

Constructieve beoordeling inlaat te Lekdijk aan de westzijde van de Irenesluis bij Wijk bij Duurstede

**STERKE
LEKDIJK**

Irenesluis - Culemborgse Veer



HOOGHEEMRAADSCHAP
**DE STICHTSE
RIJNLANDEN**

Constructieve beoordeling inlaat te Lekdijk aan de westzijde van de Irenesluis bij Wijk bij Duurstede

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

Poldermolen 2
3994 DD Houten

030 634 57 00 T
sterkelekdijk@hdsr.nl E
hdsr.nl/sterkelekdijk W



STERKE LEKDIJK

Titel: Constructieve beoordeling inlaat te Lekdijk aan de westzijde van de Irenesluis bij Wijk bij Duurstede

Kenmerk: DM1908584

Versie: 3.0

Datum: 09-09-2022

Projectnaam: Dijkversterking Irenesluis – Culemborgse Veer


Projectnummer: 120612

Opgesteld door: Jelmer Veldhuizen

Gecontroleerd door: Philip de Ruiter, Quintijn van Agten

Colofon

Vrijgave:

Functie	Naam	Paraaf
Projectmanager RHDHV/Fugro	Marco Eversdijk	09-09-2022 

**STERKE
LEKDIJK**

Omschrijving	Code	Datum	Toelichting
V0.9		22-4-2022	Intern concept tbv collegiale toets
v1.0		29-4-2022	Vrijgave
V1.0		13-5-2022	Review door HDSR: Derk-Jan Sluiter, Arnold van de Kraan, Janna van der Meer en vanuit beheer: Martin van de Beek
V2.0		1-8-2022	laatste check versie
V3.0		9-9-2022	Definitie versie

Inhoudsopgave

1	Introductie	6
2	Uitgangspunten	7
2.1	Algemeen	7
2.2	Huidige staat	9
2.3	Faalkanseis sterkte en stabiliteit (STKWp)	10
2.4	Waterstanden en andere niveaus	10
2.5	Geotechnische uitgangspunten	11
2.6	Materialen	11
2.7	Belastingen	11
2.8	Te beschouwen onderdelen	11
3	Beoordeling overslag/overloop van het kunstwerk (HTKW)	13
4	Beoordeling betrouwbaarheid sluiting van het kunstwerk (BSKW)	14
5	Beoordeling opbarsten, heave en piping (STPH)	15
6	Beoordeling Sterke en stabiliteit van het kunstwerk: puntconstructie (STKWp) - Constructie	16
6.1	Uitwerking belastingen	16
6.1.1	Belasting doorsnede A	16
6.1.2	Belasting doorsnede B	18
6.2	Aanwezige wapening in doorsnede A en B	20
6.3	Berekening buigende momenten in langsrichting en controle langswapening	20
6.3.1	Berekening doorsnede A	20
6.3.2	Berekening doorsnede B	21
6.4	Controle op dwarskracht in langsrichting	21
6.5	Momenten en dwarskrachten in dwarsdoorsnede van de duiker	21
7	Beoordeling Sterke en stabiliteit van het kunstwerk: puntconstructie (STKWp) - Afsluitmiddelen	23
7.1	Uitwerking belastingen	23
8	Conclusies	24
	Bijlagen	25
	Bijlage 1 Tekeningen duiker: vorm en wapening	26

Bijlage 2 Berekening van Marston	27
Bijlage 3 Dwarskrachtberekeningen langsrichting	28
Bijlage 4 Berekening SCIA	32
Bijlage 5 Controle wapening dwarsrichting	33

1 Introductie

De noordelijke Lekdijk beschermt een groot deel van Midden en West Nederland tegen overstroming. De dijk voldoet niet aan de waterveiligheidsnormen en daarom versterkt Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) de dijk tussen Amerongen en Schoonhoven over een totale lengte van 55 km. Zo is de dijk ook in de toekomst voldoende veilig en voldoet hij aan de normen die sinds 2017 gelden.

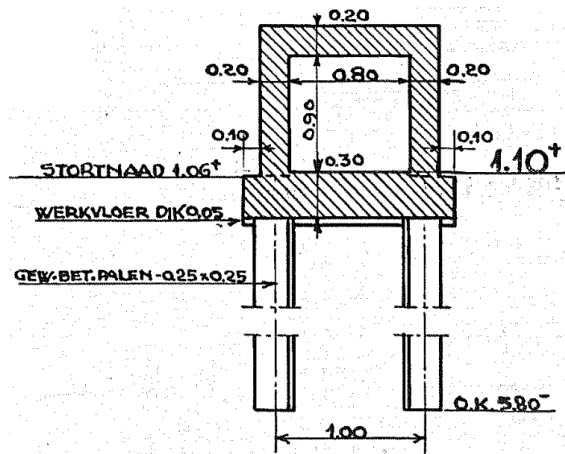
De versterking van de Lekdijk is onderdeel van het [Hoogwaterbeschermingsprogramma](#). Hierbij werken de waterschappen samen met het Rijk om dijken – en dus Nederland – veilig te houden. De dijkversterking tussen Amerongen en Schoonhoven heeft een te grote omvang om in één keer te realiseren. Hiervoor voert HDSR het programma [Sterke Lekdijk](#) uit. Het programma Sterke Lekdijk is verdeeld in zes deelprojecten. De dijkversterking Irenesluis - Culemborgse Veer (ICU) is een van de zes deelprojecten. Het dijktraject van het deelproject Irenesluis - Culemborgse Veer is 9,9 km lang en loopt van de westzijde van de Irenesluis bij Wijk bij Duurstede (dijkpaal 106) tot aan de Veerweg bij het Culemborgse Veer (dijkpaal 203).

Het deelproject ICU is in 2021 gestart en bevindt zich op dit moment in de Verkenningsfase. In deze fase wordt gewerkt aan een ontwerp op hoofdlijnen voor de dijkversterking, met als resultaat de vaststelling van het Voorkeursalternatief.

In dit document wordt de constructieve beoordeling van inlaatduiker in de Lekdijk aan de westzijde van de Irenesluizen bij Wijk bij Duurstede (faalmechanisme Sterkte en stabiliteit kunstwerk: STKWp) behandeld. Conform het WBI2017 worden de volgende deelfaalmechanismen beoordeeld:

- Hoogte kunstwerk (HTKW) in hoofdstuk 3
- Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk (BSKW) in hoofdstuk 4
- Weerstand tegen piping in relatie met het kunstwerk (PKW) in hoofdstuk 5
- Falen door instabiliteit constructie en grondlichaam (STKWp-CG) in Hoofdstuk 6
- Falen door bezwijken waterkerende constructieonderdelen (STKWp-CO) in Hoofdstuk 7

In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten vastgelegd zoals de geometrie van de duiker, het grondlichaam waarin de duiker zich bevindt, te rekenen waterpeilen, materialen en belastingen. Ook worden de te beschouwen onderdelen genoemd. In de hoofdstukken 3 t/m 7 worden de deelfaalmechanismen uitgewerkt waarna in hoofdstuk 8 de conclusies wat betreft de toekomstbestendigheid van de inlaatduiker en uitgevoerde controles toegelicht worden.

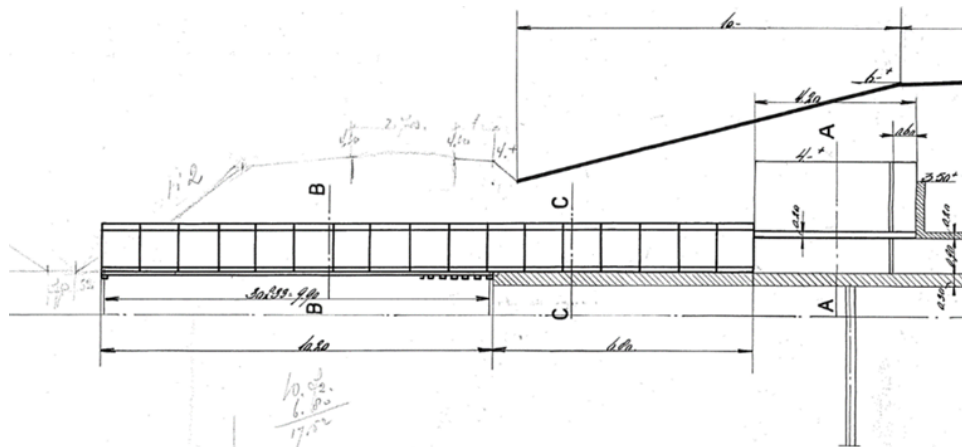


53
54 *Figuur 3 Dwarsdoorsnede bestaande duiker*

55
56 De duiker is binnendijs uitgebreed met een niet onderheide gewapend betonnen constructie. Deze be-
57 staat uit betonnen buizen met platte voet met een diameter van 1000 mm. Deze buizen staan op houten
58 latten direct op de ondergrond. De binnen onderkant koker ligt op circa NAP +1,1 m. De totale lengte van
59 de inlaatduiker is circa 75 m.

60
61 De duiker komt binnendijs uit in een sloot, waarin een stuwschot aanwezig is met de bovenkant op circa
62 NAP+2,50 m. Na dit stuwschot loopt het water verder via sloten en onderdoorgangen het achterland in. In
63 de navolgende figuur is de langdoorsnede van de verlengde duiker weergegeven, welke ook in Bijlage 1
64 te vinden is.

65
66



67
68 *Figuur 4 Langdoorsnede verlengde duiker*

69 In 2004 is de duiker gerenoveerd. Daarbij zijn het schuivenhuis, de schuiven en de bewegingswerken op-
70 geknapt. Tevens is toen de buis schoongemaakt en is op de overgang van het onderheide naar het niet
71 onderheide deel een grote scheur hersteld. Door verschilzetting (zeer waarschijnlijk door de dijkverzwa-
72 ring waarvoor de verlenging van de duiker nodig was) is hier in de loop van de tijd een sprong van onge-
73 veer 12 cm ontstaan. De scheur is hersteld door tegen de binnenzijde roestvaste stalen platen te bevesti-
74 gen, met rubber afdichtingsprofielen. Sinds de renovatie is het gebruik van de duiker probleemloos.

