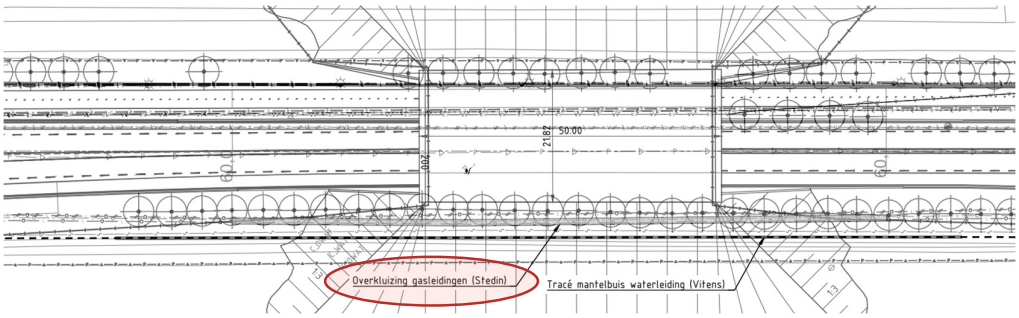
NOTITIE

PROJECT	Overkluizing ecoduct N226 tussen Maarsbergen en Leersum
ONDERWERP	Voorlopig Ontwerp
DOC.NR.	WIU023793-VO-NTI-0001
AAN	Edwin Wolvekamp (Provincie Utrecht), Marcel Baas (Roelofs)
AUTEUR	Joey Juffermans, Thijs van der Kroef
DATUM	03-03-2023
VERSIE	0.3 – Concept

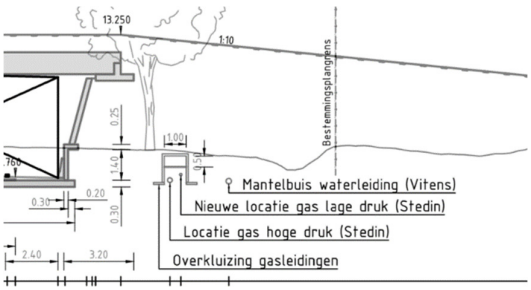
1 INLEIDING

De provincie Utrecht wil het knelpunt tussen de infrastructuur van de N226 en de binnen het Nationaal Park Utrechtse Heuvelrug aanwezige flora en fauna oplossen door middel van een ecopassage. Deze ecopassage moet op een duurzame wijze gerealiseerd te zijn, zodat het materiaal- en productgebruik aansluit bij Circulair Inkopen. Er dient rekening gehouden te worden met een (gewijzigde) ligging van K&L en de aanwezigheid van een overkluizing voor de gasleidingen van Stedin. Om de doorstroming van het verkeer te garanderen dient een tijdelijke bypass aangelegd te worden.



Figuur 1-1: Fragment projectlocatie ecoduct (bron: Tauw, tekening 1261901-52)

De overkluizing komt in de berm te liggen, maar tijdens de aanleg van het ecoduct zal er mogelijk een bypass voor wegverkeer boven de overkluizing aanwezig zijn.



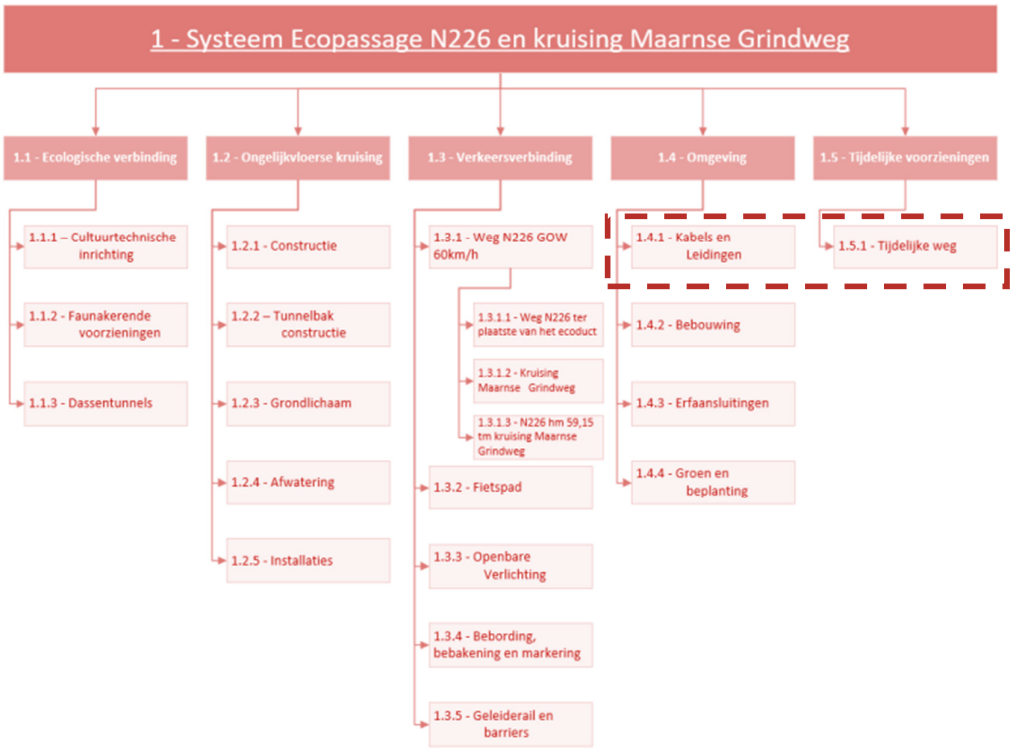
Figuur 1-2: Fragment dwarsprofiel met duiker (bron: Tauw, tekening 1261901-52)

1.1 DOEL

In deze notitie is een voorlopig ontwerp (VO) opgenomen betreffende de overkluizing en de tijdelijke bypass. De uitgangspunten en randvoorwaarden dienen als basis voor de uitwerking van het Definitief Ontwerp (DO) en het Uitvoeringsontwerp (UO).

1.2 SCOPE

Dit VO heeft betrekking op een constructieve voorziening (overkluizing) voor de objecten *Kabels en Leidingen* en *Tijdelijke weg*.



Figuur 1-3: Objectenboom (bron: Vraagspecificatie Algemeen)

2 BASISINFORMATIE

2.1 PROJECTGERELATEERDE DOCUMENTEN

Hieronder zijn de meest relevante documenten voor de uitwerking van het VO weergegeven (overzicht niet uitputtend).

Algemeen

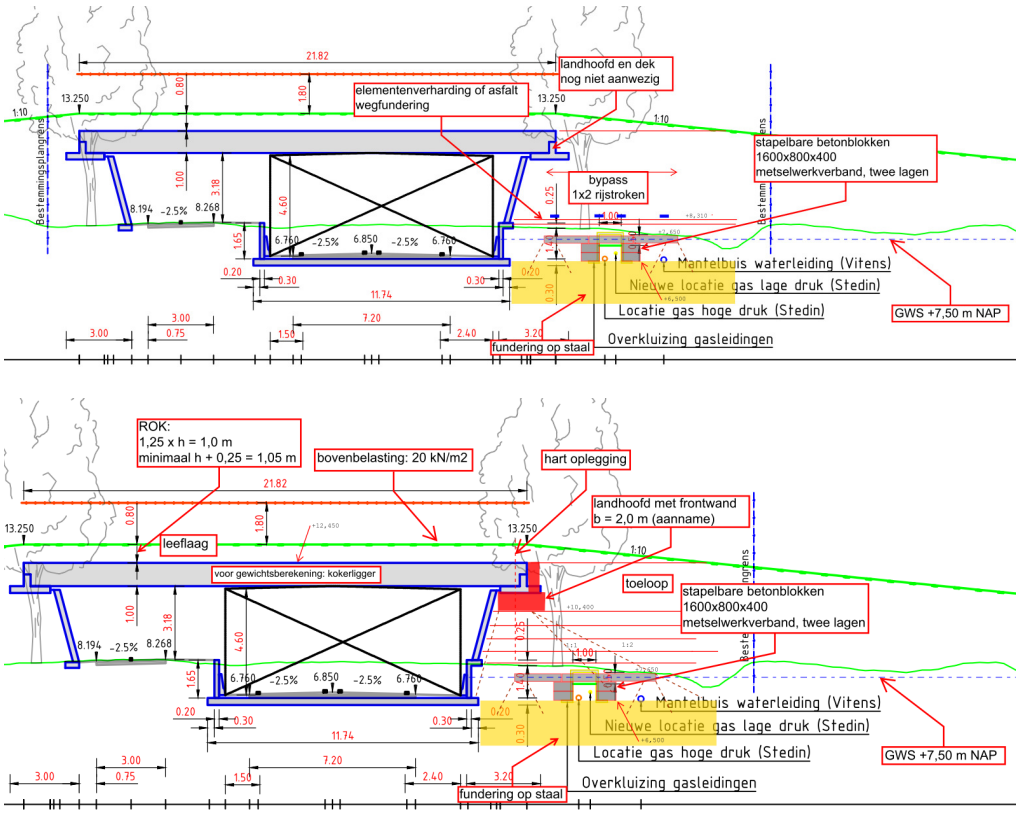
— [1.1] – Vraagspecificatie Algemeen (deel 0), d.d. 23-12-2022 van Tauw;
— [1.2] – Vraagspecificatie Product (deel 1), d.d. 14-02-2023 van Tauw;
— [1.3] – Tekening 1261901-52, Maatregelen gas, water en middenspaning, 10-01-2023 van Tauw;

Sonderingen

— [2.1] – 119227 versie 1, d.d. 03-08-2021 van Van Dijk geo- en milieutechniek;

2.2 DWARSPROFIEL

Onderstaande afbeelding is ontleend aan het referentieontwerp van Tauw. Hierin geschetst is een mogelijke opbouw van landhoofd en fundering t.p.v. de toeloop. Belasting vanuit dek wordt naar de landhoofden afgedragen. In de gewapende grondconstructie wordt de belasting gespreid (maximaal 1:2) en middels de overkluizing naar de ondergrond (fundering op staal) afgedragen.



Figuur 2-1: Dwarsdoorsnede ecoduct en overkluizing

2.3 EISEN

Voor de overkluizing en bypass worden onderstaande specifieke eisen uit de Vraagspecificatie Product (deel 1) aangehaald:

Systeem, duurzaamheid, circulair materiaalgebruik prefab beton	
ID	**Eis / ontwerpkeuze**
SYS-0036	Geprefabriceerde betonproducten dienen te worden gebaseerd op een zo hoog mogelijk gehalte aan betongranulaat, ter vervanging van primaire grondstoffen, d.w.z. wat redelijkerwijs mogelijk is binnen het kader van de technische en esthetische eisen én redelijkerwijs kan worden geleverd door de opdrachtnemer zonder dat de beoogde milieuwinst geheel teniet wordt gedaan door de vervoersafstand van de materialen.

Systeem, duurzaamheid, circulair materiaalgebruik demontabele objecten	
ID	**Eis / ontwerpkeuze**
SYS-0037	Objecten die op niet destructieve wijze demontabel zijn dienen zoveel mogelijk te bestaan uit gerecycled materiaal, ter vervanging van primaire grondstoffen, d.w.z. wat redelijkerwijs mogelijk is binnen het kader van de technische en esthetische eisen én redelijkerwijs kan worden geleverd door de opdrachtnemer zonder dat de beoogde milieuwinst geheel teniet wordt gedaan door de vervoersafstand van de materialen.

Kabels en leidingen	
ID	**Eis / ontwerpkeuze**
SYS-0523	Kabels en leidingen dienen tijdens bouw functioneel in stand worden gehouden.
SYS-0525	Mantelbuizen dienen op vorstvrijehoogte onder maaiveld te zijn aangebracht.
SYS-0522	Aanleg van systeem Ecopassage dient geen zetting ter plaatse van (bestaande) kabels en leidingen tot gevolg te hebben.

Tijdelijke voorzieningen	
ID	**Eis / ontwerpkeuze**
SYS-0533	Alle objecten en onderdelen die geen functie (meer) hebben, of waarvan de functie vervalt, dienen volledig te worden verwijderd.
SYS-0829	De Opdrachtnemer dient een tijdelijke weg te realiseren in de berm aan de zuidwest zijde van de te realiseren verdiepte ligging van de weg. Dit zodat de verkeersdoorstroming gewaarborgd is tijdens de realisatie en de weg niet volledig afgesloten dient te worden.
SYS-0834	Bij de aanleg van de tijdelijke weg dient rekening gehouden te worden met de aanwezig Kabels en Leidingen en de aangebrachte overkluizing.
SYS-0830	De tijdelijke weg dient uitgevoerd te worden in asfalt of elementen verharding.

