



mhpoly
consultants engineers

rapport **CONSTRUCTIEVE TOETSING SLUIS**

project **SLUIS “DE KRIJGSMAN” MUIDEN**

opdrachtgever **Dutch Tunnel Engineering**

documentcode **19145X1ra01**

versie **2.4**

datum **12 oktober 2020**

status **Ter goedkeuring**





CONSTRUCTIEVE TOETSING SLUIS

SLUIS “DE KRIJGSMAN” MUIDEN

Projectnummer MH Poly 18135X1

Referentie klant 20606

Versiebeheer

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Controleur
1.0	07-04-20	Definitief	WBR	BBL
1.2	02-06-20	Interne opmerkingen verwerkt	WBR	BBL
2.0	11-06-20	Ter goedkeuring	WBR	BBL
2.1	06-07-20	Cilinderkracht toegevoegd	WBR	BBL
2.2	08-07-20	Hefsnelheid rinketschuif aangepast	WBR	BBL
2.3	16-07-20	Hoofdstuk Fuiken / opstelplaatsen toegevoegd	WBR	BBL
2.4	12-10-20	Opmerkingen toetser verwerkt + treksterkte metselwerk volgens beproeving	WBR	BBL



INHOUD

1	INLEIDING	5
1.1	Projectomschrijving	5
1.2	Grondslagen voor de berekening	6
1.2.1	<i>Bouwbesluit / Eurocodes</i>	
1.2.2	<i>NEN-EN / NEN normen</i>	
1.2.3	<i>Richtlijnen / Leidraden</i>	
1.2.4	<i>Onderzoeksrapporten</i>	
1.2.5	<i>Technisch Programma van Eisen</i>	
1.3	Ingekomen informatie	7
1.4	Gerelateerde tekening	7
1.5	Software	8
2	GEOMETRIE BESTAANDE SLUIS	9
2.1	Maximale afmeting van de sloepen	9
3	VEILIGHEIDSKLASSE	10
3.1	Ontwerplevensduurklasse	10
3.2	Belastingfactoren	11
3.3	Belastingcombinaties	11
4	BELASTINGEN	12
4.1	Eigen gewicht	12
4.2	Bovenbelasting	12
4.3	Bolderkracht	12
4.4	Aanvaarbelasting op geleidewerk (fuik)	14
5	GRONDPROFIEL	15
6	HOOGTE MAATVOERING	16
6.1	Waterstanden	16
6.2	Waterbodem	16
6.3	Remmingswerk	16
7	MATERIALEN	17
7.1	Milieuklasse beton	17
7.2	Betonkwaliteit	17
7.3	Staalkwaliteiten	17
7.4	Corrosiesnelheden	17
7.5	Kunststof	17



7.6	Houtkwaliteit	18
8	FUIKEN / OPSTELPLAATSEN.....	19
8.1	Fuiken	19
8.2	Opstelplaatsen	19
9	TOETSING FAALMECHANISMEN.....	20
9.1	Hoogte	20
9.2	Sterkte en stabiliteit	21
9.2.1	<i>Verticale draagkracht</i>	
9.2.2	<i>Bepaling toelaatbare bovenbelasting</i>	
9.2.1	<i>Afschuiving van de sluis in dwarsrichting</i>	
9.2.2	<i>Buigtreksterkte metselwerk</i>	
9.2.3	<i>Afschuiving van de sluis in lengte richting</i>	
9.2.4	<i>Toetsing opdrijven tijdens onderhoudsfase</i>	
9.2.5	<i>Toetsing opbarsten kolkvloer tijdens onderhoud</i>	
9.2.6	<i>Sterkte van de waterkerende constructieonderdelen</i>	
9.2.7	<i>Piping en Heave</i>	
9.3	Betrouwbaarheid sluiting	37
10	SCHUTTIJD SLUISKOLK.....	38
11	BEPALING CILINDERKRACHTEN	41
11.1	Horizontaalmoment t.g.v. stroming	41
11.2	Horizontaal moment t.g.v. wrijving taats en halsbeugel	43

BIJLAGEN

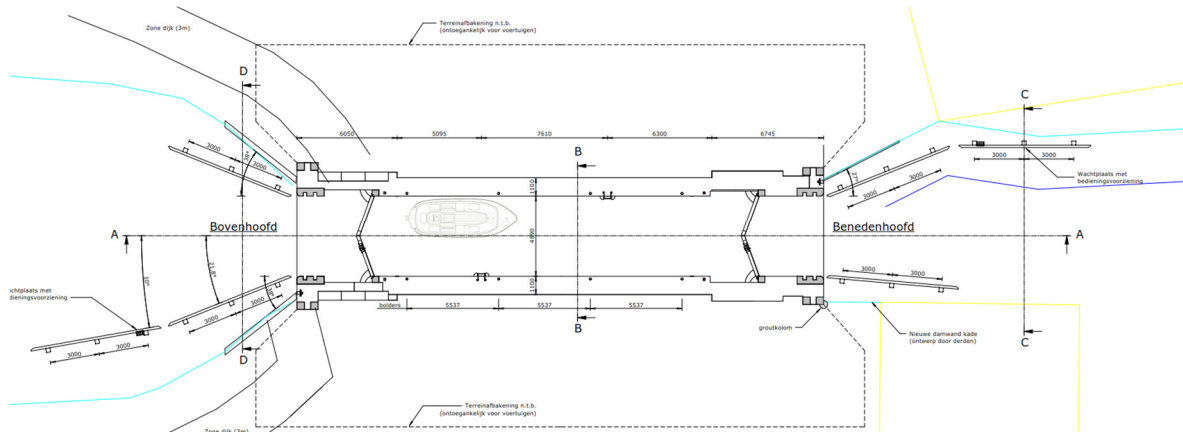
Bijlage 1	SONDERINGEN
-----------	-------------



1 INLEIDING

1.1 Projectomschrijving

De bestaande sluis op het terrein van De Krijgsman te Muiden wordt opnieuw in gebruik genomen als schutsluis. Hiertoe dient te worden aangetoond dat de sluis voldoende sterk en stabiel is om te kunnen functioneren als veilige schutsluis.



Figuur 1 Boven aanzicht sluis

De sluis bestaat uit een volledig gemetselde U-bak waarin het boven- en benedenhoofd inclusief de sluiscolk één geheel vormen.

De volgende bestaande onderdelen van de sluis worden volledig vernieuwd:

- Kwelscherm ter plaatse van het bovenhoofd
- Houten sluisdeuren
- Oeverkerende vleugelwanden

De volgende onderdelen waren niet aanwezig worden nieuw aangebracht:

- Fuiken
- wachtplaatsen



1.2 Grondslagen voor de berekening

1.2.1 Bouwbesluit / Eurocodes

	Norm	titel / toelichting
1	Bouwbesluit 2012	Bouwbesluit 2012
	Eurocodes	Zie § 1.2.2

1.2.2 NEN-EN / NEN normen

	Norm	titel / toelichting
Constructief		
2	NEN-EN 1990 +A1+A1/C2:2011 (nl) /NB:2011 (nl)	Eurocode 0: Grondslagen van het constructief ontwerp, incl nationale bijlage
3	NEN-EN 1991-1-1 +C1:2011/NB:2011(nl)	Eurocode 1: Deel 1-1: Algemene belastingen - Volumieke gewichten, eigengewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen
4	NEN-EN 1991-1-7 +C1:2011 (nl)/NB:2011 (nl)	Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-7: Algemene belastingen – Buitengewone belastingen: stootbelastingen en ontploffingen
5	NEN-EN 1991-2 +C1:2011 (nl)/NB:2011 (nl)	Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 2: Verkeersbelasting op bruggen, incl nationale bijlage
6	NEN-EN 1992-2 +C1:2011 (nl)/NB:2011 (nl)	Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 2: Bruggen, incl nationale bijlage
7	NEN-EN 1993-1-1 :2006+A1:2014/	Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies; algemene regels en regels voor gebouwen
8	NEN-EN-1993-1-8 +C2:2011/NB:2011	Eurocode 3: Ontwerp en berekening van verbindingen
9	NEN-EN 1996-1-1:2006	Eurocode 6: Ontwerp en berekening van constructies van gewapend en ongewapend metselwerk
10	NEN-EN 1997-1+C2:2017	Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp van constructies, Deel 1 – algemene regels
11	NEN-EN 1997-2:2007 (en) incl. C1:2010	Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp – Deel 2: Grondonderzoek en beproeving (inclusief correctieblad C1:2010)
12	NEN-EN 9997-1+C2:2017	Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp van constructies: Deel 1 – Algemene regels
13	NEN-EN 1997-2:2007/NB:2011 (en)	Eurocode 7: Nationale bijlage bij NEN-EN 1997-2:2007 en C1:2010

1.2.3 Richtlijnen / Leidraden

	Norm	titel / toelichting
14	RVW 2017	Richtlijnen Vaarwegen RVW 2017
15	STOWA rapport 2011-15	Leidraad waterkerende kunstwerken in regionale waterkeringen
16	STOWA rapport 2006-03	Historische kunstwerken – hulpmiddelen voor toetsers



17	STOWA 2015-05	Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkering
18	STOWA 2009-05	Materiaalfactoren boezemkaden
19	RWS informatie	Nieuwe methode bepaling corrosietoeslag bij stalen damwanden in waterkeringen, versie december 2015

1.2.4 Onderzoeksrapporten

	Rapport	titel / toelichting
20	Deltares	Onderzoeksrapport "Zandmeevoerende wellen" maart 2012
21	MvD Projectmanagers	Hefboomproeven metselwerk sluis "De Krijgsman" te Muiden

1.2.5 Technisch Programma van Eisen

	Rapport	titel / toelichting
22	De Brauw-Blackstone-Westbroek	Programma van Eisen De Krijgsman 6 februari 2014

1.3 Ingekomen informatie

- 3D scan bestaande sluis

1.4 Gerelateerde tekening

Op basis van de 3D-scan zijn de volgende tekeningen vervaardigd:

- 19145X1-TE02-01 Overzichtstekening
- 19145X1-TE02-02 Doorsnedes
- 19145X1-TE02-03 Bewegingswerk

Voor revisiebeheer, zie tekeningenlijst.



