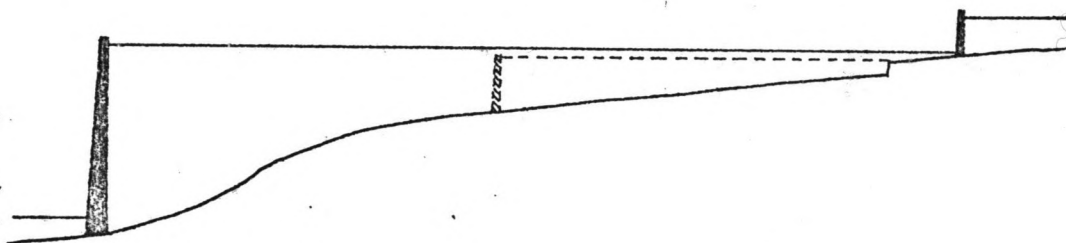


ONTWERP VAN EEN
STUW
IN DE NARMADA



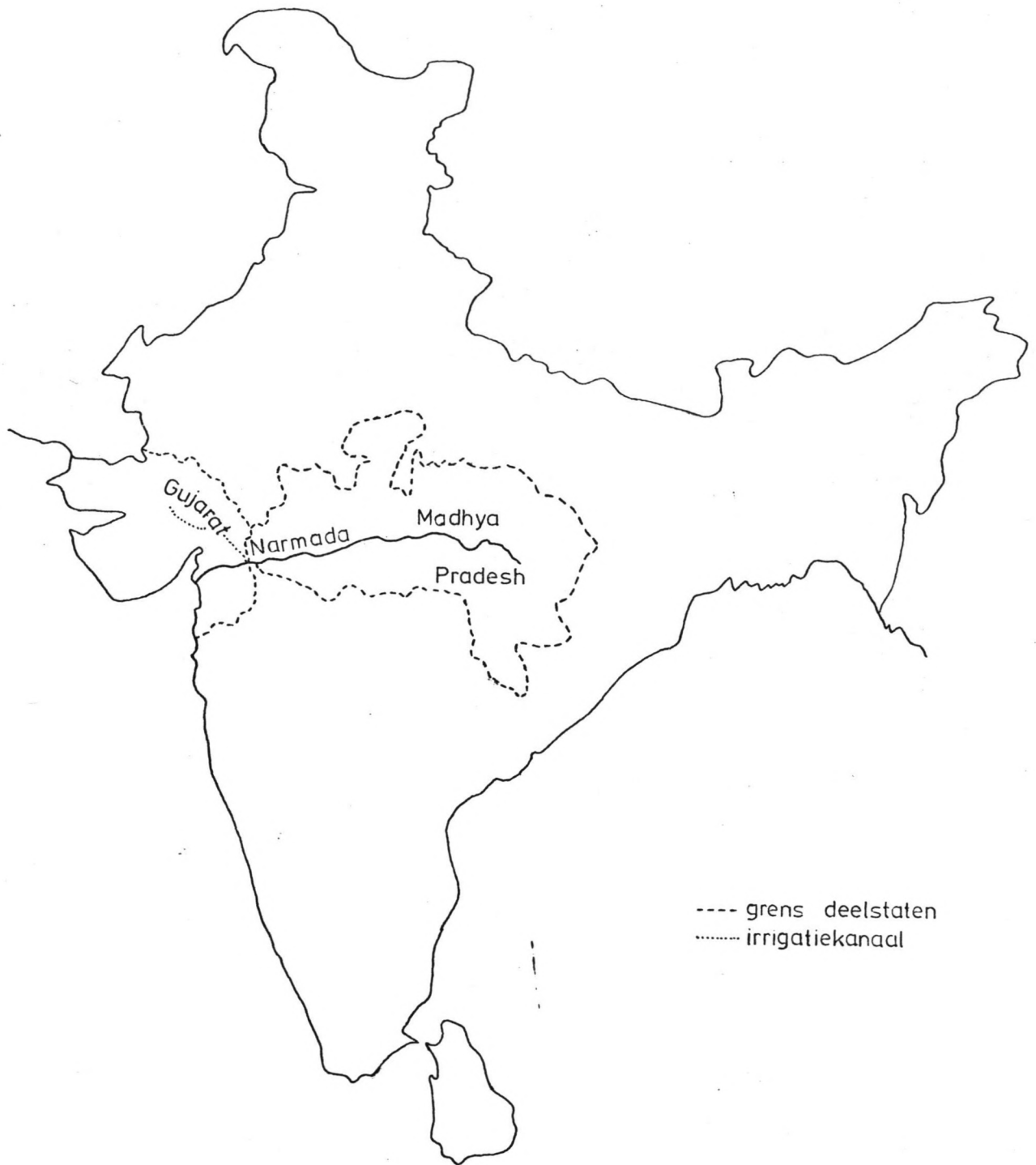
VAKGROEP
WATERBOUWKUNDE
Afd. Civiele Techniek
TH Delft

DEEL C: BIJLAGEN



P. Meijers

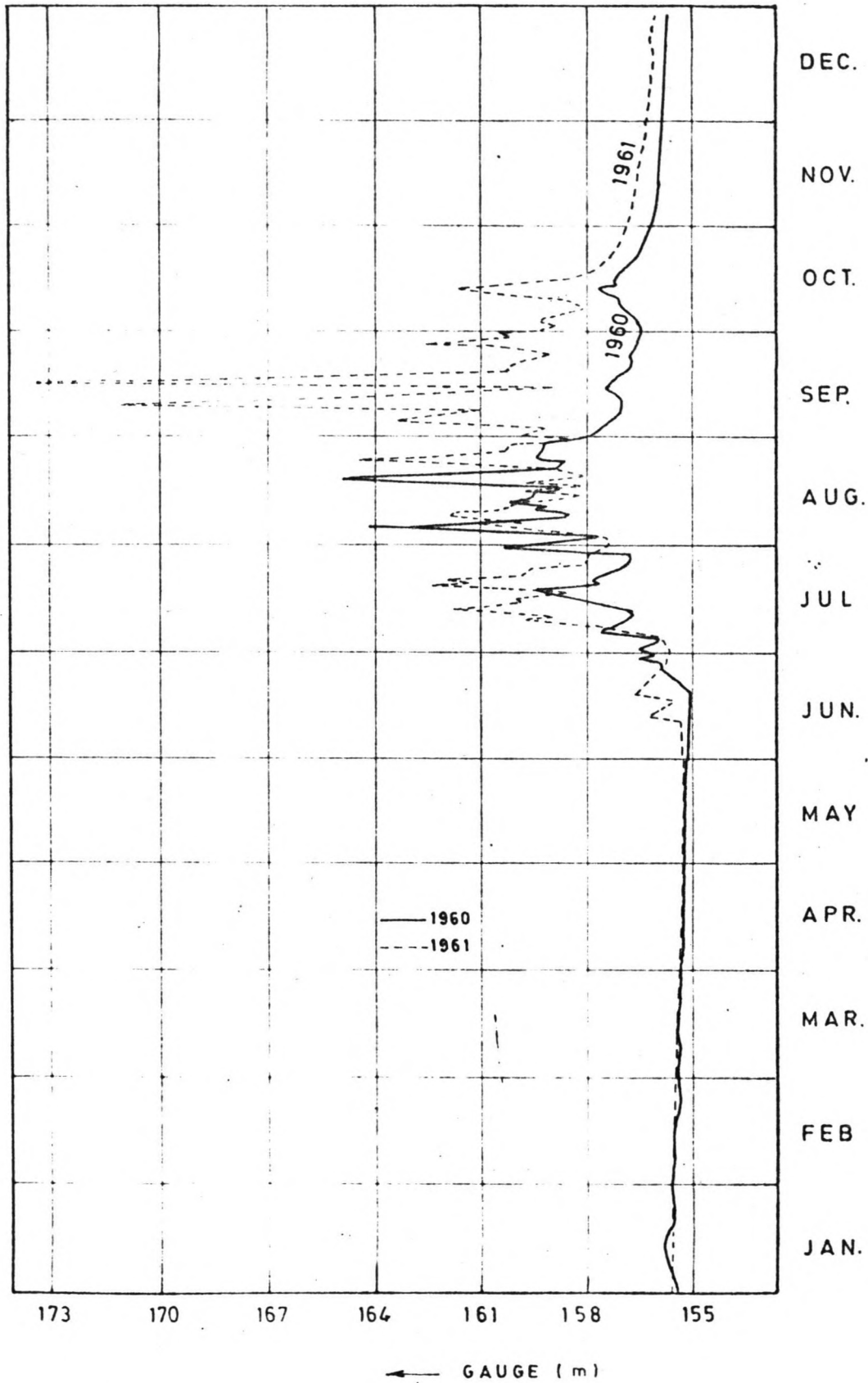
Afstudeerverslag T.H. Delft,
afdeling der civiele techniek,
vakgroep waterbouwkunde.
Afstudeerdocent: prof. ir. A. Glerum
Begeleider: ir. J. Schippers



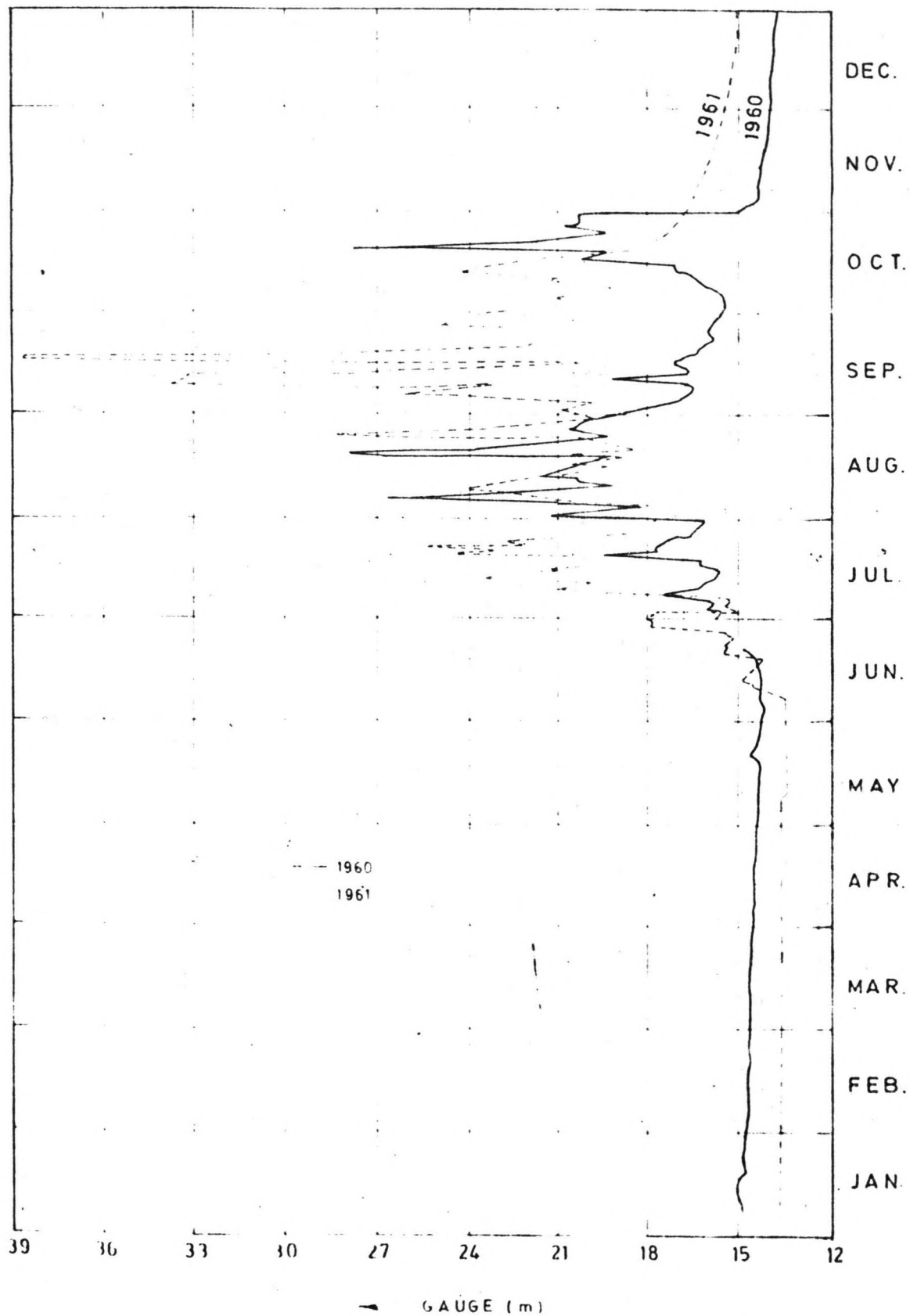
BIJLAGE 1: Kaart van India met ligging Narmada.

		dec.	jan.	feb.	maart	april	mei	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.
Mortakka (km. 902)	max.	300	226	155	121	119	57	680	4655	7882	10258	2742	735
	min.	57	45	55	39	20	16	21	697	834	1071	140	77
	gem.	161	122	90	62	51	33	143	2019	4367	3821	902	285
Punasa (km. 843)	gem.	177	121	91	68	51	33	103	2170	4618	4017	943	302
Gardeshwar (km. 1168)	max.	418	369	278	179	123	93	1709	4643	9609	12946	4385	837
	min.	53	44	36	25	16	11	13	716	1172	1454	462	77
	gem.	183	140	105	73	53	33	233	2029	4922	4927	1201	340