Grondlichaam	
ID	**Eis / ontwerpkeuze**
SYS-0506	Op de ecopassage dient de gronddekking van de ecologische verbinding minimaal 0,80 m te zijn.

Teelaarde	
ID	**Eis / ontwerpkeuze**
SYS-0507	Onverharde terreinen binnen de systeemgrenzen waar geen specifieke ecologische functie of ecologische inrichting plaatsvindt, dienen te zijn aangevuld met ten minste 0,40 meter gebiedseigen teelaarde vrij van puin en wortels en te zijn ingezaaid met gras.

Door de provincie Utrecht zijn aanvullende eisen in een toelichting verstrekt.

Beantwoording provincie Utrecht	
ID	**Eis / ontwerpkeuze**
1	De afstand tussen de bovenkant van de gronddekking boven de buis en de onderkant van het horizontale gedeelte van de overkluizing moet 50 cm zijn.
2	De constructie mag weinig verzakken.
3	De maatvoering op tekening [1.3] dient aangehouden te worden.

3 ONTWERPUITGANGSPUNTEN

3.1 OPBOUW

Object	Aanlegniveau [m NAP]	Diameter / dikte [mm]	PVR [m]
Stapelbare betonblokken	+6,500	400 (2x)	
Hoge druk gasleiding	+6,504	Ø216	b x h = 1,0 x 0,5
Lage druk gasleiding	+6,504 [1)]	Ø110	
Stootplaten	+7,300	350	
Wegfundering	+7,650	500	
Elementenverharding	+8,150	160	

Object	Aanlegniveau [m NAP]	Diameter / dikte [mm]	PVR [m]
Stapelbare betonblokken	+6,500	400 (2x)	
Hoge druk gasleiding	+6,504	Ø216	b x h = 1,0 x 0,5
Lage druk gasleiding	+6,504 [1)]	Ø110	
Stootplaten	+7,300	350	
Toeloop	+13,150	5850	

1 Gewijzigd t.o.v. referentieontwerp

Uitgangspunt is dat de mantelbuis waterleiding (Vitens) niet hoeft te worden ondergebracht in de overkluizing.

3.2 FUNDERING

In onderstaande tabel is het principe van de fundering van relevante objecten weergegeven.

Object	Onderdeel	Type fundering
Ecoduct	Landhoofd	Gewapende grond
Kabels en leidingen	Overkluizing	Fundering op staal
Tijdelijke weg	Overkluizing	Fundering op staal

3.3 MATERIALEN

3.3.1 BETON

Gewicht $\gamma = 25\ kN.m^{-3}$ (gewapend)

Materiaaleigenschappen
De materiaaleigenschappen van de diverse betonsoorten worden toegepast volgens EC2-1-1.

Betonkwaliteit	f_{ck} [N.mm^{-2}]	f_{cm} [N.mm^{-2}]	f_{ctm} [N.mm^{-2}]	E_{cm} [N.mm^{-2}]
C30/37	30	38	2,9	32.837
C35/45	35	43	3,2	34.077

3.3.2 BETONSTAAL

Gewicht $\gamma = 78{,}5\ kN.m^{-3}$

Materiaaleigenschappen
De materiaaleigenschappen van de diverse staalsoorten voor wapening worden toegepast volgens EC2-1-1.

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

3.4 DUURZAAMHEID

3.4.1 BETONKWALITEIT, MILIEUKLASSE EN BETONDEKKING

De toe te passen milieuklassen en betondekkingen zijn bepaald op basis van EC2-1-1.

Onderdeel	Beton	Milieuklasse	Constr. klasse	$c_{min,dur}$ [mm]	Δc_{dev} [8)] [mm]	c_{nom} [mm]	c_{toeg} [mm]
stootplaat [1)]	C30/37		betonstaal				
bovenzijde		XC4, XD3, XF4					60
onderzijde		XC2, XD2, XF3					60

2 Betonkwaliteit, milieuklasse en dekking volgens ROK 1.4

3.4.2 GRENSWAARDE SCHEURWIJDTE

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

Onderdeel		Milieuklasse		w_{max}
stootplaten	bovenzijde	XC4, XD3, XF4	alleen betonstaal	≤ 0,2 mm
	onderzijde	XC4, XD3, XF4		≤ 0,2 mm

Bovenstaande grenswaarde mogen worden verhoogd met de factor: $k_x = c_{toegepast} / c_{nom} \leq 2$

3.5 BOUWFASERING

In het VO wordt de volgende globale bouwfasering aangehouden:

- Verlegging leiding lage druk (stedin)
- Opbouw overkluizing (stapelbare betonblokken en stootplaten)
- Aanbrengen grond
- Inrichting weg (bypass)
- Grondwerk ecoduct (toeloop)

4 BELASTINGEN

4.1 ONTWERPLEVENSDUUR

Onderdeel	Ontwerplevensduur	Eis
Overkluizing	100 jaar	SYS-0023

4.2 GEVOLGKLASSE

Onderdeel	Gevolgklasse	Eis
Overkluizing	CC2	SYS-0483

4.3 PERMANENTE BELASTINGEN

4.3.1 EIGEN GEWICHT

— Beton	γ	= 25,0 kN.m^{-3}	(gewapend)
	γ	= 24,0 kN.m^{-3}	(ongewapend)
— Staal	γ	= 78,5 kN.m^{-3}	

<u>Overkluizing</u>

Stapelbare betonblokken 800x400 mm (3x)	q_v	= 0,32 m x 25,0 x 3	= 24,00 kN.m^{-1}
Stootplaten 350 mm	p_v	= 0,35 m x 25,0	= 8,75 kN.m^{-2}

4.3.2 RUSTENDE BELASTING

— Elementenverharding	γ	= 25,0 kN.m^{-3}	(bypass)
— Zand	γ	= 20,0 kN.m^{-3}	(nat)
— Gronddekking op ecoduct	γ	= 20,0 kN.m^{-3}	(nat)
— Mengranulaat	γ	= 22,0 kN.m^{-3}	(gewapende grond, weg)

<u>Bypass</u>

Elementenverharding	p_v	= 0,16 m x 25,0	= 4,00 kN.m^{-2}
Wegfundering	p_v	= 0,50 m x 22,0	= 11,00 kN.m^{-2}

<u>Dek</u>

Leeflaag	p_v	= 1,05 m x 20,0	= 21,00 kN.m^{-2}
Kokerliggers	q_v		= 19,35 kN.m^{-1}
Landhoofd ecoduct	q_v	= 2,1 m^2 x 25,0	= 52,50 kN.m^{-1}

<u>Toeloop</u>

Leeflaag	p_v	= 1,05 m x 20,0	= 21,00 kN.m^{-2}
Grondlichaam	p_v	= 2,05 m x 20,0	= 41,00 kN.m^{-2}
Menggranulaat (gewapende grond)	p_v	= 2,34 m x 22,0	= 51,48 kN.m^{-2}

Nota bene
De belasting vanuit de bypass komt niet gelijktijdig met belasting vanuit dek en toeloop voor.

4.3.1 GROND- EN GRONDWATERDRUK

Uitgangspunten

— Grond	γ_{sat}	= 20 kN.m^{-3}	zand nat
	γ	= 18 kN.m^{-3}	zand droog
	k_0	= 0,5	neutrale gronddruk coëfficiënt
— Vloeistof (water)	γ	= 10 kN.m^{-3}	

4.4 VARIABELE BELASTINGEN

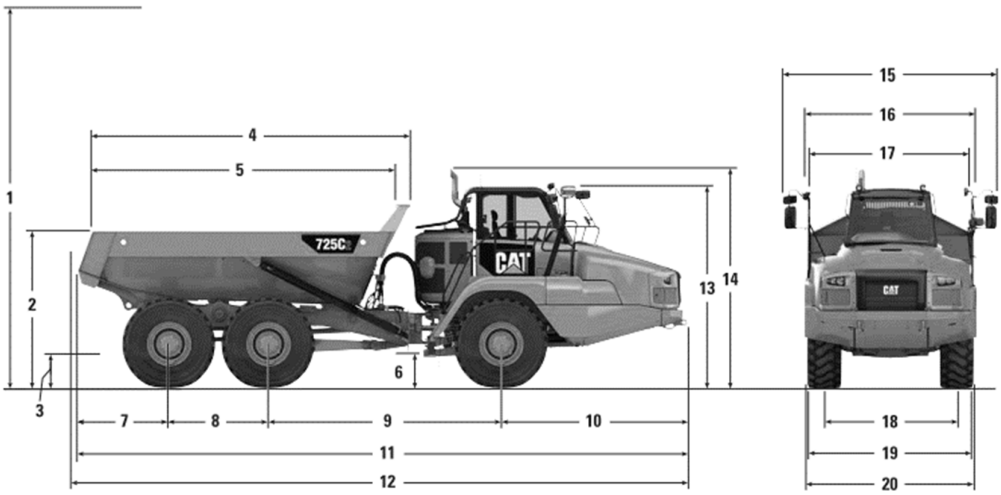
4.4.1 BOUWVERKEER

Aangenomen wordt dat op de toeloop geen knikgestuurde truck de grond uitrijdt om de ecologische verbinding vorm te geven.

Nota bene
Een vol belaste wagen rijdend over de reeds aanwezige leeflaag zal een aanzienlijke bovenbelasting geven die naar de overkluizing afgedragen moet worden. Als voorbeeld een 28t wagen:

Bedrijfsgewichten

— *Vooras – geladen*	*182,80 kN*
— *Middenas – geladen*	*169,20 kN*
— *Achteras – geladen*	*167,00 kN*



Gekozen wordt een gelijkmatig verdeelde belasting toe te passen die in de bouwfase het bouwmaterieel afdekt en in de eindfase de inrichting van het ecoduct (flora/fauna).

Bovenbelasting p_v = 20,00 kN.m^{-2}

4.4.2 WEGVERKEER

De overkluizing moet geschikt zijn om een verkeersbelasting af te dragen naar de ondergrond. Aangenomen wordt dat een gebiedsontsluitingsweg met 1x2 rijstroken (versmald) aangelegd wordt boven de overkluizing.

De verticale belasting door wegverkeer wordt gekozen o.b.v. artikel 4.3 van EC1-2. Belastingmodel 1, 2 en 4 zijn van toepassing.

<u>Belastingmodel 1 (BM1)</u>
Per rijstrook van 3,0 m breed bestaat deze belasting uit twee geconcentreerde aslasten (tandemlast) en een gelijkmatig verdeelde belasting. In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de belastingen.

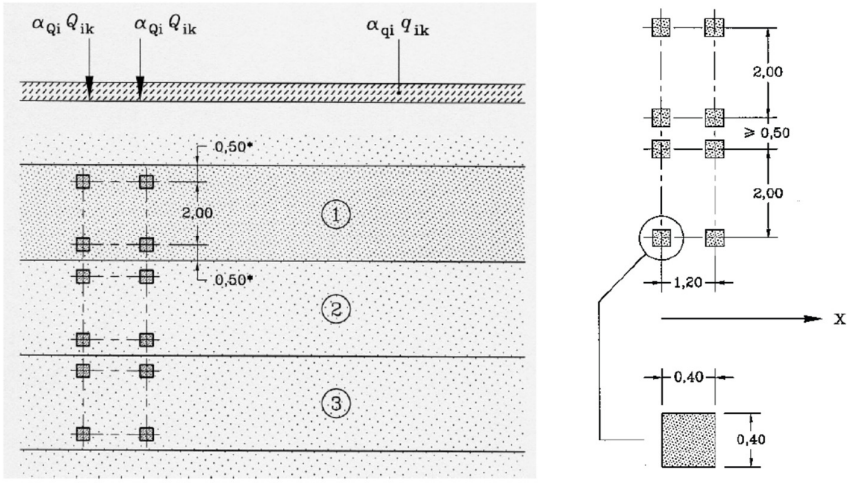
Positie	Tandemstelsel (TS)	Gelijkmatig verdeelde last (UDL	
	Q_i = ... [kN]	q_i = ... [kN.m^{-2}]	q_r = ... [kN.m^{-2}]
Rijstrook 1	300	9,0	
Rijstrook 2	200	2,5	
Resterend opp.			2,5

De volgende correctiefactoren worden aangehouden:

α_{Q1} = 1,0 TS
α_{q1} = 1,0 UDL
α_{qi} = 1,0 UDL

Onderdeel	Breedte rijweg w = ... [m]	Aantal stroken n = ... [-]	Breedte strook w_l = ... [m]	Resterend opp. [m]
Bypass	6,0	2	3,0	0,0

De belastingen worden volgens onderstaand figuur geplaatst op de constructie:



Figuur 4-2 Configuratie BM1

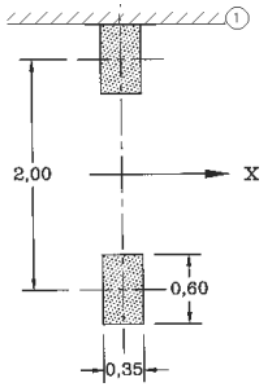
De wielprenten worden 1:1 (=45°) gespreid tot de systeemlijn van het dek. De dikte van het asfalt wordt buiten beschouwing gelaten.