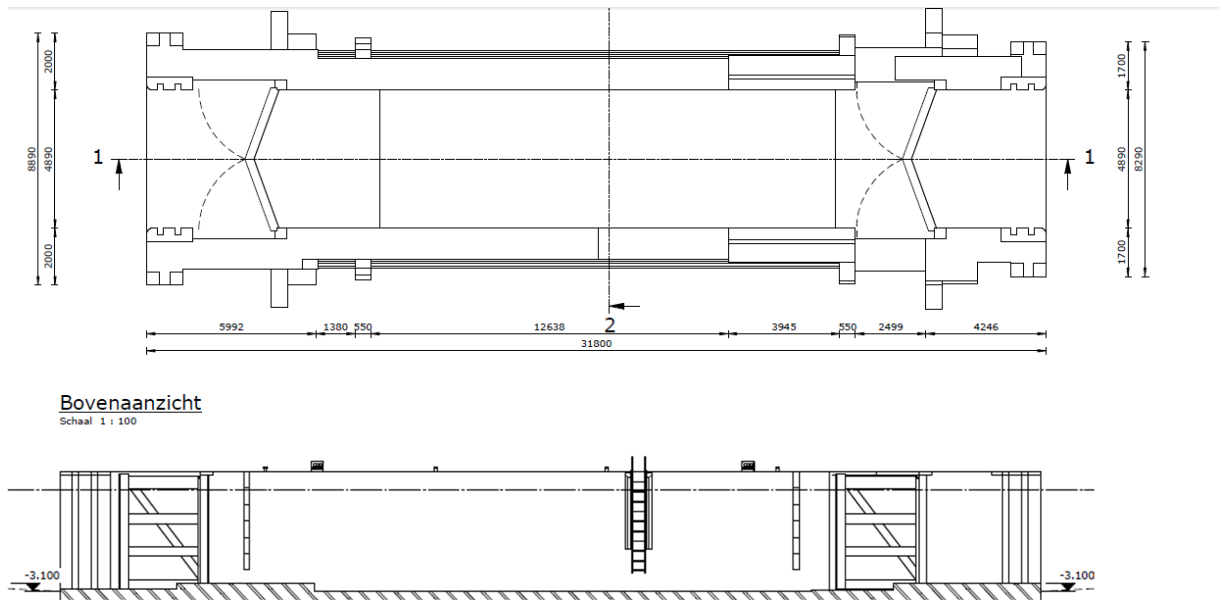
1.5 Software

- RFEM 5.20.01 Eindig Elementen Software
- D-Sheet Piling 19.3
- Eigen vervaardigde spreadsheets.



2 GEOMETRIE BESTAANDE SLUIS

De sluis is middels een 3D scan ingemeten en uitgewerkt in een Revit-model. Hieronder is het boven aanzicht en langsdoorsnede weergegeven.



Figuur 2 Boven aanzicht en langsdoorsnede

Totale lengte sluis	: 31,80 m
Schutkolk lengte	: 20,41 m (lengte tussen de sluisdeuren)
Schutkolk breedte	: 4,89 m

2.1 Maximale afmeting van de sloepen

De sluis wordt enkel gebruikt door sloepen met een maximale afmeting van:

L = 8,0 m

B = 2,5 m

D = 1,25 m (diepgang)

N.B.: De diepgang van 1,25m doelt op onderzijde kiel of motor, niet op onderzijde bodem sloep. De onderzijde van de bodem van de sloep ligt circa op 0,5 meter onder de waterlijn.



3 VEILIGHEIDSKLASSE

De sluis maakt deel uit van een regionale waterkering langs de Muidertrekvaart. Deze waterkering moet gaan voldoen aan de eisen voor een “IPO klasse V” kering.

3.1 Ontwerplevensduurklasse

Conform [2] tabel 2.1 dient voor civieltechnische werken rekening gehouden te worden met een levensduur van 100 jaar.

Bij de Stichting Historische Sluizen en Stuwen is navraag gedaan omtrent de aangehouden ontwerplevensduur van eerder uitgevoerde renovaties van historische sluizen. Hieruit blijkt dat bijvoorbeeld bij de renovatie van de Zuidersluis en Kleine Sluis in IJmuiden is uitgegaan van een ontwerplevensduur van 50 jaar (in plaats van 100 jaar). Om deze reden wordt voor de levensduur van de sluis 50 jaar aangehouden.

Conform NEN-EN 1990, tabel 2.1

Tabel 2.1 — Richtwaarden voor de ontwerplevensduur

Ontwerplevens- duur- klasse	Richtwaarden ont- werplevensduur (jaren)	Voorbeelden
1	10	Tijdelijke constructies ⁽¹⁾
2	10 tot 25	Vervangbare constructieve onderdelen, bijv. kraanbaanliggers, opleggingen
3	15 tot 30	Landbouwkundige en soortgelijke con- structies
4	50	Gebouwen en andere gewone construc- ties
5	100	Monumentale gebouwen, bruggen en andere civieltechnische werken

(1) Constructies of delen van constructies die kunnen worden ontmanteld met de bedoeling om te worden hergebruikt behoren niet als tijdelijk te zijn aangemerkt.

Figuur 3 Richtwaarden voor de ontwerplevensduur

Omschrijving	Uitgangspunt	Bron
Sluis	50 jaar	[2]
Sluisdeuren (hout)	25 jaar [21]	[21]
Remmingswerk, wachtplaatsvoorzieningen	50 jaar	[2]

Tabel 1 Aangehouden levensduur voor de constructieve onderdelen



3.2 Belastingfactoren

Parameter	Groep A: EQU
	CC2 / RC 2
Permanente belastingen (gunstig)	0,90
Permanente belastingen (ongunstig)	1,10
Waterdruk belasting (permanent, ongunstig)	1,20
Veranderlijke belastingen	1,50
Parameter	Groep B: STR/GEO
	CC2 / RC 2
Permanente belastingen (gunstig)	0,90
Permanente belastingen (ongunstig)	1,20 / 1,35
Waterdruk belasting (permanent, ongunstig)	1,20
Veranderlijke belastingen	1,50

Tabel 2 Belastingfactoren

Grondparameters	STOWA 2009-05 [18]
Factor op cohesie	1,20 / 1,35
Factor op $\tan \phi$	1,15

Tabel 3 Materiaalfactoren grond

Uit [18]:

TABEL 5.5 MATERIAALFACTOREN VOOR BOEZEMKADEN

Grondsoort en parameter			Variatiecoëfficiënt V	γ_m
alle grondsoorten	volumieke massa nat/droog	(ρ)		1,0
klei	(TP-CU-5%)			
	- cohesie	(c)	0,45	1,20
	- inwendige wrijving	($\tan \phi$)	0,20	1,15
veen	(TP-CU-5%)			
	- cohesie	(c)	0,80	1,35
	- inwendige wrijving	($\tan \phi$)	0,25	1,15
zand	(TP-CD)			
	- cohesie	(c)	n.v.t.	n.v.t.
	- inwendige wrijving	($\tan \phi$)	0,15	1,15
Samendrukkingsconstanten	- Terzaghi	(C, A)		1,1
	- Buisman-Koppejan	(C_p, C_s)		1,1

Figuur 4 Materiaalfactoren uit STOWA 2009-05

3.3 Belastingcombinaties

Voor het ontwerp wordt er rekening gehouden met de volgende grenstoestanden:

- Serviceability Limit State [SLS]
- Ultimate Limit State [ULS]



4 BELASTINGEN

4.1 Eigen gewicht

Staal	: 78,5 kN/m ³
Beton	: 25,0 kN/m ³
Water (zoet)	: 10,0 kN/m ³
Metselwerk	: 20,0 kN/m ³
Hout (Azobé)	: 11,0 kN/m ³

Overige materialen nader te bepalen.

4.2 Bovenbelasting

Volgens de CUR 166 (Tabel 3.6) wordt de bovenbelasting langs de sluiskolk op 10 kN/m² tot 20 kN/m² gesteld.

Middels terreinafscheiding wordt het gebied rondom de sluis ontoegankelijk gemaakt voor voertuigen. De bovenbelasting wordt om deze reden gereduceerd naar:

Langs sluiskolkwand (voetgangers): 5 kN/m²

Er wordt geen rekening gehouden met eventuele stempel- of aslast direct langs de sluis.

Onderhoudsvoertuigen (≤ 30 kN) vallen binnen de gestelde bovenbelasting ([3] §6.3.3 Klasse F).

4.3 Bolderkracht

De sluis wordt enkel gebruikt door sloepen, zie voor afmeting §2.1.

Om deze reden wordt voor de bolderkracht gerekend op: $F_k = 20,0$ kN

Er wordt hiermee afgeweken van de RVW2017 waarin een bolderkracht van 40 kN wordt vermeld voor recreatievaart.

Deze belasting is gebaseerd op motorjacht categorie RC en groot zeiljacht categorie RD volgens §2.6.2 van [14].

Echter gezien de maximale afmeting van de sloepen die gebruik gaan maken van de sluis kunnen we op basis van de afmeerenergie (zie onderstaande berekening) de bolderkracht als volgt onderbouwen:

De bolders worden het zwaarst belast indien deze worden gebruikt om de sloep af te remmen middels een omheen geslagen tros.

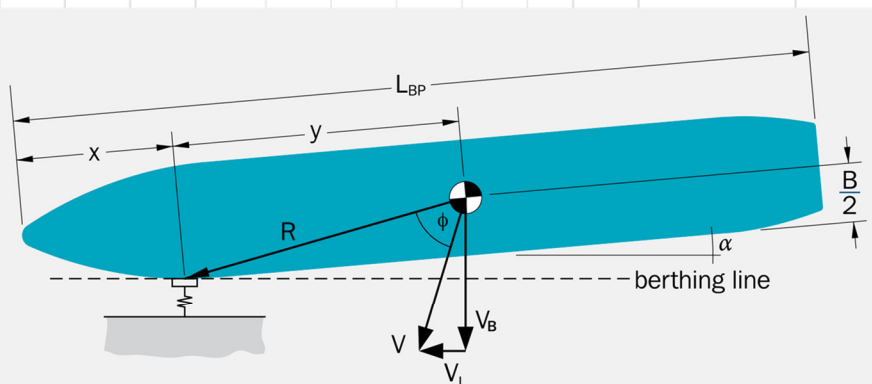
We gaan uit van een vaarsnelheid in de sluis van 3,0 km/u (0,83 m/s) en een vaarhoek van 10 graden.

De bijbehorende energie bedraagt: $E_d = 0,09$ kNm

Uitgaande dat de tros 10mm rekt tijdens het afremmen, wordt de bolderkracht:

$$F_k = (0,09 \text{ kNm} \times 2) / 0,01 \text{ m} = 18 \text{ kN} \rightarrow 20 \text{ kN}.$$



Op te nemen kinetische energie schip volgens:		E.A.U. 2012
		
Maatgevende schip =	8x2,5x0,5	
Aanvaarhoek =	10 °	
Gegevens van het maatgevende schip		
L _{BP} = lengte schip		8 [m]
B = breedte schip		2,5 [m]
D = diepgang		0,5 [m]
K _c = kielspeling		2,50 [m]
M _D = mass (waterverplaatsing)		9 [ton]
ρ = dichtheid water		1000 [kg/m ³]
x = aanvaarpunt = λ * L _{BP}	1/4	* L _{BP} = 2,00 [m]
V = vaarsnelheid vaarrichting		0,83 [m/s]
V _B = vaarsnelheid loodrecht		0,14 [m/s]
y = 0.5 * L _{BP} - x		2,00 [m]
R = afstand zwaartepunt - aanvaarpunt		2,4 [m]
K = massatraagheids radius = 0,25 x L		2,00 [m]
α = hoek van invalschip		10,0 [°]
φ = 90 graden - α - boogsin(B/(2R))		48,0 [°]
C _S = stijfheidsfactor		0,95 [-]
C _C = configuratiecoëfficiënt		1,00 [-]
C _M = added mass coëffocient		1,500 [-]
C _B = block coefficient = M _D / (L _{BP} * B * D * ρ)		0,900 [-]
C _E = excentriciteitscoëfficiënt = (K ² + R ² cos ² (φ))/(K ² + R ²)		0,679 [-]
Berekening kinetische energie:		
E _D = 1/2 * M _D * V _B ² * C _E * C _M * C _S * C _C		90 [Nm]
E _D = ontwerpenergie		0,09 [kNm]