75
76 De inlaatduiker wordt alleen in het voorjaar en de zomer gebruikt om water in te laten ten behoeve van:

- 77 • Nachtvorstbestrijding fruitteelt;
- 78 • Beregening van de fruitteelt in drogere perioden;

79 In de herfst en de winter is door kwel geen aanvoer benodigd en is de inlaat standaard gesloten of staat
80 deze op een heel klein kiertje (cm's).

81 **2.2 Huidige staat**

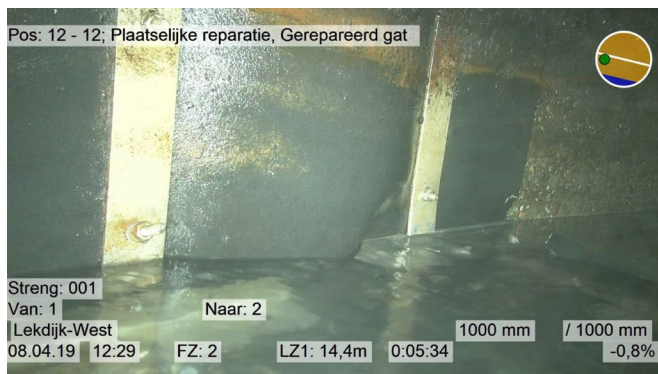
82
83 In 2019 is een camera-inspectie uitgevoerd van het binnendijkse gedeelte van de duiker tussen de uit-
84 stroom en de schacht in de kruin van de dijk. Hieruit blijkt dat de tekeningen accuraat zijn en dat er geen
85 sprake is van constructieve schade of andere schades die reden zijn om rekening te houden met afname
86 van de sterkte ten opzichte van de oorspronkelijke situatie.
87



88
89 *Figuur 5 Langdoorsnede verlengde duiker*

90 De belangrijkste bevindingen zijn:

- 91 • Enkele voegen in de betonnen duikerelementen vertonen enige mate van lekkage; dit was echter
92 dusdanig weinig dat dit het droogzetten niet onmogelijk heeft gemaakt.
- 93 • Er is sprake van een gat in de wand van de duiker, dat is gerepareerd met een rubber slab, be-
94 vestigd op de wand met klemstroken. De reparatie vertoont geen gebreken; de reparatie is
95 grond dicht.
96



97
98 *Figuur 5 Langdoorsnede verlengde duiker*

- 99 • De gewapend betonnen schacht vertoont geen schades.
100



101
102 *Figuur 6 Zicht in de schacht vanuit de duiker*

103 2.3 Faalkanseis sterkte en stabiliteit (STKWp)

104 Voor de beoordeling van het waterkerende kunstwerk op sterkte en stabiliteit (STKWp) geldt vanuit de
105 Waterwet een faalkanseis $6,7 \cdot 10^{-7}$ per jaar ($\beta = 3,82$) (zie 'Technische Uitgangspunten Notitie'). Deze
106 faalkanseis is minder zwaar dan de betrouwbaarheidseis volgens de Eurocode uitgaande van een refe-
107 rentieperiode van 50 jaar ($\beta = 4,3$). Constructieve beoordeling van onderdelen wordt daarom uitgevoerd
108 op basis van de rekenregels van de Eurocode, waarbij de representatieve situatie (zonder partiële facto-
109 ren) wordt berekend om de representatieve sterkte te bepalen. Dit komt doordat de maatgevende water-
110 belastingen die volgen uit de Waterwet, stochastische variabelen inclusief veiligheid zijn.

111 2.4 Waterstanden en andere niveaus

112 In het bedieningsprotocol is aangegeven dat de inlaatduiker gesloten wordt en blijft wanneer de waterstand
113 op de Rijn bij Lobith boven NAP +13,80 m komt, wat overeenkomt met een waterstand van NAP +5,50 m
114 in de voorhaven bij de duiker. Beide spindelschuiten in de schuivenput worden met de handbediend.
115 Wanneer water moet worden ingelaten, worden beide schuiven even ver opengezet. Wanneer in de bin-
116 nendijkse behoefte aan water is voorzien, worden beide schuiven ook weer gesloten.

117
118 Voor dit kunstwerk wordt rekening gehouden met 2073 als zichtjaar. Voor dit zichtjaar zijn de volgende
119 uitgangspunten gehanteerd:

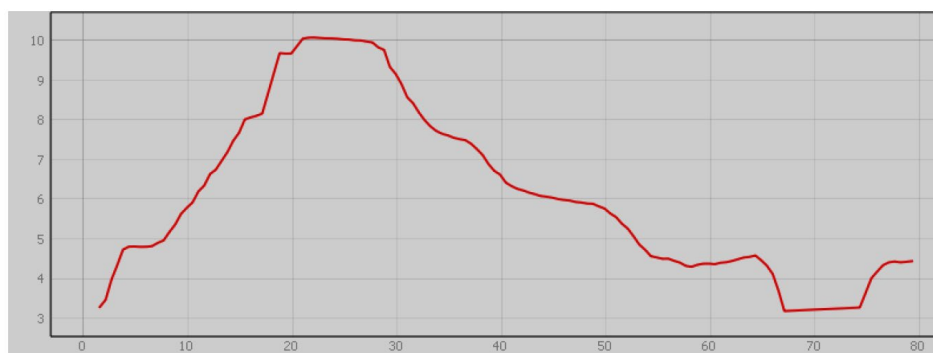
120
121 *Tabel 1: Hydraulische uitgangspunten*

					WBI Gesort. water-stand			Hoogte HBN 2073 H_2073_INCL_B
ID	DIJK-PAAL_NR	UITVOERPUNT_DATABASE_WBI_V03	RD_X_UTVOER	RD_Y_UTVOER	2050	2100	2073	2073
1	106	LE_1_44-1_dk_00017	150630	441954	8,74	8,80	8,77	9,85
2	107	LE_1_44-1_dk_00018	150710	441921	8,74	8,80	8,77	9,87

122
123 Waterstand bij Norm 1/10.000 jaar geeft 8,77 m + NAP
124 Hydraulische Belasting Niveau geeft 9,87 m + NAP (inclusief bodemdaling)

125
126 De bouwtekeningen uit 1935 tonen een kruinhoogte van 9,7m +NAP. Uit het document 'Beoordeling KW
127 RWS traject 44-1' blijkt echter dat de dijk een kruinhoogte van ruim 10m +NAP heeft (zie figuur 5). Dit be-
128 tekent dat de dijk sinds 1935 in ieder geval met 30cm opgehoogd is. Met deze hoogte van 10m +NAP
129 worden de navolgende berekeningen uitgewerkt.

130
131



132 *Figuur 5 dwarsdoorsnede waterkering ter plaatse van inlaatduiker*

- 133 Hoogte dek schacht NAP +9,70 m
 134 Hoogte bovenzijde duiker NAP +2,20 m
 135 Hoogte inwendige onderzijde duiker NAP +1,10 m
 136 Hoogte onderzijde duiker NAP + 0,80 m

137 2.5 Geotechnische uitgangspunten

138 Ten behoeve van de constructieve toetsen, wordt uitgegaan van de onderstaande materiaaleigenschap-
 139 pen ter plaatse van de inlaatduiker (zie 'Technische Uitgangspunten Notitie').

140
 141 *Tabel 2: Karakteristieke waarden gedraineerde en ongedraineerde grondparameters t.b.v. macrostabiliteit*

Grondsoort	γ_n [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	ϕ [-]	c' [kPa]	POP [kN/m ²]
Zand	18	20	31,3	0	n.v.t.
Zand ophoogmateriaal ¹	18	20	31,3	0	n.v.t.

142 ¹Ophoogmateriaal wordt toegekend aan het kernmateriaal van bestaande binnenbermen die veelal uit zand bestand.
 143

144 2.6 Materialen

145 Bouwtekeningen van de duiker uit 1935 tonen een betondekking van 30 mm.

146
 147 De gegevens omtrent betonsterkteklasse en staalkwaliteit ontbreken. Conform uitgangspunten uit 'Toets-
 148 rapport Irenesluis inlaatduiker West 2de toetsronde', wordt conservatief van de onderstaande gegevens
 149 uitgegaan:

- 150 • Betonsterkteklasse: B15
- 151 • Betonstaal: FeB220

152

153 2.7 Belastingen

154 De krachtswerking in de duiker wordt grotendeels beïnvloed door de grondbelasting bovenop de duiker
 155 en het eigengewicht.

156

157 Conform paragraaf 7.10 uit de Technische Uitgangspunten Notitie wordt gerekend met een verkeersbe-
 158 lasting van 13,3 kN/m² over een wegbreedte van 2,5 m.

159

160 De volgende belastingen zijn niet relevant voor deze controle:

- 161 • Golfbelasting. De duiker ligt volledig onder water bij de getoetste waterstand. Tevens ligt de dui-
 162 ker haaks op het kanaal, waardoor golven een geringe hoogte kunnen krijgen en een verwaar-
 163 loosbare invloed hebben.
- 164 • Belastingen vanuit afsluitmiddelen. De krachtwerving die ontstaat door belastingen vanuit afsluit-
 165 middelen is verwaarloosbaar t.o.v. de andere werkende krachten.
- 166 • Aanvaarbelasting. Er is remmingwerk aanwezig in lengterichting van de lekdijk

167 2.8 Te beschouwen onderdelen

168 De volgende onderdelen worden als kritiek beschouwd voor de beoordeling op STKWp:

- 169 • Oorspronkelijke duiker
 - 170 ○ Betonwerk
 - 171 ■ Controle wapening in langsrichting dak en vloer
 - 172 ■ Controle wapening in dwarsrichting
 - 173 • Wanden, dak en vloer

- 174
- 175
- 176
- 177
- 178
- 179
- 180
- 181
- 182
- 183
- 184
- 185
- Controle wanden schuivenhuis → niet maatgevend doordat de duiker significant zwaarder belast wordt in verticale richting (mede door verhoging van de belasting door de berekening van Marston).
 - Controle betonpalen → niet maatgevend, deze worden (nagenoeg) enkel op druk belast.
 - Schuif → rekenkundige beoordeling van de schuif
 - Uitbreiding duiker → dit onderdeel zal ongewijzigd blijven qua randvoorwaarden waardoor nadere beschouwing niet benodigd is.