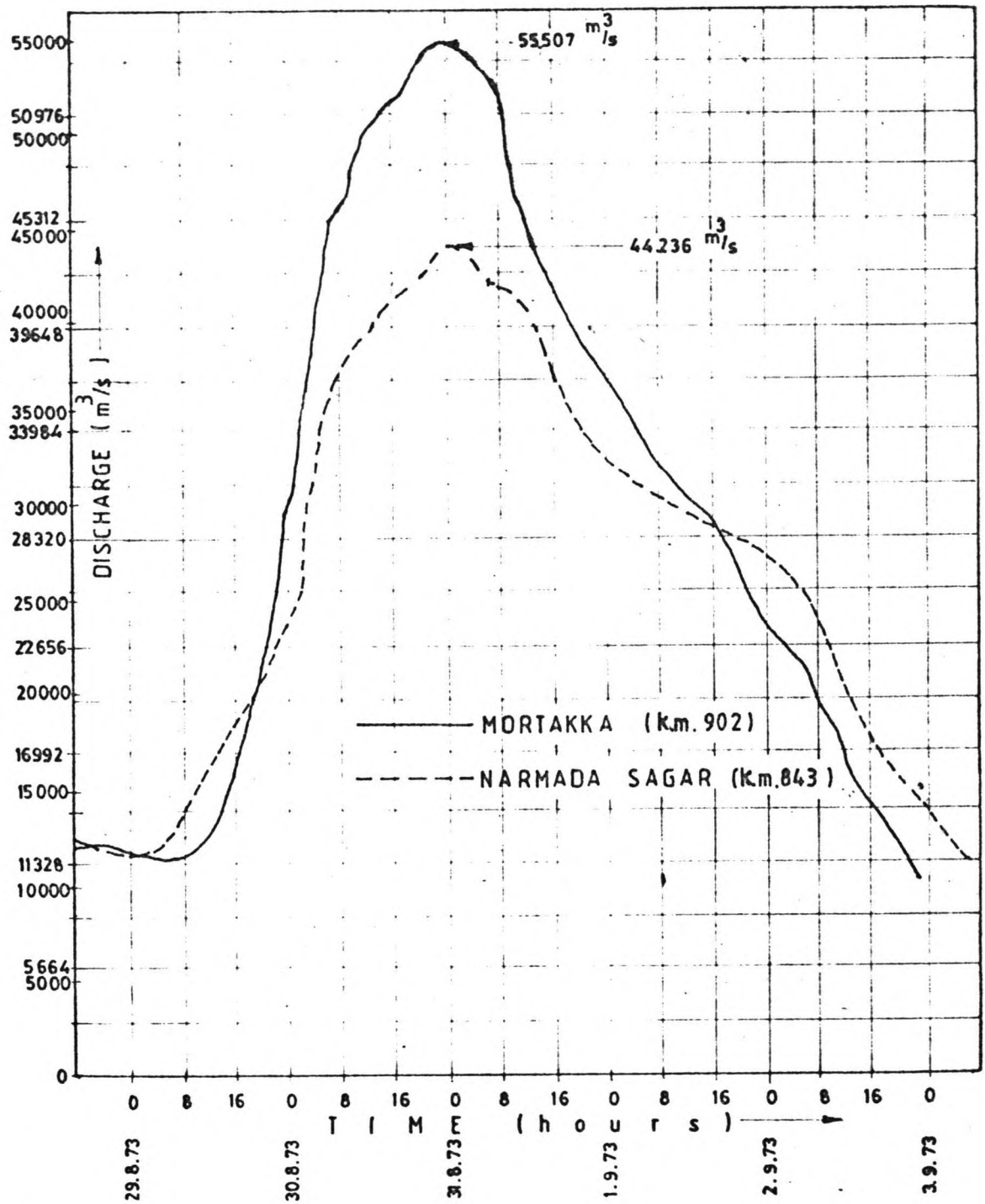
BIJLAGE 2: Afvoer bij Mortakka, Punasa en Gardeshwar in m³/s.



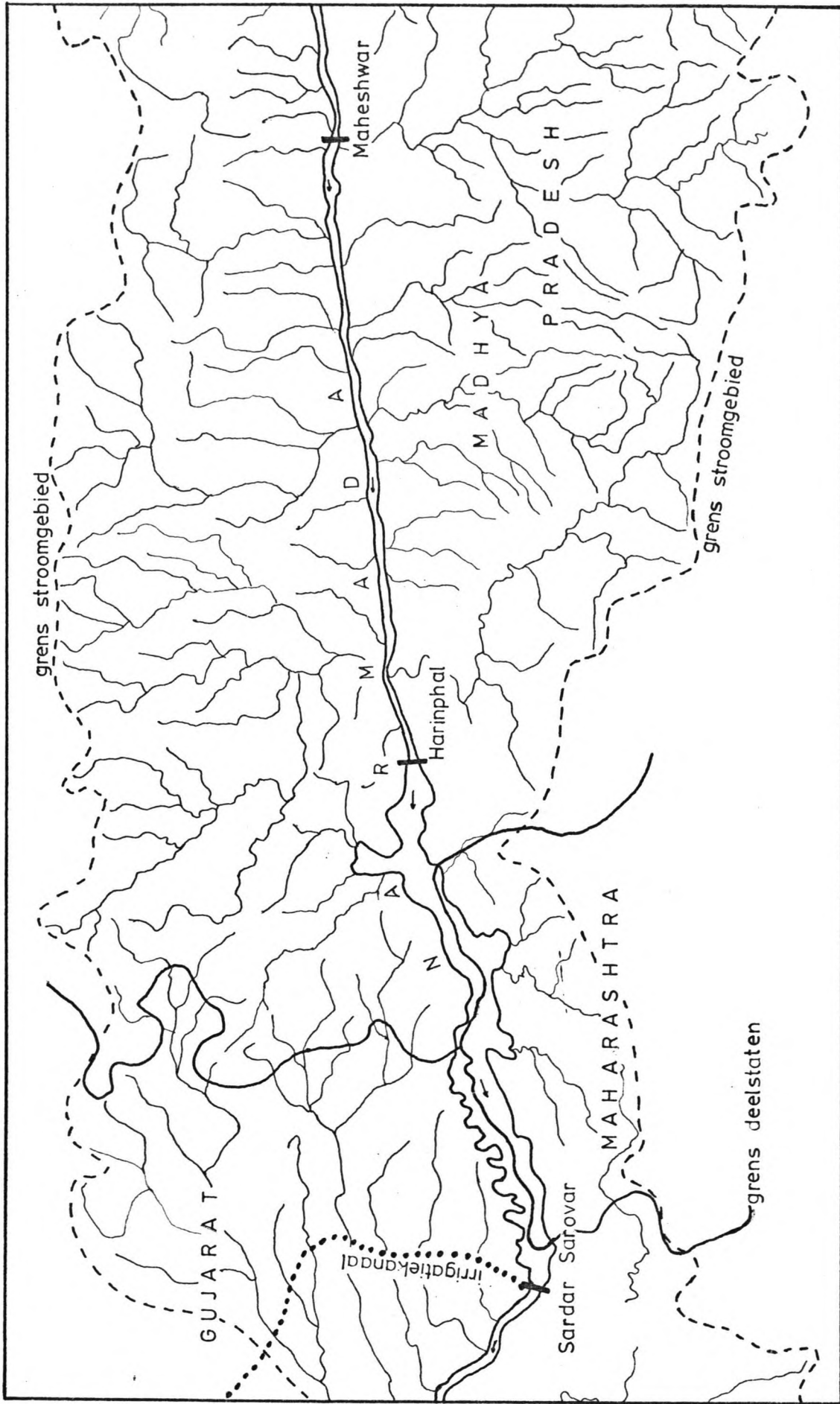
BIJLAGE 3: Afvoer bij Mortakka (km. 902).



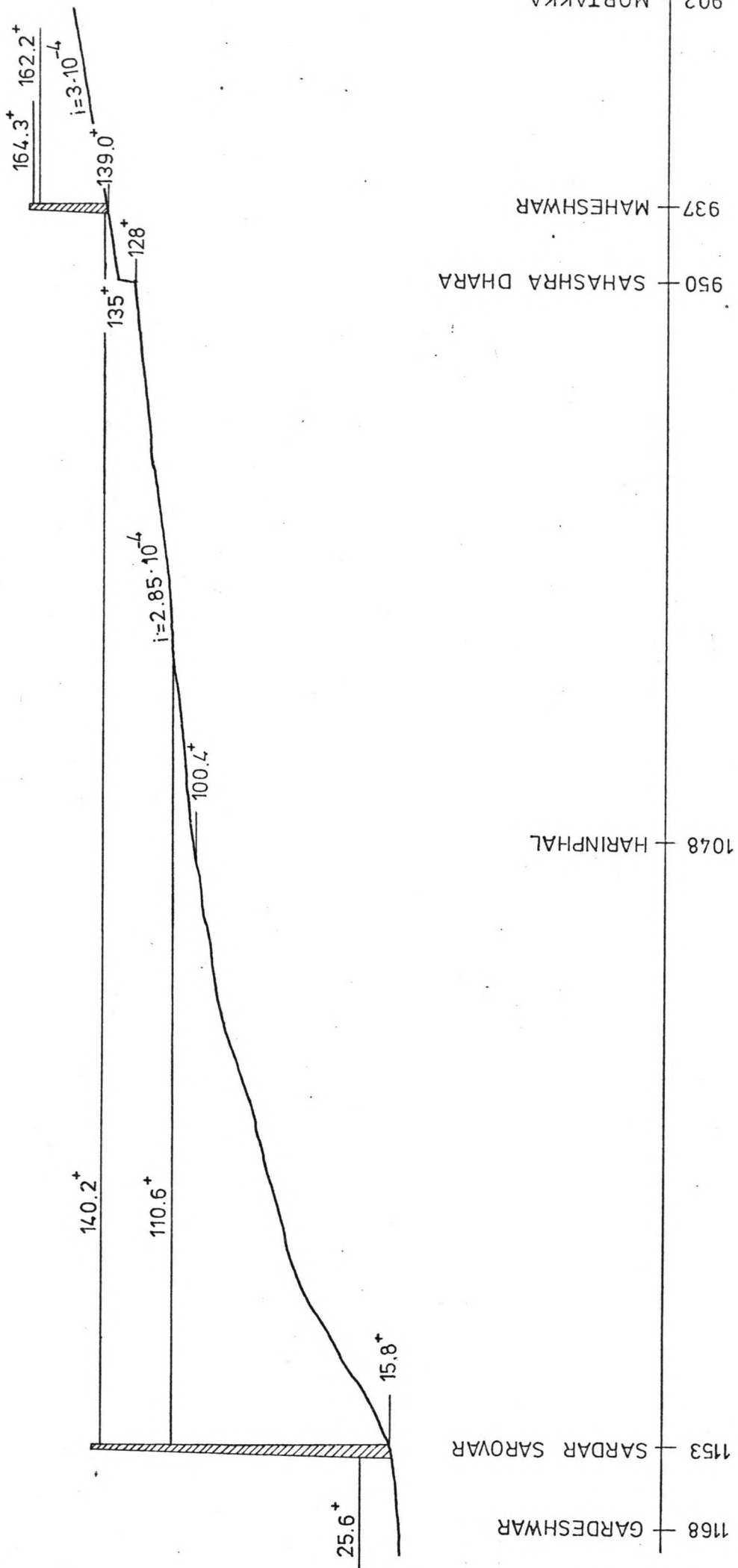
BIJLAGE 4: Afvoer bij Gardeshwar (km. 1168).



BIJLAGE 5: Gemeten hoogwatergolf.



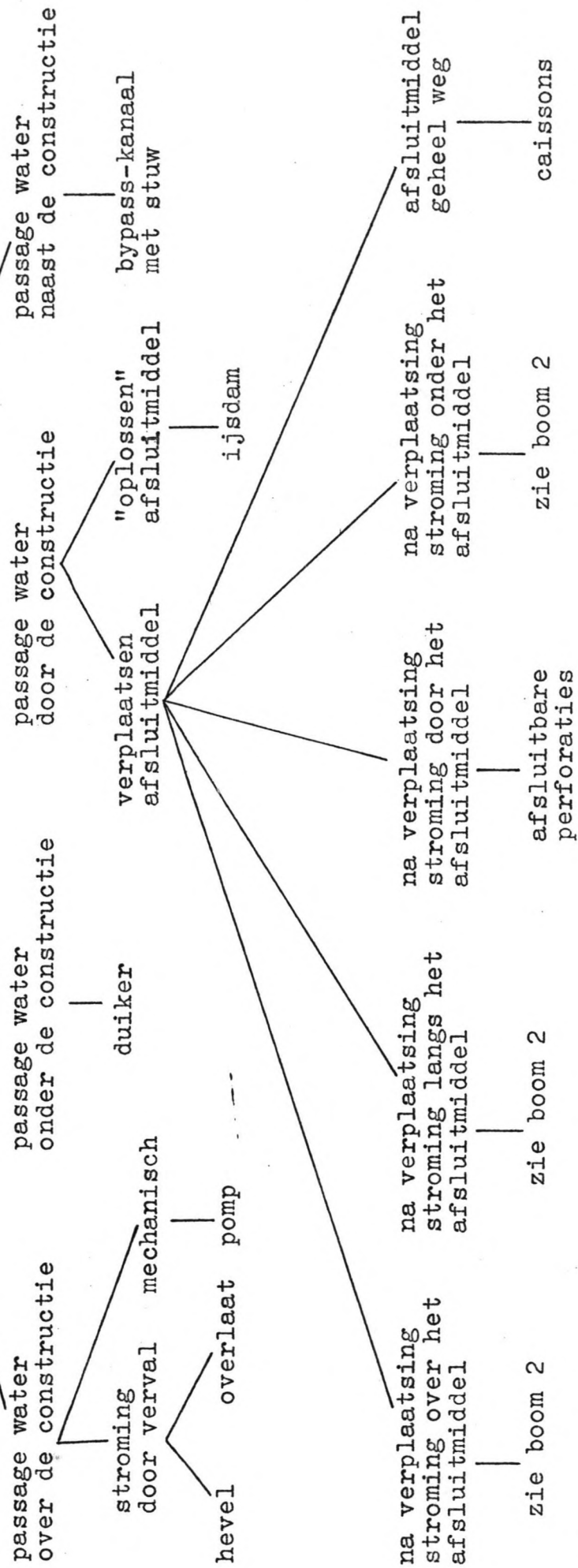
BIJLAGE 6 : Ligging Narmada tussen Sardar Sarovar en Maheshwar.
 schaal 1 1.000.000

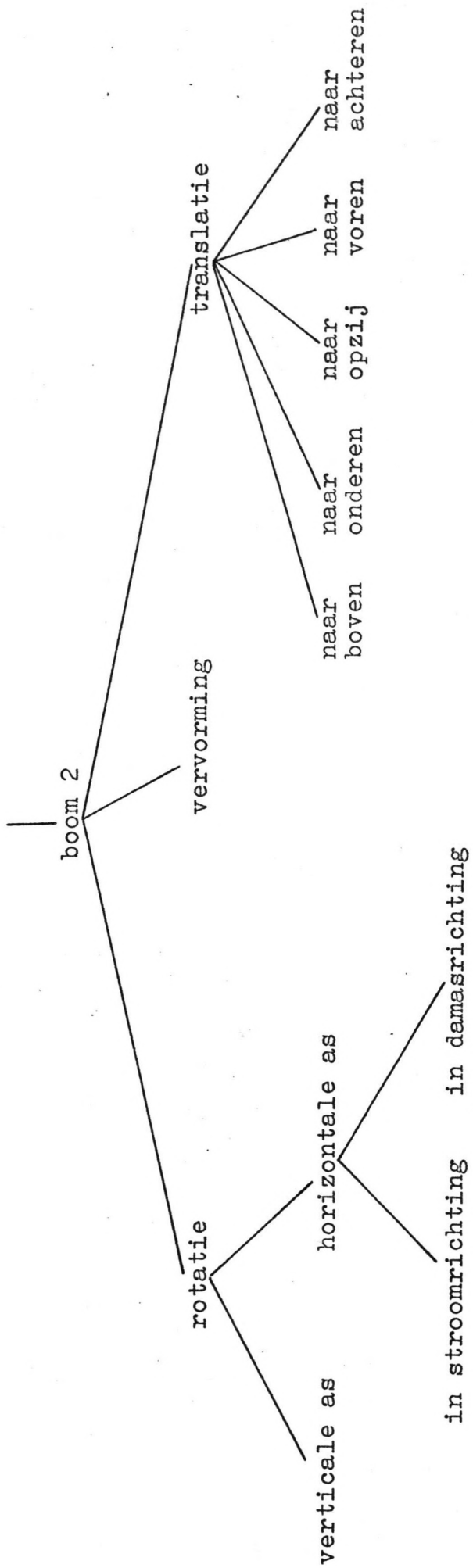


BIJLAGE 7: Lengteprofiel Narmada tussen Sardar Sarovar en Maheshwar.
 Schaal verticaal: 1:2500
 horizontaal: 1:1.000.000
 Hoogten in m. t.o.v. zeeniveau.
 Afstanden in km. t.o.v. de bron van de rivier.