Figuur 5 Berekening afmeerenergie



4.4 Aanvaarbelasting op geleidewerk (fuik)

Voor de aanvaarbelasting op de remmingwerken wordt uitgegaan van:

Aanvaarhoek : 15 graden

Snelheid : 5,0 km/u

Maatgevende schip =	8x2,5x0,5								
Aanvaarhoek =	15 °								
Gegevens van het maatgevende schip									
L_{BP} = lengte schip								8	[m]
B = breedte schip								2,5	[m]
D = diepgang								0,5	[m]
K_C = kielspeling								2,50	[m]
M_D = mass (waterverplaatsing)								9	[ton]
ρ = dichtheid water								1000	[kg/m ³]
x = aanvaarpunt = $\lambda * L_{BP}$						1/4	* L_{BP} =	2,00	[m]
V = vaarsnelheid vaarrichting							(5 km/u)	1,39	[m/s]
V_B = vaarsnelheid loodrecht								0,36	[m/s]
$y = 0.5 * L_{BP} - x$								2,00	[m]
R = afstand zwaartepunt - aanvaarpunt								2,4	[m]
K = massatraagheids radius = $0,25 * L$								2,00	[m]
α = hoek van invalschip								15,0	[°]
$\phi = 90 \text{ graden} - \alpha - \text{boogsin}(B/(2R))$								43,0	[°]
C_S = stijfheidsfactor								0,95	[-]
C_C = configuratiecoëfficiënt								1,00	[-]
C_M = added mass coëfficiënt								1,500	[-]
C_B = block coefficient = $M_D / (L_{BP} * B * D * \rho)$								0,900	[-]
C_E = excentriciteitscoëfficiënt = $(K^2 + R^2 \cos^2(\phi)) / (K^2 + R^2)$								0,729	[-]
Berekening kinetische energie:									
$E_D = 1/2 * M_D * V_B^2 * C_E * C_M * C_S * C_C$								605	[Nm]
E_D = ontwerpenergie								0,61	[kNm]

Figuur 6 Berekening aanvaarenergie



5 GRONDPROFIEL

De grondopbouw is bepaald aan de hand van sondering S-G10-43 en samengevat in Tabel 4. De locatie van de sondering is weergegeven in Figuur 7. Waternet heeft de sondering als maatgevende sondering aangeleverd.

Grondsoort	Van [m NAP]	Tot [m NAP]	$\gamma_{\text{droog}}/\gamma_{\text{nat}}$ [kN/m ³]	ϕ' [graden]	δ' [graden]	c' [kN/m ²]
Zand	0,23	-2,0	18 / 20	32,5	21,7	0
Klei, matig vast, organisch	-2,0	-3,2	15 / 16	15,0	7,5	0
Klei, matig vast	-3,2	-5,0	18 / 18	22,5	11,3	5,0
Veen, matig vast	-5,0	-7,3	10 / 10	15,0	0,0	2,5
Zand, vast	-7,3	-	19 / 21	35,0	23,3	0

Tabel 4 Bodemopbouw sondering S-G10-43



Figuur 7 Locatie sondering S-G10-43



6 HOOGTE MAATVOERING

Door Waternet (Waterschap Amstel Gooi en Vecht) is tijdens het kick-off overleg d.d. 12-12-2019 gesteld dat de bovenkant van de sluis en sluisdeuren op minimaal +0,2m NAP dient te liggen. De bovenzijde van de bestaande sluisdeuren ligt op +0,325m NAP dus dit is ruim voldoende. Mogelijk wordt de bovenzijde van de sluisdeuren nog iets verhoogd mocht dit gunstiger zijn voor de bevestiging (aangrijppunt) van de aandrijfcilinders.

Bovenzijde sluishoofden en kolk	: +0,545 m NAP
Minimale doorvaarhoogte	: 1,50 m (uit Programma van Eisen "De Krijgsman" nr. 8.1)
Minimaal vereiste kruinhoogte	: +0,10 m NAP
Bovenzijde sluisdeuren	: +0,325 m

6.1 Waterstanden

MHW Bovenpand	: 0,0 m NAP
Streefpeil Bovenpand	: -0,40 m NAP
MLW Bovenpand	: -0,50 m NAP
Variatie op streefpeil	: +/- 0,10 m

MLW Benedenpand	: -1,42 m NAP
Streefpeil benedenpand	: -1,32 m NAP
Variatie op streefpeil	: +/- 0,10 m

GWS	: -0,58 m NAP tot -1,17 m NAP (nog nauwkeuriger te bepalen door monitoring peilbuizen)
-----	--

6.2 Waterbodem

Bodemhoogte bovenpand	: verlopend van ca. -2,60 m NAP naar ca. -3,0 m NAP
Bodemhoogte benedenpand	: verlopend van ca. -2,60 m NAP naar ca. -3,0 m NAP

Drempelhoogte bovenpand	: ca. -3,0 m NAP
Drempelhoogte benedenpand	: ca. -3,0 m NAP

6.3 Remmingswerk

Aan het remmingswerk worden geen vervormingseisen gesteld vanwege de benodigde energieopname.

Stootbelasting (energie) grijpt 0,5 meter boven het (laagste) waterpeil aan van het desbetreffende pand.



7 MATERIALEN

Alle niet genoemde materialen in overleg te bepalen.

7.1 Milieuklasse beton

Conform NEN-EN 206-1

Beton altijd onder water : XC2/XF3

Verticaal beton nooit onder water : XC3/XD3/XF2

Horizontaal beton 'droog' : XC3/XD3/XF2

7.2 Betonkwaliteit

Conform EN 1992-1-1

Minimale kwaliteiten:

- C30/37 (in het werk gestort)
- C35/45 (prefab)
- B500B (wapening)

7.3 Staalkwaliteiten

Conform EN 10025-2

- S235 JR (voor standaard profielen)
- S275 JR (voor buis-/kokerprofielen)
- S355 JR

Conform API 5L, PSL1

- X-42 t/m X-70 (voor buispalen)

7.4 Corrosiesnelheden

Op aanwijzing van Waternet wordt voor de corrosiesnelheden aangehouden: *“Nieuwe methode bepaling corrosietoeslag bij stalen damwanden in waterkeringen”*

Versie december 2015.

Bij levensduur 50 jaar:

Onder laagste grondwaterniveau : 0,6 mm/zijde

Boven laagste grondwaterniveau : 1,2 mm/zijde

7.5 Kunststof

- KLP-S S-16 (Lankhorst plastics) voor remmingwerken, fuik en wachtplaatsen etc.



7.6 Houtkwaliteit

Conform NEN-EN 1995-1-1

Azobé D70

$$f_{m;0;rep} = 70 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v;0;rep} = 6,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m;u;d} = (70/1,2) * 1,10 * 1,0 = 64,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v;u;d} = (6,0/1,2) * 1,10 * 1,0 = 5,50 \text{ N/mm}^2$$



8 FUIKEN / OPSTELPLAATSEN

8.1 Fuiken

Volgens RVW2017 paragraaf 4.6.12 wijken de fuikpoten onder een helling van 1:3. Dit komt overeen met een hoek van $18,4^\circ$.

Om uitvarende sloepen een vrije doorvaart te kunnen geven is de fuikhoek vergroot naar $21,8^\circ$ zodat wachtende sloepen voor de volgende schut geen belemmering vormen voor het uitvarend verkeer.

De ontwerpenergie vanuit de aanvaarbelasting bedraagt 0,61 kNm. In het Definitief Ontwerp wordt middels berekening aangetoond dat de fuiken deze energie kunnen opnemen.

8.2 Opstelplaatsen

Volgens RVW2017 paragraaf 4.6.12 bedraagt de lengte van de opstelplaats voor sluizen met een kolkbreedte tot 8 meter: $L_o = 1,2 \times \text{schutlengte}$.

De schutlengte bedraagt: $L_k = 17,61\text{m}$

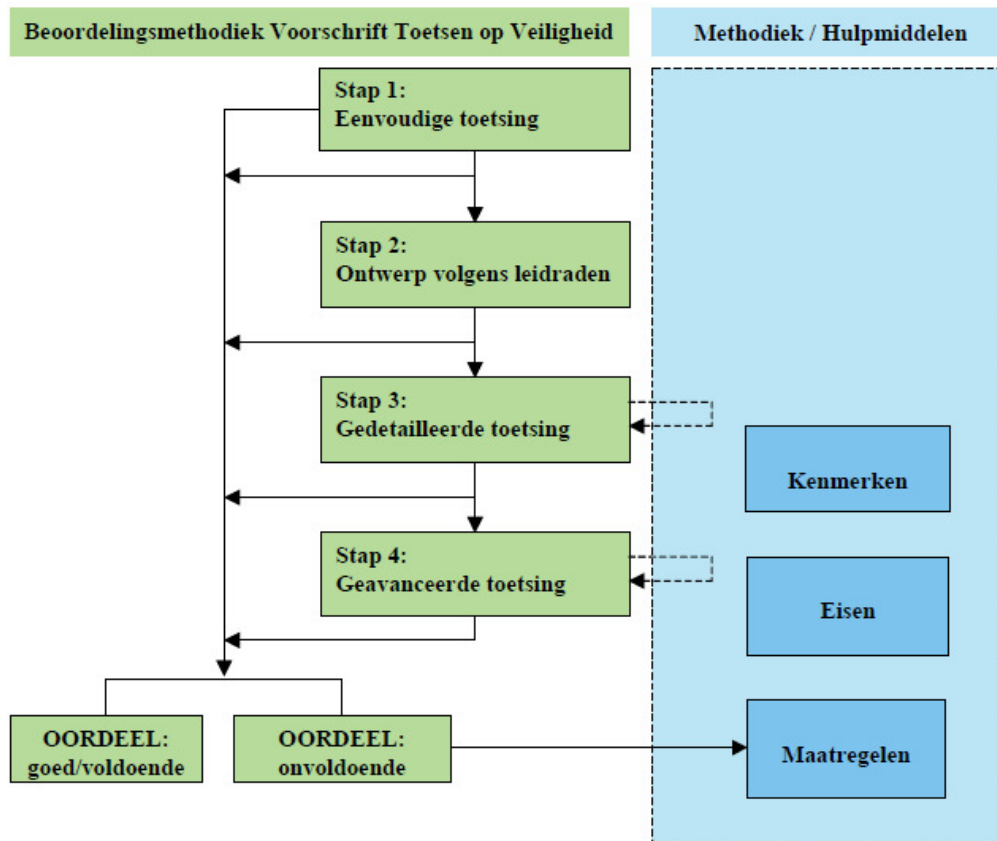
De benodigde lengte van de opstelplaats wordt dan: $L_o = 1,2 \times 17,61\text{m} = 21,1\text{m}$.

Op verzoek van de principaal van De Krijgsman wordt voor de opstelplaatslengte 1 wachtende sloep aangehouden. In dit geval 8 meter.