186 **3 Beoordeling overslag/overloop van het kunstwerk** 187 **(HTKW)**

188 De kerende hoogte ter plaatse van het kunstwerk wordt verzorgd door het dijklichaam waar de inlaatsluis
189 doorheen voert. Bij beoordeling conform het WBI2017 wordt gestart met de eenvoudige beoordeling. De
190 eerste stap 'E.1' bestaat uit het vaststellen of het mechanisme relevant is voor het kunstwerk. In dit geval
191 is dat niet zo, omdat de kerende hoogte wordt verzorgd door het dijklichaam. Het faalmechanisme hoogte
192 is dan ook niet van toepassing.
193
194

195 4 Beoordeling betrouwbaarheid sluiting van het 196 kunstwerk (BSKW)

197 Voor betrouwbaarheid sluiting geldt dat er een inlaatkoker is waardoor water kan binnenstromen indien
198 deze niet gesloten is. Bij de beoordeling conform het WBI2017 wordt gestart met de eenvoudige beoor-
199 deling.

200

201 Stap E.1: Het betreft een systeem van demontabele keringen? Dit is niet het geval. Verder met stap E.2.
202 Stap E.2: Van het kunstwerk is een up-to-date risicoanalyse aanwezig? Dit is niet het geval. Verder met
203 stap E.3.

204 Stap E.3: Beslisregels tonen aan dat de faalkansbijdrage verwaarloosbaar klein is. In eerste instantie vol-
205 doet het kunstwerk aan geen van de eenvoudige beslisregels. Wanneer echter gekeken wordt naar de
206 inzet van de duiker, dan blijkt deze onder normale omstandigheden slechts over een zeer beperkte
207 hoogte open te staan. In het bedieningsprotocol is voor standaardsituaties een opening van 2 tanden van
208 de heugelstang aangegeven. Voor de situatie bij vorstbestrijding is dit maximaal 6 tanden. Ingeschat
209 wordt op basis van de heugelstand dat er in dat laatste geval sprake is van een opening van 20 cm onder
210 de schuiven. De breedte van de inlaatkoker is ter plaatse van de schuiven gelijk aan 0,80 m. De totale
211 doorstroomoppervlakte wordt daarmee $0,8 \times 0,20 \text{ m} = 0,16 \text{ m}^2$. Wanneer dit in oogschouw wordt genomen
212 valt de duiker wel onder een van de eenvoudige beslisregels: "Gemaal en/of in- en uitwateringssluis: Het
213 kunstwerk beschikt over één watervoerende leiding door de waterkering met minimaal één hoogwater
214 kerend keermiddel en deze leiding heeft een diameter kleiner of gelijk aan 0,5 m. Een diameter van 0,50
215 m komt overeen met een doorstroomopening van $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 0,5^2 = 0,20 \text{ m}^2$. Dit is groter dan de
216 doorstroomopening van de inlaatduiker. Daarnaast beschikt de inlaatduiker over twee keermiddelen en is
217 er sprake van één watervoerende leiding. Naast bovenstaande kenmerken van de leiding die ertoe leiden
218 dat het overstromingsrisico via een eenvoudige beslisregel als verwaarloosbaar wordt geacht zijn er nog
219 een aantal zaken aan te geven die duidelijk maken dat het overstromingsrisico als gevolg van niet sluiten
220 van de inlaatduiker verwaarloosbaar zijn.:

- 221 • De inlaatduiker komt uit in een ingegraven watergang. In geval van instromend water door niet
222 sluiten kan enige erosie in de taluds van de watergang ontstaan. Deze erosie zal echter niet lei-
223 den tot bezwijken van de primaire waterkering, omdat geen diepe ontgrondingskuilen kunnen
224 ontstaan en de binnendijkse uitstroom ruim buiten de kernzone ligt.
- 225 • De afmetingen van de duiker laten het toe om te allen tijde nog een alternatieve sluiting te reali-
226 sieren door bijvoorbeeld zandzakken in het schuivenhuis te gooien, dan wel het slootje aan de
227 binnenzijde dicht te gooien.

228 Omdat aan een van de eenvoudige beslisregels wordt voldaan, hoeft geen nadere analyse te worden uit-
229 gevoerd.

230

231 Op basis van bovenstaande toepassing van beslisregels wordt geconcludeerd dat wordt voldaan aan de
232 eisen ten aanzien van betrouwbaarheid sluiting.

233

234 5 Beoordeling opbarsten, heave en piping (STPH)

235 Voor piping geldt dat er gekeken moet worden naar de bijdrage van dit faalmechanisme aan het overstro-
236 mingsrisico. Bij de beoordeling conform het WBI2017 wordt gestart met de eenvoudige beoordeling.

237

238 Stap E.1: Het mechanisme is relevant voor de beoordeling van het kunstwerk? Voor het kunstwerk geldt
239 dat niet wordt voldaan aan de eenvoudige toetsregels van deze stap.

240 Stap E.2: Beslisregels tonen aan dat de kans van optreden verwaarloosbaar klein is. Een van de beslis-
241 regels luidt dat de kans van optreden verwaarloosbaar klein is als:

- 242 a. De constructie en eventuele kwelschermen rondom worden omsloten door een slecht doorlatend
243 klei-/veenpakket van minimaal 1 m dikte (na zetting aan het einde van de toetsperiode), waarbij
244 er geen in- of uittredepunten voor piping via de aansluiting tussen grond en constructie kunnen
245 ontstaan.
- 246 b. Indien de constructie op palen is gefundeerd en deze voorzien zijn van een functionerend kwel-
247 scherm (dit zal nagenoeg altijd het geval zijn).
- 248 c. De onder het kunstwerk aanwezige zandlagen moeten zijn beoordeeld als 'voldoet' volgens
249 toetsspoor piping in het dijken spoor.

250

251 Het kunstwerk is gedeeltelijk gefundeerd op palen. Er zijn meerdere damwandschermen aanwezig, welke
252 klei/veenlagen doorsnijden. Aan de buitenzijde is sprake van een substantiële kleibekleding en ook in de
253 ondergrond is klei/leem aanwezig die minimaal een meter onder de onderkant van de leiding steekt. Op
254 basis hiervan is er geen intredepunt aan de buitenzijde aanwezig. Ook aan de binnenzijde is de duiker
255 geheel omringd door klei. Een uittredepunt is daarmee ook niet direct voorhanden.

256

257 Op basis van bovenstaande analyse wordt gesteld dat wordt voldaan aan de eenvoudige beslisregels en
258 dat ter plaatse van het waterkerende kunstwerk geen sprake is van een risico van betekenis op het ont-
259 staan van piping.

260

286 **Berekening van Marston**

287 Volgens de berekening van Marston, worden de belastingen op de duiker berekend. Deze worden
 288 vervolgens gebruikt om de constructieve toetsingen uit te voeren.

289
 290 De neutrale gronddruk (Q_n') wordt als volgt berekend:

$$Q_n' = \sum (\gamma \cdot H) \cdot D_0$$

291 Navolgend zijn de bijbehorende symbolen toegelicht:

- Q_n' neutrale gronddruk op de leiding [kN/m]
- γ volumegewicht dekking op de leiding [kN/m³]
- H gronddekking boven de leiding (top) [m]
- D_0 uitwendige diameter leiding [m]

292
 293 Op basis van deze neutrale gronddruk wordt de passieve gronddruk op de leiding als volgt berekend.

$$Q_p' = Q_n' \cdot \left(1 + f_m \frac{H}{D_0} \right)$$

294
 295 Navolgend zijn de symbolen toegelicht:

- Q_p' passieve gronddruk op de leiding [kN/m]
- Q_n' neutrale gronddruk op de leiding [kN/m]
- f_m factor van Marston [-]
- H gronddekking boven de leiding (top) [m]
- D_0 uitwendige diameter leiding [m]

297 De in rekening te brengen belasting volgens de berekening van Marston is onderstaand weergegeven.

Grootheid	Waarde	Toelichting
f_m	0,1	Gebaseerd op aanleg in open ontgraving, met aanvulling van zand en niet-cohesieve ondergrond
H	10 - 2,2 = 7,8m	Kruinhoogte – bovenzijde duiker
D_0	1,4m	Hoogte duiker

298 Dit resulteert in $Q_p' = (1+0,1 \cdot 7,8/1,4) \cdot Q_n' = 1,56 Q_n'$

299
 300 **Bepaling belastingen**

301 Belastingen op de bovenzijde van de duiker:

302 • Gronddruk: $Q_n' = h_{nat} \cdot \gamma_{gr} + p_{verkeer} = 7,8 \cdot 20 + 13,3 = 169 \text{ kN/m}^2$

Grootheid	Waarde	Toelichting
h_{nat}	7,8m	Dikte grondpakket. Het grondlichaam wordt conservatief als volledig verzadigd in rekening gebracht. De te hanteren waterstand van 9,87m +NAP rechtvaardigt dit.
γ_{gr}	20 kN/m ³	Soortelijk gewicht nat zand
$p_{verkeer}$	13,3 kN/m ²	Belasting conform TAW Leidraad Kunstwerken 2003

303
 304 • Verhoging gronddruk door grond:

305 $Q_p' = 1,56 Q_n'$

306 $Q_p' = 1,56 \cdot 169 = 263 \text{ kN/m}^2$

307 $G_{gr,dek} = \text{breedte dak duiker} \cdot p_{rep,dek} = 1,2 \cdot 263 = 316 \text{ kN/m}$