BIJLAGE 8: Ontwerpboom.

Functie: naar behoefte water keren of doorlaten.





BIJLAGE 9: Bouwkosten in India.

omschrijving	eenheid	prijs(Rs)
Beton (inclusief bekisting, verdichten, afwerken en nabehandelen)		
- gewichtsbeton	m ³	450
- constructiebeton	m ³	600
Wapening (inclusief knippen, buigen en vlechten)	ton	3500
Ontgraven, transporteren en storten van harde rots	m ³	30
Ontgraven, transporteren, storten en verdichten van niet doorlatend materiaal	m ³	18
Segmentdeur, inclusief ingestorte delen	m ²	13000
Schotbalkenstuw, zonder ingestorte delen maar met hijsvoorzieningen	m ²	3230
Ingestorte delen voor een schotbalkenstuw	m ²	1080

BIJLAGE 10: Woelbakberekeningen.

De berekening is tabellarisch. Er wordt aangenomen dat op $t=0$ de waterstand bovenstrooms van de stuw 135^+ en benedenstrooms $110,6^+$ is. Verder is de totale breedte van de stuwopeningen nb.

Helling woelbak: 1:3,6 nb=990 m.
 $r=3,6$ $s=2,75$ $\alpha=85,9$

t(h)	h_0 (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	q (m ² /s)
0	34,6	10,2	0,17	3,9
4	34,0	10,5	0,19	4,3
8	33,4	10,8	0,21	4,6
12	32,8	11,1	0,22	4,9
16	32,1	11,4	0,25	5,3
20	31,3	11,8	0,28	5,8
24	30,5	12,2	0,31	6,4

Na 24 uur is er dus een afvoer van $q=6,4$ m²/s mogelijk. Bij een volkomen overlaat situatie ($q=1,7 H^{3/2}$) komt dit overeen met een energiehoogte boven de drempel van $H=2,4$ m. De waterstand t.o.v. de bodem is op dat moment $h_0=30,5$ m. De drempel mag t.o.v. de bodem op $30,5-2,4=28,1$ m dus op $128,5^+$ liggen. Dit is 6,5 m onder het stuwpeil zodat de schuifhoogte in dit geval maximaal $h=6,5$ m mag bedragen. Op dezelfde wijze is voor een andere woelbakhelling en stuwbreedte de toelaatbare schuifhoogte te bepalen.

Helling woelbak: 1:3,6 nb=930 m.
 $r=3,6$ $s=2,75$ $\alpha=85,9$

t(h)	h_0 (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	q (m ² /s)
0	34,6	10,2	0,17	3,9
4	34,1	10,5	0,19	4,3
8	33,5	10,8	0,20	4,5
12	32,9	11,1	0,22	4,9
16	32,2	11,4	0,25	5,3
20	31,5	11,8	0,28	5,8
24	30,7	12,2	0,31	6,4

Op $t=24$ h is $q=6,4$ m²/s, daarbij hoort $H=2,4$ m waardoor $h=6,3$ m is.

Helling woelbak: 1:5 nb=930 m.
 r=5 s=3,25 $\alpha=53,9$

t(h)	h_0 (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	q (m ² /s)
0	34,6	10,2	0,27	6,4
4	33,7	10,6	0,31	7,1
8	32,8	11,1	0,36	8,0
12	31,7	11,6	0,41	9,0
16	30,5	12,2	0,49	10,4
20	29,1	12,9	0,61	12,2
24	27,5	13,7	0,77	14,7

Op t=24 h is $q=14,7$ m²/s, daarbij hoort $H=4,2$ m waardoor $h=11,3$ m is.

Helling woelbak: 1:5 nb=870 m.
 r=5 s=3,25 $\alpha=53,9$

t(h)	h_0 (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	q (m ² /s)
0	34,6	10,2	0,27	6,4
4	33,8	10,6	0,31	7,1
8	32,9	11,0	0,35	7,8
12	31,9	11,5	0,40	8,7
16	30,8	12,0	0,47	9,9
20	29,6	12,6	0,56	11,4
24	28,2	13,3	0,69	13,4

Op t=24 h is $q=13,4$ m²/s, daarbij hoort $H=4,0$ m waardoor $h=10,4$ m is.

Helling woelbak: 1:6,7 nb=830 m.
 r=6,7 s=3,8 $\alpha=41,8$

t(h)	h_0 (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	q (m ² /s)
0	34,6	10,2	0,35	8,3
4	33,6	10,7	0,41	9,5
8	32,5	11,3	0,48	10,8
12	31,2	11,9	0,57	12,4
16	29,7	12,6	0,71	14,8
20	27,9	13,5	0,92	18,1
24	25,7	14,6	1,29	23,5

Op t=24 h is $q=23,5$ m²/s, daarbij hoort $H=5,8$ m waardoor $h=14,7$ m is.

Helling woelbak: 1:6,7 nb=750 m.
 r=6,7 s=3,8 $\alpha=41,8$

t(h)	h_0 (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	q (m ² /s)
0	34,6	10,2	0,35	8,3
4	33,6	10,7	0,41	9,5
8	32,7	11,2	0,47	10,7
12	31,5	11,8	0,56	12,3
16	30,2	12,4	0,67	14,1
20	28,7	13,2	0,84	16,9
24	26,9	14,1	1,10	20,8

Op t=24 h is $q=20,8 \text{ m}^2/\text{s}$, daarbij hoort $H=5,3 \text{ m}$ waardoor $h=13,0 \text{ m}$ is.

Helling woelbak: 1:6,7 nb = 690 m.
 r=6,7 s=3,8 $\alpha=41,5$

t(h)	h_0 (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	q (m ² /s)
0	34,6	10,2	0,35	8,4
4	33,8	10,6	0,40	9,3
8	32,9	11,1	0,46	10,5
12	31,9	11,6	0,53	11,7
16	30,7	12,2	0,63	13,5
20	29,4	12,9	0,77	15,8
24	27,8	13,7	0,97	18,9

Op t=24 h is $q=18,9 \text{ m}^2/\text{s}$, daarbij hoort $H=5,0 \text{ m}$ waardoor $h=11,8 \text{ m}$ is.

Helling woelbak: 1:10 nb=750 m.
 r=10 s=4,4 $\alpha=31,5$

t(h)	h_0 (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	q (m ² /s)
0	34,6	10,2	0,46	11,1
4	33,4	10,8	0,54	12,6
8	32,0	11,5	0,66	15,1
12	30,4	12,3	0,83	18,2
16	28,4	13,3	1,10	22,8
20	25,9	14,5	1,57	30,1
24	22,6	16,1	2,73	45,1

Op t=24 h is $q=45,1 \text{ m}^2/\text{s}$, daarbij hoort $H=8,9 \text{ m}$ waardoor $h=20,9 \text{ m}$ is.

Helling woelbak: 1:10 nb=680 m.
 r=10 s=4,4 $\alpha=31,5$

t(h)	h_0 (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	q (m ² /s)
0	34,6	10,2	0,46	11,1
4	33,5	10,7	0,53	12,5
8	32,3	11,3	0,63	14,5
12	30,9	12,0	0,67	16,9
16	29,2	12,8	0,96	20,4
20	27,2	13,8	1,28	25,6
24	24,7	15,1	1,90	34,7

Op t=24 h is $q=34,7$ m²/s, daarbij hoort H=7,5 m waardoor h=17,4 m is.

Helling woelbak: 1:10 nb=600 m.
 r=10 s=4,4 $\alpha=31,5$

t(h)	h_0 (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	q (m ² /s)
0	34,6	10,2	0,46	11,1
4	33,6	10,7	0,53	12,5
8	32,5	11,2	0,61	14,1
12	31,3	11,8	0,72	16,2
16	29,9	12,5	0,88	19,0
20	28,3	13,3	1,10	22,8
24	26,3	14,3	1,48	28,7

Op t=24 h is $q=28,7$ m²/s, daarbij hoort H=6,6 m waardoor h=14,9 m is.

Helling woelbak: 1:15 nb=600 m.
 r=15 s=4,8 $\alpha=25,4$

t(h)	h_0 (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	q (m ² /s)
0	34,6	10,2	0,56	13,8
4	33,4	10,8	0,66	15,9
8	32,0	11,5	0,80	18,7
12	30,4	12,3	0,99	22,3
16	28,5	13,3	1,30	27,8
20	26,1	14,5	1,84	36,6
24	22,9	16,1	3,09	54,1

Op t=24 h is $q=54,1$ m²/s, daarbij hoort H=10,0 m waardoor h=21,7 m is.

Helling woelbak: 1:15 nb=550 m.
 r=15 s=4,8 $\alpha=25,4$

t(h)	h_0 (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	q (m ² /s)
0	34,6	10,2	0,56	13,8
4	33,5	10,7	0,64	15,5
8	32,3	11,3	0,76	17,8
12	30,9	12,0	0,92	20,9
16	29,2	12,8	1,15	25,1
20	27,2	13,8	1,52	31,4
24	24,7	15,1	2,24	42,4

Op t=24 h is $q=42,4 \text{ m}^2/\text{s}$, daarbij hoort $H=8,5 \text{ m}$ waardoor $h=18,4 \text{ m}$ is.

Helling woelbak: 1:15 nb=500 m.
 r=15 s=4,8 $\alpha=25,4$

t(h)	h_0 (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	q (m ² /s)
0	34,6	10,2	0,56	13,8
4	33,6	10,7	0,64	15,5
8	32,5	11,3	0,75	17,7
12	31,2	11,9	0,89	20,4
16	29,7	12,6	1,08	23,9
20	28,0	13,5	1,38	29,1
24	25,9	14,5	1,86	36,8

Op t=24 h is $q=36,8 \text{ m}^2/\text{s}$, daarbij hoort $H=7,8 \text{ m}$ waardoor $h=16,5 \text{ m}$ is.

Helling woelbak: 1:20 nb=535 m.
 r=20 s=5,2 $\alpha=23,1$

t(h)	h_0 (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	q (m ² /s)
0	34,6	10,2	0,60	15,0
4	33,4	10,8	0,71	17,3
8	32,1	11,5	0,86	20,4
12	30,5	12,3	1,07	24,4
16	28,6	13,2	1,37	29,9
20	26,3	14,4	1,92	39,0
24	23,3	15,9	3,09	56,3

Op t=24 h is $q=56,3 \text{ m}^2/\text{s}$, daarbij hoort $H=10,3 \text{ m}$ waardoor $h=21,6 \text{ m}$ is.

Helling woelbak: 1:20 nb=480 m.
 r=20 s=5,2 $\alpha=23,1$

t(h)	h_0 (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	q (m ² /s)
0	34,6	10,2	0,60	14,9
4	33,6	10,7	0,70	17,1
8	32,4	11,3	0,82	19,5
12	31,1	12,0	0,99	22,9
16	29,5	12,8	1,23	27,4
20	27,6	13,7	1,58	33,4
24	25,3	14,9	2,23	43,9

Op t=24 h is $q=43,9$ m²/s, daarbij hoort $H=8,7$ m waardoor $h=18,0$ m is.

Helling woelbak: horizontaal nb=420 m.
 r=∞ s=6,9 $\alpha=16$

t(h)	h_0 (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	q (m ² /s)
0	34,6	10,2	0,83	21,4
4	33,3	10,8	0,98	24,7
8	31,8	11,5	1,19	29,1
12	30,0	12,4	1,52	35,9
16	27,8	13,5	2,03	45,6
20	25,0	14,9	3,05	63,3
24	21,2	16,8	7,20	119,3

Op t=24 h is $q=119,3$ m²/s. Als de volkomen afvoer situatie aanwezig is hoort hierbij $H=17,0$ m waardoor $h=30,4$ m is.

BIJLAGE 11: Berekening bouwkosten.

In het verslag zijn voor de meeste onderdelen van de stuw de afmetingen in formulevorm gegeven en voor een concreet geval direct te bepalen. De afmetingen van de drempel en dan met name de benodigde hoeveelheid steen en de hoeveelheid beton in de bekleding ervan is nog niet bekend. Deze zullen nu eerst expliciet bepaald worden.

Allereerst wordt de situatie dat er geen overlaatgedeelte in de stuw aanwezig is beschouwd.

Bij een schuifhoogte van $h = 10$ m. volgt de benodigde totale breedte van de stuwopeningen uit de in V.14 afgeleide formule:

$$nb = \frac{15058}{h + 5,2}$$

In dit geval levert dat op: $nb = 990$ m.

Uit de tabel op blz. 87 blijkt dat de woelbak nu onder een helling 1 : 5 moet liggen. Voor deze situatie zijn in V.11 al de afmetingen van de woelbak bepaald. Deze zijn: lengte 42 m.

$$\text{dikte } d_1 + d_2 = 3,7 \text{ m.}$$

In de woelbak zit dus aan beton: $V = 78 \text{ m}^3/\text{m}'$.