9 TOETSING FAALMECHANISMEN

Voor de toetsing van de sluis wordt de beoordelingsmethodiek uit de STOWA 2006-03 aangehouden:



Figuur 8 Beoordelingsmethodiek volgens STOWA 2006-03

9.1 Hoogte

Minimale hoogte sluis in verband met eis IPO klasse V: +0,2m NAP.

Bovenzijde sluis : +0,545m NAP

Bovenzijde sluisdeuren : ca. +0,325m NAP.

Hoogte voldoet.



9.2 Sterkte en stabiliteit

9.2.1 Verticale draagkracht

Uit [16] blz. 17 (§3.5.1):

GEBRUIKTE MATERIALEN EN AFMETINGEN

Uit de database en de literatuur kan voor waterbouwkundige constructies geconcludeerd worden dat een gemetselde constructie altijd op houten palen gefundeerd is.

De sluis is sinds deze uit gebruik is genomen enkele decennia lang gevuld met zand geweest. Na ontgraving van deze zandvulling is een visuele inspectie uitgevoerd waarbij geen zettingsscheuren in het metselwerk zijn aangetroffen. De zandvulling kan in feite worden gezien als “proefbelasting” voor de aantoning van de verticale draagcapaciteit van de fundering. Het gewicht van de zandvulling in de gehele sluis is vele malen groter dan het watergewicht in de sluis tijdens schutten en keren.

Tijdens de visuele inspectie van de sluis is een 3D scan uitgevoerd waaruit blijkt dat de wanden van de kolk geen scheefstand vertonen. Ook zettingen zijn, zelfs met de volledige zandvulling in de kolk die decennia lang aanwezig was, niet waargenomen cq. gemeten met de 3D scan.

Daarbij staan de palen al hun gehele levensduur ca. 4 meter onder de waterlijn zodat deze praktisch geconserveerd zijn.

Op basis van bovenstaande waarnemingen beoordelen wij de verticale draagkracht van de fundering als goed.



9.2.2 Bepaling toelaatbare bovenbelasting

De huidige kolk- en sluishoofdwanden fungeren als keermuur (gewichtconstructie).

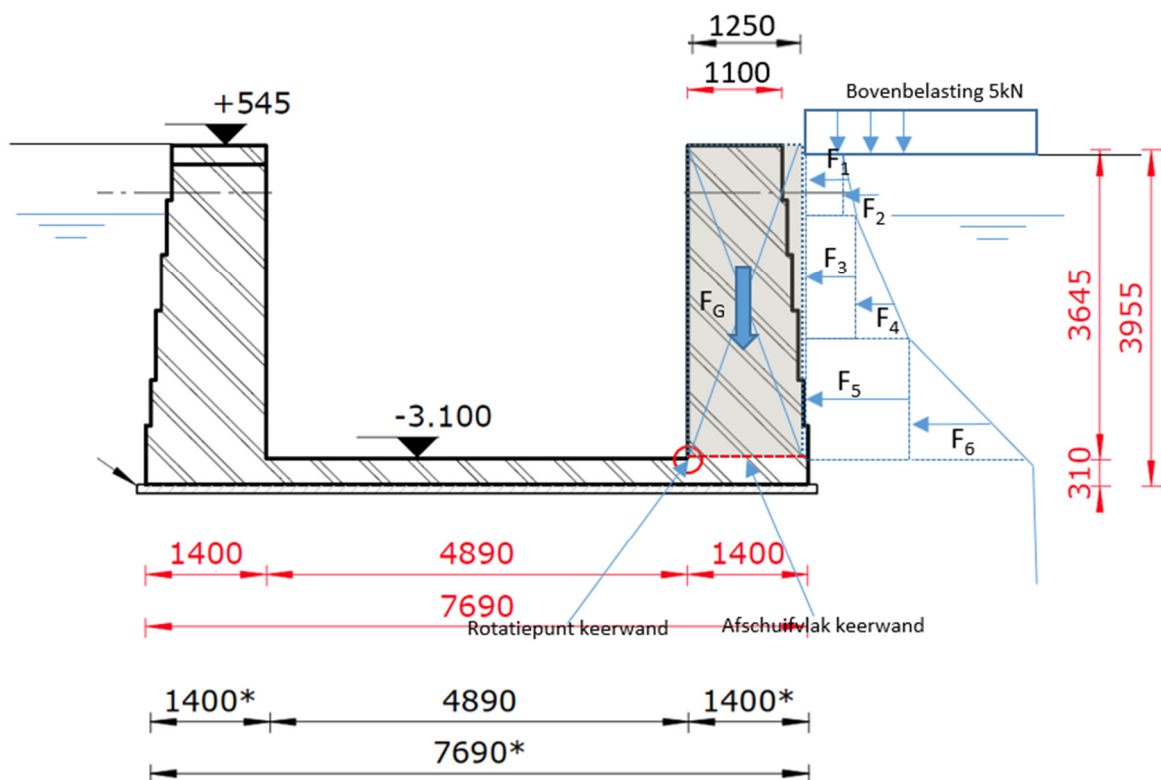
Op basis van het evenwicht zal worden bepaald wat de toelaatbare bovenbelasting bedraagt rondom de sluis. Doel is om minimaal een bovenbelasting van $5,0 \text{ kN/m}^2$ te halen.

9.2.1 Afschuiving van de sluis in dwarsrichting

Dit onderdeel wordt getoetst met de volgende belastingfactoren:

Permanente belasting (ongunstig)	: $\gamma_{f,q} = 1,2$	(6.2b)
Variabele belasting (ongunstig)	: $\gamma_{f,q} = 1,5$	
Materiaalfactor metselwerk (NEN 6790; §9.2.3)	: $\gamma_M = 1,8$	

De afschuivende kracht wordt veroorzaakt door de gronddruk tegen de zijkant van de kolk. In de situatie dat de kolk leeg staat is er geen tegendruk van het water waardoor de ongunstigste situatie voordoet. De belasting ten gevolge van de bovenbelasting en de gronddruk wordt opgenomen door de keermuur. De afschuifkracht is het grootst in het afschuifvlak op het niveau van de kolkbodem. Uit tabel 3.4 van [9] §3.6.2 wordt de minst gunstige waarde van de schuifsterkte voor metselwerk afgelezen. De schuifsterkte f_{vk} is bepaald op $0,441 \text{ N/mm}^2$, zie [21].

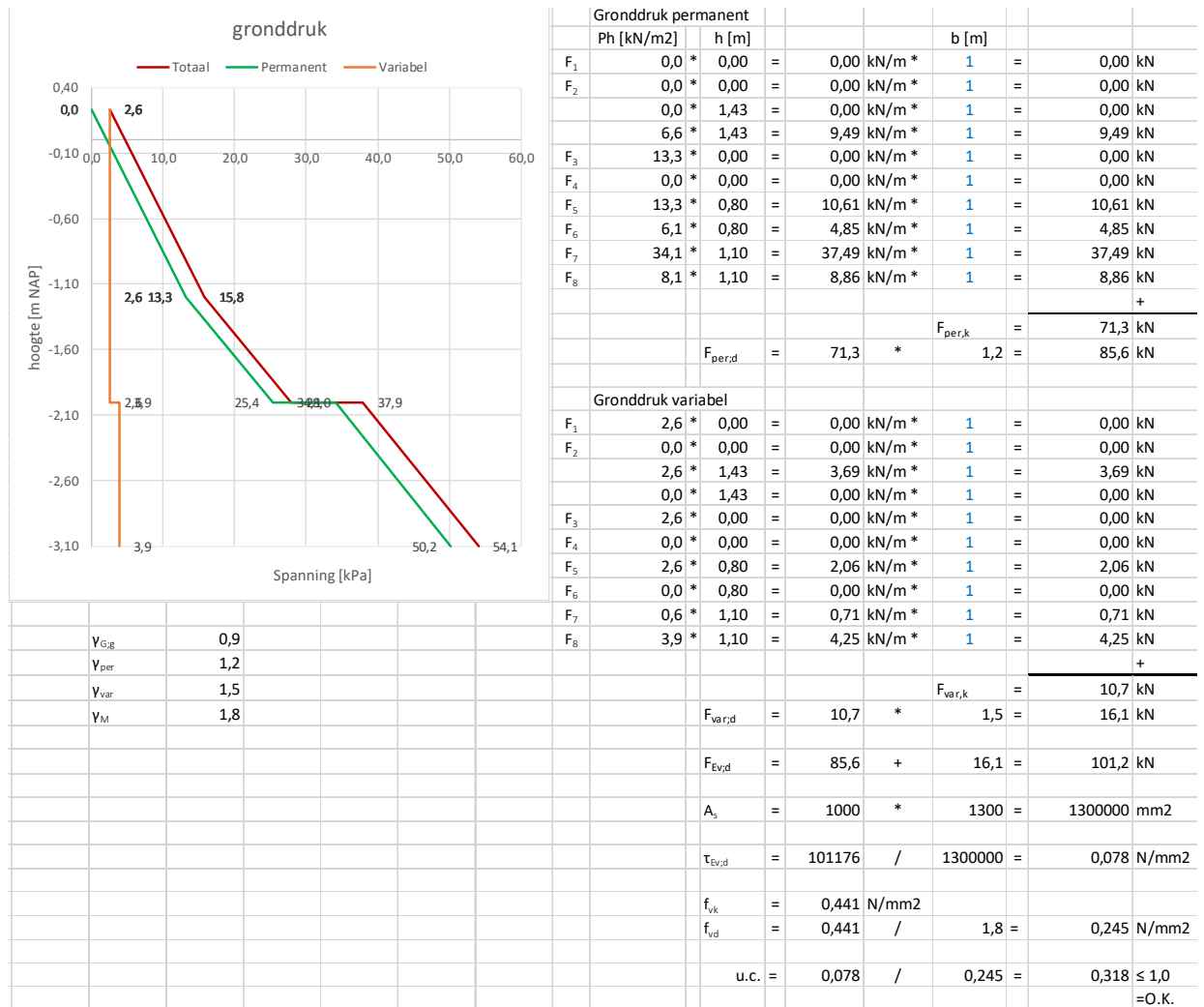


Figuur 9 Doorsnede sluis



Bepaling gronddruk:

Berekening grondspanningen												
Uitgangspunten												
Gebruikte sondering			G10-43		γ_M	1,15	[-]					
Grondwaterstand			GWS	-1,2	m NAP	Bims	0	m				
Volumiek gewicht water			γ_{water}	10,0	kN/m3		0,23	m NAP				
Bovenbelasting			Q_{boven}	5	kN/m2							
Laag nr.	b.k./o.k. laag	grondsoort	γ_{droog}	γ_{nat}	ϕ	ϕ'_d	σ_{gr}	σ_w	$\sigma'_{vz,0}$	K0	Ph	
1	0,23	Zand droog	18,0	20,0	32,5	29,0	5,00	0,0	5,0	0,52	2,6	
	0,23						5,00	0,0	5,0	0,52	2,6	
2	0,23	zand, droog	18,0	20,0	32,5	29,0	5,00	0,0	5,0	0,52	2,6	
	-1,20						30,74	0,0	30,7	0,52	15,8	
3	-1,20	zand, nat	18,0	20,0	32,5	29,0	30,74	0,0	30,7	0,52	15,8	
	-1,2						30,74	0,0	30,7	0,52	15,8	
4	-1,2	Zand, nat	18,0	20,0	32,5	29,0	30,74	0,0	30,7	0,52	15,8	
	-2						46,74	8,0	38,7	0,52	28,0	
5	-2,00	Klei, matig vast, organisch	15,0	16,0	15,0	13,1	46,74	8,0	38,7	0,77	37,9	
	-3,1						64,34	19,0	45,3	0,77	54,1	
6	-3,10	Klei, matig vast, organisch	15,0	16,0	15,0	13,1	64,34	19,0	45,3	0,77	54,1	
	-3,2						65,94	20,0	45,9	0,77	55,5	
7	-3,20	Klei, matig vast	18,0	18,0	22,5	19,8	65,94	20,0	45,9	0,66	50,4	
	-4,5						89,34	33,0	56,3	0,66	70,2	
8	-4,50	Klei, matig vast	18,0	18,0	22,5	19,8	89,34	33,0	56,3	0,66	70,2	
	-5						98,34	38,0	60,3	0,66	77,9	
9	-5,00	Veen, matig vast	10,0	10,0	15,0	13,1	98,34	38,0	60,3	0,77	84,6	
	-7						118,34	58,0	60,3	0,77	104,6	
10	-7,00	Zand, vast	19,0	21,0	35,0	31,3	118,34	58,0	60,3	0,48	87,0	
	-10						181,34	88,0	93,3	0,48	132,8	
	-10,00						181,34	88,0	93,3	1,00	181,3	



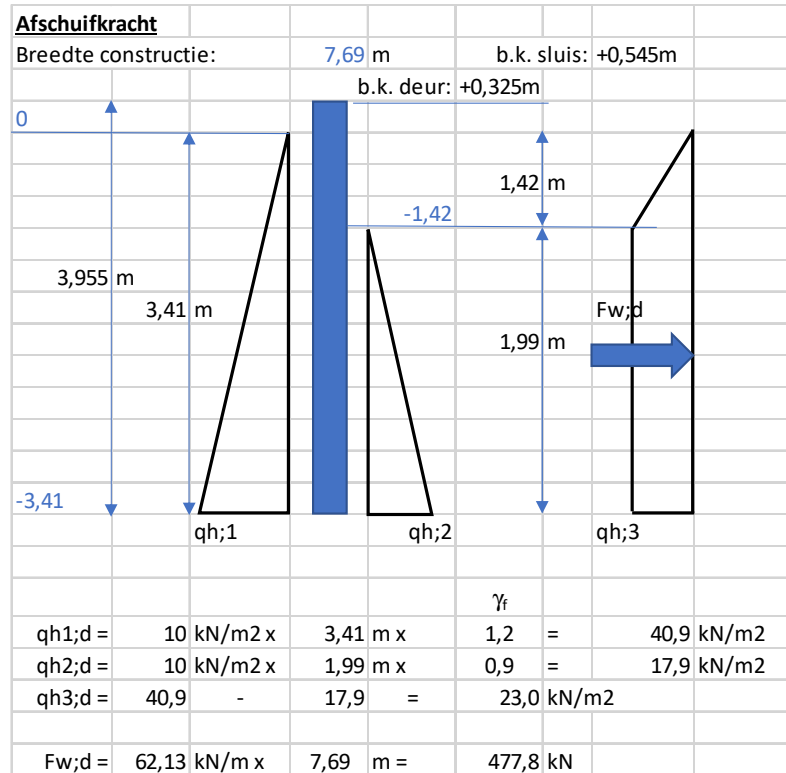
Figuur 10 Berekening gronddruk + toetsing afschuifsterkte

Het metselwerk heeft voldoende weerstand om afschuiving tegen te gaan.



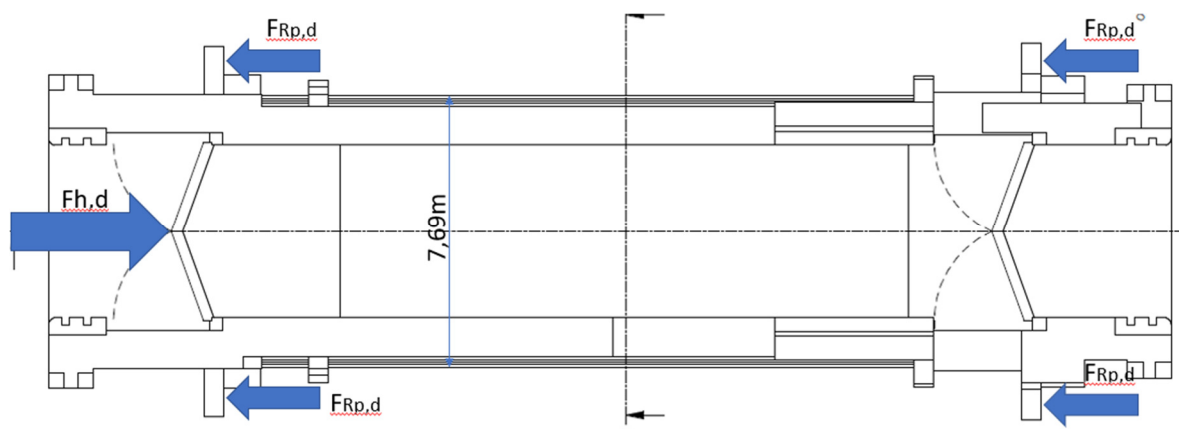
9.2.3 Afschuiving van de sluis in lengte richting

De afschuifkracht wordt veroorzaakt door het waterstandsverschil tussen de boven- en benedenstroomse zijde.



Figuur 12 Berekening afschuifkracht

Deze kracht wordt opgenomen door de passieve grondruk achter de vier gemetselde vertandingen aan de buitenzijde van de kolkwand:

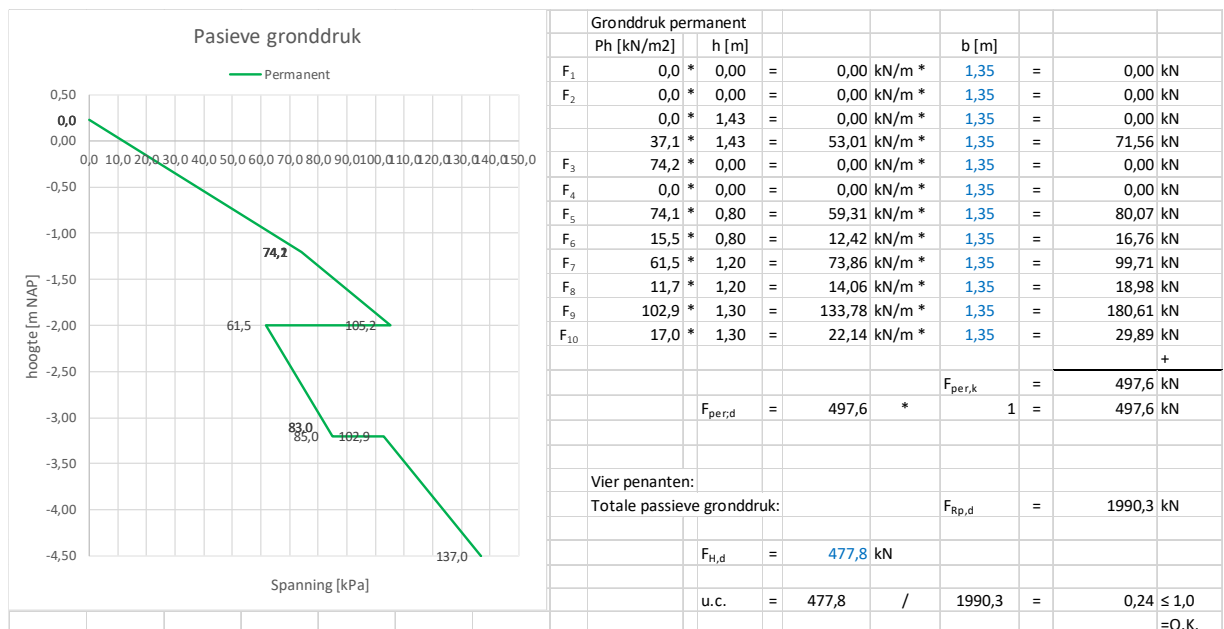


Figuur 13 Opname afschuifkracht door passieve grondruk



Bepaling passieve gronddruk:

Berekening grondspanningen												
Uitgangspunten												
Gebuurte sondering		G10-43				γ_M	1,15	[-]				
Grondwaterstand	GWS	-1,2	m NAP	Bims	0	m			0,23	m NAP		
Volumiek gewicht water	γ_{water}	10,0	kN/m ³									
Bovenbelasting	Q_{boven}	0	kN/m ²									
Laag nr.	b.k./o.k. laag	grondsoort	γ_{droog}	γ_{nat}	Φ	Φ'_d	σ_{gr}	σ_w	$\sigma'_{v,z=0}$	Kp	Ph	Ph
1	0,23	Zand droog					0,00	0,0	0,0	2,88	0,0	0,0
	0,23		18,0	20,0	32,5	29,0	0,00	0,0	0,0	2,88	0,0	0,0
2	0,23	zand, droog					0,00	0,0	0,0	2,88	0,0	0,0
	-1,20		18,0	20,0	32,5	29,0	25,74	0,0	25,7	2,88	74,1	74,1
3	-1,20	zand, nat					25,74	0,0	25,7	2,88	74,2	74,2
	-1,2		18,0	20,0	32,5	29	25,74	0,0	25,7	2,88	74,2	74,2
4	-1,2	Zand, nat					25,74	0,0	25,7	2,88	74,1	74,1
	-2		18,0	20,0	32,5	29,0	41,74	8,0	33,7	2,88	105,2	97,2
5	-2,00	Klei, matig vast, organisch					41,74	8,0	33,7	1,59	61,5	53,5
	-3,1		15,0	16,0	15,0	13,1	59,34	19,0	40,3	1,59	83,0	64,0
6	-3,10	Klei, matig vast, organisch					59,34	19,0	40,3	1,59	83,0	64,0
	-3,2		15,0	16,0	15,0	13,1	60,94	20,0	40,9	1,59	85,0	65,0
7	-3,20	Klei, matig vast					60,94	20,0	40,9	2,03	102,9	82,9
	-4,5		18,0	18,0	22,5	19,8	84,34	33,0	51,3	2,03	137,0	104,0
8	-4,50	Klei, matig vast					84,34	33,0	51,3	2,03	137,0	104,0
	-5		18,0	18,0	22,5	19,8	93,34	38,0	55,3	2,03	150,1	112,1
9	-5,00	Veen, matig vast					93,34	38,0	55,3	1,59	125,8	87,8
	-7		10,0	10,0	15,0	13,1	113,34	58,0	55,3	1,59	145,8	87,8
10	-7,00	Zand, vast					113,34	58,0	55,3	3,17	233,3	175,3
	-10		19,0	21,0	35,0	31,3	176,34	88,0	88,3	3,17	367,8	279,8
	-10,00						176,34	88,0	88,3	1,00	176,3	88,3

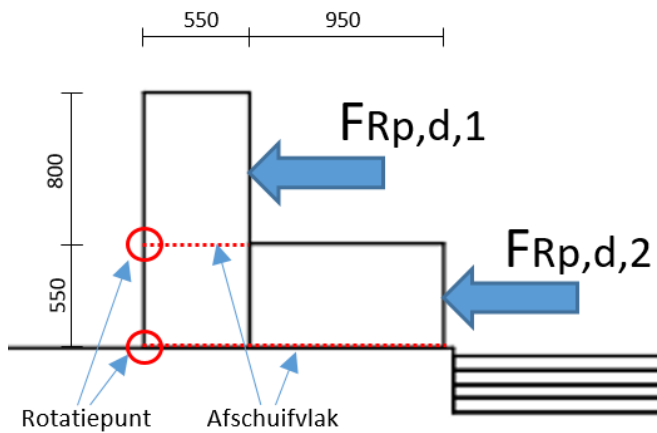


Figuur 14 Berekening passieve gronddruk

Elk penant moet worden getoetst op afschuiving en buigtrek voor de reactiekracht afkomstig van de passieve grondruk. Het betreft hier buigtrek loodrecht op de lintvoegen. De buigtrek die door de keerwand kan worden opgenomen volgt uit [21]. De waarde voor de karakteristieke buigtreksterkte bedraagt 0,441 N/mm². Per penant moet een kracht van 477,8 kN / 4 penanten is 119,5 kN worden



opgenomen. Omdat de vertanding twee breedtes heeft zijn er ook twee afschuifvlakken die getoetst moeten worden.