308
 309 • Gewicht dak: $G = \text{breedte dak} \cdot \text{dikte dak} \cdot \text{soortelijk gewicht beton} = 1,2 \cdot 0,2 \cdot 25 = 6 \text{ kN/m}$
 310
 311 • Verticale gronddruk op niveau bovenzijde dek: $p_{\text{rep}} = h_{\text{nat}} \cdot \gamma_{\text{gr}} + p_{\text{verkeer}} = 169 \text{ kN/m}^2$
 312 Bijbehorende horizontale belasting: $p_{\text{rep,wand dek}} = k_0 \cdot p_{\text{rep,dek}} = 0,5 \cdot 169 = 84 \text{ kN/m}^2$
 313 • O.b.v. neutrale gronddrukcoëfficiënt van 0,5.
 314 Bijbehorende grondwrijving: $T_{\text{rep,wand dek}} = p_{\text{rep,wand dek}} \cdot \tan(30) = 84 \cdot \tan(30) = 49 \text{ kN/m}^2$
 315 • O.b.v. inwendige wrijvingshoek van zand van 30 graden.
 316
 317 Belastingen op de bovenzijde van de vloer van de duiker:
 318 - Verticale gronddruk op niveau bovenzijde vloer: $p_{\text{rep,vloer}} = h_{\text{nat}} \cdot \gamma_{\text{gr}} + p_{\text{verkeer}} = (7,8+0,9+0,2) \cdot 20 + 13,3 =$
 319 191 kN/m^2
 320 • $h_{\text{nat}} = \text{gronddekking op duiker} + \text{dak duiker} + \text{inwendige hoogte duiker}$
 321 • Verhoging gronddruk door grond:
 322 $Q_p' = 1,56 Q_n'$
 323 $Q_p' = 1,56 \cdot 191 = 297 \text{ kN/m}^2$ $G_{\text{gr,vloer}} = 0,2 p_{\text{rep,vloer}} = 0,2 \cdot 297 = 59 \text{ kN/m}$
 324
 325 Belastingen op de onderzijde van de vloer van de duiker:
 326 • Verticale gronddruk op niveau onderzijde vloer:
 327 $p_{\text{rep,vloer}} = h_{\text{nat}} \cdot \gamma_{\text{gr}} + p_{\text{verkeer}} = (7,8+1,4) \cdot 20 + 13,3 = 197 \text{ kN/m}^2$
 328 • $h_{\text{nat}} = \text{gronddekking op duiker} + \text{hoogte duiker}$
 329 Bijbehorende horizontale belasting: $p_{\text{rep,wand vloer}} = k_0 \cdot p_{\text{rep,vloer}} = 0,5 \cdot 197 = 99 \text{ kN/m}^2$
 330 Bijbehorende grondwrijving: $T_{\text{rep,wand vloer}} = p_{\text{rep,wand vloer}} \cdot \tan(30) = 99 \cdot \tan(30) = 57 \text{ kN/m}^2$
 331 Totaal aan grondwrijving $2 \times \frac{1}{2} \cdot (49 + 57) \cdot 1,4 = 148 \text{ kN/m}$
 332 • 2 zijdig waarbij het gemiddelde van 49 en 57 genomen wordt.
 333 • Gewicht wanden koker: $G = 2 \cdot 0,2 \cdot 0,90 \cdot 25 = 9 \text{ kN/m}$
 334 • 2 wanden, dik 0,2m, hoog 0,9m met soortelijk gewicht 25 kN/m^3 .
 335 • Gewicht vloer $G = 0,3 \cdot 1,4 \cdot 25 = 10 \text{ kN/m}$
 336 • Dik 0,3m, breed 1,4m.
 337
 338 Totale verticale belasting:
 339 $G_{\text{rep}} = 316 + 60 + 148 + 6 + 9 + 11 = 550 \text{ kN/m}$

340 6.1.2 Belasting doorsnede B

341 De belasting boven de duiker tpv doorsnede B wordt berekend volgens de formule van Marston (zie Bijlage 2).

$$Q_p' = Q_n' \left(1 + f_m \frac{H}{D_0} \right)$$

343 met $f_m = 0,1$, $H = 5,8 \text{ m}$ en $D_0 = 1,4 \text{ m}$ wordt dit $Q_p' = 1,41 Q_n'$

344
 345 Waarbij conservatief uitgegaan wordt van een maaiveldniveau van $8 \text{ m} + \text{NAP} \rightarrow 8 - 2,2 = 5,8 \text{ m}$
 346 gronddekking

347 **Bepaling belastingen**

348 Belastingen op de bovenzijde van de duiker:

349 • Gronddruk: $p_{\text{rep}} = h_{\text{wat}} \cdot \gamma_w + h_{\text{nat}} \cdot \gamma_{\text{gr}} = 1,87 \cdot 10 + 5,8 \cdot 20 = 148 \text{ kN/m}^2$

351 • Verhoging gronddruk door grond:

352 $Q_p' = 1,41 Q_n'$

353 $Q_p' = 1,41 \cdot 148 = 209 \text{ kN/m}^2$

354 $G_{gr,dek} = 1,2 \cdot p_{rep,dek} = 1,2 \cdot 209 = 251 \text{ kN/m}$

355 • Gewicht dek: $G = 1,2 \cdot 0,2 \cdot 25 = 6 \text{ kN/m}$

356

357 • Verticale gronddruk op niveau bovenzijde dek: $p_{rep} = h_{nat} \cdot \gamma_{gr} = 148 \text{ kN/m}^2$

358 Bijbehorende horizontale belasting: $p_{rep,wand\ dek} = k_0 \cdot p_{rep,dek} = 0,5 \cdot 148 = 74 \text{ kN/m}^2$

359 Bijbehorende grondwrijving: $T_{rep,wand\ dek} = p_{rep,wand\ dek} \cdot \tan(30) = 74 \cdot \tan(30) = 43 \text{ kN/m}^2$

360

361 Belastingen op de bovenzijde van de vloer van de duiker:

362 - Verticale gronddruk op niveau bovenzijde vloer: $p_{rep,vloer} = h_{nat} \cdot \gamma_{gr} = (5,8+1,4-0,3) \cdot 20 = 138 \text{ kN/m}^2$

363 • Verhoging gronddruk door grond:

364 $Q_p' = 1,41 \cdot Q_n'$

365 $Q_p' = 1,41 \cdot 138 = 195 \text{ kN/m}^2$ $G_{gr,vloer} = 0,2 \cdot p_{rep,vloer} = 0,2 \cdot 195 = 39 \text{ kN/m}$

366

367 Belastingen op de onder van de vloer van de duiker:

368 • Verticale gronddruk op niveau onderzijde vloer: $p_{rep,vloer} = h_{wat} \cdot \gamma_w + h_{nat} \cdot \gamma_{gr} = 1,87 \cdot 10 + (5,8+1,4) \cdot 20$

369 $= 176 \text{ kN/m}^2$

370 Bijbehorende horizontale belasting: $p_{rep,wand\ vloer} = k_0 \cdot p_{rep,vloer} = 0,5 \cdot 176 = 88 \text{ kN/m}^2$

371 Bijbehorende grondwrijving: $T_{rep,wand\ vloer} = p_{rep,wand\ vloer} \cdot \tan(30) = 88 \cdot \tan(30) = 51 \text{ kN/m}^2$

372 Totaal aan grondwrijving $2 \times \frac{1}{2} \cdot (43 + 51) \cdot 1,4 = 131 \text{ kN/m}$

373 • Gewicht wanden koker: $G = 2 \cdot 0,2 \cdot 0,90 \cdot 25 = 9 \text{ kN/m}$

374 • Gewicht vloer $G = 0,3 \cdot 1,4 \cdot 25 = 10 \text{ kN/m}$

375

376 Totale verticale belasting:

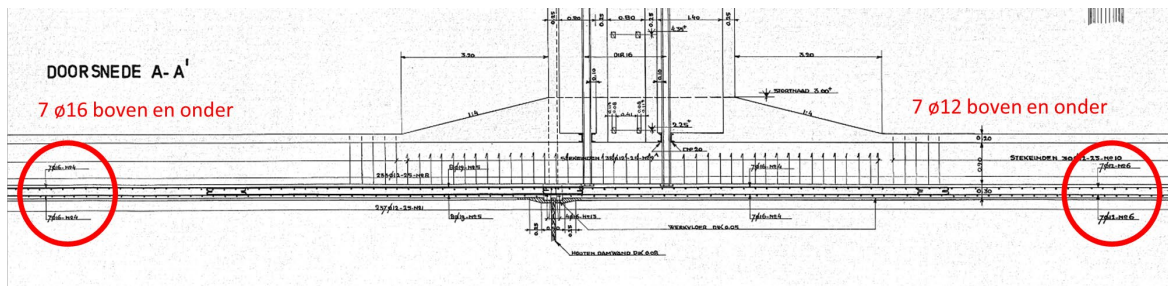
377 $G_{rep} = 251 + 44 + 131 + 6 + 9 + 11 = 452 \text{ kN/m}$

378

379

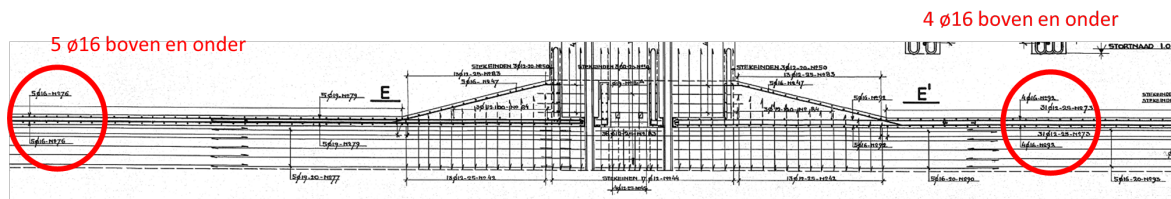
380 **6.2 Aanwezige wapening in doorsnede A en B**