De bekleding van de stroomopwaartse zijde van de drempel is 44 m. lang. Bij een dikte van 0,50 m. betekent dit dat er aan beton ingaat: $V = 22 \text{ m}^3/\text{m}'$.

De woelbak is 42 m. lang. Bij een helling 1 : 5 betekent dit dat de ene zijde 8,4 m. hoger ligt dan de andere zijde. De bovenstroomse zijde ligt daarmee op $100,4 + 8,4 = 108,8^+$. De bovenkant van de drempel ligt op 125^+ d.w.z. 16,2 m. boven de woelbak. Uit de formule:

$$x^{1,85} = 2 \cdot H^{0,85} \cdot y$$

is nu de lengte van de benedenstroomse bekleding te berekenen.

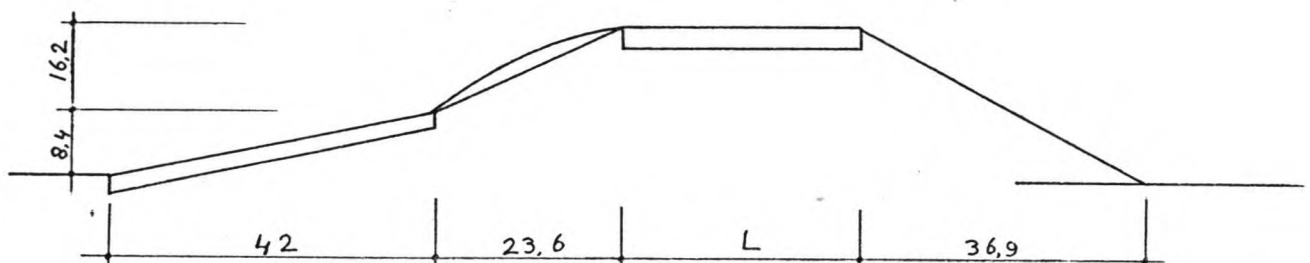
Deze is $x = 23,6$ m. zodat er naar schatting aan beton in zit:

$$V = \frac{1}{6} \cdot 23,6 \cdot 16,2 = 64 \text{ m}^3/\text{m}'$$

In totaal zit er in de bekleding dus :

$$V = 78 + 22 + 64 = 164 \text{ m}^3/\text{m}'$$

Een dwarsdoorsnede over de drempel ziet er als volgt uit:



Aan steen zit er, per strekkende meter, in de drempel:

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{2} \cdot 42 \cdot 8,4 - 78 + 8,4 \cdot 23,6 + \frac{1}{2} \cdot 16,2 \cdot 23,6 + L \cdot (24,6 - d) \\
 &\quad + \frac{1}{2} \cdot 24,6 \cdot 36,9 - 22 \\
 &= 920 + L \cdot (24,6 - d).
 \end{aligned}$$

Bij een schuifhoogte van $h = 13$ m. is $nb = 827$ m.

Voor dit geval is in de tabel op blz. 87 af te lezen dat de helling van de woelbak 1 : 6,7 moet zijn.

De lengte van de plaat is: $L = 3,8 \cdot (h_2 - h_1)$, dit is maximaal:
 $L = 3,8 \cdot (14,1 - 1,1) = 50$ m.

Voor de dimensionering is de situatie op $t = 0$ maatgevend. Dan is:

$$h_1 = 0,35 \text{ m.}$$

$$h_2 = 10,2 \text{ m.}$$

$$L_1 = 3,8 \cdot (10,2 - 0,35) = 37,4 \text{ m.} \quad \Rightarrow \quad L_2 = 12,6 \text{ m.}$$

De eis voor de dikte is (zie blz. 95):

$$\begin{aligned}
 6 \cdot 50 \cdot (d_1 + d_2) &\geq 6 \cdot 50 \cdot (10,2 + 0,35) - 5 \cdot 0,35 \cdot 50 - \\
 &\quad 5 \cdot 0,35 \cdot 12,6 - 5 \cdot 10,2 \cdot 37,4
 \end{aligned}$$

$$d_1 + d_2 \geq 3,83 \text{ m.}$$

In de woelbak gaat dus ongeveer $98 \text{ m}^3/\text{m}'$.

De bovenstroomse rand ligt op $100,4 + \frac{50}{6,7} = 107,9^+$. De afstand tussen woelbak en drempel (verticaal gezien) is $122 - 107,9 = 14,1$ m., dit is y in de formule $x^{1,85} = 2 \cdot H^{0,85} \cdot y$. Met $H = 13 + 6,2 = 19,2$ m. is x hieruit op te lossen: $x = 23,6$ m.

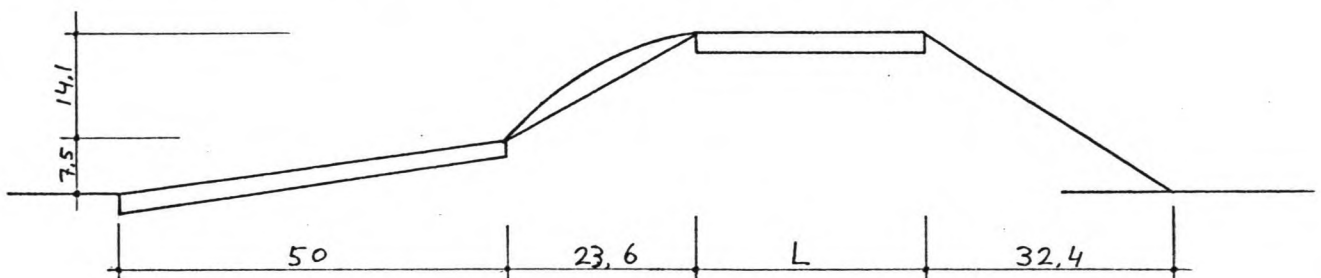
Aan beton zit hierin dus ongeveer $V = \frac{1}{6} \cdot 23,6 \cdot 14,1 = 55 \text{ m}^3/\text{m}'$.

De bekleding stroomopwaarts is 39 m. lang, bij een dikte van 0,5 m. gaat hierin aan beton $20 \text{ m}^3/\text{m}'$.

In totaal gaat er aan beton in de bekleding dus:

$$V = 98 + 55 + 20 = 173 \text{ m}^3/\text{m}'.$$

Een dwarsdoorsnede over de drempel ziet er als volgt uit:



Aan steen zit er, per strekkende meter, in de drempel:

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{2} \cdot 50 \cdot 7,5 - 98 + 7,5 \cdot 23,6 + \frac{1}{2} \cdot 23,6 \cdot 14,1 + L \cdot (21,6 - d) + \\
 &\quad + \frac{1}{2} \cdot 32,4 \cdot 21,6 - 20 \\
 &= 763 + L \cdot (21,6 - d)
 \end{aligned}$$

Bij een schuifhoogte van $h = 15$ m. is $nb = 750$ m.

Uit de tabel op blz. 87 volgt dat de helling van de woelbak in dit geval 1 : 10 moet zijn. De schuif kan na 20 uur al volledig geheven worden. Op dit tijdstip is $h_1 = 1,6$ m. en $h_2 = 14,5$ m. De lengte van de watersprong (en dus ook van de plaat) is dan $L = 4,4 \cdot (h_2 - h_1) = 57$ m.

Voor de bepaling van de benodigde dikte wordt gekeken naar de situatie op $t = 0$. Dan is $h_2 = 10,2$ m. en $h_1 = 0,5$ m. De lengte van de watersprong is dan $L_1 = 42,7$ m., blijft over $L_2 = 14,3$ m. De benodigde dikte wordt nu $d_1 + d_2 \geq 3,81$ m. Aan beton gaat er in de woelbak dus $109 \text{ m}^3/\text{m}'$.

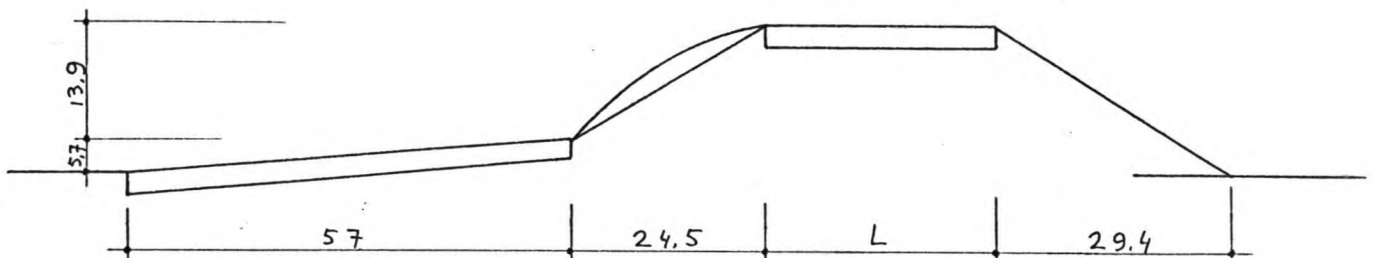
De bovenkant van de woelbak ligt op $100,4 + \frac{57}{10} = 106,1^+$, de drempelhoogte is 120^+ dus $y = 13,9$ m. Op de bekende manier is nu op te lossen $x = 24,5$ m. In de benedenstroomse bekleding zit dus ongeveer $\frac{1}{6} \cdot 24,5 \cdot 13,9 = 57 \text{ m}^3/\text{m}'$.

De betonplaat die de bovenstroomse bekleding vormt is 35 m lang. Hierin zit dus ongeveer $18 \text{ m}^3/\text{m}'$.

In totaal zit er in de bekleding

$$109 + 57 + 18 = 184 \text{ m}^3/\text{m}'.$$

Een dwarsdoorsnede over de drempel ziet er als volgt uit:



Aan gesteente zit er, per strekkende meter, in de drempel:

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} \cdot 57 \cdot 5,7 - 109 + 5,7 \cdot 24,5 + \frac{1}{2} \cdot 24,5 \cdot 13,9 + \\ &+ L \cdot (19,6 - d) + \frac{1}{2} \cdot 29,4 \cdot 19,6 - 18 \\ &= 633 + L \cdot (19,6 - d) \end{aligned}$$

Bij een schuifhoogte van $h = 17$ m. is $nb = 680$ m.

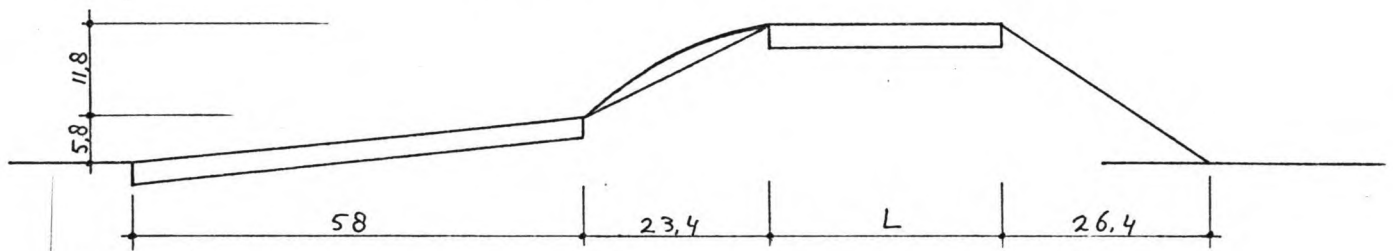
Uit de tabel op blz. 87 blijkt dat in dit geval de woelbak onder een helling 1 : 10 moet liggen. De lengte van de watersprong is $L = 4,4 \cdot (h_2 - h_1)$. Op het moment dat de schuif niet meer nodig is voor regulering van de afvoer is $h_1 = 1,9$ m. en $h_2 = 15,1$ m. Hiermee wordt de lengte van de watersprong op dat moment $L = 4,4 \cdot (15,1 - 1,9) = 58$ m. Dat is tevens de lengte van de woelbak want op andere momenten is de watersprong korter.

Voor de dimensionering van de dikte is de beginsituatie maatgevend. Dan is $h_1 = 0,5$ m. en $h_2 = 10,2$ m. Dit resulteert in een spronglengte van $L_1 = 42,7$ m., blijft over $L_2 = 15,3$ m. De eis voor de dikte luidt nu $d_1 + d_2 \geq 3,9$ m. In de plaat zit dus minimaal $113 \text{ m}^3/\text{m}'$ aan beton. De bovenkant van de woelbak ligt op $100,4 + \frac{58}{10} = 106,2^+$. De bovenkant van de drempel ligt op 118^+ . Nu is dus de y uit de bekende formule bekend: $y = 11,8$ m. Hieruit volgt, met $H = 17 + 6,2 = 23,2$ m., $x = 23,4$ m. In dit deel van de bekleding gaat dus aan beton ongeveer $46 \text{ m}^3/\text{m}'$.

De plaat die het stroomopwaartse deel van de bekleding vormt is ongeveer 32 m. lang. Hierin zit, bij een dikte van 0,50 m., $16 \text{ m}^3/\text{m}'$. In totaal zit er in de bekleding

$$113 + 46 + 16 = 175 \text{ m}^3/\text{m}'.$$

De dwarsdoorsnede over de drempel ziet er als volgt uit:



Aan gesteente zit er, per strekkende meter, in de drempel:

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} \cdot 58 \cdot 5,8 - 113 + 5,8 \cdot 23,4 + \frac{1}{2} \cdot 23,4 \cdot 11,8 + \\ &+ L \cdot (17,6 - d) + \frac{1}{2} \cdot 17,6 \cdot 26,4 - 16 \\ &= 545 + L \cdot (17,6 - d) \end{aligned}$$

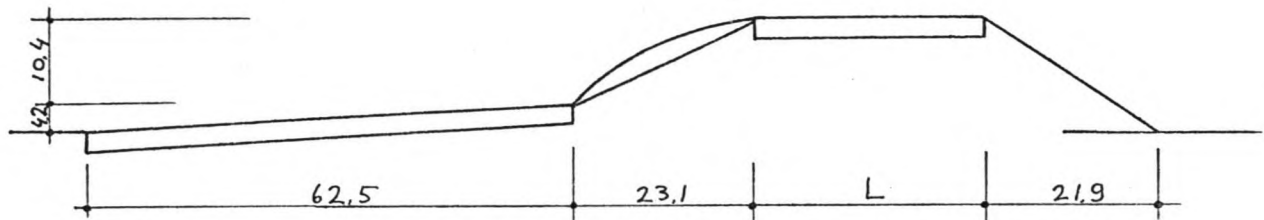
Bij een schuifhoogte van $h = 20$ m. is $nb = 600$ m.