Figuur 15 Horizontale doorsnede metselwerkpenant

Het penant bestaat uit twee losse vertandingen. Hierdoor heeft het penant twee verschillende breedtes. Door de hoge stijfheid van het brede deel kan dit deel meer belasting opnemen. De belasting wordt verdeeld over het oppervlak aan de hand van de stijfheidsverhouding EI . Omdat de elasticiteit gelijk is wordt de belasting verdeeld aan de hand van de verhouding in traagheidsmoment.

gemetselde vertanding					
	Per penant		$F_{Rp,d}$	=	119,4 kN
				=	26,54 kN/m
I_1	=	1,386E+10 mm ⁴			14 %
I_2	=	8,531E+10 mm ⁴			86 %
A_1	=	1000 * 800	=	800000 mm ²	
A_2	=	1000 * 550	=	550000 mm ²	
$F_{Rp,d} = 0,14 * A_1 * q_1 + 0,86 * A_2 * q_2$					
$q_1 + q_2$	=	45,37 kN/m ²			
q_1	=	0,14 * 45,37	=	6,34 kN/m ²	
q_2	=	0,86 * 45,37	=	39,03 kN/m ²	
$F_{Rp,d,1}$	=	6,34 * 0,8	=	5,1 kN/m	
$F_{Rp,d,2}$	=	39,03 * 0,55	=	21,5 kN/m	
M_{d1}	=	5,1 * 0,4	=	2,0 kNm	
M_{d2}	=	21,5 * 0,275	+		
		5,1 * 0,95	=	10,7 kNm	

Figuur 16 Berekening moment t.g.v. afschuifkracht



Afschuifvlak 1						
$F_{Rp,d,1}$	=	5,1	kN			
Afschuiving						
A_s	=	1000	*	550	=	550000 mm ²
$\tau_{Ev;d}$	=	5075	/	550000	=	0,009 N/mm ²
f_{vk}	=	0,441	N/mm ²			
f_{vd}	=	0,441	/	1,8	=	0,245 N/mm ²
u.c.	=	0,009	/	0,245	=	0,04 ≤ 1,0 =O.K.
Buigtrek						
M_d	=	2,0	kNm			
W_y	=	1/6 *	1000 *	550 ^2	=	50416667 mm ³
σ_{Ed}	=	2029839	/	5,0E+07	=	0,040 N/mm ²
f_{xk2}	=	0,441	N/mm ² loodrecht op lintvoegen			
$f_{xk2,d}$	=	0,4	/	1,8	=	0,25 N/mm ²
u.c.	=	0,040	/	0,25	=	0,16 ≤ 1,0 =O.K.

Figuur 17 Toetsing afschuiving en buigtrek



Afschuifvlak 2						
$F_{Rp,d,2}$	=	21,5	kN			
Afschuiving						
A_s	=	1000	*	1500	=	1500000 mm ²
$\tau_{Ev;d}$	=	26542	/	1500000	=	0,018 N/mm ²
f_{vk}	=	0,441	N/mm ²			
f_{vd}	=	0,441	/	1,8	=	0,245 N/mm ²
u.c.	=	0,018	/	0,245	=	0,07 ≤ 1,0
						=O.K.
Buigtrek						
M_d	=	10,7	kNm			
W_y	=	1/6 *	1000 *	550 ^2	=	50416667 mm ³
W_y	=	1/6 *	1000 *	950 ^2	=	150416667 mm ³
σ_{Ed}	=	10724413	/	2,0E+08	=	0,053 N/mm ²
f_{xk2}	=	0,441	N/mm ² loodrecht op lintvoegen			
$f_{xk2,d}$	=	0,4	/	1,8	=	0,25 N/mm ²
u.c.	=	0,053	/	0,25	=	0,22 ≤ 1,0
						=O.K.

Figuur 18 Toetsing afschuiving en buigtrek



9.2.4 Toetsing opdrijven tijdens onderhoudsfase

In de onderhoudsfase kan de gehele sluis volledig drooggezet worden door het plaatsen van de schotbalken in het boven- en benedenhoofd. Als de sluis is drooggezet verplaatst de sluis een hoeveelheid grondwater die gelijk is aan het verplaatst watervolume van onderzijde sluis tot het grondwaterniveau. Het gewicht van dit verplaatste water is gelijk aan de opwaartse kracht die de sluis ondergaat. Indien het eigen gewicht van de sluis groter is dan het gewicht van het verplaatste water zal de sluis niet opdrijven tijdens de onderhoudsfase.

Dit onderdeel wordt getoetst met de volgende belastingfactoren:

Permanente belasting eigen gewicht (gunstig) : $\gamma_{f,g} = 0,9$

Permanente belasting waterdruk (ongunstig) : $\gamma_{f,q} = 1,2$

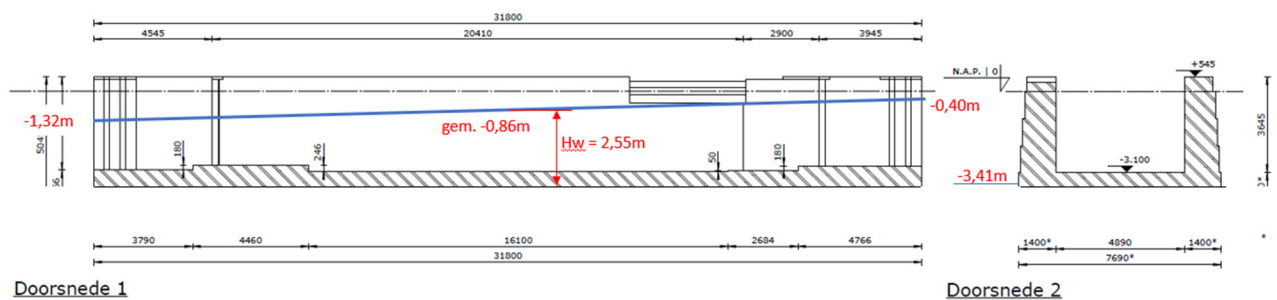
Volume metselwerk totaal: $V = 424 \text{ m}^3$

Eigen gewicht sluis:

$$F_{Gk} = 20 \text{ kN/m}^3 \times 424 \text{ m}^3 = 8.480 \text{ kN}$$

$$F_{Gd} = 8.480 \text{ kN} \times 0,9 = 7.632 \text{ kN}$$

Verplaatst watervolume:



Doorsnede 1
 Figuur 19 Langs- en dwarsdoorsnede sluis

Oppervlak sluis: $A = 31,8\text{m} \times 7,69\text{m} = 244,5 \text{ m}^2$

Opdrijfkracht: $F_{opw,d} = 10 \text{ kN/m}^3 \times 244,5\text{m}^2 \times 2,55\text{m} \times 1,2 = 7.482 \text{ kN}$

u.c. = $7.482 / 7.632 = 0,98 \leq 1,0 = \text{O.K.}$



Conclusie:

Tijdens onderhoud dient de grondwaterstand rondom de sluis te worden verlaagd naar -1,81m NAP en dienen er twee lagen big bags (op elkaar gestapeld) in het midden van de kolk te worden geplaatst, over de gehele lengte van de sluis.

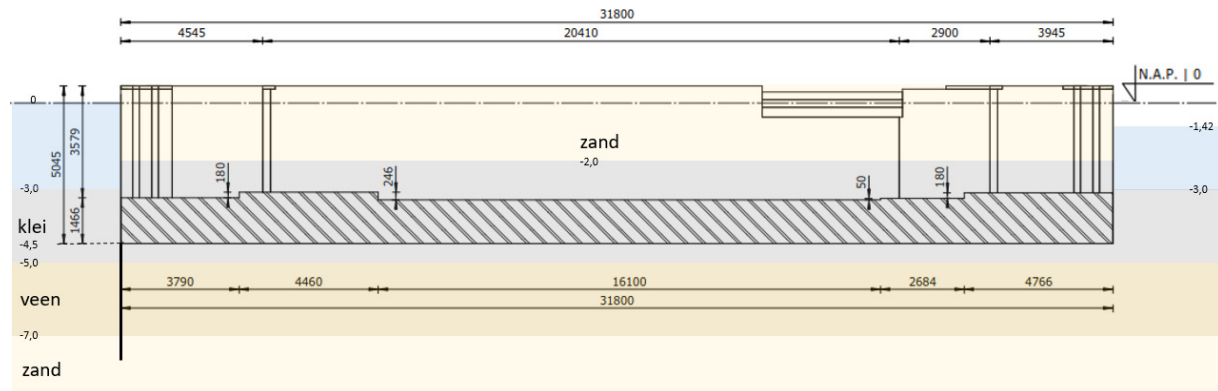


9.2.6 Sterkte van de waterkerende constructieonderdelen

De waterkerende constructieonderdelen worden volledig vernieuwd (sluisdeuren en kwelscherm) en zullen hiermee voldoen aan de vigerende normen.

9.2.7 Piping en Heave

De constructie wordt getoetst op piping en heave volgens [17].



Figuur 20 Langsdoorsnede sluis met grondlagen

Gegevens		
H_1 = Waterniveau bovenstrooms		0 [mNAP]
H_2 = Waterniveau benedenstrooms		-1,42 [mNAP]
ΔH = verval		1,42 [m]
h_1 = Bodemniveau bovenstrooms		-3 [mNAP]
h_2 = Bodemniveau benedenstrooms		-3 [mNAP]
$h_{o,c}$ = Niveau onderkant constructie		-4,5
ρ = dichtheid water		1000 [kg/m ³]
γ = Soortelijk gewicht klei		15 [kN/m ³]
γ_v = Soortelijk gewicht veen		10 [kN/m ³]
γ_w = Soortelijk gewicht water		9,81 [kN/m ³]
γ_s = Soortelijk gewicht zandlaag droog		18 [kN/m ³]
d = dikte kleilaag		3 [m]
d = dikte veenlaag		2 [m]
g = gravitatieversnelling		9,81 [m/s ²]
L_v = Kwelweglengte vericaal		3 m
L_c = lengte constructie		31,8 [m]
B_c = Breedte constructie		8,89 [m]
C_c = Lane grondconstante klei/veenlaag		7 [-]

Figuur 21 Input parameters t.b.v. berekening piping en heave



9.2.7.1 Heave

De klei en veen laag worden getoetst op opbarsten. Opbarsten treed op als de stijghoogte in de zandlaag onder de veenlaag te hoog wordt. Hierdoor wordt de opwaartse druk hoger dan het gewicht van de bovenliggende lagen.