381



382

383 *Figuur 7 Aanwezige langswapening in de vloer, twee lagen*



384

385 *Figuur 8 Aanwezige langswapening in het dak, twee lagen*

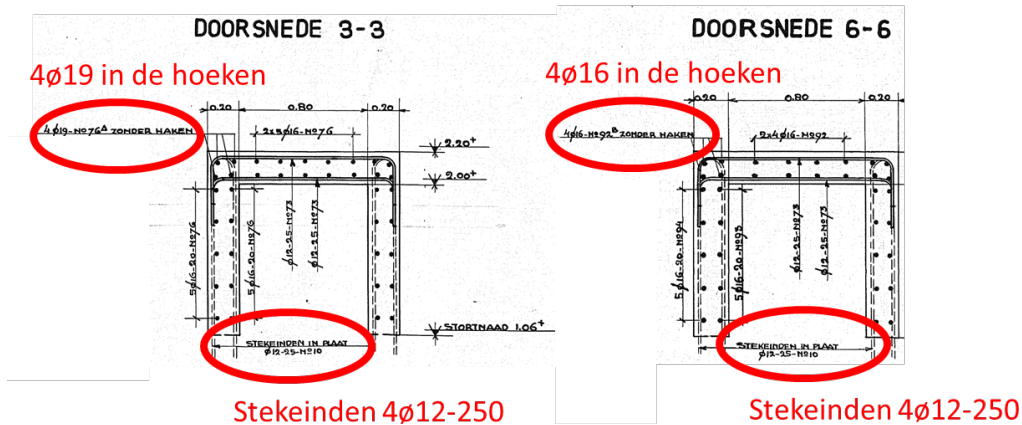
386

387 Per doorsnede (figuur 7 en 8) wordt gekeken naar de minimaal aanwezige wapening in ofwel het dak of
388 wel de vloer. In doorsnede A is de wapening in het dak maatgevend (2 lagen 5 rond 16) en in doorsnede
389 B is de wapening in de vloer maatgevend (2 lagen 4 rond 16).

390

391 In figuur 9, wordt de overall aanwezige stekwapening aangegeven.

392



393

394 *Figuur 9 Aanwezige stekwapening in oorspronkelijke duiker en wapening in dak doorsnede A (links) en doorsnede B*
395 *(rechts)*

396 **6.3 Berekening buigende momenten in langsrichting en controle langswapening**

397 **6.3.1 Berekening doorsnede A**

398 Totale belasting: Grep = 553 kN/m

- 399 • (in paragraaf 6.1.1 is 550kN/m berekend, verschil wordt verwaarloosd)

400 Hart-op-hartmaat palen = 1,6 m

401

402 De palen onder de vloer worden als scharnierende puntondersteuning verondersteld.

403 Maximaal buigend moment vloer en dak, conservatief: $1/8 \cdot q \cdot l^2 = 1/8 \cdot 553 \cdot 1,6^2 = 177 \text{ kNm}$

404

405 Inwendige hefboomsarm, geschat met de zwaartepunten van de druk en trekzone in het hart van het dak
406 en de vloer: $0,5 * 0,2 + 0,9 + 0,5 * 0,3 = 1,15$ m
407 Benodigde trekkracht wapening = $177 / 1,15 = 154$ kN
408
409 Aanwezige wapening dak = 2 lagen 5ø16 + 8ø19 met $A_s = 4279$ mm²
410 Aanwezige wapening vloer = 2 lagen 7ø16 met $A_s = 2815$ mm² (maatgevend), met $F_{\text{trek}} = 2815 * 220 / 10^3$
411 = 619 kN
412
413 Check op langswapening: $154 \text{ kN} < 619 \text{ kN}$ (UC van 0,25) **langswapening doorsnede A voldoet**

414 6.3.2 Berekening doorsnede B

415 Totale belasting: Grep = 451 kN/m
416 • (in paragraaf 6.1.2 is 452 kN/m berekend, verschil wordt verwaarloosd)
417 Hart-op-hartmaat palen = 2,4 m
418 Maximaal buigend moment vloer en dak, conservatief: $1/8 * q * l^2 = 1/8 * 451 * 2,4^2 = 325$ kNm
419
420 Inwendige hefboomsarm, geschat met de zwaartepunten van de druk en trekzone in het hart van het dak
421 en de vloer: $0,5 * 0,2 + 0,9 + 0,5 * 0,3 = 1,15$ m
422 Benodigde trekkracht wapening = $325 / 1,15 = 282$ kN
423
424 Aanwezige wapening dak = 2 lagen 4ø16 + 8ø16 met $A_s = 3217$ mm²
425 Aanwezige wapening vloer = 2 lagen 7ø12 met $A_s = 1583$ mm² (maatgevend), met $F_{\text{trek}} = 1583 * 220 /$
426 $10^3 = 348$ kN
427
428 Check op langswapening: $282 \text{ kN} < 348 \text{ kN}$ (UC van 0,82) **langswapening doorsnede B voldoet**

429 6.4 Controle op dwarskracht in langsrichting

430 Voor de beschouwing als doorgaande ligger, gerekend met een maximaal optredende dwarskracht van
431 $0,5 * q * \text{hoh-palen}$. Er wordt conservatief geen reductie van de dwarskracht door directe krachtsafdracht
432 nabij de paalondersteuning gerekend.

433
434 Voor doorsnede A komt de dwarskracht neer op: $0,5 * 1,6 * 553 = 442$ kN
435 Met bijbehorend buigend moment van 177 kNm

436
437 Voor doorsnede B komt de dwarskracht neer op $0,5 * 2,4 * 451 = 541$ kN
438 Met bijbehorend buigend moment van 325 kNm

439
440 De controle op dwarskracht is uitgevoerd in Bijlage 3. De controles van doorsnede A geven een $UC < 1$,
441 daar waar de doorsnedetoetsing van doorsnede B een UC van max 0,70 geeft, waarmee de duiker op
442 dwarskracht voldoet.

443

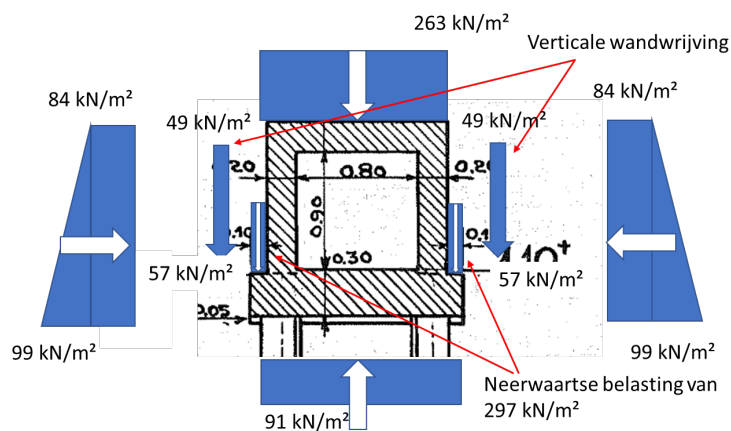
444 6.5 Momenten en dwarskrachten in dwarsdoorsnede van de duiker

445 De belastingen die vanaf de bovenzijde en zijkanten op de duiker werken, zijn in de voorgaande bereke-
446 ningen uitgewerkt. Deze belastingen bestaan uit gronddrukken, verhoging van gronddrukken door vervor-
447 mingen van de grond/de constructie, waterdruk en belastingen vanuit verkeer. Er is gerekend met een
448 leegstaande duiker, dus zonder inwendige druk.

449
450 De maximale waterdruk t.p.v. de onderzijde van de duiker is: $(9,87 \text{ m NAP} - 0,8 \text{ m NAP}) * 10 \text{ kN/m}^3 = 90,7$
451 kN/m^2 .

452
453
454

Hiermee worden de maximale belastingen op de constructie, zoals in navolgende figuur (10) weergegeven.



455
456

Figuur 10 In rekening gebrachte belastingen op dwarsdoorsnede

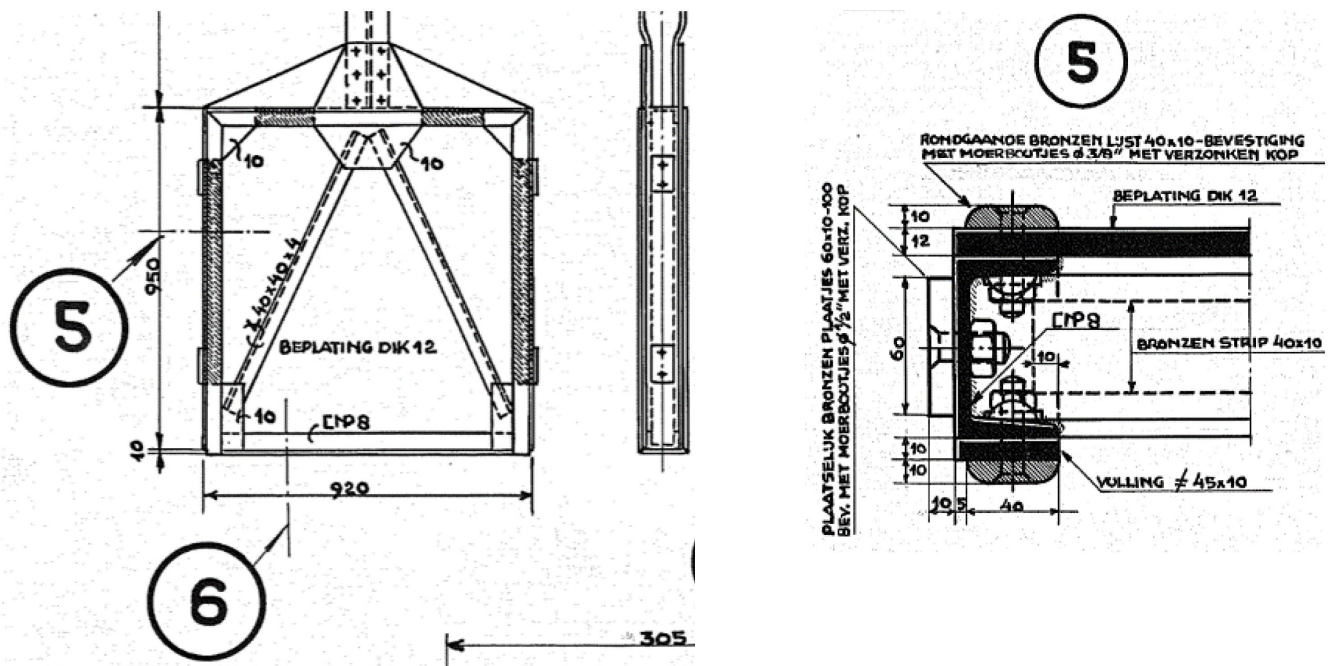
457 De krachtswerking is bepaald middels SCIA engineer en weergegeven in Bijlage 4. De resultaten van het
458 raamwerkprogramma mogen uitgelezen worden in de snede aan de rand van de palen (m.a.w.: de dag
459 van de overspanning). Conservatief is gerekend met de resultaten in de knopen.
460
461 De toetsingen van de bestaande wapening zijn uitgevoerd in Bijlage 5 en voldoen allen.
462