Uit de tabel op blz. 87 blijkt dat in dit geval de woelbak niet steiler mag liggen dan $1:15$. De maximale lengte van de watersprong bedraagt in dit geval $L = 4,8 \cdot (16,1 - 3,1) = 62,5$ m.

Bij het begin heffen (in de aangenomen maatgevende situatie) bedraagt de lengte van de watersprong $L_1 = 4,8 \cdot (10,2 - 0,6) = 46,1$ m. blijft over $L_2 = 62,5 - 46,1 = 16,4$ m. De dikte van de plaat moet nu voldoen aan $d_1 + d_2 \geq 3,9$ m. In de plaat zit dus minimaal $122 \text{ m}^3/\text{m}'$. De bovenkant van de woelbak ligt op $100,4 + \frac{62,5}{15} = 104,6^+$, de bovenkant van de drempel ligt op 115^+ . De maten van de benedenstroomse bekleding zijn dus $y = 10,4$ m. en $x^{1,85} = 2 \cdot (20 + 0,2)^{0,85} \cdot y$
 $x = 23,1$ m. De hoeveelheid beton hierin is dus ongeveer $40 \text{ m}^3/\text{m}'$. De plaat die de bovenstroomse zijde van de drempel afdicht is 22 m. lang. Hierin zit dus $11 \text{ m}^3/\text{m}'$.

In totaal zit er in de bekleding
 $122 + 40 + 11 = 173 \text{ m}^3/\text{m}$

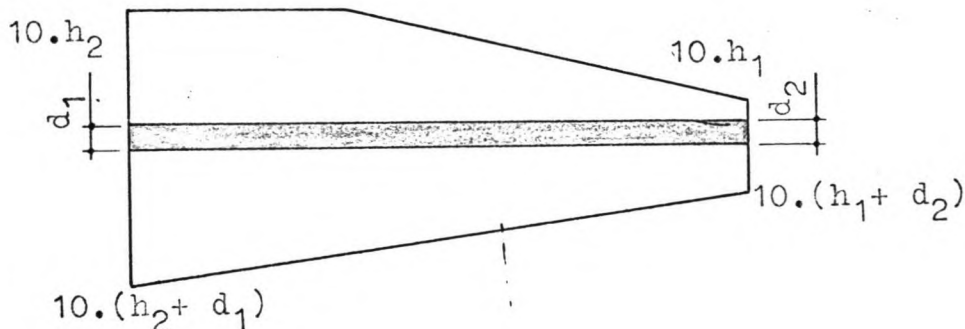
Een dwarsdoorsnede over de drempel ziet er als volgt uit:



Aan gesteente zit er, per strekkende meter, in de drempel:

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{2} \cdot 62,5 \cdot 4,2 - 122 + 4,2 \cdot 23,1 + \frac{1}{2} \cdot 23,1 \cdot 10,4 + \\
 &+ L \cdot (14,6 - d) + \frac{1}{2} \cdot 14,6 \cdot 21,9 - 11 \\
 &= 375 + L \cdot (14,6 - d)
 \end{aligned}$$

Indien als schuifhoogte $h = 23 \text{ m}$. gekozen wordt is $n_b = 535 \text{ m}$.
 Uit de tabel op blz. 87 blijkt dat de woelbak onder een helling
 $1 : 20$ niet voldoet, de plaat moet dus horizontaal komen te liggen.
 De maximale waterspronglengte is $L = 6,9 \cdot (15,4 - 3,6) = 81,5 \text{ m}$.
 In principe is de regeling van de afvoer zodanig dat de watersprong
 bij het begin van de woelbak begint. De belasting op een willekeurig
 tijdstip ziet er dus als volgt uit:



M.a.w. de waterdruk op de plaat plus het gewicht van de plaat is
 altijd meer dan de waterdruk onder tegen de plaat. Als er aan een
 veiligheid van 1,2 tegen oplichten moet worden voldaan volgt er
 nog wel een eis voor de dikte. Beschouw hiervoor de situatie dat
 de watersprong even lang is als de plaat. Als belastingen werken er:
 neerwaarts gericht:

- waterdruk $W_1 = \frac{1}{2} \cdot 81,5 \cdot (154 + 36) = 81,5 \cdot 95$
 - eigen gewicht $G = 81,5 \cdot \frac{1}{2} \cdot 24 \cdot (d_1 + d_2) = 81,5 \cdot 12 \cdot (d_1 + d_2)$
 en opwaarts: $W_2 = 81,5 \cdot \frac{1}{2} \cdot (154 + 10 d_1 + 36 + 10 d_2) =$
 $81,5 \cdot (95 + 5 \cdot (d_1 + d_2))$

De eis is nu:

$$\frac{W_1 + G}{W_2} \geq 1,2 \quad \text{dus}$$

$$81,5 \cdot 95 + 81,5 \cdot 12 \cdot (d_1 + d_2) \geq 1,2 \cdot 81,5 \cdot (95 + 5 \cdot (d_1 + d_2))$$
$$d_1 + d_2 \geq 3,2 \text{ m.}$$

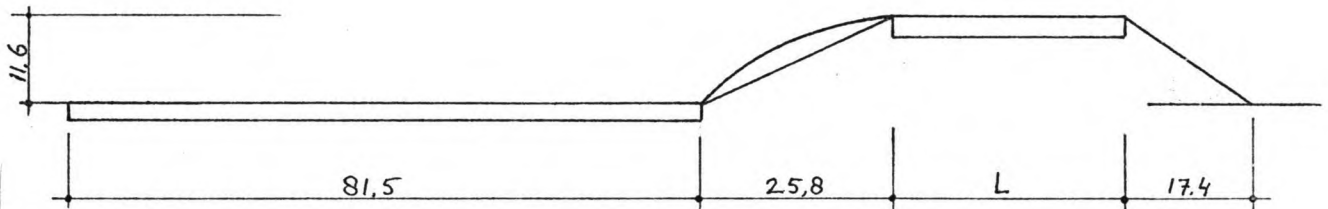
In de plaat zit dus minimaal $130 \text{ m}^3/\text{m}'$.

De bovenkant van de drempel ligt op 112^+ . De afmetingen van de benedenstroomse bekleding zijn dus: verticaal $11,6 \text{ m.}$ en horizontaal $25,8 \text{ m.}$ Het volume beton hierin is dus $50 \text{ m}^3/\text{m}'$.

De bovenstroomse plaat is 22 m. lang, hierin zit dus ongeveer $11 \text{ m}^3/\text{m}'$.

In totaal zit er in de bekleding $201 \text{ m}^3/\text{m}'$.

Een dwarsdoorsnede over de drempel ziet er als volgt uit:



Het volume steen in de drempel is

$$V = 251 + L \cdot (11,6 - d) \quad \text{m}^3/\text{m}'.$$

Hiervoor is, voor verschillende waarden van h , de dwarsdoorsnede over de drempel bepaald indien er geen overlaatgedeelte in de stuw is opgenomen. Indien er wel een overlaatgedeelte is opgenomen zal de factor nb kleiner worden. Aangezien de woelbak zodanig gedimensioneerd moet zijn dat nog steeds aan de eis dat de schuiven in 24 uur geheven kunnen worden voldaan moet zijn kan het nodig zijn om de helling van de woelbak aan te passen. De hiervoor bepaalde dwarsdoorsneden zijn dus niet zonder meer ook nu van toepassing. De afmetingen van de stuw volgen uit de in V.14 afgeleide vergelijkingen:

$$80.000 = 5,3 \cdot nb \cdot (h + 5,2) + 15,4 \cdot C_o \cdot (1 - 1/l) \quad \text{en}$$
$$C_o = 1662 - n \cdot (b + b_v)$$

Indien er geen gebruik van contragewichten wordt gemaakt is $b_v = 4 \text{ m.}$ Door nu een h , l en n aan te nemen zijn uit deze vergelijkingen b en C_o eenvoudig op te lossen. De resultaten van deze berekeningen zijn in de volgende tabel verzameld.

h	l	n	b	C _o	nb
10	10	29	30,2	670	876
10	10	22	39,5	705	869
10	10	19	45,7	718	868
10	10	18	48,2	722	868
10	20	29	29,9	679	867
10	20	22	39,1	714	860
10	20	18	47,7	731	859
10	30	29	29,8	682	864
10	30	21	40,9	719	859
10	30	18	47,5	735	855
13	10	23	30,6	866	704
13	10	17	41,1	895	699
13	10	14	49,8	909	697
13	20	23	30,2	875	695
13	20	17	40,6	904	690
13	20	14	49,2	917	689
13	30	23	30,1	878	692
13	30	17	40,5	906	689
13	30	14	49,0	920	686
15	10	25	25,0	937	625
15	10	20	31,0	962	620
15	10	15	41,2	984	618
15	10	12	51,4	997	617
15	20	20	30,7	968	614
15	20	15	40,7	992	611
15	20	12	50,7	1006	608
15	30	20	30,5	972	610
15	30	15	40,5	995	608
15	30	12	50,5	1008	606
17	10	18	30,9	1034	556
17	10	14	39,6	1052	554
17	10	11	50,3	1065	553
17	20	18	30,5	1041	549
17	20	14	39,0	1060	546
17	20	11	49,5	1074	545
17	30	18	30,4	1043	547
17	30	14	38,9	1061	545
17	30	11	49,3	1076	542

Bij een schuifhoogte van $h = 10$ m. blijkt dat nb ongeveer 870 m. is. Uit de tabel op blz. 87 volgt dat de helling van de woelbak nu 1 : 5 moet zijn. Het dwarsprofiel over de drempel is dus gelijk aan de situatie dat er geen overlaat wordt toegepast. Daarvoor is al gevonden dat de hoeveelheid beton in de bekleding is:

$$V = 164 \text{ m}^3/\text{m}'.$$

De hoeveelheid steen in de drempel is:

$$V = 920 + L.(24,6 - d).$$

Bij een schuifhoogte van $h = 13$ m. blijkt dat nb ongeveer 690 m. is. Uit de tabel op blz. 87 blijkt dat de helling van de woelbak 1 : 10 moet zijn (1 : 6.7 voldoet niet). De maximale lengte van de watersprong is $L = 4,4.(14,3 - 1,5) = 56,5$ m.

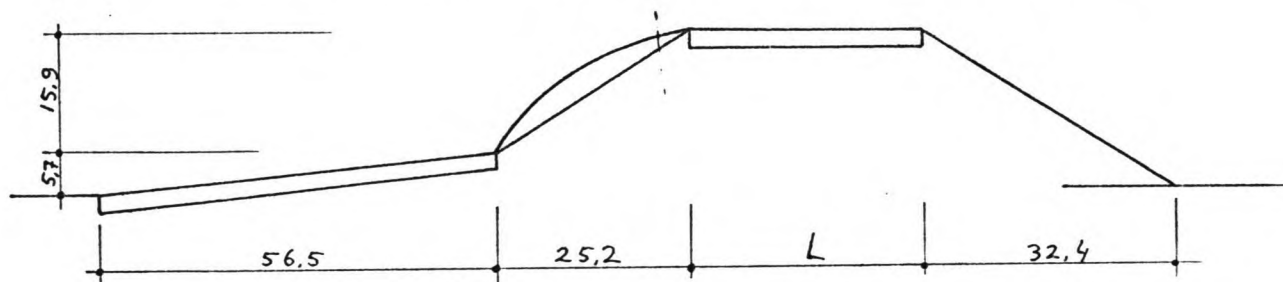
De benodigde dikte van de woelbak volgt uit de waterstanden op $t = 0$: $h_1 = 0,46$ m. en $h_2 = 10,2$ m. Hiermee wordt $L_1 = 42,9$ m. en $L_2 = 13,6$ m. Voor de benodigde dikte wordt nu gevonden: $d_1 + d_2 \geq 3,73$ m. De hoeveelheid beton in de woelbak is dus minimaal $105 \text{ m}^3/\text{m}'$.

In de bekleding aan de bovenstroomse zijde van de drempel zit aan beton $20 \text{ m}^3/\text{m}'$.

De bovenkant van de woelbak ligt op $100,4 + \frac{56,5}{10} = 106,1^+$. De bovenkant van de drempel ligt op 122^+ zodat de afmetingen aan de benedenstroomse zijde van de drempel zijn: $y = 15,9$ m. en $x = 25,2$ m. zodat het volume beton in de benedenstroomse bekleding is $67 \text{ m}^3/\text{m}'$.

In totaal zit er in de bekleding: $V = 192 \text{ m}^3/\text{m}'$.

Een dwarsdoorsnede over de drempel ziet er als volgt uit:



Aan steen zit er in de drempel, per strekkende meter:

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} \cdot 56,5 \cdot 5,7 - 105 + 25,2 \cdot 5,7 + \frac{1}{2} \cdot 25,9 \cdot 15,9 + \\ &+ L.(21,6 - d) + \frac{1}{2} \cdot 21,6 \cdot 32,4 - 20 \\ &= 730 + L.(21,6 - d) \end{aligned}$$

Bij een schuifhoogte van $h = 15$ m. blijkt dat nb ongeveer 610 m. is. Volgens de tabel op blz. 87 moet de woelbak dan onder een helling 1 : 10 gelegd worden. De dwarsdoorsnede over de drempel is voor dit geval al eerder bepaald met als resultaat dat de hoeveelheid beton in de bekleding $184 \text{ m}^3/\text{m}'$ is en de hoeveelheid steen in de drempel is $V = 633 + L.(19,6 - d)$.

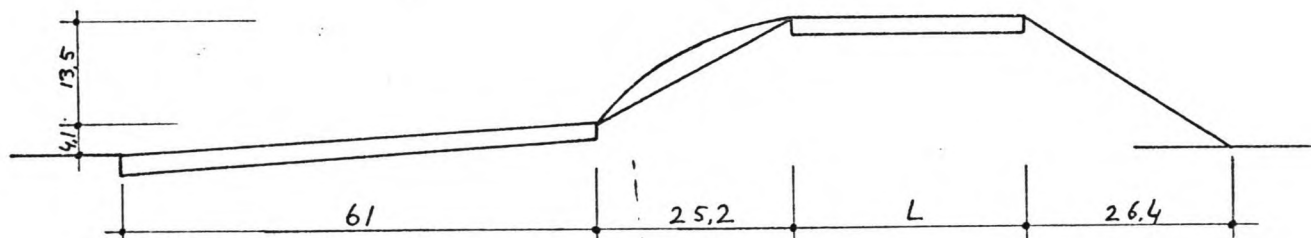
Bij een schuifhoogte van $h = 17$ m. blijkt dat nb ongeveer 550 m. is. Volgens de tabel op blz. 87 moet de helling van de woelbak dan 1 : 15 zijn. De maximale lengte van de watersprong is $L = 4,8.(15,1 - 2,2) = 61$ m. De benodigde dikte van de woelbak wordt bepaald door de waterstanden op $t = 0$. Deze zijn: $h_1 = 0,56$ m. en $h_2 = 10,2$ m. Hiermee wordt $L_1 = 46,3$ m. en $L_2 = 14,7$ m. Voor de benodigde dikte wordt nu gevonden: $d_1 + d_2 \geq 3,73$ m. In de woelbak zit dus aan beton: $V = 114 \text{ m}^3/\text{m}'$.