Als stijghoogte van de zandlaag wordt de bovenstrooms waterniveau aangehouden. Aan de bovenkant van de kleilaag is het de benedenstroomse waterhoogte.

Opbarsten veen/klei											
i_{crit}	Kritiek uitree verhang < 0,5									0,4733	[-]
σ_w	Opwaartse druk									13,9	[kg/m ³]
σ_v	Neerwaartse druk									65,0	[kg/m ³]
γ_b	veiligheidsfactor									1,2	[-]
$\sigma_w / \sigma_w \geq 1,2 \cdot \gamma_b$										4,7	$\geq$ 1,44 [-]
	voldoet										

Figuur 22 Toetsing heave



9.3 Betrouwbaarheid sluiting

De sluiting wordt volledig vernieuwd en zal hiermee voldoen aan de vigerende normen.

Het sluitingsprotocol wordt door de ontwerper van de automatische bediening opgesteld: Bosch Rexroth te Boxtel.



10 SCHUTTIJD SLUISKOLK

De schuttijd van de sluiskolk hangt af van het waterstandsverschil, het volume van de schutkolk, de afmetingen van de rinketschuiven en de snelheid waarmee de rinketschuiven worden geopend of gesloten. In dit hoofdstuk wordt berekend wat de benodigde tijd is om de schutkolk te vullen of te legen bij de maatgevende waterstanden en uitgaande van dezelfde rinketafmetingen als de originele sluisdeuren. De eis van de Gemeente is om 3x per uur te kunnen schutten zodat er een vlotte afhandeling van het sloepverkeer plaatsvindt.



Hydraulische berekeningen schutsluis

Sluis "De Krijgsman" te Muiden

Maximaal peilverschil

Invoer

Waterpeilen

Peil bovenstrooms t.ov. NAP -0,2 [m]
Peil schutkolk (initieel) -1,17 [m]

Gegevens rinketten

Breedte 0,7 [m]
Hoogte 0,7 [m]
Aantal 1 [-]
o.k. opening (t.o.v. NAP) -2,46 [m]
Heftijd 120 [s]
Afstand tot stopstreep 3,2 [m]
Breedtespreiding 60% [%]

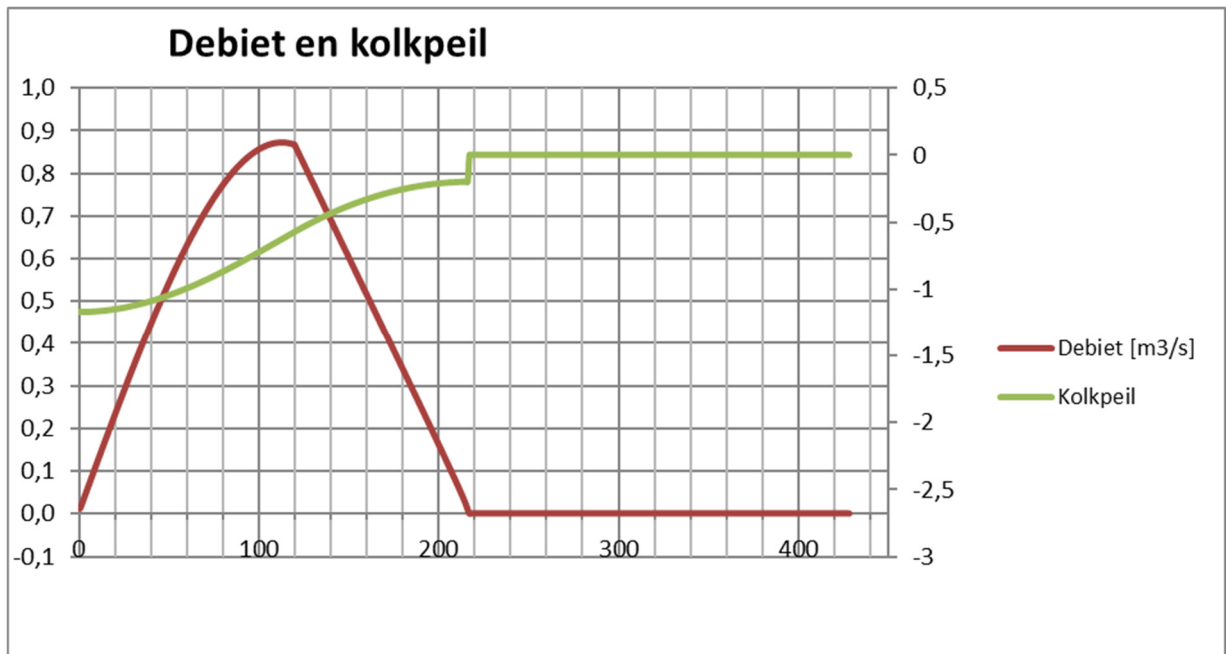
Gegevens kolk

Bodemniveau (NAP) -3,0 [m]
Kolkbreedte 4,9 [m]
Kolk lengte 23,3 [m]

Algemeen

Afvoercoëfficiënt (m) 0,65 [-]
g 9,81 [-]
rho 1000 [kg/m³]
Vormcoëfficiënt boeg [-]

Initiële verschilhoogte (ΔH) 0,97 m



Vul- leegtijd = 216 sec. = 3,6 min.



Totale schuttijd, uitgaande van gemiddeld 3 sloepen per schut:

Invaartijd per sloep: 1 min., voor 3 sloepen 3 min.

Uitvaartijd per sloep: 40 sec., voor 3 sloepen 2 min.

- | | | |
|----|-------------------------|----------------------|
| 1. | Start bediening | |
| 2. | Invaren sloepen | t = 3 min. |
| 3. | Sluiten sluisdeuren bih | t = 1 min. |
| 4. | Nivelleren kolk | t = 3,6 min. |
| 5. | Openen sluisdeuren buh | t = 1 min. |
| 6. | Uitvaren sloepen | t = 2 min. |
| 7. | Sluiten sluisdeuren buh | t = 1 min. |
| 8. | Nivelleren kolk | t = 3,6 min. |
| 9. | Openen sluis deuren bih | t = 1 min. |
| | Totaal | t = 16,2 min. |

3,7 x schutten per uur mogelijk.



11 BEPALING CILINDERKRACHTEN

De cilinderkracht die benodigd is voor het openen en sluiten van de sluisdeur is afhankelijk van de volgende onderdelen:

1. Snelheid openen en sluiten (weerstand t.g.v. stroming)
2. Geometrie en gewicht van de sluisdeur
3. Afstand rotatiepunt deur tot scharnierpunt cilinder
4. Weerstand van de scharnierpunten (halsbeugel en taatspen)

11.1 Horizontaalmoment t.g.v. stroming

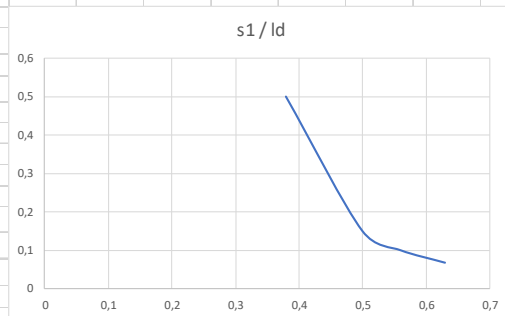
Uit "Krachten op puntdeuren en enkele draaideuren" Verslag onderzoek in opdracht van Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Mei 1994, door Waterloopkundig Laboratorium (rapport Q1442).

Lengte deur	2,6	m			§ 5.2 - Versnelling en vertraging deur						
Breedte deur	0,27	m			$M_d = I_d d^2 \phi / dt^2$		8,8	Nm			
Massa deur	8,3	kN			$I_s = 1/3 \cdot m_d \ell_d^2$		1906	kg/m ²			
	846	kg									
Versnellingstijd	5	s			Begin openen of einde sluiten / stroming in verticaal vlak						
Constante snelheid	50	s			$M_a = a_a \cdot d^2 \phi / dt^2$		436	Nm		vergelijking 6.10	
Vertragingstijd	5	s	alleen hele seconden		$a_a = 1/3 \cdot \rho \cdot a_v' \cdot (h_k - z_d)^2 \ell_d^3$		36327	kgm ²		vergelijking 6.11	
Eindsnelheid	0,06	m/s	uiteinde deur								
	0,0231	rad/s			h_k	-0,2	m NAP	waterstand			
Draaihoek deur	70	graden			z_d	-2,984	m NAP	niveau onderkant deur			
	1,22173	rad			z_k	-3,034	m NAP	niveau bodem			
					ρ	1000	kg/m ³	dichtheid water			
Versnelling	0,012	m/s ²									
	0,0046	rad/s ²			$b_d / (h_k - z_k)$	0,095	[-]				
Vertraging	-0,012	m/s ²			$(z_d - z_k) / (h_k - z_k)$	0,018	[-]				
	-0,0046	rad/s ²			a_v'	0,8	verticaal, handmatig in volgende sheet				
Af te leggen afstand	3,176	m									
lengte kolk	20	m									
breedte kolk	4,89	m									
lengte sluishoofd	4	m									
breedte sluishoofd	5,38	m									
diepte deurkas	0,35	m									



Deur gedeeltelijk open, stroming in horizontaal vlak				Min _{1,2}	
$M_a = a_a \cdot d^2 \phi / dt^2$	458	Nm	vergelijking 6.10	436	Nm
$a_a = \rho \cdot a_h' \cdot (h_k - z_d) \ell_d^4$	38167	kgm ²	vergelijking 6.12		
s_1	2,443	m	spleet deurtip / wand (deur gedeeltelijk open of dicht)		
s_2	0,080	m	afstand kaswand tot geopende deur (deur geopend)		
s_3	0,350	m	afstand deurtip tot kas (deur vrijwel geopend)		
s_1 / ℓ_d	0,940	[-]			
a_h'	0,30	horizontaal, handmatig in volgende sheet			
Einde openen en begin sluiten (deur vrijwel geopend), stroming in verticaal vlak					
$M_a = a_a \cdot d^2 \phi / dt^2$	872	Nm	vergelijking 6.10	872 Nm =	0,872 kNm
$a_a = 1/3 \cdot \rho \cdot a_v' \cdot (h_k - z_d)^2 \ell_d^3$	72654	kgm ²	vergelijking 6.11		
$b_d / (h_k - z_d)$	0,097	formule komt niet terug in tabel 6.3?			
$(z_d - z_k) / (h_k - z_d)$	0,018				
$s_2 / (h_k - z_d)$	0,029				
a_v'	1,60	verticaal, handmatig in volgende sheet			
Einde openen en begin sluiten (deur vrijwel geopend), stroming in horizontaal vlak					
$M_a = a_a \cdot d^2 \phi / dt^2$	1069	Nm	vergelijking 6.10	872	Nm
$a_a = \rho \cdot a_h' \cdot (h_k - z_d) \ell_d^4$	89055	kgm ²	vergelijking 6.12		
b_d / ℓ_d	0,104				
s_2 / ℓ_d	0,031				
s_3 / ℓ_d	0,135				
a_h'	0,70	horizontaal, handmatig in volgende sheet			