463
464

7 Beoordeling Sterke en stabiliteit van het kunstwerk: puntconstructie (STKWp) - Afsluitmiddelen

7.1 Uitwerking belastingen

465 De afsluitmiddelen betreffen schuiven opgebouwd uit een stalen plaat (dikte is 12 mm), welke langs de
466 randen is bevestigd op een UNP80-profiel. Daarbij zijn de schuiven driezijdig opgelegd in de sponningen.
467 Alleen ter plaatse van de drempel is geen oplegging voorzien. Daar worden de krachten uit de kerende
468 plaat via een UNP80-profiel naar de verticale sponningen afgeleid. In onderstaande figuur (11) zijn de
469 schuiven weergegeven zoals die op de ontwerptekeningen staan.
470
471



472
473 *Figuur 11 Schuif inlaatduiker*

474 De sterkte van de schuif wordt berekend en getoetst aan de materiaalspanningen met een buitenwater-
475 stand gelijk aan de Waterstand bij de norm in zichtjaar 2073 (8,77 m + NAP). Bij een lege duiker met
476 +1,10 m + NAP geldt een maatgevende vervalbelasting op de schuif in de hoogwatersituatie van 7,67 m.
477

478 Er wordt alleen naar de kerende plaat gekeken waarbij krachtsafdracht alleen in breedterichting plaats-
479 vindt. Dit is een conservatieve benadering. De schuif is 0,92 m breed, de kerende plaat ligt over 4 cm op
480 de UNP80-profielen. Dat betekent een overspanning van de kerende plaat van $0,92-2 \times 0,04 = 0,84$ m.
481 Daarnaast kan worden gesteld dat de plaat in combinatie met de UNP80-profielen ervoor zorgt dat de
482 plaat zich enigszins ingeklemd opgelegd gedraagt. De staalkwaliteit is St37 met een vloeispanning van
483 235 N/mm^2 .

484
485 $W_{\text{plaat}} = 1/6 \cdot b \cdot h^2 = 1/6 \cdot 1000 \cdot 12^2 = 24.000 \text{ mm}^3$
486 $M_{\text{toelaatbaar}} = \sigma_{\text{toelaatbaar}} \cdot W_{\text{plaat}} = 235 \text{ N/mm}^2 \cdot 24.000 \text{ mm}^3 = 5,64 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 5,64 \text{ kNm}$
487 $q_{\text{toelaatbaar}} = 10 \times 5,64 / 0,84^2 = 79,9 \text{ kN/m}^2$

488
489 De gemiddelde waarde van de sterkte wordt bepaald door de variatiecoëfficiënt van staal van 0,1. Op ba-
490 sis hiervan is de gemiddelde waarde van de sterkte van $94,65 \text{ kN/m}^2$, overeenkomend met een toelaat-
491 baar verval van ruim 9 m, hetgeen hoger is dan het optredende verval van 7,67 m.

492

8 Conclusies

493 Op basis van de in het recente verleden uitgevoerde controles in combinatie met de in dit rapport uitge-
494 voerde controles, wordt gesteld dat de huidige constructie voldoet aan de faalkanseisen die volgen uit de
495 Waterwet en het Bouwbesluit (Eurocode) voor zichtjaar 2073. Er behoeven geen versterkingsmaatreg-
496 len uitgevoerd te worden. In de navolgende tabel worden de resultaten van de betreffende beoordelings-
497 sporen samengevat:

498

Beoordelingsspoor	Resultaat
Overslag/overloop van het kunstwerk	N.v.t.
betrouwbaarheid sluiting van het kunstwerk	Voldoet
Beoordeling opbarsten, heave en piping	Voldoet
Sterke en stabiliteit van het kunstwerk: puntconstructie - constructie	Voldoet
Sterke en stabiliteit van het kunstwerk: puntconstructie - afsluitmiddelen	Voldoet

499

500 Aandachtspunt is de benodigde periodieke inspecties van de duiker in de toekomst. Dit naar aanleiding
501 van de bevindingen uit de inspectie ten aanzien van het zweten van voegen en de rubber afdichting op
502 de wanden. Het is aan te bevelen dat om de tien jaar, een camera-inspectie uitgevoerd wordt.


504 **Bijlage 1 Tekeningen duiker: vorm en wapening**

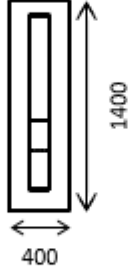
505

506 **Bijlage 2 Berekening van Marston**

Bijlage 3 Dwarskrachtberekeningen langsrichting

Controle van een betondoorsnede belast op normaalkracht en buiging volgens Eurocode 2

Project:	Duiker te Irenesluizen	Datum:	29-4-2022	
Projectnummer:	BI1706-101-102	Naam:	J. Veldhuizen	
Omschrijving:	Dwarskracht - snede A onderzijde	Versie:	v2.7	

Geometrie		Materiaaleigenschappen	
Vorm:	<input type="radio"/> Plaat <input checked="" type="radio"/> Balk (rechthoekig) <input type="radio"/> Balk (T-vorm)	Betonsterkteklasse:	C12/15
Breedte:	b = 400 mm	Spannings-rekdiagram:	Bi-lineair
Hoogte:	h = 1400 mm	Druksterkte beton:	$f_{ck} = 12 \text{ N/mm}^2$
		Wapening:	FeB220 HWL
		Spannings-rekdiagram:	Horizontaal
		Vloiegrens:	$f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$
		Ontwerplevensduur:	50 jaar
		Ontwerpsituatie:	Blijvend
		Belastingduur:	Lange duur
		Nationale bijlage:	Nederlands
		Aanvullende richtlijn:	RBK

Beugelwapening			
Beugeldiameter:	$\varnothing_V = 12 \text{ mm}$		
H.o.h afstand:	s = 250 mm	n = 4	Dekking op zijkant beugel: $c_{appl} = 130 \text{ mm}$

Wapening			
Dekking:	$c_{2,appl} = 80 \text{ mm}$		
Beugeldiameter:	12 mm		
HW _{1,druk}	10 \varnothing 16 mm	8 \varnothing 19 mm	d = 100,8 mm, A _s = 4279 mm ²
HW _{3,trek}	4 \varnothing 16 mm	\varnothing mm	d = 800 mm, A _s = 804,2 mm ²
	184 mm (tussenafstand)		
HW _{2,trek}	4 \varnothing 16 mm	\varnothing mm	d = 1000 mm, A _s = 804,2 mm ²
	234 mm (tussenafstand)		
HW _{1,trek}	14 \varnothing 16 mm	\varnothing mm	d = 1250 mm, A _s = 2815 mm ²
Beugeldiameter:	12 mm		d _{gem} = 1123 mm
Dekking:	$c_{1,appl} = 130 \text{ mm}$		A _{s1,prov} = 4423 mm ²



UGT Normaalkracht en Moment			
Percentage herverdeling:	0 % ≤ 30 %	$x_{cl} = 123,5 \text{ mm}$	≤ $x_{umax} = 812 \text{ mm}$
Normaalkracht UGT:	$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$	Hefboomsarm:	z = 1047 mm
Moment UGT:	$M_{Ed} = 177 \text{ kNm}$ (trek onder)	$M_{Ed} = 880,4 \text{ kNm}$	UC = 0,20

UGT Normaalkracht en Dwarskracht			
Beugelwapening:	$\varnothing 12 - 250 \text{ mm}$ 4-snedig	Hoek met as ligger:	$\alpha = 90^\circ$
Normaalkracht:	$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$	Hoek drukdiagonaal:	$\theta = 25,8^\circ$
Dwarskracht:	$V_{Ed} = 442 \text{ kN}$	Oppervlak trekwapening:	$A_{st} = 4423 \text{ mm}^2$
Moment:	$M_{Ed} = 262 \text{ kNm}$ (trek onder)	Overige constructies	

Nuttige hoogte (gewogen):	d = 1123 mm	o.b.v. MRd	$b_w = 400 \text{ mm}$	$\rho_l = 0,98 \%$
Hefboomsarm:	z = 1040 mm	o.b.v. MRd	$\sigma_{cp} = 0,0 \text{ N/mm}^2$	$\alpha_{cw} = 1,00$


Zonder dwarskrachtwapen	$V_{Rd,c} = 175 \text{ kN}$	s = 250 mm	≤ $s_{l,max} = 842 \text{ mm}$
Met dwarskrachtwapening	$V_{Rd,s} = 745 \text{ kN}$	Verschuiving momentenlijn $a_l = 638 \text{ mm}$	
Bezwijken drukdiagonaal:	$V_{Rd,max} = 745 \text{ kN}$	$V_{Rd} = 745 \text{ kN}$	UC = 0,59

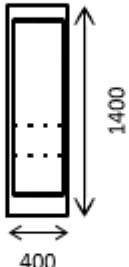
Controle van een betondoorsnede belast op normaalkracht en buiging volgens Eurocode 2