BM1 – UDL CONFIG-A
gelijkmatig verdeelde belasting
rijloper p_v = 9,0 kN.m^{-2} = 9,00 kN.m^{-2}

BM1 – TS CONFIG A
rijloper 2x2 wielprent 150 kN, gespreid over 1,297 x 1,297 m
p_v = 150,0 kN / (1,297 m x 1,297 m) = 89,17 kN.m^{-2}

Belastingmodel 2 (BM2)

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
1 Stootrand

Figuur 4-2 Configuratie BM2

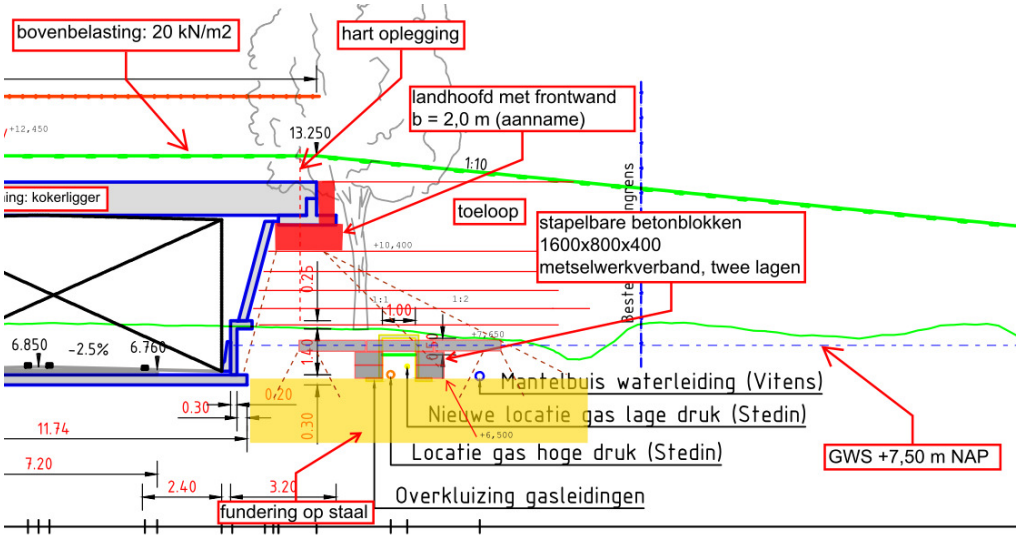
BM2 – TS
rijloper 1x2 wielprent 200 kN, gespreid over 1,497 x 1,297 m
p_v = 200,0 kN / (1,497 m x 1,247 m) = 107,14 kN.m^{-2}

5 GEWICHTSBEREKENING

Belasting vanuit het landhoofd wordt in de gewapende grondconstructie gespreid. Belasting vanuit de toeloop wordt loodrecht afgedragen op de stootplaten.

5.1 TOELOOP

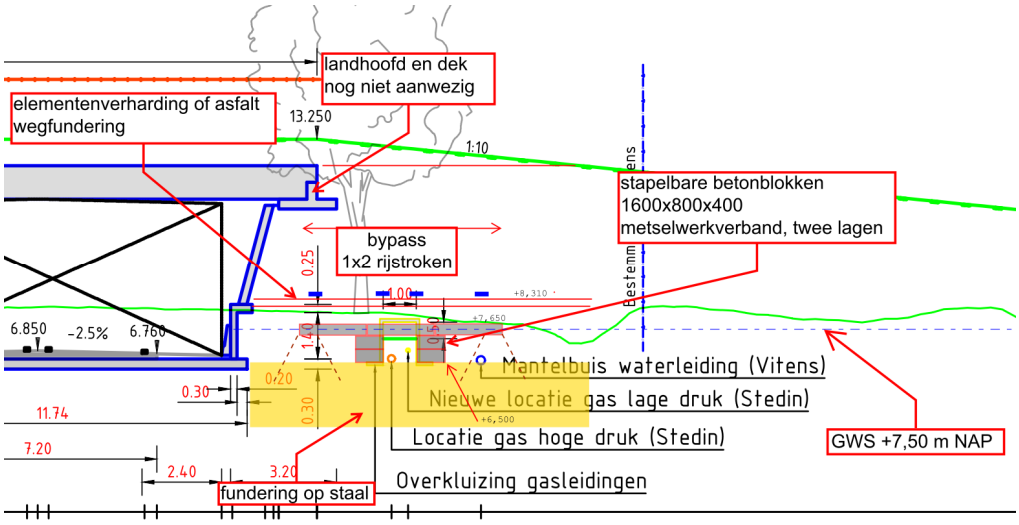
spreiding geogrid		links		voet	rechts	
4,9375	m	0,6875	(4:1)	1,5	2,75	(1:1)
7,6875	m	0,6875	(4:1)	1,5	5,5	(1:2)



Toeloop										
permanente belasting										
	h	Y	F/q/p	L	factor	G		ULS1	ULS2	KAR
	[m]	[kN.m^{-3}]	[kN/kN.m^{-1}/kN.m^{-2}]	[m]	[-]	[kN.m^{-2}]		[kN.m^{-2}]	[kN.m^{-2}]	[kN.m^{-2}]
leeflaag	1,05	20	21,00	1	1	21		27,30	25,20	21,00
grondlichaam	2,05	20	41,00	1	1	41		53,30	49,20	41,00
menggranulaat	2,75	22	60,50	1	1	60,5		78,65	72,60	60,50
						122,5		**159,25**	**147,00**	**122,50**
variabele belasting										
			F/q/p	L	factor	Q		ULS1	ULS2	KAR
			[kN/kN.m^{-1}/kN.m^{-2}]	[m]	[-]	[kN.m^{-2}]		[kN.m^{-2}]	[kN.m^{-2}]	[kN.m^{-2}]
bovenbelasting			20,00	1,00	1,00	20,00		27,00	21,60	20,00
						20,00		**27,00**	**21,60**	**20,00**
Rekenwaarde										
								ULS1	ULS2	KAR
								[kN.m^{-2}]	[kN.m^{-2}]	[kN.m^{-2}]
		Oppervlaktelast overkluizing						**186,25**	168,60	**142,50**

Dek										
permanente belasting										
	h	Y	F/q/p	L	factor	G		ULS1	ULS2	KAR
	[m]	[kN.m^{-3}]	[kN/kN.m^{-1}/kN.m^{-2}]	[m]	[-]	[kN]		[kN]	[kN]	[kN]
leeflaag	1,05	20,00	21,00	22,00	0,50	231,00		300,30	277,20	231,00
kokerligger			12,90	22,00	0,50	141,90		184,47	170,28	141,90
landhoofd			52,50	1,00	1,00	52,50		68,25	63,00	52,50
						425,40		**553,02**	**510,48**	**425,40**
				B		G		ULS	ULS2	KAR
				[m]		[kN.m^{-2}]		[kN.m^{-2}]	[kN.m^{-2}]	[kN.m^{-2}]
		Oppervlaktelast overkluizing		3,50	(1:1)	86,16		**112,00**	103,39	**86,16**
				6,25	(1:2)	55,34		**71,94**	66,40	**55,34**
variabele belasting										
			F/q/p	L	factor	Q		ULS1	ULS2	KAR
			[kN/kN.m^{-1}/kN.m^{-2}]	[m]	[-]	[kN]		[kN]	[kN]	[kN]
bovenbelasting			20,00	22,00	0,50	220,00		237,60	297,00	220,00
						220,00		**237,60**	**297,00**	**220,00**
				spreiding		Q		ULS1	ULS2	KAR
				[m]		[kN.m^{-2}]		[kN.m^{-2}]	[kN.m^{-2}]	[kN.m^{-2}]
		Oppervlaktelast overkluizing		3,50	(1:1)	44,56		**57,92**	60,15	**44,56**
				6,25	(1:2)	28,62		**37,20**	38,63	**28,62**
Rekenwaarde										
				spreiding				ULS1	ULS2	KAR
								[kN.m^{-2}]	[kN.m^{-2}]	[kN.m^{-2}]
		Oppervlaktelast overkluizing		3,50	(1:1)			**169,93**	163,54	**130,71**
				6,25	(1:2)			**109,14**	105,04	**83,95**

5.2 BYPASS

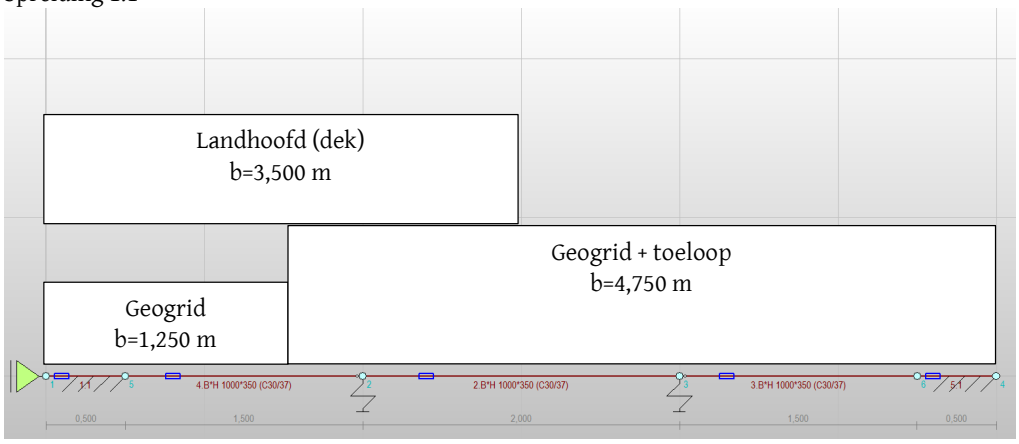


Verwachting is dat de belasting vanuit de bypass en aslasten verkeer lager is vergeleken met de belasting vanuit de toeloop en dek. Voor de funderingsdrukken is de bypass dan niet maatgevend.

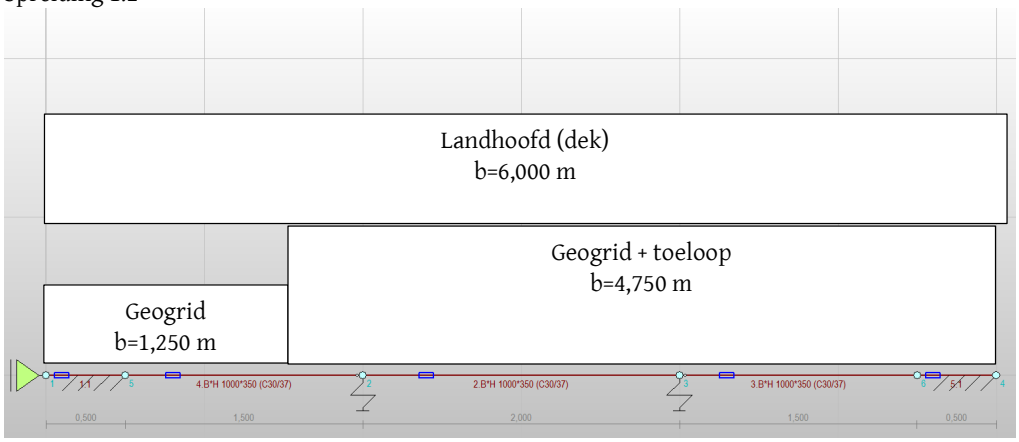
6 SCHEMATISERING

Belasting wordt over de stootplaten gespreid volgens onderstaande schema's. Onder de buitenste stootplaten wordt een bedding in rekening gebracht. De steunpuntreacties in de puntvormige ondersteuningen zijn de funderingsbelastingen onder de betonblokken.

