
Gelijktijdigheid van gelijkmatige component en verschilcomponenten art. 6.1.5						
$\Delta T = 0,75 \times \Delta T_{M,heat} (of \Delta T_{M,cool}) + \Delta T_{N,exp} (of \Delta T_{N,con})$ en $\Delta T = \Delta T_{M,heat} (of \Delta T_{M,cool}) + 0,35 \times \Delta T_{N,exp} (of \Delta T_{N,con})$						
Temperatuurstijging met gelijkmatige component extreem						
ΔT _{boven}	=	0,75	x	7,2 °C	+ 23,2 °C = 28,6 °C	
ΔT _{onder}	=	0,75	x	-2,5 °C	+ 23,2 °C = 21,3 °C	
ΔT _{gemiddeld}						= 25,0 °C
Temperatuurstijging met verschilcomponent extreem						
ΔT _{boven}	=			7,2 °C	+ 0,35 x 23,2 °C = 15,3 °C	
ΔT _{onder}	=			-2,5 °C	+ 0,35 x 23,2 °C = 5,6 °C	
ΔT _{gemiddeld}						= 10,5 °C
Temperatuurdaling met gelijkmatige component extreem						
ΔT _{boven}	=	0,75	x	-3,4 °C	+ -29,5 °C = -32,1 °C	
ΔT _{onder}	=	0,75	x	1,2 °C	+ -29,5 °C = -28,6 °C	
ΔT _{gemiddeld}						= -30,3 °C
Temperatuurdaling met verschilcomponent extreem						
ΔT _{boven}	=			-3,4 °C	+ 0,35 x -29,5 °C = -13,7 °C	
ΔT _{onder}	=			1,2 °C	+ 0,35 x -29,5 °C = -9,1 °C	
ΔT _{gemiddeld}						= -11,4 °C

1401