Project:	Duiker te Irenesluizen	Datum:	29-4-2022	
Projectnummer:	BI1706-101-102	Naam:	J. Veldhuizen	
Omschrijving:	Dwarskracht - snede A bovenzijde	Versie:	v2.7	
Geometrie		Materiaaleigenschappen		
Vorm:	<input type="radio"/> Plaat <input checked="" type="radio"/> Balk (rechthoekig) <input type="radio"/> Balk (T-vorm)	Betonsterkteklasse:	C12/15	
Breedte:	b = 400 mm	Spannings-rekdiagram:	Bi-lineair	
Hoogte:	h = 1400 mm	Druksterkte beton:	$f_{ck} = 12 \text{ N/mm}^2$	
		Wapening:	FeB220 HWL	
		Spannings-rekdiagram:	Horizontaal	
		Vloegrens:	$f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$	
		Ontwerplevensduur:	50 jaar	
		Ontwerpsituatie:	Blijvend	
		Belastingsduur:	Lange duur	
		Nationale bijlage:	Nederlands	
		Aanvullende richtlijn:	RBK	
Beugelwapening				
Beugeldiameter:	$\varnothing_v = 12 \text{ mm}$			
H.o.h afstand:	s = 250 mm	n = 4	Dekking op zijkant beugel:	$c_{appl} = 80 \text{ mm}$
Wapening				
Dekking:	$c_{2,appl} = 130 \text{ mm}$			
Beugeldiameter:	12 mm		d	A_s
HW _{1,druk}	14 \varnothing 16 mm	\varnothing mm	150 mm	2815 mm ²
HW _{3,trek}	4 \varnothing 16 mm	\varnothing mm	900 mm	804,2 mm ²
	184 mm (tussenafstand)			
HW _{2,trek}	4 \varnothing 16 mm	\varnothing mm	1100 mm	804,2 mm ²
	184 mm (tussenafstand)			
HW _{1,trek}	10 \varnothing 16 mm	8 \varnothing 19 mm	1299 mm	4279 mm ²
Beugeldiameter:	12 mm		$d_{gem} =$	1217 mm
Dekking:	$c_{1,appl} = 80 \text{ mm}$		$A_{s1,prov} =$	5887 mm ²
UGT Normaalkracht en Moment				
Percentage herverdeling:	0 % ≤ 30 %	$x_u = 244,9 \text{ mm}$	≤ $x_{u,max} = 881 \text{ mm}$	
Normaalkracht UGT:	$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$	Hefboomsarm:	z = 1065 mm	
Moment UGT:	$M_{Ed} = 177 \text{ kNm}$ (trek onder)	$M_{Ed} = 1234,4 \text{ kNm}$	UC = 0,14	
UGT Normaalkracht en Dwarskracht				
Beugelwapening:	$\varnothing 12 - 250 \text{ mm}$ 4-snedig	Hoek met as ligger:	$\alpha = 90^\circ$	
Normaalkracht:	$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$	Hoek drukdiagonaal:	$\theta = 25,8^\circ$	
Dwarskracht:	$V_{Ed} = 442 \text{ kN}$	Oppervlak trekwapening:	$A_{st} = 5887 \text{ mm}^2$	
Moment:	$M_{Ed} = 262 \text{ kNm}$ (trek onder)	Overige constructies		
Nuttige hoogte (gewogen):	d = 1217 mm o.b.v. MRd	$b_w = 400 \text{ mm}$	$\rho_l = 1,21 \%$	
Hefboomsarm:	z = 1096 mm o.b.v. MRd	$\sigma_{cp} = 0,0 \text{ N/mm}^2$	$\alpha_{cw} = 1,00$	
Zonder dwarskrachtwapen	$V_{Rd,c} = 200 \text{ kN}$	s = 250 mm ≤ $s_{l,max} = 913 \text{ mm}$		
Met dwarskrachtwapening	$V_{Rd,s} = 785 \text{ kN}$	Verschuiving momentenlijn	$a_l = 638 \text{ mm}$	
Bezwijken drukdiagonaal:	$V_{Rd,max} = 785 \text{ kN}$	$V_{Rd} = 785 \text{ kN}$	UC = 0,56	

513

Controle van een betondoorsnede belast op normaalkracht en buiging volgens Eurocode 2

Project:	Duiker te Irenesluizen	Datum:	29-4-2022	
Projectnummer:	BI1706-101-102	Naam:	J. Veldhuizen	
Omschrijving:	Dwarskracht - snede B onderzijde	Versie:	v2.7	

Geometrie		Materiaaleigenschappen	
Vorm:	<input type="radio"/> Plaat <input checked="" type="radio"/> Balk (rechthoekig) <input type="radio"/> Balk (T-vorm)	Betonsterkteklasse:	C12/15
Breedte:	b = 400 mm	Spannings-rekdiagram:	Bi-lineair
Hoogte:	h = 1400 mm	Druksterkte beton:	$f_{ck} = 12 \text{ N/mm}^2$
		Wapening:	FeB220 HWL
		Spannings-rekdiagram:	Horizontaal
		Vloei grens:	$f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$
		Ontwerplevensduur:	50 jaar
		Ontwerpsituatie:	Blijvend
		Belastingsduur:	Lange duur
		Nationale bijlage:	Nederlands
		Aanvullende richtlijn:	RBK

Beugelwapening			
Beugeldiameter:	$\varnothing_V = 12 \text{ mm}$		
H.o.h afstand:	s = 250 mm	n = 4	Dekking op zijkant beugel: $c_{appl} = 30 \text{ mm}$

Wapening			
Dekking:	$c_{z,appl} = 80 \text{ mm}$		
Beugeldiameter:	12 mm		
HW _{1,druk}	8 \varnothing 16 mm	8 \varnothing 16 mm	d = 100 mm, $A_s = 3217 \text{ mm}^2$
HW _{3,trek}	4 \varnothing 16 mm	\varnothing mm	d = 800 mm, $804,2 \text{ mm}^2$
	184 mm (tussenafstand)		
HW _{2,trek}	4 \varnothing 16 mm	\varnothing mm	d = 1000 mm, $804,2 \text{ mm}^2$
	238 mm (tussenafstand)		
HW _{1,trek}	14 \varnothing 12 mm	\varnothing mm	d = 1252 mm, 1583 mm^2
Beugeldiameter:	12 mm		$d_{gem} = 1075 \text{ mm}$
Dekking:	$c_{1,appl} = 130 \text{ mm}$		$A_{s1,prov} = 3192 \text{ mm}^2$

UGT Normaalkracht en Moment			
Percentage herverdeling:	0 % \leq 30 %	$x_u = 117,1 \text{ mm}$	$\leq x_{u,max} = 777 \text{ mm}$
Normaalkracht UGT:	$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$	Hefboomsarm:	z = 1010 mm
Moment UGT:	$M_{Ed} = 325 \text{ kNm}$ (trek onder)	$M_{Rd} = 610,4 \text{ kNm}$	UC = 0,53


UGT Normaalkracht en Dwarskracht			
Beugelwapening:	\varnothing 12 - 250 mm 4-snedig	Hoek met as ligger:	$\alpha = 90^\circ$
Normaalkracht:	$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$	Hoek drukdiagonaal:	$\theta = 25,8^\circ$
Dwarskracht:	$V_{Ed} = 442 \text{ kN}$	Oppervlak trekwapening:	$A_{sl} = 3192 \text{ mm}^2$
Moment:	$M_{Ed} = 325 \text{ kNm}$ (trek onder)	Overige constructies	


Nuttige hoogte (gewogen):	d = 1075 mm	o.b.v. MRd	$b_w = 400 \text{ mm}$	$\rho_l = 0,74 \%$
Hefboomsarm:	z = 1000 mm	o.b.v. MRd	$\sigma_{cp} = 0,0 \text{ N/mm}^2$	$\alpha_{cw} = 1,00$

Zonder dwarskrachtwapen	$V_{Rd,c} = 153 \text{ kN}$	s = 250 mm	$\leq s_{l,max} = 806 \text{ mm}$
Met dwarskrachtwapening	$V_{Rd,s} = 716 \text{ kN}$	Verschuiving momentenlijn	$a_l = 638 \text{ mm}$
Bezwijkten drukdiagonaal:	$V_{Rd,max} = 716 \text{ kN}$	$V_{Rd} = 716 \text{ kN}$	UC = 0,62

514

Controle van een betondoorsnede belast op normaalkracht en buiging volgens Eurocode 2

Project:	Duiker te Irenesluizen	Datum:	29-4-2022	
Projectnummer:	BI1706-101-102	Naam:	J. Veldhuizen	
Omschrijving:	Dwarskracht - snede B bovenzijde	Versie:	v2.7	

Geometrie		Materiaaleigenschappen	
Vorm:	<input type="radio"/> Plaat <input checked="" type="radio"/> Balk (rechthoekig) <input type="radio"/> Balk (T-vorm)	Betonsterkteklasse:	C12/15
Breedte:	b = 400 mm	Spannings-rekdiagram:	Bi-lineair
Hoogte:	h = 1400 mm	Druksterkte beton:	$f_{ck} = 12 \text{ N/mm}^2$
		Wapening:	FeB220 HWL
		Spannings-rekdiagram:	Horizontaal
		Vloegrens:	$f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$
		Ontwerplevensduur:	50 jaar
		Ontwerpsituatie:	Blijvend
		Belastingsduur:	Lange duur
		Nationale bijlage:	Nederlands
		Aanvullende richtlijn:	RBK

Beugelwapening			
Beugeldiameter:	$\varnothing_v = 12 \text{ mm}$		
H.o.h afstand:	s = 250 mm	n = 4	Dekking op zijkant beugel: $c_{\text{appl}} = 82 \text{ mm}$