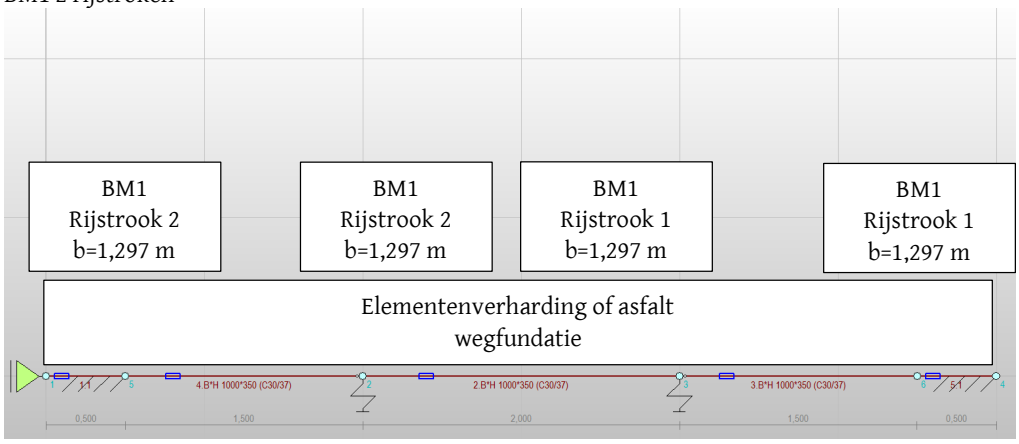
Spreiding 1:1



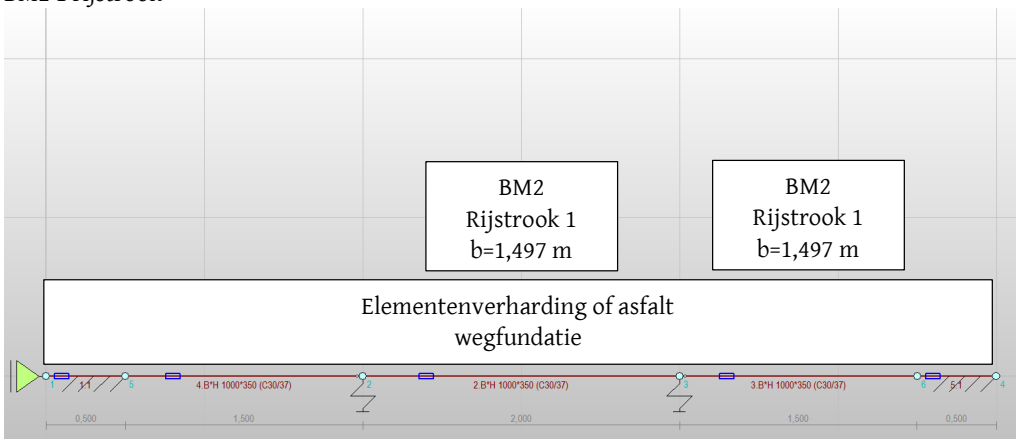
Spreiding 1:2



BM1 2 rijstroken



BM2 1 rijstrook

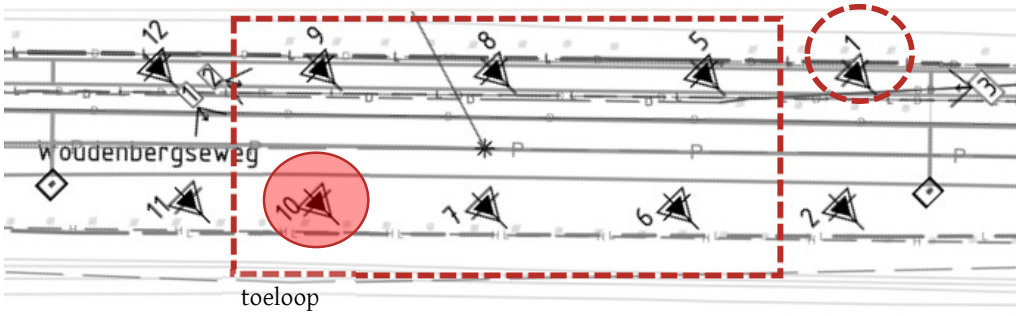


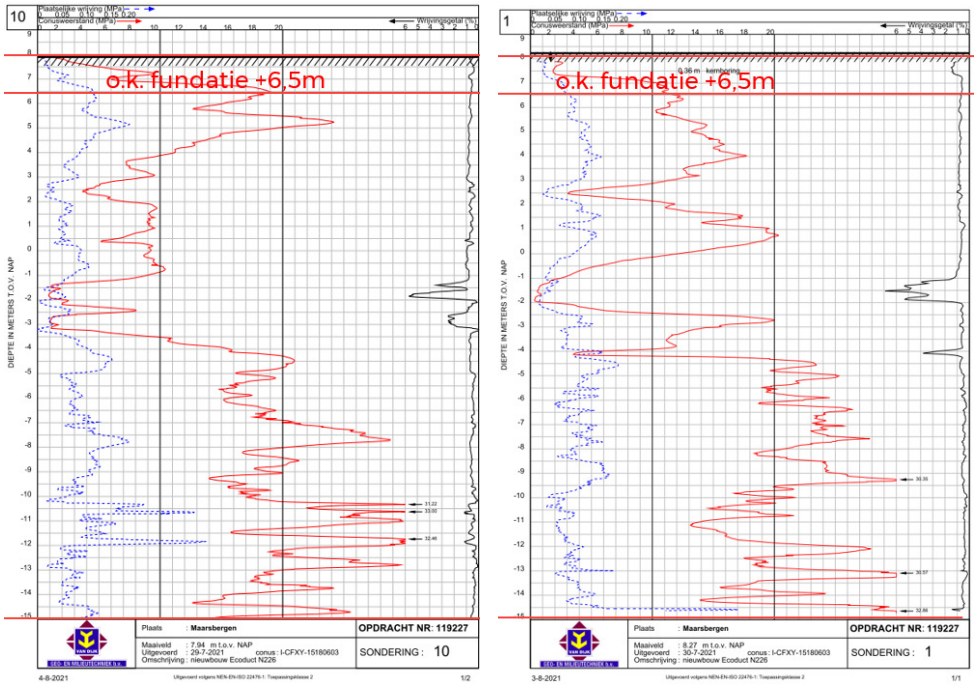
7 STAPELBARE BETONBLOKKEN

7.1 GRONDOPBOUW

Er zijn 5 sonderingen gemaakt ter plaatse van het noordelijke landhoofd en 5 ter plaatse van het zuidelijke landhoofd. De overkluizing bevindt zich aan de zuidzijde.

De sonderingen laten ter plaatse van de beide landhoofden een slappe/matig vaste kleilaag zien rond circa -2,0 m t/m -4,0 m NAP welke van west naar oost steeds zandiger wordt, met uitzondering van sondering 1 waar de slapste laag zit. Representatief voor de overkluizing is sondering 10.





Figuur 7-1 Locatie sonderingen en maatgevende sonderingen S10 en S1

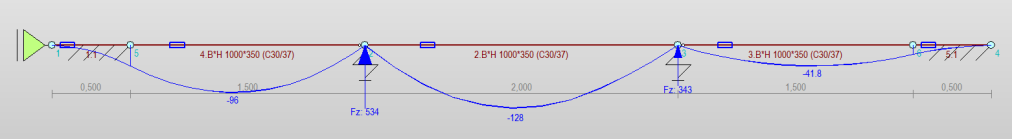
7.2 DRAAGKRACHT

Op basis van de gewichtsberekening kan de reactiekracht onder de stapelbare blokken en stootplaten bepaald worden. In onderstaande afbeeldingen zijn de reactiekrachten onder de betonblokken en buigend moment in de platen voor de spreidingsbreedte 1:1 en 1:2 weergegeven.

7.2.1 SCHEMATISERING: VRIJ OPGELEGDE STOOTPLAAT

In geval van een vrij opgelegde stootplaat zal de belasting vanuit de toeloop en dek via de stootplaten naar de betonblokken afgedragen worden. Dit is een bovengrens benadering voor de maximale funderingsdruk onder de betonblokken en maximale snedekrachten in de stootplaten.

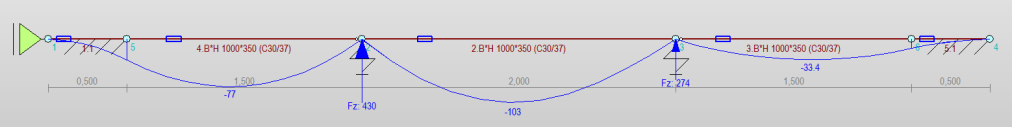
ULS (spreiding 1:1)



TUSSENPUNTEN VERPLAATSINGEN — Fundamentele combinatie

St.	Kn.	Pos.	Z-verpl Min	BC	Max	BC	[kN/m²] Grondspan.
1	1		-122.12	2	-120.71	1	610.580
1		0.050	-120.81	2	-119.43	1	604.029
1		0.100	-119.50	2	-118.15	1	597.477
1		0.150	-118.18	2	-116.87	1	590.924
1		0.200	-116.87	2	-115.58	1	584.371
1		0.250	-115.56	2	-114.30	1	577.813
1		0.300	-114.25	2	-113.02	1	571.254
1		0.350	-112.94	2	-111.74	1	564.684
1		0.400	-111.62	2	-110.45	1	558.114
1		0.450	-110.30	2	-109.16	1	551.524
1	5		-108.99	2	-107.88	1	544.933

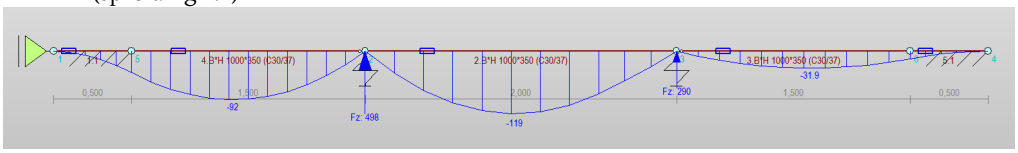
KAR (spreiding 1:1)



TUSSENPUNTEN VERPLAATSINGEN — Karakteristieke combinatie

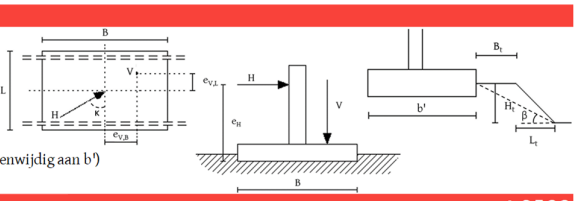
St.	Kn.	Pos.	Z-verpl Min	BC	Max	BC	[kN/m²] Grondspan.
1	1		-97.76	3	-97.76	3	488.813
1		0.050	-96.72	3	-96.72	3	483.603
1		0.100	-95.68	3	-95.68	3	478.393
1		0.150	-94.64	3	-94.64	3	473.182
1		0.200	-93.59	3	-93.59	3	467.971
1		0.250	-92.55	3	-92.55	3	462.756
1		0.300	-91.51	3	-91.51	3	457.540
1		0.350	-90.46	3	-90.46	3	452.315
1		0.400	-89.42	3	-89.42	3	447.090
1		0.450	-88.37	3	-88.37	3	441.849
1	5		-87.32	3	-87.32	3	436.608

FRE (spreiding 1:1)



Belastingen verticaal draagvermogen

Verticale belasting	V_d	534,0	kN
Excentriciteit V_d lengterichting	$e_{V,L}$	0,000	m
Excentriciteit V_d breedterichtir	$e_{V,B}$	0,000	m
Horizontale belasting	H_d	0,0	kN
Excentriciteit H_d	e_H	0,000	m
Hoek horizontale belasting	κ	90,0	° (evenwijdig aan b')



Afmetingen fundering — art. 6.5.2.2

Breedte fundering	B	0,80	m	Hoogte talud	H_t	0,000	m
Lengte fundering	L	1,00	m	Lengte talud	L_t	0,000	m
				Horizontale breedte talud	B_t	0,000	m
Helling onderzijde fundering	α	0,0	°	Helling talud	β	0,00	°
Effectieve breedte	b'	0,800	m	$b' = B - 2 \times [\sin(\kappa) \times H_d \times e_H / V_d + e_{V,B}]$			
Effectieve lengte	l'	1,000	m	$l' = L - 2 \times [\cos(\kappa) \times H_d \times e_H / V_d + e_{V,L}]$			
Effectieve oppervlakte	A'	0,80	m^2	Verhouding H_d/V_d	H_d/V_d	0,00	-
Invloedsbreedte	a_e	3,43	m	Verhouding invloedsbreedte	a_e/b'	4,29	-
Invloedsdiepte	z_e	1,27	m	Verhouding invloedsdiepte	z_e/b'	1,59	-

Gronddekking en aanlegniveau

Gronddekking	12,45	m NAP	Aanlegniveau	6,50 m NAP
Grondwaterstand	7,50	m NAP	Niveau invloedsdiepte	5,23 m NAP

Grondopbouw in invloedsgebied — art. 6.5.2.2

	ok laag [m NAP]	h_j [m]	x_j [m]	$\phi'_{j;k}$ [°]	$\phi'_{j;d}$ [°]	$c'_{j;k}$ [kPa]	$c'_{j;d}$ [kPa]	$\gamma'_{j;k;eff}$ [kN/m³]	$\gamma'_{j;d;eff}$ [kN/m³]
laag 1	6,45	0,05	1,25	30,0	26,7	0,0	0,0	17,0	5,5
laag 2	5,23	1,22	-2,62	30,0	26,7	0,0	0,0	19,0	7,3
laag 3		0,00	0,00		0,0		0,0		0,0
laag 4		0,00	0,00		0,0		0,0		0,0
laag 5		0,00	0,00		0,0		0,0		0,0
laag 6		0,00	0,00		0,0		0,0		0,0
				$\phi'_{gem;d}$ =	26,7	$c'_{gem;d}$ =	0,0	$\gamma'_{gem;d;eff}$ =	7,3

Grondopbouw in gronddekking — art. 6.5.2.2

	ok laag [m NAP]	h_j [m]	$\gamma'_{j;k;rep}$ [kN/m³]	$\gamma'_{j;d;eff}$ [kN/m³]
laag 1	7,50	4,95	22,0	20,0
laag 2	6,50	1,00	19,0	7,3
Effectieve verticale spanning			$\sigma'_{v;z;d}$ =	106,3

Partiële factoren	
$\gamma_{\tan(\phi')}$	1,15
$\gamma_{c'}$	1,6
γ_{γ}	1,1

Omdat de grond tussen de twee betonblokken opgesloten ligt en de betonblokken voor een groot gedeelte binnen elkaars bezwijkvlak staan is gerekend met de minimale dekking aan de buitenzijde van de overkluizing.