In de bekleding aan de bovenstroomse zijde van de drempel zit aan beton $V = 16 \text{ m}^3/\text{m}'$.

De bovenkant van de woelbak ligt op $100,4 + \frac{61}{15} = 104,5^+$. De bovenkant van de drempel ligt op 118^+ zodat de afmetingen van de benedenstroomse bekleding zijn: $y = 13,5$ m. en $x = 25,2$ m. Hiermee wordt $V = 57 \text{ m}^3/\text{m}'$.

In totaal zit er aan beton in de bekleding: $V = 187 \text{ m}^3/\text{m}'$.

De dwarsdoorsnede over de drempel ziet er als volgt uit:



Aan steen zit er in de drempel, per strekkende meter:

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{2} \cdot 61 \cdot 4,1 - 114 + 25,2 \cdot 4,1 + \frac{1}{2} \cdot 25,2 \cdot 13,5 + \\
 &\quad + L \cdot (17,6 - d) + \frac{1}{2} \cdot 26,4 \cdot 17,6 - 16 \\
 &= 501 + L \cdot (17,6 - d)
 \end{aligned}$$

Indien er wel gebruik gemaakt wordt van contragewichten is $b_v = 11$ m.
 De afmetingen van de stuw moeten ook nu voldoen aan de vergelijkingen:

$$80.000 = 5,3 \cdot n \cdot b \cdot (h + 5,2) + 15,4 \cdot C_o \cdot (1 - 1/l)$$

$$C_o = 1662 - n \cdot (b + b_v)$$

Door nu een h , l en n aan te nemen zijn uit deze vergelijkingen gemakkelijk b en C_o op te lossen. De resultaten van een dergelijke berekening staan in de volgende tabel

h	l	n	b	C_o	nb
10	10	31	29,8	392	924
10	10	23	39,3	505	904
10	10	18	49,6	571	893
10	20	30	30,5	417	915
10	20	22	40,7	525	895
10	20	18	49,2	578	886
10	30	30	30,5	417	915
10	30	22	40,6	527	893
10	30	18	49,1	580	884
13	10	24	30,5	666	732
13	10	18	40,0	744	720
13	10	14	51,0	794	714
13	20	24	30,2	671	725
13	20	18	39,7	749	715
13	20	14	50,4	802	706
13	30	24	30,1	676	722
13	30	18	39,5	753	711
13	30	14	50,2	805	703
15	10	21	30,7	786	645
15	10	16	39,7	851	635
15	10	13	48,5	889	631
15	20	21	30,3	795	636
15	20	16	39,3	857	629
15	20	13	47,9	896	623
15	30	21	30,2	797	634
15	30	16	39,1	860	626
15	30	13	47,8	898	621

h	l	n	b	C _o	nb
17	10	19	30,3	877	576
17	10	14	40,6	940	568
17	10	11	51,2	978	563
17	20	19	29,9	885	568
17	20	14	40,0	948	560
17	20	11	50,5	986	556
17	30	19	29,8	887	566
17	30	14	39,9	949	559
17	30	11	50,3	988	553
20	10	16	30,5	998	488
20	10	14	34,7	1022	486
20	10	12	40,3	1046	484
20	10	10	48,0	1072	480
20	10	9	53,3	1083	480
20	20	16	30,5	998	488
20	20	12	40,2	1048	482
20	20	10	48,0	1072	480
20	30	16	30,4	1000	486
20	30	12	40,1	1049	481
20	30	10	47,8	1074	478
23	10	14	31,0	1074	434
23	10	11	39,2	1110	431
23	10	9	47,7	1134	429
23	10	7	61,0	1158	427
23	10	6	71,0	1170	426
23	20	14	30,6	1080	428
23	20	11	38,6	1116	425
23	20	9	46,9	1141	422
23	30	14	30,5	1081	427
23	30	11	38,4	1119	422
23	30	9	46,7	1143	420

Bij de keuze $h = 10$ m. varieert nb ongeveer tussen 880 m. en 920 m. Uit de tabel op blz. 87 blijkt dat een taludhelling 1 : 5 voldoende is. Het dwarsprofiel hierbij is hiervoor al bepaald. De resultaten waren: bekleding $V = 164 \text{ m}^3/\text{m}'$
steen $V = 920 + L.(24,6 - d) \text{ m}^3/\text{m}'$

Bij de keuze $h = 13$ m. varieert nb ongeveer tussen 700 m. en 730 m. Nu moet de woelbak onder een helling 1 : 10 gekozen worden. Het hierbij behorende dwarsprofiel is hiervoor al bepaald met als resultaat dat in de bekleding $192 \text{ m}^3/\text{m}'$ beton en in de drempel $730 + L.(21,6 - d) \text{ m}^3/\text{m}'$ steen gaat zitten.

Bij de keuze $h = 15$ m. blijkt nb te variëren tussen 620 m. en 645 m. De hierbij behorende woelbakhelling is 1 : 10. Voor dit geval zijn hiervoor als resultaten gevonden:

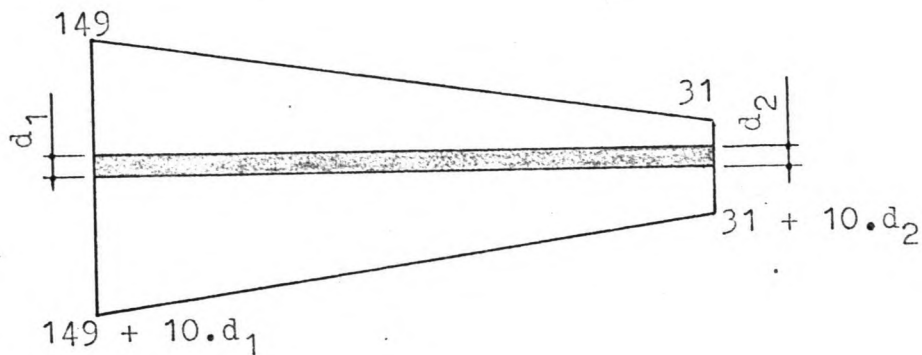
- in de bekleding aan beton: $184 \text{ m}^3/\text{m}'$
- in de drempel aan steen: $633 + L.(19,6 - d) \text{ m}^3/\text{m}'$

Bij de keuze $h = 17$ m. blijkt nb te variëren tussen 550 m. en 580 m. Uit de tabel op blz. 87 is af te leiden dat voor dit geval een helling 1 : 10 niet maar 1 : 15 wel voldoet. Dit geval is hiervoor al doorgerekend met als resultaat:

- beton in de bekleding: $187 \text{ m}^3/\text{m}'$
- steen in de drempel: $501 + L.(17,6 - d) \text{ m}^3/\text{m}'$

Bij de keuze $h = 20$ m. blijkt dat nb tussen 480 m. en 490 m. ligt. Hierbij hoort een horizontaal liggende woelbak. Deze mogelijkheid ($h = 20$ m., $r = \infty$) is hiervoor nog niet doorgerekend.

De maximale waterspronglengte is: $L = 6,9.(14,9 - 3,1) = 81,5$ m. Aangezien in principe aan het begin van de plaat al voldoende waterdiepte voor het vormen van een watersprong aanwezig is zal die zich daar ook ontwikkelen. Dit in tegenstelling tot de situatie bij een hellende plaat waar het water eerst een stuk over de plaat moet stromen voordat voldoende waterdiepte voor de vorming van een watersprong aanwezig is. In dit geval gaat de bewering dat $t = 0$ maatgevend is voor de dimensionering op oplichten niet op. In dit geval wordt bij de maximale waterspronglengte een veiligheid van 1,2 tegen oplichten vereist.



De eis is:

$$\frac{L \cdot \frac{1}{2} \cdot (149 + 31) + 24 \cdot L \cdot \frac{1}{2} \cdot (d_1 + d_2)}{L \cdot \frac{1}{2} \cdot (149 + 10 d_1 + 31 + 10 d_2)} \geq 1,2$$

$$d_1 + d_2 \geq 3,00 \text{ m.}$$

In de woelbak gaat dus $122 \text{ m}^3/\text{m}'$ aan beton.

Voor de dimensionering van de benedenstroomse bekleding geldt:

$y = 115 - 100;4 = 14,6 \text{ m.}$ Met $H = 20 + 6,2 = 26,2 \text{ m.}$ volgt hieruit

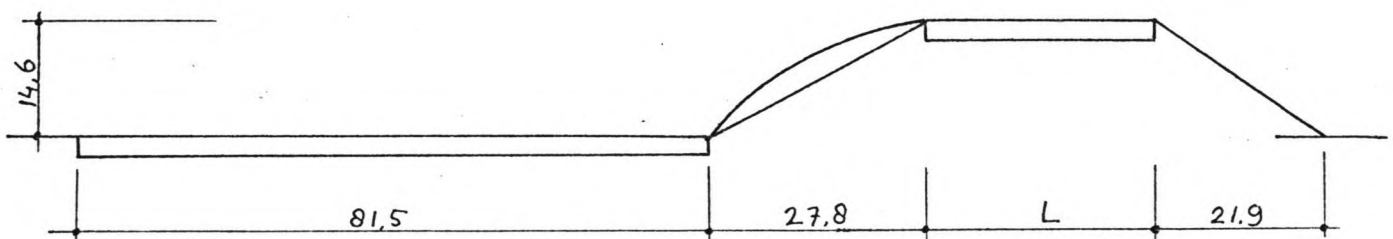
$x = 27,8 \text{ m.}$ dus $V = \frac{1}{6} \cdot 27,8 \cdot 14,6 = 68 \text{ m}^3/\text{m}'.$

In de bovenstroomse plaat zit, zoals hiervoor al aangetoond, $11 \text{ m}^3/\text{m}'.$

In totaal zit er in de bekleding dus:

$$122 + 68 + 11 = 201 \text{ m}^3/\text{m}'.$$

De dwarsdoorsnede over de drempel ziet er als volgt uit:



Aan steen zit er, per strekkende meter, in de drempel:

$$V = \frac{1}{2} \cdot 27,8 \cdot 14,6 + L \cdot (14,6 - d) + \frac{1}{2} \cdot 21,9 \cdot 14,6 - 11$$

$$= 352 + L \cdot (14,6 - d)$$

In het geval er voor $h = 23 \text{ m.}$ gekozen wordt blijkt nb te variëren tussen 420 m. en 435 m. De hierbij behorende dwarsdoorsnede over de drempel is hiervoor al bepaald. De resultaten waren dat er in de bekleding $201 \text{ m}^3/\text{m}'$ aan beton nodig is en aan steen $251 + L \cdot (11,6 - d) \text{ m}^3/\text{m}'.$

Voor de verschillende uitvoeringsvormen van de stuw (wel of geen contragewichten en wel of geen overlaatgedeelte) is in de hierna volgende tabellen de kostprijs bepaald voor verschillende afmetingen. Iedere kolom bestaat hierbij in feite uit drie delen.

In het bovenste gedeelte worden de hoofdafmetingen van de stuw vermeld. De betekenis van de gebruikte symbolen is:

- h : nuttige hoogte van de schuif
- l : overspanning van de brug over de overlaat
- n : aantal openingen
- b : de breedte van een opening
- d : de dikte van de betonnen drempel
- L : de benodigde lengte van de pijlervoet
- B_1 : de lengte van de landhoofden
- C_0 : de lengte van de overlaat.

In het middelste gedeelte worden de kosten van een stuwopening bepaald. Hierbij staan links de afmetingen (voor een schuif in m^2 , voor de hoeveelheid steen in $10^6 m^3$ en voor de rest in m^3) en rechts de prijs van dit onderdeel. Deze onderdelen zijn:

- de bekleding die zowel ter hoogte van de stuwopening als ter hoogte van de pijlervoet aanwezig moet zijn.
- de brug
- de betonnen drempel
- de pijlervoet
- de schuif, inclusief de kosten van het bewegingswerk
- de heftoren

Door de kosten van al deze onderdelen op te tellen krijgt men de kostprijs per stuwopening.

In het laatste gedeelte worden de kosten van de totale stuw bepaald. Deze bestaan uit de kosten van de n stuwopeningen, van de noodkering, van de steen in de drempel en landhoofden en indien aanwezig van de overlaat en de brug daar overheen. Door deze kosten op te tellen krijgt men de totale kosten van de stuw.

In de tabellen zijn alle kosten uitgedrukt in 10^6 Rs.