Tabel 6.1								
$b_d / (h_k - z_k)$	$(z_d - z_k) / (h_k - z_k)$	a_v'		$b_d / (h_k - z_k)$	0,095			
0,1	0,200	0,70		$(z_d - z_k) / (h_k - z_k)$	0,018			
0,1	1,170	0,72						
0,1	0,050	0,80						
0,1	0,001	1,09	a_v'	0,8				
0,2	0,200	0,73						
0,2	1,170	0,76						
0,2	0,050	0,85						
0,2	0,001	1,09						
Tabel 6.2								
s_1 / ℓ_d	a_h'		s_1 / ℓ_d	0,940				
0,5	0,38		a_h'	0,30				
0,15	0,5							
0,1	0,56							
0,067	0,63							
Tabel 6.3								
$(z_d - z_k) / (h_k - z_d)$	$s_2 / (h_k - z_d)$	a_v'	$(z_d - z_k) / (h_k - z_d)$	0,018				
0,13	1,35	0,70	$s_2 / (h_k - z_d)$	0,029				
0,13	0,17	1,06						
0,13	0,13	1,21	a_v'	1,60				
0,13	0,09	1,52						
0,09	1,35	0,73						
0,09	0,17	1,13						
0,09	0,13	1,29						
0,09	0,09	1,60						
Tabel 6.4								
b_d / ℓ_d	s_2 / ℓ_d	s_3 / ℓ_d	a_h'	b_d / ℓ_d	0,104			
0,10	0,20	0,30	0,69	s_2 / ℓ_d	0,031			
0,10	0,20	0,20	0,73	s_3 / ℓ_d	0,135			
0,20	0,20	0,30	0,77					
0,20	0,20	0,20	0,86	a_h'	0,70			





11.2 Horizontaal moment t.g.v. wrijving taats en halsbeugel

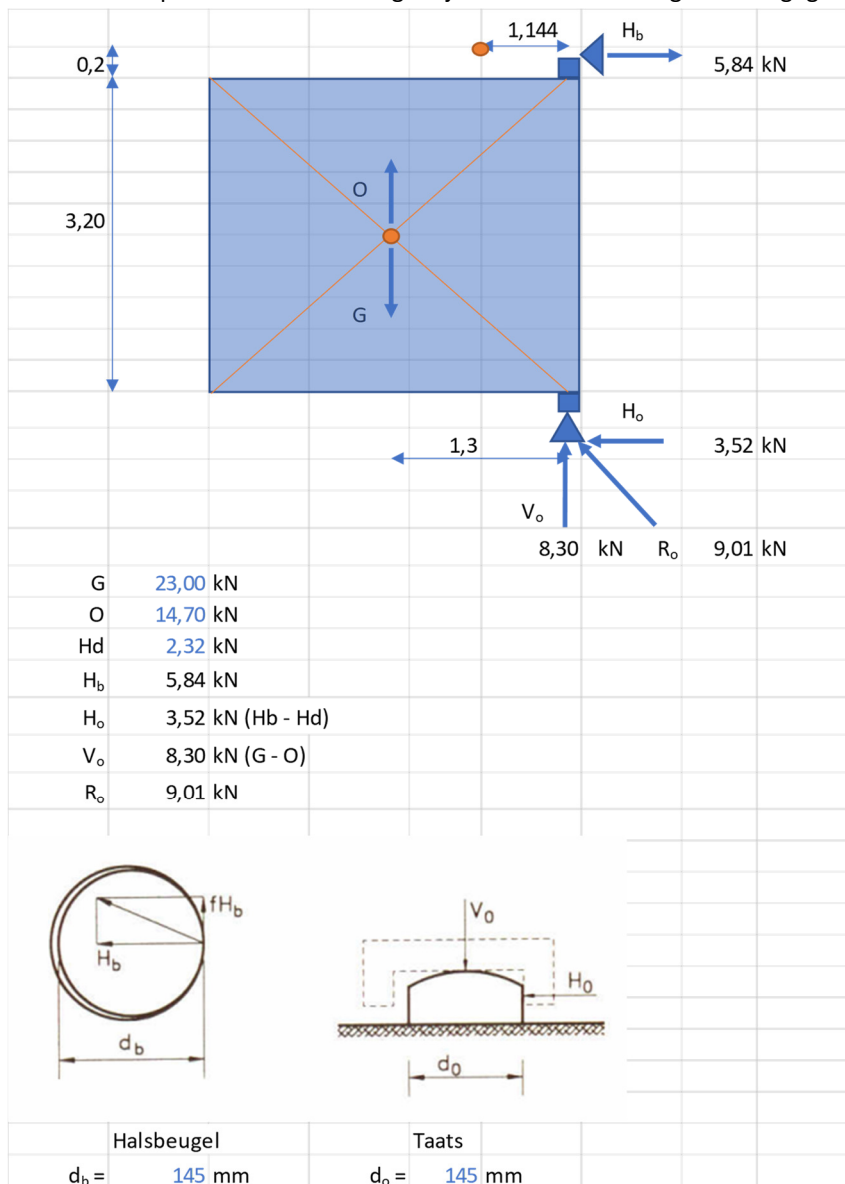
Het horizontaal moment is voor een groot deel afhankelijk van de wrijvingscoëfficiënt tussen staal op staal. Conservatief wordt er in dit stadium van het ontwerp gekozen voor “niet gesmeerd”: $f = 0,4$ [-].

De in de literatuur genoemde wrijving-coëfficiënten bedragen (staal op staal):

Gebruiksconditie	f
niet gesmeerd	0.3 à 0.4
soms gesmeerd	0.2
regelmatig gesmeerd	0.1
continu gesmeerd	0.05

Er worden halsbeugels of wentellagers (compact) als bovendraaipunt gebruikt. Het horizontaal moment door de wrijving is bij een wentellager beduidend lager dan bij een halsbeugel.

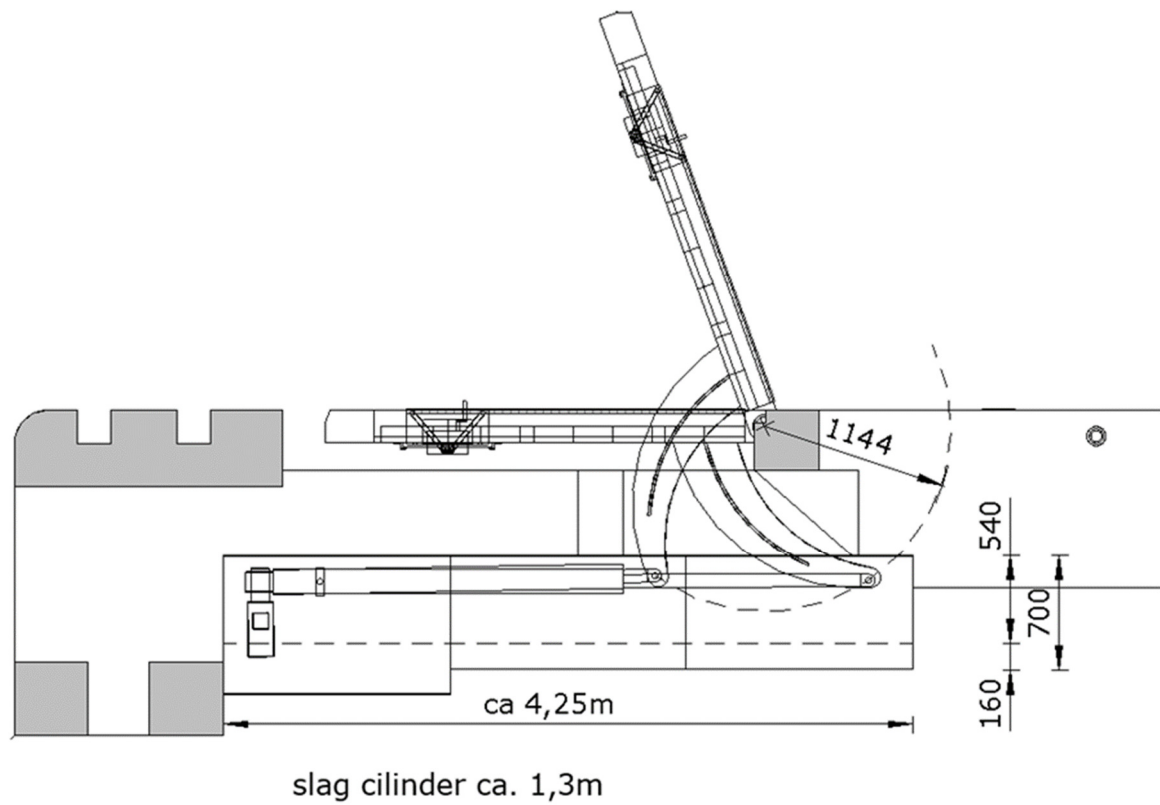
De krachten op de taats en halsbeugel zijn in onderstaande figuur weergegeven:





Horizontaal moment t.g.v. wrijving bij een halsbeugel (bovendraaipunt):						
$M_b = f_b \times H_b \times d_b / 2$						
Waarin:						
M_b = horizontale moment wrijving halsbeugel				0,532 kNm		
f_b = wrijvingscoefficient halsbeugel				0,4 [-]		
H_b = horizontale kracht op halsbeugel				5,84 kN		
O = omtrek halsbeugel				0,456 m		
Horizontaal moment t.g.v. wrijving bij de taats (onderdraaipunt):						
$M_o = f_o \times H_o \times d_o / 2$						
Waarin:						
M_o = horizontale moment wrijving taats				0,320 kNm		
f_o = wrijvingscoefficient taats				0,4 [-]		
H_o = horizontale kracht op taats				3,52 kN		
O = omtrek taats				0,456 m		
Horizontaal moment t.g.v. stroming:				$M_c =$	0,872 kNm	
Het moment van de bewegingscilinder om de draaiingsas moet meer zijn dan de som van de wrijvingsmomenten en stromingsmoment ($M_{current}$) om de deur in beweging te krijgen:						
$N_d \times e \geq M_b + M_o + M_c$						
Waarin: N_d = cilinderkracht loodrecht op deurvlak						
$M_b + M_o + M_c =$			1,72 kNm			
$e =$		1,114 m				
$N =$		1,5 kN				
$\gamma =$		1,5 [-] veiligheidsfactor				
$N_d =$		2,32 kN (maatgevende cilinderkracht)				

De benodigde cilinderkracht bedraagt 2,5 kN.



Figuur 24 afstand rotatiepunt deur tot scharnierpunt cilinder

De benodigde cilinderkracht bedraagt 2,5 kN.

1

Sondering

Bodemprofiel sondering G10-43