Berekening verticaal draagvermogen							art. 6.5.2.2
Draagkrachtfactor cohesie	N_c	23,35	-	*Reductiefactor voor een hellende onderkant van de fundering*			
Draagkrachtfactor gronddekkir	N_q	12,72	-	Reductiefactor cohesie	b_c	1,00	-
Draagkrachtfactor eff. vol. gew.	$N_{\gamma'}$	11,77	-	Reductiefactor gronddekking	b_q	1,00	-
Vormfactor cohesie	s_c	1,39	-	Reductiefactor eff. vol. gew.	$b_{\gamma'}$	1,00	-
Vormfactor gronddekking	s_q	1,36	-	*Reductiefactor voor de helling van het talud*			
Vormfactor eff. vol. gew.	$s_{\gamma'}$	0,76	-	Hulpparameter	α	0,00	-
Reductiefactor voor de helling van de horizontale belasting		*Geval II*		Reductiefactor cohesie	λ_c	1,00	-
Reductiefactor cohesie	i_c	1,00	-	Reductiefactor gronddekking	λ_q	1,00	-
Reductiefactor gronddekking	i_q	1,00	-	Reductiefactor eff. vol. gew.	$\lambda_{\gamma'}$	1,00	-
Reductiefactor eff. vol. gew.	$i_{\gamma'}$	1,00	-				

Rekenwaarde draagvermogen	$\sigma'_{max;d}$	1863,4	kN/m^2	$\sigma'_{max;d} = c'_{gem;d} N_c s_c i_c \lambda_c + \sigma'_{v;;d} N_q s_q i_q \lambda_q + 0{,}5\gamma'_{gem;d} b' N_{\gamma'} s_{\gamma'} i_{\gamma}$
Rekenwaarde draagvermogen	R_d	1.491	kN	$R_d = \sigma'_{max;d} \times A'$

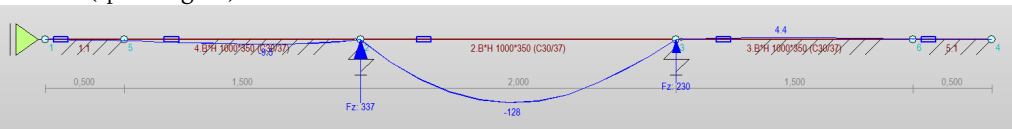
Controle verticale draagvermogen					art. 6.5.2.1
Controle	U.C.	**0,36**	**voldoet**	$U.C. = V_d / R_d$	

Uitgangspunt is dat de buitenste stootplaten op gestabiliseerd zand liggen en de funderingsdruk geen horizontale gronddruk tegen de betonblokken genereert. In §7.1.2 wordt een stootplaat beschouwd die volledig op een bedding ligt en wel een horizontale gronddruk tegen de betonblokken genereert.

7.2.2 SCHEMATISERING: VOLLEDIGE BEDDING ONDER STOOTPLAAT

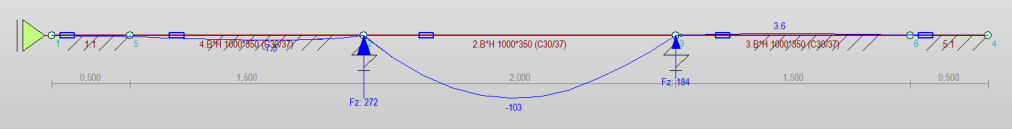
In geval van een volledige bedding onder de stootplaat zal de belasting vanuit de toeloop en dek deels via de stootplaten naar de betonblokken afgedragen worden. Dit is de maatgevende situatie voor de maximale horizontale druk tegen de betonblokken.

ULS (spreiding 1:1)



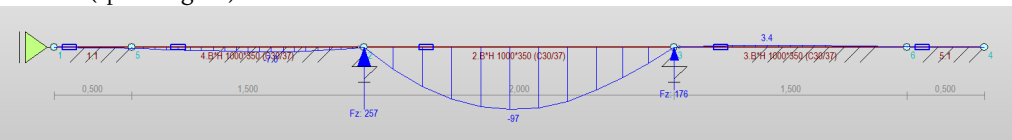
4	5	-51.75	2	-51.13	1	258.756
4	0.150	-50.81	2	-50.25	1	254.067
4	0.300	-49.87	2	-49.37	1	249.366
4	0.450	-48.93	2	-48.48	1	244.647
4	0.600	-47.98	2	-47.59	1	239.908
4	0.750	-47.03	2	-46.69	1	235.143
4	0.900	-46.07	2	-45.79	1	230.349
4	1.050	-45.10	2	-44.88	1	225.525
4	1.200	-44.13	2	-43.97	1	220.672
4	1.350	-43.16	2	-43.05	1	215.797
4	2	-42.18	2	-42.12	1	210.908

KAR (spreiding 1:1)



4	5	-41.42	3	-41.42	3	207.105
4	0.150	-40.69	3	-40.69	3	203.460
4	0.300	-39.96	3	-39.96	3	199.805
4	0.450	-39.23	3	-39.23	3	196.137
4	0.600	-38.49	3	-38.49	3	192.451
4	0.750	-37.75	3	-37.75	3	188.744
4	0.900	-37.00	3	-37.00	3	185.014
4	1.050	-36.25	3	-36.25	3	181.259
4	1.200	-35.50	3	-35.50	3	177.481
4	1.350	-34.74	3	-34.74	3	173.684
4	2	-33.98	3	-33.98	3	169.875

FRE (spreiding 1:1)



De verticale funderingsdruk onder strook (4) genereert een horizontale gronddruk tegen de betonblokken. De opbouw van gronddruk door de grondlaag onder de stootplaat wordt verwaarloosd.

$P_{v;k}$ = (207 + 170) / 2
= 189 kN.m^{-2}

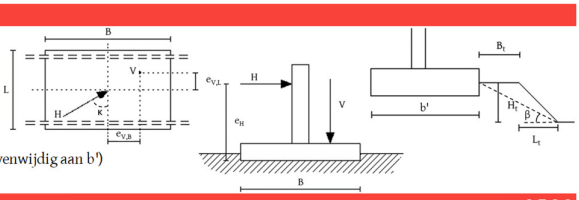
H_k = k_0 x h x $p_{v;k}$
= 0,5 x 0,8 m x 189
= 75 kN

$P_{v;d}$ = (259 + 210) / 2
= 235 kN.m^{-2}

H_d = k_0 x h x $p_{v;k}$
= 0,5 x 0,8 m x 235
= 94 kN

Belastingen verticaal draagvermogen

Verticale belasting	V_d	337,0	kN
Excentriciteit V_d lengterichting	$e_{V,L}$	0,000	m
Excentriciteit V_d breedterichtir	$e_{V,B}$	0,000	m
Horizontale belasting	H_d	94,0	kN
Excentriciteit H_d	e_H	0,400	m
Hoek horizontale belasting	κ	90,0	° (evenwijdig aan b')



Afmetingen fundering — art. 6.5.2.2

Breedte fundering	B	0,80	m	Hoogte talud	H_t	0,000	m
Lengte fundering	L	1,00	m	Lengte talud	L_t	0,000	m
				Horizontale breedte talud	B_t	0,000	m
Helling onderzijde fundering	α	0,0	°	Helling talud	β	0,00	°
Effectieve breedte	b'	0,577	m	$b' = B - 2 \times [\sin(\kappa) \times H_d \times e_H / V_d + e_{V,B}]$			
Effectieve lengte	l'	1,000	m	$l' = L - 2 \times [\cos(\kappa) \times H_d \times e_H / V_d + e_{V,L}]$			
Effectieve oppervlakte	A'	0,58	m^2	Verhouding H_d/V_d	H_d/V_d	0,28	-
Invloedsbreedte	a_e	2,05	m	Verhouding invloedsbreedte	a_e/b'	3,55	-
Invloedsdiepte	z_e	0,76	m	Verhouding invloedsdiepte	z_e/b'	1,31	-

Gronddekking en aanlegniveau

Gronddekking	12,45	m NAP	Aanlegniveau	6,50 m NAP
Grondwaterstand	7,50	m NAP	Niveau invloedsdiepte	5,74 m NAP

Grondopbouw in invloedsgebied — art. 6.5.2.2

	ok laag [m NAP]	h_j [m]	X_j [m]	$\phi'_{j;k}$ [°]	$\phi'_{j;d}$ [°]	$c'_{j;k}$ [kPa]	$c'_{j;d}$ [kPa]	$\gamma'_{j;k;eff}$ [kN/m^3]	$\gamma'_{j;d;eff}$ [kN/m^3]
laag 1	6,45	0,05	0,74	30,0	26,7	0,0	0,0	17,0	5,5
laag 2	6,00	0,45	0,13	30,0	26,7	0,0	0,0	19,0	7,3
laag 3	5,74	0,26	0,13	30,0	26,7	0,0	0,0	19,0	7,3
laag 4		0,00	0,00		0,0		0,0		0,0
laag 5		0,00	0,00		0,0		0,0		0,0
laag 6		0,00	0,00		0,0		0,0		0,0
				$\phi'_{gem;d}$ =	26,7	$c'_{gem;d}$ =	0,0	$\gamma'_{gem;d;eff}$ =	6,8

Grondopbouw in gronddekking — art. 6.5.2.2

	ok laag [m NAP]	h_j [m]	$\gamma'_{j;k;rep}$ [kN/m^3]	$\gamma'_{j;d;eff}$ [kN/m^3]
laag 1	7,50	4,95	22,0	20,0
laag 2	6,50	1,00	19,0	7,3
Effectieve verticale spanning			$\sigma'_{v;z;d}$ =	106,3

Partiële factoren	
$\gamma_{\tan(\phi')}$	1,15
$\gamma_{c'}$	1,6
γ_γ	1,1

Berekening verticaal draagvermogen — art. 6.5.2.2

Draagkrachtfactor cohesie	N_c	23,35	-	*Reductiefactor voor een hellende onderkant van de fundering*			
Draagkrachtfactor gronddekkir	N_q	12,72	-	Reductiefactor cohesie	b_c	1,00	-
Draagkrachtfactor eff. vol. gew.	$N_{\gamma'}$	11,77	-	Reductiefactor gronddekking	b_q	1,00	-
Vormfactor cohesie	s_c	1,28	-	Reductiefactor eff. vol. gew.	$b_{\gamma'}$	1,00	-
Vormfactor gronddekking	s_q	1,26	-	*Reductiefactor voor de helling van het talud*			
Vormfactor eff. vol. gew.	$s_{\gamma'}$	0,83	-	Hulpparameter	α	0,00	-
Reductiefactor voor de helling van de horizontale belasting		*Geval II*		Reductiefactor cohesie	λ_c	1,00	-
Reductiefactor cohesie	i_c	0,48	-	Reductiefactor gronddekking	λ_q	1,00	-
Reductiefactor gronddekking	i_q	0,52	-	Reductiefactor eff. vol. gew.	$\lambda_{\gamma'}$	1,00	-
Reductiefactor eff. vol. gew.	$i_{\gamma'}$	0,37	-				

Rekenwaarde draagvermogen	$\sigma'_{max;d}$	894,1	kN/m^2	$\sigma'_{max;d} = c'_{gem;d} N_c s_c i_c \lambda_c + \sigma'_{vz;d} N_q s_q i_q \lambda_q + 0{,}5 \gamma'_{gem;d} b' N_{\gamma'} s_{\gamma'} i_{\gamma}$
Rekenwaarde draagvermogen	R_d	516	kN	$R_d = \sigma'_{max;d} \times A'$

Controle verticale draagvermogen — art. 6.5.2.1

Controle	U.C.	**0,65**	**voldoet**	$U.C. = V_d / R_d$

Belastingen horizontale afglijding — art. 6.5.3

Verticale belasting	V_k	272,0	kN	Horizontale belasting	H_k	75,0	kN
Belastingfactor gunstig	γ	0,90	-	Belastingfactor	γ	1,00	-
Rekenwaarde verticaal	V_d	244,8	kN	Rekenwaarde horizontaal	H_d	75,0	kN

Controle horizontale afglijding — art. 6.5.3

Betonuitvoering	prefab	factor δ_d	0,67	-	
Rekenwaarde wrijvingshoek		δ_d	17,8	°	$\delta_d = factor\ \delta_d \times \phi'_{laag1;d}$
Weerstand horizontaal afglijden		R_d	78,5	kN	$R_d = V_d \times tan(\delta_d)$
Controle		U.C.	**0,96**	**voldoet**	$U.C. = H_d / R_d$

7.3 ZETTING

De zetting onder de betonblokken is berekend op basis van de representatieve sondering S10. De theoretische zetting bedraagt circa 34 mm, zie onderstaande berekening.