Variant: geen contragewichten,
geen overlaat.

h(m)	10	10	10	10	10	10	13	13
n	33	25	20	40	28	21	21	21
b(m)	30	39,6	49,5	24,8	29,7	39,5	39,5	39,5
d(m)	1,70	2,0	2,2	1,5	1,8	2,1	2,1	2,1
L(m)	21,0	22,9	24,9	20,0	21,0	22,9	22,9	22,9
B ₁ (m)	738	770	790	708	916	947	947	947
bekleding	5576	7150	8774	4723	5830	7526	7526	7526
brug	510	863	1324	357	500	859	859	859
drempel	1071	1814	2712	744	1123	1900	1900	1900
pijler	1265	1336	1407	1227	1475	1550	1550	1550
schuif	300	396	495	248	386	514	514	514
heftoren	15	20	25	12	25	33	33	33
per opening	9,74	13,08	16,75	8,03	11,44	15,40	15,40	15,40
beweegbare stuw	321,4	327,0	335,0	321,2	320,3	323,4	323,4	323,4
noodkering	11,7	12,0	12,3	11,5	12,9	13,3	13,3	13,3
steen	1,89	1,93	1,96	1,88	1,67	1,71	1,71	1,71
totaal	389,8	396,9	406,1	389,1	383,3	388,0	388,0	388,0

Variant: geen contragewichten,
geen overlaat.

h(m)	13	13	15	15	15	15
n	17	33	25	19	15	15
b(m)	48,8	25,2	30	39,5	50	50
d(m)	2,4	1,7	1,9	2,2	2,5	2,5
L(m)	24,8	20,0	24,0	23,0	25,0	25,0
B ₁ (m)	962	896	1010	1033	1050	1050
bekleding	9134	5052	6256	8004	9936	5,96
brug	1288	368	510	859	1350	1,35
drempel	2905	857	1368	2000	3125	3,13
pijler	1636	1434	1898	1705	1790	1,25
schuif	634	328	450	593	750	1,50
heftoren	41	21	34	44	56	0,08
per opening	19,52	9,75	13,31	17,22	22,27	22,27
beweegbare stuw	331,8	321,8	332,8	327,2	334,1	334,1
noodkering	13,7	12,7	13,6	14,1	14,6	14,6
steen	1,75	1,64	1,63	1,63	1,67	50,1
totaal	398,0	383,7	395,3	390,2	398,8	398,8

Variant: wel contragewichten,
geen overlaat.

h(m)	10	10	10	13	13	13	13
n	33	25	20	28	21	21	17
b(m)	30,0	39,6	49,5	29,7	39,5	39,5	48,8
d(m)	2,55	3,0	3,45	2,7	3,3	3,3	3,7
L(m)	21,0	22,9	24,9	21,0	22,9	22,9	24,8
B ₁ (m)	507	597	650	720	799	799	843
bekleding	6724	8298	9922	7041	8737	8737	10345
brug	615	1002	1497	500	997	997	1459
drempel	1607	2721	4252	1684	2985	2985	4478
pijler	3955	4299	4657	4590	5000	5000	5392
schuif	300	396	495	386	514	514	634
heftoren	30	40	50	50	67	67	82
per opening	10,65	13,84	17,62	11,82	15,67	15,67	19,54
beweegbare stuw	351,5	346,0	352,4	331,0	329,1	329,1	332,2
noodkering	11,7	12,0	12,3	12,9	13,3	13,3	13,7
steen	1,99	1,97	1,98	1,61	1,64	1,64	1,69
totaal	422,9	417,1	424,1	392,2	391,6	391,6	396,6

- Variant: wel contragewichten,
geen overlaat.

h(m)	13	15	15	15	15	15	15	15	17
n	33	25	19	15	15	13	34	20,0	34
b(m)	25,2	30,0	39,5	50,0	57,7	4,3	2,3	2,3	20,0
d(m)	2,5	2,9	3,4	3,9	4,3	26,5	19,0	806	19,0
L(m)	20,0	21,0	22,9	25,0	26,5	967	806		
B ₁ (m)	665	835	900	945	967				
bekleding	6263	7544	9292	11224	12641	5425	5425	3,26	3,26
brug	456	615	997	1525	1982	310	310	0,31	0,31
drempel	1260	1827	3075	4875	6575	874	874	0,87	0,87
pijler	4396	5026	5442	5913	6270	4969	4969	3,48	3,48
schuif	328	450	593	750	866	340	340	2,02	2,02
heftoren	42	68	89	113	130	58	58	0,09	0,09
per opening	10,43	13,18	17,10	21,75	25,68			10,03	10,03
beweegbare stuw	344,2	329,5	324,9	326,3	333,8			341,0	341,0
noodkering	12,7	13,6	14,1	14,6	14,9			13,6	13,6
steen	1,60	1,45	1,51	1,56	1,60	1,28	1,28	38,4	38,4
totaal	404,9	386,6	384,3	387,7	396,7			393,0	393,0

Variant: wel contragewichten,
geen overlaat.

h(m)	17	17	17	17	20	20	20	20
n	23	17	15	15	30	20	20	15
b(m)	29,6	40,0	45,3	45,3	20,0	30,0	30,0	40,0
d(m)	3,0	3,6	3,9	3,9	2,5	3,2	3,2	3,8
L(m)	20,9	23,0	24,1	24,1	19,4	21,2	21,2	23,0
B ₁ (m)	926	993	1015	1015	930	1041	1041	1095
bekleding	7105	8925	9853	9853	5363	7093	7093	8823
brug	601	1020	1275	1275	310	615	615	1020
drempel	1856	3312	4258	4258	970	2035	2035	3496
pijler	5151	5927	6200	6200	5701	6152	6152	6604
schuif	503	680	770	770	400	600	600	800
heftoren	86	116	131	131	80	120	120	160
per opening	13,45	18,05	20,56	20,56		11,11	11,11	15,16
beweegbare stuw	309,4	306,9	308,4	308,4		333,3	333,3	303,2
noodkering	14,1	14,7	15,0	15,0		14,3	14,3	14,9
steen	1,38	44,1	49,2	49,2	1,17	1,31	1,31	1,42
totaal	364,9	365,7	372,6	372,6		382,7	382,7	357,4
								19,67
								295,1
								15,5
								42,6
								353,2

Variant: wel contragewichten,
geen overlaat.

h(m)	20	23	23	23	23	23	23	23	23
n	12	18	13	11	11	11	11	11	8
b(m)	50,0	29,7	41,1	48,5	48,5	48,5	48,5	48,5	66,8
d(m)	4,35	3,35	4,1	4,1	4,55	4,55	4,55	4,55	5,45
L(m)	25,0	26,2	27,2	27,1	27,1	27,1	27,1	26,9	28,4
B ₁ (m)	1128	1127	1183	1205	1205	1205	1205	1227	1238
bekleding	10553	8181	10472	11960	11960	11960	11960	14130	15638
brug	1525	604	1071	1443	1443	1443	1443	2084	2599
drempel	5438	2607	4583	5980	5980	5980	5980	8135	10339
pijler	7136	8639	8859	8696	8696	8696	8696	8429	8870
schuif	1000	683	945	1116	1116	1116	1116	1364	1536
heftoren	200	157	217	0,33	0,33	0,33	0,33	314	353
per opening	24,85	18,89		24,65	24,65	24,65	24,65	34,01	39,13
beweegbare stuw	298,2	340,9		320,5	320,5	320,5	320,5	306,1	313,0
noodkering	16,2	15,5		16,3	16,3	16,3	16,3	17,7	18,3
steen	1,51	1,56	1,48	44,4	44,4	44,4	44,4	1,56	1,58
totaal	359,7	402,3	381,2	374,7	374,7	374,7	374,7	370,6	378,7

Variant: geen contragewichten,
wel overlaat.

h(m)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
l(m)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
n	29	22	22	19	22	29	29	29	22	22	18	18	18
b(m)	30,2	39,5	39,5	45,7	45,7	29,9	29,9	29,9	39,1	39,1	47,7	47,7	47,7
C _o (m)	670	705	705	718	718	679	679	679	714	714	731	731	731
d(m)	1,7	2,0	2,0	2,1	2,1	1,7	1,7	1,7	2,0	2,0	2,2	2,2	2,2
L(m)	21,0	22,9	22,9	24,1	24,1	21,0	21,0	21,0	22,8	22,8	24,5	24,5	24,5
bekleding	5609	7134	7134	8151	8151	5560	5560	5560	7068	7068	8479	8479	8479
brug	516	859	859	1136	1136	507	507	507	843	843	1233	1233	1233
drempel	1078	1809	1809	2313	2313	1067	1067	1067	1783	1783	2571	2571	2571
pijler	1265	1338	1338	1376	1376	1266	1266	1266	1336	1336	1398	1398	1398
schuif	302	395	395	457	457	299	299	299	391	391	477	477	477
heftoren	15	20	20	23	23	15	15	15	20	20	24	24	24
per opening	9,81	13,06	13,06	15,27	15,27	9,72	9,72	9,72	12,91	12,91	16,11	16,11	16,11
beweegbare stuw	284,5	287,3	287,3	290,1	290,1	281,9	281,9	281,9	284,0	284,0	290,0	290,0	290,0
steen drempel	1,39	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,36	1,36	1,37	1,37	1,37
overlaat	15,5	17,3	17,3	18,0	18,0	15,9	15,9	15,9	17,8	17,8	18,7	18,7	18,7
brug overlaat	4958	5217	5217	5313	5313	7605	7605	7605	7997	7997	8187	8187	8187
noodkering	10,4	10,7	10,7	10,9	10,9	10,3	10,3	10,3	10,6	10,6	10,8	10,8	10,8
totaal	357,1	361,9	361,9	365,7	365,7	357,1	357,1	357,1	361,2	361,2	368,8	368,8	368,8

Variant: geen contragewichten,
wel overlaat.

h(m)	10	10	10	10	10	13	13
L(m)	30	30	30	30	10	10	10
n	29	21	18	18	23	17	17
b(m)	29,8	40,9	47,5	48,2	30,6	41,1	41,1
C ₀ (m)	682	719	735	722	866	895	895
d(m)	1,7	2,0	2,2	2,2	1,9	2,2	2,2
L(m)	21,0	23,2	24,5	24,6	21,1	23,2	23,2
bekleding	5543	7364	8446	8560	6643	6859	6859
brug	504	918	1223	1258	529	927	927
drempel	1064	1898	2560	2609	1227	2098	2098
pijler	1264	1345	1397	1398	1483	1565	1565
schuif	298	409	475	482	398	534	534
heftoren	15	20	24	48	26	35	35
per opening	9,66	13,53	16,05	16,33	12,24	16,65	16,65
beweegbare stuw	280,1	284,1	288,9	293,9	281,5	283,1	283,1
steen drempel	1,37	1,36	1,36	1,38	0,91	0,91	0,91
overlaat	16,1	18,0	18,9	18,7	27,3	27,3	27,3
brug overlaat	10776	11360	11613	5343	6408	6623	6623
noodkering	10,3	10,6	10,8	10,9	11,2	11,5	11,5
totaal	358,4	364,9	371,0	370,2	353,7	358,0	358,0

Variant: geen contragewichten,
wel overlaat.

h(m)	13	13	13	13	13	13	13	13	13
l(m)	10	20	20	20	20	20	20	20	30
n	14	23	17	17	14	23	17	23	17
b(m)	49,8	30,2	40,6	40,6	49,2	30,1	40,5	30,1	40,5
C ₀ (m)	909	875	904	904	917	878	906	878	906
d(m)	2,4	1,85	2,2	2,2	2,4	1,85	2,15	1,85	2,15
L(m)	25,0	21,0	23,1	23,1	24,8	21,0	23,1	21,0	23,1
bekleding	10330	6566	8563	8563	10214	6547	8544	6547	8544
brug	1340	516	905	905	1309	513	901	513	901
drempel	2988	1173	2063	2063	2928	1169	2011	1169	2011
pijler	1639	1476	1566	1566	1635	1476	1561	1476	1561
schuif	647	393	528	528	640	391	527	391	527
heftoren	42	26	34	34	42	25	34	25	34
per opening	20,54	12,04	16,44	16,44	20,27	12,00	16,34	12,00	16,34
beweegbare stuw	287,6	267,9	279,5	279,5	283,8	276,0	277,8	276,0	277,8
steen drempel	0,91	0,90	0,89	0,89	0,90	0,90	0,89	0,90	0,89
overlaat	30,6	28,0	30,2	30,2	31,2	28,2	30,3	28,2	30,3
brug overlaat	6,7	9,8	10,1	10,1	10,3	13,9	14,3	13,9	14,3
noodkering	11,9	11,0	11,4	11,4	11,7	11,0	11,4	11,0	11,4
totaal	364,1	352,7	357,9	357,9	364,0	356,1	360,5	356,1	360,5

Variant: geen contragewichten,
wel overlaat.

h(m)	13	15	15	15	15	15	15	15	15	15
l(m)	30	10	10	10	10	10	10	10	10	10
n	14	25	20	20	20	20	20	20	20	20
b(m)	49,0	25,0	31,0	41,2	41,2	51,4	51,4	51,4	30,7	30,7
C ₀ (m)	920	937	962	984	984	997	997	968	968	968
d(m)	2,4	1,75	2,0	2,3	2,3	2,6	2,6	1,95	1,95	1,95
L(m)	24,8	23,8	23,7	23,2	23,2	25,3	25,3	23,9	23,9	23,9
bekleding	10176	5336	6440	8317	8317	10194	10194	6385	6385	3,83
brug	1299	363	543	931	931	1424	1424	533	533	0,53
drempel	2916	1041	1469	2198	2198	3381	3381	1431	1431	1,43
pijler	1634	1931	1866	1711	1711	1811	1811	1884	1884	1,32
schuif	637	375	465	618	618	771	771	461	461	6,45
heftoren	41	28	35	46	46	58	58	35	35	0,05
per opening	20,19	11,24	13,74	18,04	18,04	23,07	23,07	13,61	13,61	13,61
beweegbare stuw	282,7	281,0	274,8	270,6	270,6	276,8	276,8	272,2	272,2	272,2
steen drempel	0,89	0,77	0,74	0,70	0,70	0,71	0,71	0,73	0,73	21,9
overlaat	31,4	32,8	34,8	36,7	36,7	37,9	37,9	35,4	35,4	35,4
brug overlaat	14536	6934	7119	7282	7282	7378	7378	10842	10842	10,8
noodkering	11,7	11,3	11,8	12,0	12,0	12,5	12,5	11,4	11,4	11,4
totaal	367,0	355,1	350,7	347,6	347,6	355,9	355,9	351,7	351,7	351,7

Variant: geen contragewichten,
wel overlaat.

h(m)	15	15	15	15	15	15	15
L(m)	20	20	30	30	30	30	30
n	15	12	20	20	15	12	12
b(m)	40,7	50,7	30,5	30,5	40,5	50,5	50,5
C ₀ (m)	992	1006	972	972	995	1008	1008
d(m)	2,3	2,6	1,95	1,95	2,3	2,55	2,55
L(m)	23,1	25,1	23,9	23,9	23,1	25,1	25,1
bekleding	8225	10065	6348	6348	8188	10028	10028
brug	910	1387	526	526	901	1376	1376
drempel	2162	3309	1421	1421	2152	3232	3232
pijler	1708	1801	1883	1883	1738	1798	1798
schuif	611	761	458	458	608	758	758
heftoren	46	57	34	34	46	57	57
per opening	17,82	22,74	13,54	13,54	17,76	22,59	22,59
beweegbare stuw	267,3	272,9	270,8	270,8	266,4	271,1	271,1
steen drempel	0,69	0,70	0,73	0,73	0,69	0,69	0,69
overlaat	37,4	36,7	35,7	35,7	37,7	38,9	38,9
brug overlaat	11110	11267	15358	15358	15721	15926	15926
noodkering	11,9	14,8	11,4	11,4	11,8	14,7	14,7
totaal	348,4	356,7	355,2	355,2	352,3	361,3	361,3