Wapening			
Dekking:	$c_{2,\text{appl}} = 132 \text{ mm}$		
Beugeldiameter:	12 mm		
HW _{1,druk}	14 \varnothing 12 mm	\varnothing mm	d = 150 mm, A _s = 1583 mm ²
HW _{3,trek}	4 \varnothing 16 mm	\varnothing mm	d = 900 mm, A _s = 804,2 mm ²
	184 mm (tussenafstand)		
HW _{2,trek}	4 \varnothing 16 mm	\varnothing mm	d = 1100 mm, A _s = 804,2 mm ²
	186 mm (tussenafstand)		
HW _{1,trek}	8 \varnothing 12 mm	8 \varnothing 16 mm	d = 1299 mm, A _s = 2513 mm ²
Beugeldiameter:	12 mm		d _{gem} = 1182 mm
Dekking:	$c_{1,\text{appl}} = 82 \text{ mm}$		A _{s1,prov} = 4122 mm ²

UGT Normaalkracht en Moment			
Percentage herverdeling:	0 %	≤ 30 %	$x_u = 204,9 \text{ mm} \leq x_{u,\text{max}} = 855 \text{ mm}$
Normaalkracht UGT:	$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$		Hefboomsarm: z = 1040 mm
Moment UGT:	$M_{Ed} = 325 \text{ kNm}$ (trek onder)		$M_{Ed} = 848,4 \text{ kNm}$, UC = 0,38

UGT Normaalkracht en Dwarskracht			
Beugelwapening:	\varnothing 12 - 250 mm	4-snedig	Hoek met as ligger: $\alpha = 90^\circ$
Normaalkracht:	$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$		Hoek drukdiagonaal: $\theta = 25,8^\circ$
Dwarskracht:	$V_{Ed} = 541 \text{ kN}$		Oppervlak trekwapening: A _{sl} = 4122 mm ²
Moment:	$M_{Ed} = 325 \text{ kNm}$ (trek onder)		Overige constructies

Nuttige hoogte (gewogen):	d = 1182 mm	o.b.v. MRd	$b_w = 400 \text{ mm}$	$\rho_l = 0,87 \%$
Hefboomsarm:	z = 1076 mm	o.b.v. MRd	$\sigma_{cp} = 0,0 \text{ N/mm}^2$	$\alpha_{cw} = 1,00$

Zonder dwarskrachtwapen	$V_{Rd,c} = 175 \text{ kN}$		s = 250 mm	$s_{l,\text{max}} = 887 \text{ mm}$
Met dwarskrachtwapening	$V_{Rd,s} = 771 \text{ kN}$		Verschuiving momentenlijr	a _l = 781 mm
Bezijken drukdiagonaal: $V_{Rd,\text{max}}$	771 kN		$V_{Rd} = 771 \text{ kN}$	UC = 0,70


515

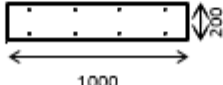
516 **Bijlage 4 Berekening SCIA**

517

Bijlage 5 Controle wapening dwarsrichting

Controle van een betondoorsnede belast op normaalkracht en buiging volgens Eurocode 2

Project:	Duiker te Irenesluizen	Datum:	29-4-2022	
Projectnummer:	BI1706-101-102	Naam:	J. Veldhuizen	
Omschrijving:	Buiging Dak	Versie:	v2.7	

Geometrie		Materiaaleigenschappen	
Vorm:	<input checked="" type="radio"/> Plaat <input type="radio"/> Balk (rechthoekig) <input type="radio"/> Balk (T-vorm)	Betonsterkteklasse:	C12/15
Breedte:	b = 1000 mm	Spannings-rekdiagram:	Bi-lineair
Hoogte:	h = 200 mm	Druksterkte beton: f_{ck} =	12 N/mm ²
		Wapening:	FeB220 HWL
		Spannings-rekdiagram:	Horizontaal
		Vloegrens: f_{yk} =	220 N/mm ²
		Ontwerplevensduur:	50 jaar
		Ontwerpsituatie:	Blijvend
		Belastingsduur:	Lange duur
		Nationale bijlage:	Nederlands
		Aanvullende richtlijn:	RBK

Beugelwapening

Beugeldiameter:	\varnothing_v =	mm	
H.o.h afstand:	s =	mm	n =


Wapening

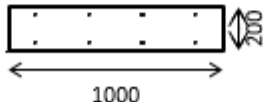
Dekking:	$c_{2,appl}$ =	30 mm			
VW		0 mm		d	A_s
HW _{1,druk}	\varnothing 12 - 250		\varnothing -	36 mm	452 mm ²
HW _{3,trek}	\varnothing -		\varnothing -	0 mm	0 mm ²
		mm (tussenafstand)			
HW _{2,trek}	\varnothing -		\varnothing -	0 mm	0 mm ²
		mm (tussenafstand)			
HW _{1,trek}	\varnothing 12 - 250		\varnothing -	164 mm	452 mm ²
VW		0 mm		d_{nom} =	164 mm
Dekking:	$c_{1,appl}$ =	30 mm		$A_{s,prov}$ =	452 mm ²

UGT Normaalkracht en Mom

Percentage herverdeling:	0 % ≤ 30 %	x_u =	31,6 mm ≤ $x_{u,max}$ =	119 mm
Normaalkracht UGT:	$N_{Ed} = -59,2$ kN (druk)	Hefboomsarm:		$z = 143$ mm
Moment UGT:	$M_{Ed} = 17,1$ kNm (trek onder)	$M_{Ed} = 19,4$ kNm		UC = 0,88

Controle van een betondoorsnede belast op normaalkracht en buiging volgens Eurocode 2

Project:	Duiker te Irenesluizen	Datum:	29-4-2022	
Projectnummer:	BI1706-101-102	Naam:	J. Veldhuizen	
Omschrijving:	Buiging wand	Versie:	v2.7	

Geometrie		Materiaaleigenschappen	
Vorm:	<input checked="" type="radio"/> Plaat <input type="radio"/> Balk (rechthoekig) <input type="radio"/> Balk (T-vorm)	Betonsterkteklasse:	C12/15
Breedte:	b = 1000 mm	Spannings-rekdiagram:	Bi-lineair
Hoogte:	h = 200 mm	Druksterkte beton:	$f_{ck} = 12 \text{ N/mm}^2$
		Wapening:	FeB220 HWL
		Spannings-rekdiagram:	Horizontaal
		Vloeigrens:	$f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$
		Ontwerplevensduur:	50 jaar
		Ontwerpsituatie:	Blijvend
		Belastingsduur:	Lange duur
		Nationale bijlage:	Nederlands
		Aanvullende richtlijn:	RBK


Beugelwapening			
Beugeldiameter:	$\emptyset_v =$	mm	
H.o.h afstand:	s =	mm	n =

Wapening				
Dekking:	$c_{2,appl} =$	30 mm		
VW		0 mm		
HW _{1,druk}	\emptyset 12 - 250		\emptyset -	d = 36 mm, A _s = 452 mm ²
HW _{3,trek}	\emptyset -		\emptyset -	0 mm, 0 mm ²
		mm (tussenafstand)		
HW _{2,trek}	\emptyset -		\emptyset -	0 mm, 0 mm ²
		mm (tussenafstand)		
HW _{1,trek}	\emptyset 12 - 250		\emptyset -	164 mm, 452 mm ²
VW		0 mm		d _{gem} = 164 mm
Dekking:	$c_{1,appl} =$	30 mm		A _{s1,prov} = 452 mm ²

UGT Normaalkracht en Moment				
Percentage herverdeling:	0 %	≤	30 %	$x_u = 36,1 \text{ mm} \leq x_{u,max} = 119 \text{ mm}$
Normaalkracht UGT:	$N_{Ed} = -13,1 \text{ kN}$ (druk)			Hefboomsarm: z = 133 mm
Moment UGT:	$M_{Ed} = 17,1 \text{ kNm}$ (trek onder)		$M_{Ed} = 24,2 \text{ kNm}$	UC = 0,71

521

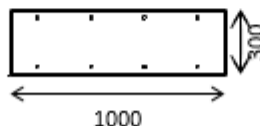
Controle van een betondoorsnede belast op normaalkracht en buiging volgens Eurocode 2

Project:	Duiker te Irenesluizen	Datum:	29-4-2022	
Projectnummer:	BI1706-101-102	Naam:	J. Veldhuizen	
Omschrijving:	Buiging vloer	Versie:	v2.7	

Geometrie

- Vorm:
- Plaat
 - Balk (rechthoekig)
 - Balk (T-vorm)

Breedte: $b = 1000$ mm
 Hoogte: $h = 300$ mm



Materiaaleigenschappen

Betonsterkteklasse:	C12/15
Spannings-rekdiagram:	Bi-lineair
Druksterkte beton:	$f_{ck} = 12$ N/mm ²
Wapening:	FeB220 HWL
Spannings-rekdiagram:	Horizontaal
Vloeigrens:	$f_{yk} = 220$ N/mm ²
Ontwerplevensduur:	50 jaar
Ontwerpsituatie:	Blijvend
Belastingsduur:	Lange duur
Nationale bijlage:	Nederlands
Aanvullende richtlijn:	RBK

Beugelwapening

Beugeldiameter: $\varnothing_V =$ mm
 H.o.h afstand: $s =$ mm $n =$

Wapening

Dekking:	$C_{2,appl} = 30$ mm				
VW	0 mm				
HW _{1,druk}	\varnothing 12 - 250	\varnothing -		36 mm	452 mm ²
HW _{3,trek}	\varnothing -	\varnothing -		0 mm	0 mm ²
	mm (tussenafstand)				
HW _{2,trek}	\varnothing -	\varnothing -		0 mm	0 mm ²
	mm (tussenafstand)				
HW _{1,trek}	\varnothing 12 - 250	\varnothing -		264 mm	452 mm ²
VW	0 mm			$d_{gem} = 264$ mm	
Dekking:	$C_{1,appl} = 30$ mm			$A_{s1,prov} = 452$ mm ²	

UGT Normaalkracht en Moment

Percentage herverdeling:	0 % \leq 30 %	$x_u = 30,9$ mm \leq $x_{u,max} = 191$ mm
Normaalkracht UGT:	$N_{Ed} = -46$ kN (druk)	Hefboomsarm: $z = 213$ mm
Moment UGT:	$M_{Ed} = 6,1$ kNm (trek onder)	$M_{Ed} = 29,4$ kNm UC = 0,21

522