Belasting : 430,0 kN / 0,8 m(per breedte betonblok per strekkende meter)
537,5 kN.m^{-2}

Geometrie

Breedte fundering	0,80	m	Ontgravingsdiepte		1,50	m
Lengte fundering	1,00	m	Volumegewicht ontgraving	γ'_{jkwp}	17,0	kN/m^3
Initieel maaiveldniveau	0,00	m NAP	Volumegewicht nat ontgraving	$\gamma'_{jkwp,nat}$	19,0	kN/m^3
Grondwaterstand	7,50	m NAP	Verschil grensspanning	$\Delta\sigma_{grnd}$	17,5	kN/m^2
Onderkant fundering	6,50	m NAP				

Belastingen

Belasting	537,5 kN/m^2	
Spreiding in breedterichting	tweezijdige spreiding	*belastingspreiding 2:1*
Spreiding in lengterichting	geen spreiding	*belastingspreiding 2:1*

Zettingen art. 6.6.2

De zakking is gebruik gemaakt van de samendrukkingsconstanten C'_p en C'_s van Koppejan.

								onder grensspanning					boven grensspanning					totale zettingen		
	soort	ok laag	dikte	γ'_{jkwp}	$\sigma'_{grnd,mid}$	$\sigma'_{0;nd,mid}$	$\sigma'_{1;nd,mid}$	C_p	C_s	$\Delta\sigma'_{vgdwp}$	s_1	s_2	C'_p	C'_s	$\Delta\sigma'_{vgdwp}$	s_1	s_2	per laag	relatief	cumulat.
		[m NAP]	[m]	[kN/m^3]	[kN/m^2]	[kN/m^2]	[kN/m^2]	[-]	[-]	[kN/m^2]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[kN/m^2]	[mm]	[mm]	[mm]	[% totaal]	[mm]
laag 1	Grondverbetering	6,25	0,25	10,0	18,8	1,3	466,1	4.000	399,996	17,5	0	0	1.000	99,999	447,4	1	0	1	3,0%	1
laag 2	zand, schoon, vast	1,75	4,50	5,0	31,3	13,8	144,1	4.000	399,996	17,5	1	0	1.000	99,999	112,8	7	0	8	24,0%	9
laag 3	zand, sterk siltig, kleiig	1,25	0,50	10,0	45,0	27,5	101,6	800	399,996	17,5	0	0	200,0	99,999	56,6	2	0	2	7,0%	11
laag 4	zand, schoon, vast	-0,75	2,00	10,0	57,5	40,0	101,0	4.000	399,996	17,5	0	0	1.000	99,999	43,5	1	0	1	4,0%	13
laag 5	zand, sterk siltig, kleiig	-1,25	0,50	2,0	60,0	50,5	102,3	800	399,996	17,5	0	0	200,0	99,999	34,3	1	0	1	3,6%	14
laag 6	zand, schoon, vast	-3,00	1,75	10,0	77,3	59,8	105,4	4.000	399,996	17,5	0	0	1.000	99,999	28,1	1	0	1	2,0%	15
laag 7	klei, organisch, matig	-4,50	1,50	7,0	91,3	73,8	112,7	120	1.200	17,5	3	1	30	320	21,4	11	4	18	53,7%	33
laag 8	zand, schoon, vast	-15,00	10,50	10,0	149,0	131,5	156,7	4.000	399,996	17,5	0	0	1.000	99,999	7,7	1	0	1	2,6%	34

Percentage effectieve verticale spanning als gevolg van belasting ten opzichte van oorspronkelijke effectieve verticale spanning = 4,7% <20% akkoord

$\sigma'_{grnd,mid}$ = verticale grenskorrelspanning midden laag (voor ontgraving)
$\sigma'_{0;nd,mid}$ = verticale korrelspanning midden laag (na ontgraving)
$\sigma'_{1;nd,mid}$ = verticale korrelspanning midden laag (na plaatsten funderingselement)
$\Delta\sigma'_{vgdwp}$ = verschil verticale korrelspanning midden laag voor grensspanning = min($\sigma'_{grnd,mid}$ - $\sigma'_{0;nd,mid}$; $\sigma'_{1;nd,mid}$ - $\sigma'_{0;nd,mid}$)
$\Delta\sigma'_{vgdwp}$ = verschil verticale korrelspanning midden laag na grensspanning = max($\sigma'_{1;nd,mid}$ - $\sigma'_{grnd,mid}$; 0)

$$s_1 = \sum_{j=0}^{i=n} \frac{1}{C'_{p;j}} \times d_i \times \ln\left(\frac{\sigma'_{vz;0;d} + \Delta\sigma'_{vz;d}}{\sigma'_{vz;0;d}}\right)$$

$$s_2 = \sum_{j=0}^{i=n} \frac{1}{C'_{s;j}} \times d_j \times \log\left(\frac{t}{t_0}\right) \times \ln\left(\frac{\sigma'_{vz;0;d} + \Delta\sigma'_{vz;d}}{\sigma'_{vz;0;d}}\right)$$

Totaal s_1	28 mm
Totaal s_2	5 mm
Totaal s	34 mm

Bandbreedte van een zettingsberekening bedraagt circa 30%. De verwachte zetting ligt dus tussen de 25 mm en de 45 mm.

De meeste zetting wordt veroorzaakt door de kleilagen rond -2,0m tot -4,0m NAP. Door spreiding zal de gehele kleilaag rondom het landhoofd ingedrukt worden. Verwachting is dus dat het gehele maaiveld, inclusief de overkluizing en gasleidingen, zakking zal ondergaan ongeveer van éénzelfde orde grootte.

Om de maaiveldzakking beter te kunnen kwantificeren is een nadere analyse noodzakelijk met behulp van bijvoorbeeld een Plaxis 2D-model, al dan niet in combinatie met aanvullend grond- en laboratoriumonderzoek.

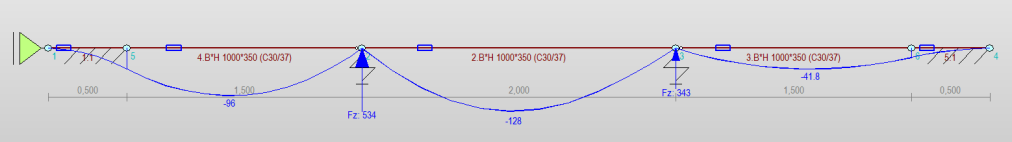
Geadviseerd wordt om te controleren of de gasleidingen én de waterleiding naast de overkluizing een dergelijke zakking van het maaiveld kan opnemen/volgen. Dit is afhankelijk van de materialisatie, opbouw en staat van de leidingen.

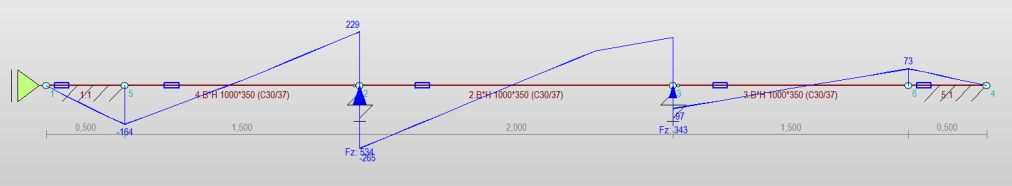
Indien dit niet acceptabel blijkt dan dient de overkluizing gefundeerd te worden op palen. Het dek van het ecoduct zal echter ook gaan dragen op de overkluizing waardoor een relatief zware paalfundering noodzakelijk is.

8 STOOTPLATEN

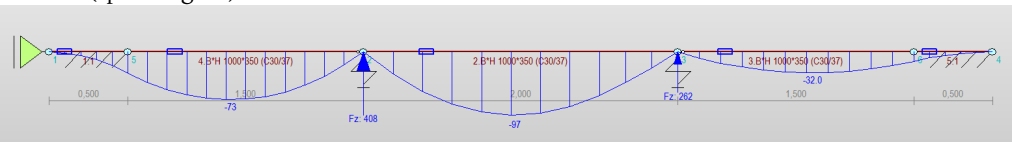
Doorsnedekrachten in de plaat worden ontleend aan het raamwerkmodel. Maatgevend is de situatie waarbij de stootplaten vrij opgelegd worden.

ULS (spreiding 1:1)





FRE (spreiding 1:1)



Betonberekening conform NEN-EN 1992-1-1+A1:2015/NB:2016+A1:2020 (sheet "Beton controle EC" versie 2.2)

Gegevens

Project	WIU023793	**Onderdeel**	Stootplaten					**Constructeur**	JJS	**Datum**	02-03-2023
		Betonkwaliteit	C30/37	γ_c	1,5	M_{Ed}	128 kNm			T_{Ed}	0 kNm
		Ontwerplevensduur	100 jaar	γ_s	1,15	M_{freq}	97 kNm			V_{Ed}	265 kN
		Milieuklasses	XC4							c_{buiten}	60 mm
		Constructieklasse	S5 -							ondergrond	bekisting
		Element met plaat geometrie	ja							*langs*	*dwars*
		specifieke kwal. Beheersing	nee						k_1	45 mm	45 mm
		h	350 mm						k_2	85 mm	85 mm
		b	1000 mm						$c_{min,b}$	20 mm	12 mm
		d	268 mm						$c_{min,dur}$	35 mm	35 mm
		Wapening	B 500 B						$\Delta c_{dur,\gamma}$	0 mm	0 mm
		Hoofdwapening in de 1e laag?	nee						$\Delta c_{dur,st+add}$	0 mm	0 mm
		Diameter hoofdwapening	Ø 20 mm	2e laag					c_{min}	35 mm	35 mm
		aantal	10 st.	100,0 mm (fictieve h.o.h.)					Δc_{dev}	10 mm	10 mm
		Diameter bijlegwapening	mm					$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$		45 mm	45 mm
		aantal	st.	mm (fictieve h.o.h.)					$c_{toegepast}$	72 mm	60 mm
		Dwarswapening/beugels	Ø 12 mm	1e laag					$c_{toegepast;maatgevend}$	60 mm ≥	45 mm (C_{nom})
		h.o.h.	150 mm								

Controle ULS berekening (conform EC2 art. 6.1)							
$x_u = A_s \times f_{yd} / (3/4 \times f_{cd} \times b)$	91 mm				f_{ctm}	2,90 MPa	
$x_u / d \leq 500 / (500 + f_{yd})$	0,34	<	0,53 -	**Voldoet**	f_{cd}	20,0 MPa	
$z_{slank} = d - 7/18 \times x_u$	233 mm				f_{yd}	435 MPa	
$z_{maatgevend}$	233 mm						
$M_{Ed} < M_{Rd} = A_s \times f_{yd} \times z$	128	<	318 kNm	**Voldoet**			
$A_s = M_{Ed} / (f_{yd} \times z)$	1266 mm^2			$\eta = e \times A_c / W$	21943 -		
$A_{s,min1} = M_{E,min} / (f_{yd} \times z)$	585 mm^2			$M_{E,min} = f_{ctm} \times W$	59,1 kNm		
$A_{s,min2} = 1,25 \times A_s$	1582 mm^2			$A_{s,max} = 0,04 \times A_c$	14000 mm^2		
$A_{s,ben} = \max[A_s;\min(A_{s,min1};A_{s,min2})]$	1266 mm^2	<	$A_{s;aanw}$	3142 mm^2			**Voldoet**

Controle beton ongescheurd of gescheurd				
$x_{ong} = (A_c \times x_c + A_s \times x_s \times n) / (A_c + A_s \times n)$	187 mm		$I_0 = 1/12 \times b \times h^3 + A_c \times (1/2\ h - x_{ong})^2 + A_s \times (d - x_{ong})^2$	
$n = E_s / E_c - 1$	17 -		$I_0 =$ 4E+09 mm^4	
$E_c = f_{cd} / 1,75$ ‰	11429 MPa		$z_o =$ 163 mm	
$M_{freq} < M_r = f_{ctm} \times I_0 / z_o$	97 kNm	>	70 kNm	**Beton gescheurd**

Scheurbeheersing minimale wapening (conform EC2 art. 7.3.2)							
$k_c = 0,4 \times (1-(\sigma_c / (k_1 \times h/h^* \times f_{ct,eff})))$	0,40 -		σ_c	0,0 MPa	$f_{ct,eff} = f_{ctm}$	2,90 MPa	
A_{ct}	175000 mm^2		$\sigma_s = f_{yk}$	500 MPa	h^*	350 mm	
$A_{s,min} / \sigma_s = k_c \times k \times f_{ct,eff} \times A_{ct}$	196 kN		k_1	0,67 - (trekkracht)	k	0,97	
$A_{s,min}$	391 mm^2	<	$A_{s;aanw}$	3142 mm^2			**Voldoet**

Scheurwijdte controle SLS (conform EC2 art. 7.3.4)							
E_s	200000 N/mm^2		E_{cm}	32837 N/mm^2			
$\alpha_e = E_s / E_{cm}$	6,09 -		k_1	0,8 - (hoge aanhechting)			
$\rho = A_s / (b \times d)$	0,012 -		k_2	0,5 - (0,5 voor buiging / 1,0 voor zuivere trek)			
$x_e = (-\alpha_e \times \rho + \sqrt{((\alpha_e \times \rho)^2 + 2 \times \alpha_e \times \rho)}) \times d$	84 mm		k_3	3,4 -			
$z_{slank} =$ d-1/3 x x_e	240 mm		k_4	0,425 -			
$z_{maatgevend}$	240 mm		K_t	0,4 - (langdurende belasting)			
$\sigma_s = M_{freq} / (A_s \times z)$	129 MPa		k_x	1,3 = $(c_{toegepast} / c_{nom}) \leq 2$			
$h_eff = \min[2,5 \times (h - d);(h - x_e) / 3;h / 2]$	89 mm						
$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$	0,04 -						
$s_{r,max} = k_3 \times c + k_1 \times k_2 \times k_4 \times Ø / \rho_{p,eff} \leq \max[(50 - 0,8 \times f_{ck}) \times Ø;15 \times Ø]$	341 mm	<	520 mm				
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = (\sigma_s - K_t \times f_{ct;eff} / \rho_{p,eff} \times (1 + \alpha_e \times \rho_{p,eff}))/E_s$	0,44 ‰	>	$0,6 \times \sigma_s/E_s$	0,39 ‰			
$w_k = s_{r,max} \times (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$	0,15 mm						
$w_k < w_{max} \times k_x$	0,15 mm	<	0,40 mm				**Voldoet**

Dwarskracht controle ULS (conform EC2 art. 6.2)							
$V_{Rd,c1} = [C_{Rd,c} \times k \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} + k_1 \times \sigma_{cp}] \times b_w \times d$	196 kN		k_1	0,15 -			
$k = 1 + \sqrt{(200 / d)} \leq 2,0$	1,86 -		σ_{cp}	0,00 MPa	$< 0,2 \times f_{cd}$	4,00 MPa	
$\rho_l = A_{sl} / (b_w \times d) \leq 0,02$	0,012		α_{cw}	1,00 -			
$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_C$	0,12 -						
$v_{min} = 0,035 \times k^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}$	0,49 MPa		$\Delta F_{td} = 0,5 \times V_{Ed} \times (\cot\theta - \cot\alpha)$	132,5 kN			
$V_{Rd,c2} = (v_{min} + k_1 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$	131 kN						
$V_{Ed} < \max[V_{Rd,c1};V_{Rd,c2}]$	265	>	196 kN	**Voldoet niet, dwarskrachtwapening nodig**			
$V_{Rd,s} = A_{sw} / s \times z \times f_{ywd} \times (\cot\theta + \cot\alpha) \times \sin\alpha$	305 kN		α	90 ° (hoek dwarskrachtwapening)			
$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \times b_w \times z \times \nu_1 \times f_{cd} (\cot\theta + \cot\alpha)/(1+\cot^2\theta)$	1228 kN		θ	45 ° (drukdiagonaal)			
$\nu_1 = \nu = 0,6 \times [1 - f_{ck} / 250]$	0,53 -		n	4 aantal snedes			
$V_{Ed} < \min[V_{Rd,s};V_{Rd,max}]$	265	<	305 kN				**Voldoet**
$\rho_w = A_{sw} / (s * b_w * \sin\alpha)$	0,30 % (percentage dwarskrachtwapening)						
$\rho_{w,min} = 0,08 \times \sqrt{f_{ck}} / f_{yk}$	0,09	≤	0,30 %				**Voldoet**

Conclusie : stootplaten 1000x350 met dwarskrachtwapening toepassen

9 INVULLING CIRCULAIRE AMBITIE

De provincie Utrecht heeft verschillende eisen opgesteld omtrent duurzaamheid, waarbij de circulaire ambitie in het oog springt. Om voor de overkluizing hieraan invulling te geven zijn verschillende materialen overwogen, waarbij uiteindelijk is gekozen voor het toepassen van demontabele betonnen componenten. Onderstaand is hiervoor een verantwoording afgelegd.

9.1 BEPERKENDE FACTOREN

Er zijn enkele beperkende factoren die invloed hebben op de materiaalkeuze en waarbij dus rekening moet worden gehouden bij het maken van het ontwerp:

- Bestaand kabel en leidingwerk ligt gefixeerd;
- Levensduur van de constructie bedraagt 100 jaar;
- Vervanging van- en onderhoud aan componenten is niet wenselijk/slecht mogelijk tijdens de levensloop;
- Er werken relatief grote krachten op de overkluizing.

9.2 MATERIAALKEUZE

Met de bovenstaande factoren in acht genomen zijn verschillende materialen afgewogen. Onderstaand zijn de materiaaleigenschappen beschreven en hoe deze zich verhouden tot de factoren. Hierbij is uiteindelijk de keuze voor beton gemaakt.

9.2.1 HOUT

Hout staat bekend als duurzaam materiaal aangezien het een hernieuwbare bron is en verschillende toepassingen kent aan het einde van de levensduur, zoals het verbranden als biomassa voor de opwekking van energie. Echter is hout geen geschikt materiaal voor de toepassing in de overkluizing door de beperkte levensduur. Uitgaande van een benaderbare levensduur van 30 jaar zullen meerdere vernieuwingen van de houten componenten plaats moeten vinden wat onwenselijk is.

9.2.2 STAAL

Wanneer staal toegepast kan worden volgens demontabele principes kan een circulaire toepassing worden beargumenteerd. Daarnaast is staal het constructiemateriaal waarbij het vaakst gebruik wordt gemaakt van gerecycled bronmateriaal voor de toepassing in nieuwe producten. Ondanks dat bij staal, met name bij laag cyclische belastingen, een hoge levensduur kan worden bereikt bij een juiste conservering, zal hiervoor wel periodiek onderhoud moeten worden uitgevoerd. Verder zorgt de ondergrondse toepassing ervoor dat een groter aantal conserveringsmiddelen moet worden toegepast, die vaak een grote toxische waarden hebben en het milieu dus schaden. Een andere mogelijkheid is het staal over te dimensioneren om staaloppervlakafname ten gevolge van corrosie te compenseren. Na 100 jaar zal een laagwaardiger materiaal worden teruggewonnen waar veel energie in moeten worden gestopt om weer tot een hoogwaardig materiaal te komen. Daarnaast is een oplossing in staal voor deze toepassing vanuit constructief oogpunt niet voor de hand liggend, met name omdat een gronddrukverdelende funderingsplaat noodzakelijk is. Er wordt dan ook afgezien van de toepassing van staal in de overkluizing.

9.2.3 (BIO)COMPOSIETEN

(Bio)composieten kunnen een levensduur bereiken van 100 jaar en zijn relatief onderhoudsvrij. Ook zijn (bio)composieten licht van gewicht in vergelijking met beton en staal wat de uitstoot tijdens het transport beperkt. In de markt zijn er op dit moment echter geen composiet-elementen die voor deze toepassing kunnen worden ingezet. Daarnaast is nog maar beperkt

kennis over de levensuur bij een constructief ondergrondse toepassing en wordt derhalve als een ongeschikte optie gezien.

9.2.4 BETON

Beton kan onderhoudsvrij worden toegepast in een ondergrondse constructie, waarbij de constructieve integriteit gegarandeerd blijft. Een nadeel van beton is de grote volumes en resulterend grote gewicht waarmee het moet worden toegepast. Daarentegen vormt de levensduur geen beperkende factor en heeft het de eigenschappen om de werkende krachten op de overkluizing op te vangen. In deze situatie is het toepassen van beton de beste optie in vergelijking tot de andere materialen.

9.3 CIRCULAIRE TOEPASSING BETON

Om beton circulair toe te passen zullen enkele voorwaarden in acht genomen moeten worden. Een in-situ toepassing van beton met monoliete verbinding moet voorkomen worden. Er dient zoveel mogelijk op basis van losmaakbare standaard prefab componenten gewerkt te worden om een zo hoog mogelijk circulair niveau van het toegepaste materiaal te bereiken. Daarbij komt ook dat gestreefd moet worden naar een nieuwe toepassing van betonnen componenten aan het einde van de gebruikslevensduur van de constructie in de vorm hergebruik. Om dit realistischer te maken kan overdimensionering of een hogere dekking grotere zekerheid geven dat de componenten na 100 jaar nog constructief voldoen.

De vraag die vaak wordt gesteld is hoe weten wij of de componenten die wij nu toepassen over 100 jaar opnieuw gebruikt gaan worden. Dit kan natuurlijk niet worden gegarandeerd, echter is er op dit moment groot verschil in aanbod en vraag tussen vrijkomend secundair materiaal en materiaal dat wordt toegepast in constructies. Zo was er volgens verkennend onderzoek (Rijksdienst voor ondernemend Nederland, 2021 [ref.1]) voor beton een verschil in vraag en aanbod van 8.684 kiloton in 2014 en is er een verwacht verschil van 10.046 kiloton in 2030. Om deze reden zal er nu geïnvesteerd moeten worden in componenten die in de toekomst her te gebruiken zijn om dit gat te dichten. Standaardisering kan hierbij een grote rol spelen, aangezien het toepassen van componenten die gestandaardiseerd zijn gemakkelijker opnieuw toe te passen zijn in de toekomst zonder investeringen te moeten doen in modificaties.

9.4 ONDERBOUWING VAN ONTWERP

Zoals voorgaand is benoemd zijn er enkele principes die zullen moeten worden toegepast om beton op een hoogwaardig circulaire wijze toe te passen:

- Levensduur verlengende maateregelen nemen;
- Kans op hergebruik vergroten;
- Bouwen met componenten;
- Demontabel bouwen.

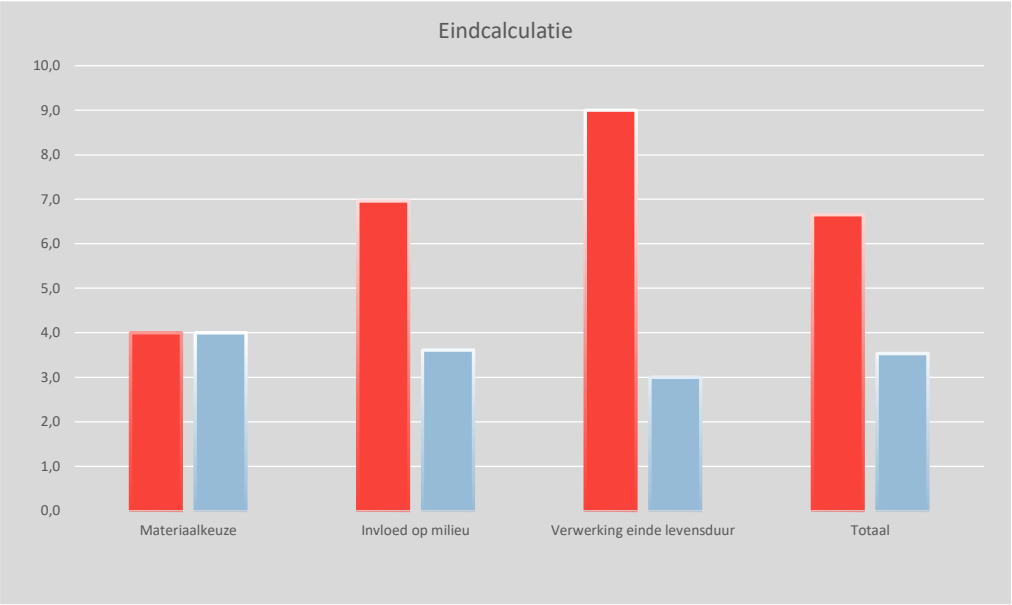
Aan de hand van deze principes is er gekozen om de overkluizing te construeren door het toepassen van twee type gestandaardiseerde componenten, “Lego” betonblokken en stootplaten. Daarnaast zullen stootplaten met standaardafmetingen worden toegepast. Door het ontwerp simpel maar effectief te houden wordt de kans op hergebruik in de toekomst verhoogd.

[ref.1] Rijksdienst voor ondernemend Nederland. (2021). Beschikbaarheid en gebruik secundaire bouwmaterialen en producten. In *Rijksdienst voor Ondernemend Nederland*. Geraadpleegd op 1 maart 2023, van https://circulairebouweconomie.nl/wp-content/uploads/2021/12/Verkenning-Beschikbaarheid-en-gebruik-secundaire-bouwmaterialen-en-producten.pdf

9.5 BEOORDELING CIRUCLAIRE WAARDE

Om een concrete analyse van de circulaire waarde van het ontwerp te maken is het ontwerp beoordeeld aan de hand van een door WSP ontwikkelde tool die de circulair waarde van een constructie meet. De meettool volgt de principe's van CB'23 en is gekoppeld aan de MKI-systematiek en wordt door WSP (intern) ingezet als hulpmiddel om onze ontwerpen duurzamer en circulair te maken. Aan de hand van drie verschillende onderdelen wordt deze beoordeling opgesteld: materiaalkeuze, invloed op milieu (MKI) en verwerking einde levensduur. Als referentie is het gemaakte ontwerp genomen, maar dan volledig in-situ uitgevoerd. Onderstaand zijn de resultaten grafisch weergegeven, waarbij een beoordeling van een 10.0 geldt als optimaal hoogwaardig circulair[1]

Tabel 1 Beoordeling circulaire waarde

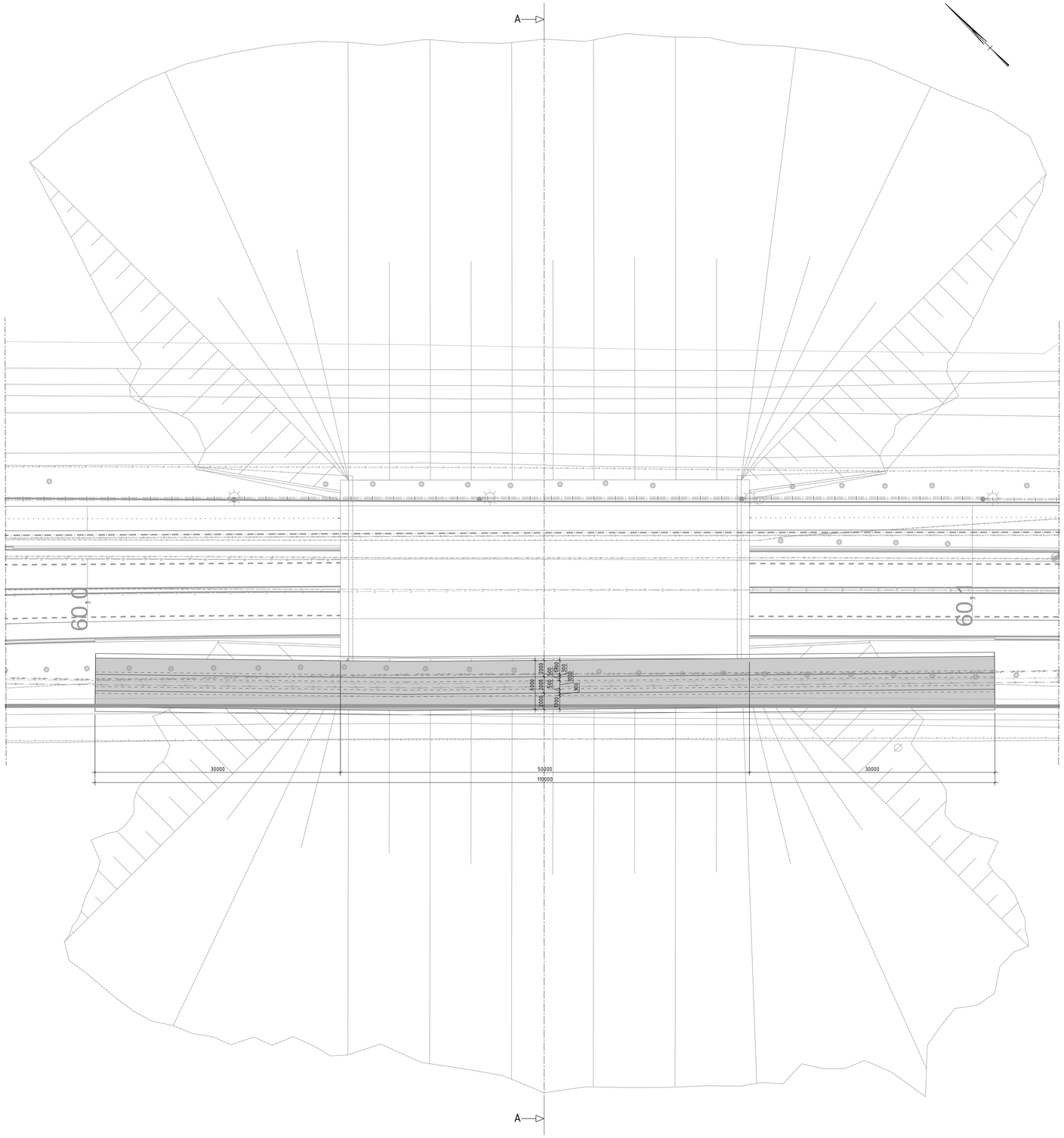


Uiteindelijk scoort de demontabele betonnen overkluizing een 6,7 tegenover een 3,5 wanneer deze volledig in-situ zou worden uitgevoerd. De lage score bij materiaalkeuze is opvallend, maar verklaarbaar. In dit geval is er uitgegaan van de slechtste situatie, dus dat zowel de betonblokken als de stootplaten volledig uit primair materiaal bestaan. In realiteit zou dit naar waarschijnlijkheid niet zo zijn. De betonblokken worden namelijk ook secundair aangeboden. Wanneer enkel secundaire betonblokken worden aangeboden wordt een 8,7 gescoord als eindbeoordeling. Eventueel zou ook gebruik kunnen worden gemaakt van secundair toeslagmateriaal voor zowel de betonblokken als de stootplaten wanneer deze componenten niet als secundair product beschikbaar zijn, wat ook de eindbeoordeling aanzienlijk positief beïnvloed. Zoals eerder al is benadrukt is er een groot verschil in de vraag en aanbod van secundair materiaal, waardoor nu de investering moet worden gedaan zodat dit gat wordt opgevuld voor de toekomst.

[1] Nadere informatie over de circulariteitstool kan opgevraagd worden bij uw contactpersoon binnen WSP

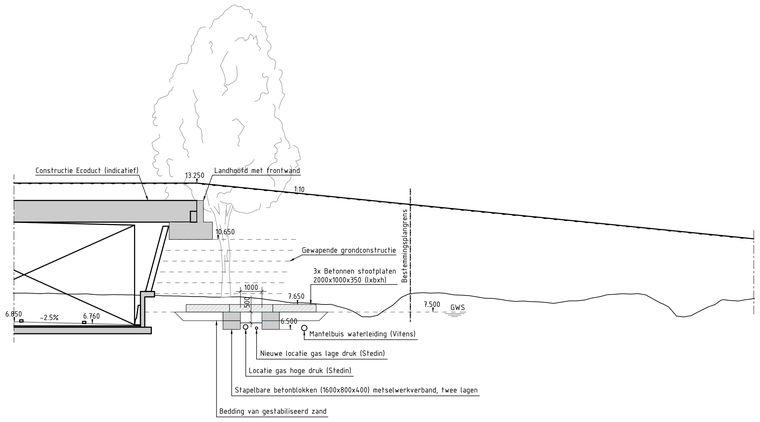
10 CONCLUSIE EN AANDACHTSPUNTEN VERVOLGFASE

- De overkluizing is geheel demontabel en bestaat uit betonnen stapelbare betonblokken 1600x800x400 (L x b x h) en prefab stootplaten met een voor fiets- en voetgangers gebruikelijke afmetingen 2000x1000x350 (L x b x h). Hierdoor wordt mogelijkheid tot hergebruik aan het einde van de gebruiksduur van het ecoduct gemaximeerd. De betonelementen kunnen eventueel secundair zijn of secundaire toeslagmaterialen bevatten waardoor het ontwerp hoogwaardiger circulair wordt;
- Aangenomen wordt dat het landhoofd van het ecoduct is gefundeerd op staal middels een gewapende grond constructie. De overkluizingsconstructie ligt binnen het invloedsgebied van het landhoofd. Er is dus een belangrijk raakvlak tussen het ontwerp van het ecoduct en de overkluizing. In dit VO is een conservatieve aanname gedaan voor het gewicht vanuit het landhoofd dat op de overkluizing werkt. Deze aanname moet nog wel geverifieerd worden in een vervolgfase;
- Door het gewicht van het landhoofd en ophoging zal de diepe kleilaag op circa -2m/-4m NAP gaan zetten waardoor het maaiveld, inclusief de overkluizing en (gas)leidingen, zakking zal ondergaan. Eerste verkennende zettingsberekeningen indiceren een zakking orde groot 3-5cm. Om een betere inschatting van de maaiveldzakking te kunnen doen is een nauwkeuriger rekenmodel noodzakelijk (bijvoorbeeld een Plaxis 2D-model), al dan niet in combinatie met aanvullend grond- en laboratoriumonderzoek.
- Geadviseerd wordt om te controleren of de gasleidingen én de waterleiding in de mantelbuis naast de overkluizing een dergelijke zakking van het maaiveld kan opnemen/volgen. Dit is onder andere afhankelijk van de materialisatie, opbouw en staat van de leidingen.
- Indien dit niet acceptabel blijkt dan dient de overkluizing gefundeerd te worden op palen. Het dek van het ecoduct zal echter ook gaan dragen op de overkluizing waardoor een relatief zware paalfundering noodzakelijk is.



Bovenaanzicht

schaal: 1 : 200



Doorsnede A-A

schaal: 1 : 100

LEGENDA

Prefab beton

Prefab beton (gewapend)

ALGEMEEN

Hoeken in 360 graden stelsel
Maatvoering in millimeters, tenzij anders aangegeven
Peilmaten in meters t.o.v. N.A.P.
Coördinaten in meters t.o.v. Rijksdriehoekstelsel
Maatvoering afgerond op mm. Doorteilmaten kunnen hierdoor een mm afwijken
Onderstreepte maten zijn niet op schaal getekend

Gekoppelde X-REF's

DWM ECODUCT N226_NLCS_V02_2D MX_2D MX
N226 BGT 2016-12-08
SIT-BS-KLIC(23-11-2021)_aangepast
SIT-NW-BETONNEN U-BAK
SIT-NW-Te verwijderen bomen tbv K&L + omleg tracés
X-Drawing1-Hectometrering

BIJBEHORENDE TEKENINGEN

Tekeningnummer	Titel
1261901 - 52	Maatregelen gas, water en middenspanning (Tauw)

Rev.	Datum	Omschrijving	Getekend
0.2	03-03-2023	Concept t.b.v. externe controle	BEL
0.1	03-03-2023	Concept t.b.v. interne controle	BEL

Provincie Utrecht
Ecoduct N226

Maatregelen gas, water en middenspanning

Overkluizingsconstructie

Projectnr.:	WIU023793	Getekend:	BEL
Fase:	VO	Gecontroleerd:	JDK / JJS
Status:	Concept	Vrijgegeven:	JDK

Archimedesweg 5
8912 AK Leeuwarden
+31 88 910 20 00
wsp.com

Schaal:	Zie tekening	Formaat:	A0
Blad nr.:	1 van 1	Datum:	03-03-2023
Tekening nr.:	WIU023793-VO-TEK-0001	Revisie:	0.2

TEMPLATE: NLCS - PLOTSCHAAL 10

10cm 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0cm

Filename: P:\wsp-nl\sites\Projecten\Ecoduct N226\Tekening\WIU023793-VO-TEK-0001.dwg