Variant: geen contragewichten,
wel overlaat.

h(m)	17	17	17	17	17	17	17
l(m)	10	10	10	10	20	20	20
n	18	14	11	18	14	14	14
b(m)	30,9	39,6	50,3	30,5	39,0	39,0	39,0
C ₀ (m)	1034	1052	1065	1041	1060	1060	1060
d(m)	2,05	2,35	2,65	2,05	2,35	2,35	2,35
L(m)	30,1	29,4	27,4	30,0	29,4	29,4	29,4
bekleding	6526	8153	10154	6452	8041	8041	4,82
brug	539	863	1366	526	839	839	0,84
drempel	1907	2736	3652	1876	2695	2695	2,70
pijler	2691	2529	2197	2687	2536	2536	1,78
schuif	525	673	855	519	663	663	9,55
heftoren	45	57	73	44	56	56	0,08
per opening	15,88	20,04	25,07	15,70	19,77	19,77	19,77
beweegbare stuw	285,8	280,6	275,8	282,6	276,8	276,8	276,8
steen drempel	0,61	0,58	0,54	0,60	0,57	0,57	17,1
overlaat	41,3	43,0	44,3	41,9	43,8	43,8	43,8
brug overlaat	7,7	7,8	7,9	11,7	11,9	11,9	11,9
noodkering	11,9	12,4	12,9	11,8	12,2	12,2	12,2
totaal	365,0	361,2	357,1	366,0	361,8	361,8	361,8

Variant: geen contragewichten,
wel overlaat.

h(m)	17	17	17	17	17	17
l(m)	20	30	30	30	30	10
n	11	18	14	11	10	10
b(m)	49,5	30,4	38,9	49,3	55,3	
C ₀ (m)	1074	1043	1061	1076	1069	
d(m)	2,65	2,05	2,35	2,65	2,80	
L(m)	27,4	30,0	29,4	27,4	26,1	
bekleding	10005	6,00	6433	8022	4,81	9967
brug	1324	1,32	523	834	0,83	1314
drempel	3594	3,59	1870	2688	2,69	3580
pijler	2211	1,55	2687	2537	1,78	2216
schuif	842	12,12	517	661	9,52	838
heftoren	72	0,11	44	56	0,08	71
per opening		24,69			19,71	
beweegbare stuw		271,6			275,9	
steen drempel	0,54	16,2	0,60	0,57	17,1	0,53
overlaat		45,2			43,9	
brug overlaat	12029	12,0	16479	16764	16,8	17001
noodkering		12,7			12,1	
totaal		357,7			365,8	
					361,6	
						355,6

Variant: wel contragewichten,
wel overlaat.

h(m)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
l(m)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
n	31	23	18	18	30	22	22	18	20
b(m)	29,8	39,3	49,6	30,5	40,7	49,2	49,2	49,2	49,2
C ₀ (m)	397	505	571	417	525	578	578	578	578
d̄(m)	2,5	3,0	3,45	2,6	3,1	3,45	3,45	3,45	3,45
L(m)	21,0	22,9	24,9	21,1	23,1	24,8	24,8	24,8	24,8
bekleding	6691	8249	9938	6806	8479	9873	9873	9873	9873
brug	608	988	1503	633	1052	1481	1481	1481	1481
drempel	1565	2700	4216	1673	2915	4210	4210	4210	4210
pijler	3939	4303	4678	3979	4355	4668	4668	4668	4668
schuif	298	393	496	305	407	492	492	492	492
heftoren	30	39	50	31	41	49	49	49	49
per opening	10,55	13,76	17,61	10,81	14,29	17,52	17,52	17,52	17,52
beweegbare stuw	327,1	316,5	317,0	324,3	314,4	315,4	315,4	315,4	315,4
steen drempel	1,75	1,64	1,58	1,72	1,61	1,57	1,57	1,57	1,57
overlaat	5,4	8,6	11,0	5,9	9,3	11,3	11,3	11,3	11,3
brug overlaat	2,9	3,7	4,2	4,7	5,9	6,5	6,5	6,5	6,5
noodkering	10,9	11,0	11,2	10,9	11,0	11,2	11,0	11,2	11,2
totaal	398,8	389,0	390,8	397,4	388,9	391,5	388,9	391,5	391,5

Variant: wel contragewichten,
wel overlaat.

h(m)	10	10	10	13	13	13	13	13
l(m)	30	30	30	10	10	10	10	10
n	30	22	18	24	18	14	14	14
b(m)	30,5	40,6	49,1	30,5	40,0	51,0	51,0	51,0
C ₀ (m)	417	527	580	666	744	794	794	794
d(m)	2,6	3,1	3,45	2,8	3,3	3,8	3,8	3,8
L(m)	21,1	23,1	24,8	21,1	23,0	25,2	25,2	25,2
bekleding	6806	8462	9856	7968	9792	11904	11904	11904
brug	633	1047	1475	633	1020	1581	1581	1581
drempel	1673	2907	4201	1802	3036	4884	4884	4884
pijler	3979	4353	4665	4621	5015	5475	5475	5475
schuif	305	406	491	397	520	663	663	663
heftoren	31	41	49	52	68	86	86	86
per opening	10,81	14,27	17,49	12,71	16,42	21,22	21,22	21,22
beweegbare stuw	324,3	313,9	314,8	305,0	295,6	297,1	297,1	297,1
steen drempel	1,72	1,61	1,56	1,12	1,06	1,02	1,02	1,02
overlaat	5,9	9,4	11,4	15,3	19,4	22,5	22,5	22,5
brug overlaat	6589	8327	9164	4928	5506	5876	5876	5876
noodkering	10,9	11,0	11,1	11,6	11,8	12,2	12,2	12,2
totaal	399,3	390,9	393,3	370,4	364,1	368,3	368,3	368,3

Variant: wel contragewichten,
wel overlaat.

h(m)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
l(m)	20	20	20	20	30	30	30	30	30	30	30
n	24	18	14	24	18	14	18	14	18	14	14
b(m)	30,2	39,7	50,4	30,1	39,5	50,2	39,5	50,2	39,5	50,2	50,2
C ₀ (m)	671	749	802	676	753	805	753	805	753	805	805
d(m)	2,8	3,3	3,8	2,8	3,3	3,8	3,3	3,8	3,3	3,8	3,8
L(m)	21,0	22,9	25,1	21,0	22,9	25,0	22,9	25,0	22,9	25,0	25,0
bekleding	7910	9734	11789	7891	9696	11750	9696	11750	9696	11750	11750
brug	622	1006	1547	619	997	1536	997	1536	997	1536	1536
drempel	1776	3000	4807	1770	2985	4769	2985	4769	2985	4769	4769
pijler	4612	5006	5457	4610	5000	5451	5000	5451	5000	5451	5451
schuif	393	516	655	391	514	653	514	653	514	653	653
heftoren	51	67	85	51	67	85	67	85	67	85	85
per opening	12,63	16,30	21,00	12,59	16,25	20,92	16,25	20,92	16,25	20,92	20,92
beweegbare stuw	303,1	293,4	294,0	302,2	292,5	292,9	292,5	292,9	292,5	292,9	292,9
steen drempel	1,11	1,05	1,01	1,11	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,01	1,01
overlaat	15,5	19,7	23,0	15,8	20,0	23,2	20,0	23,2	20,0	23,2	23,2
brug overlaat	7,5	8,4	9,0	10,7	11,9	12,7	11,9	12,7	11,9	12,7	12,7
noodkering	11,4	11,7	12,0	11,4	11,6	12,0	11,6	12,0	11,6	12,0	12,0
totaal	370,8	364,7	368,3	373,4	367,2	371,1	367,2	371,1	367,2	371,1	371,1

Variant: wel contragewichten,
wel overlaat.

	15	15	15	15	15	15	15	15	15
h(m)	15	15	15	15	15	15	15	15	15
l(m)	10	10	10	10	10	10	10	10	20
n	21	16	13	13	21	16	13	13	13
b(m)	30,7	39,7	48,5	30,3	30,3	39,3	47,9	47,9	47,9
C ₀ (m)	786	851	889	795	795	857	896	896	896
d(m)	2,95	3,45	3,9	2,95	2,95	3,45	3,85	3,85	3,85
L(m)	21,1	22,9	24,7	21,1	21,1	22,9	24,6	24,6	24,6
bekleding	7673	9329	10948	7599	7599	9255	10838	10838	10838
brug	640	1006	1443	626	626	988	1411	1411	1411
drempel	1911	3136	4672	1886	1886	3105	4537	4537	4537
pijler	5059	5461	5863	5047	5047	5449	5830	5830	5830
schuif	461	596	728	455	455	590	719	719	719
heftoren	69	89	109	68	68	88	108	108	108
per opening	13,44	17,12	21,11	13,32	13,32	16,97	20,81	20,81	20,81
beweegbare stuw	282,2	273,9	274,4	279,7	279,7	271,5	270,5	270,5	270,5
steen drempel	0,86	0,81	0,79	0,85	0,85	0,81	0,78	0,78	0,78
overlaat	22,0	26,3	29,0	22,5	22,5	26,7	29,6	29,6	29,6
brug overlaat	5816	6297	6579	8904	8904	9598	10035	10035	10035
noodkering	11,9	12,2	12,6	11,8	11,8	12,1	12,4	12,4	12,4
totaal	347,7	343,0	346,3	348,4	348,4	344,2	345,9	345,9	345,9

Variant: wel contragewichten,
wel overlaat.

h(m)	15	15	15	17	17	17	17
l(m)	30	30	30	10	10	10	10
n	21	16	13	19	14	11	11
b(m)	30,2	39,1	47,8	30,3	40,6	51,2	51,2
C ₀ (m)	797	860	898	877	940	978	978
d(m)	2,9	3,45	3,85	3,05	3,65	4,2	4,2
L(m)	21,0	22,8	24,6	21,1	23,1	25,2	25,2
bekleding	7581	9218	10819	7723	9649	11631	11631
brug	622	979	1405	626	1047	1592	1592
drempel	1839	3076	4527	1950	3423	5419	5419
pijler	5032	5442	5827	5478	5954	6465	6465
schuif	453	587	717	515	690	870	870
heftoren	68	88	108	88	117	148	148
per opening	13,23	16,90	20,78	14,23	18,71	23,91	23,91
beweegbare stuw	277,8	270,4	270,1	270,4	261,9	263,0	263,0
steen drempel	0,85	0,80	0,78	0,63	0,59	0,57	0,57
overlaat	22,7	26,9	29,7	28,1	33,0	36,2	36,2
brug overlaat	12593	13588	14188	6490	6956	7237	7237
noodkering	11,7	12,0	12,4	12,2	12,7	13,2	13,2
totaal	350,3	346,9	349,8	336,1	332,3	336,7	336,7

Variant: wel contragewichten,
wel overlaat.

h(m)	17	17	17	17	17	17	17	17	17
L(m)	20	20	30	30	30	30	30	30	30
n	19	14	14	14	14	14	14	14	11
b(m)	29,9	40,0	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	50,3
C ₀ (m)	885	948	887	887	887	887	887	887	988
d(m)	3,05	3,6	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,6	4,15
L(m)	21,0	23,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	23,0	25,1
bekleding	7648	9537	7629	7629	7629	7629	7629	9518	11463
brug	611	1020	608	608	608	608	608	1015	1542
drempel	1915	3312	1877	1877	1877	1877	1877	3304	5239
pijler	5453	5927	5438	5438	5438	5438	5438	5923	6432
schuif	508	680	507	507	507	507	507	678	855
heftoren	86	116	86	86	86	86	86	115	145
per opening	14,09	18,41	14,02	14,02	14,02	14,02	14,02	18,37	23,46
beweegbare stuw	267,7	257,7	266,4	266,4	266,4	266,4	266,4	257,2	258,1
steen drempel	0,63	0,59	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,59	0,57
overlaat	28,7	33,7	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	33,8	37,1
brug overlaat	9,9	10,6	14015	14015	14015	14015	14015	14994	15610
noodkering	12,1	12,5	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,4	15,6
totaal	337,3	332,2	340,2	340,2	340,2	340,2	340,2	336,1	340,8

Variant: wel contragewichten,
wel overlaat.

h(m)	20	20	20	20	20	20
l(m)	10	10	10	10	10	20
n	16	12	10	16	12	12
b(m)	30,5	40,3	48,0	30,5	40,2	40,2
C ₀ (m)	998	1046	1072	999	1048	1048
d(m)	3,25	3,85	4,25	3,25	3,85	3,85
L(m)	21,2	23,1	24,6	21,1	23,0	23,0
bekleding	8342	10311	11859	8342	10291	10291
brug	633	1034	1416	633	1029	1029
drempel	2101	3584	5018	2101	3560	3560
pijler	6151	6642	7031	6151	6611	6611
schuif	610	806	960	610	804	804
heftoren	122	161	192	122	161	161
per opening	16,03	20,72	24,77	16,03	20,66	20,66
beweegbare stuw	256,5	248,6	247,7	256,5	247,9	247,9
steen drempel	0,39	0,37	0,36	0,39	0,37	0,37
overlaat	38,0	42,4	45,0	38,1	42,6	42,6
brug overlaat	7385	7740	7933	7385	7740	7740
noodkering	12,5	13,0	13,5	12,5	13,0	13,0
totaal	326,1	322,8	324,9	330,0	326,3	326,3

Variant: wel contragewichten,
wel overlaat.

h(m)	20	20	20	20	20	20	20	20
l(m)	20	30	30	30	30	30	30	10
n	10	16	16	12	10	9	9	9
b(m)	48,0	30,4	30,4	40,1	47,8	53,3	53,3	53,3
C _O (m)	1072	1000	1000	1049	1074	1083	1083	1083
d(m)	4,25	3,25	3,25	3,85	4,25	4,50	4,50	4,50
L(m)	24,6	21,2	21,2	23,0	24,6	25,7	25,7	25,7
bekleding	11859	8321	8321	10271	10819	12924	12924	7,75
brug	1416	629	629	1025	1405	1714	1714	1,71
drempel	5018	2095	2095	3551	4997	6164	6164	6,16
pijler	7031	6146	6146	6614	7037	7322	7322	5,13
schuif	960	608	608	802	956	1066	1066	6,66
heftoren	192	122	122	160	191	213	213	0,32
per opening	24,77	16,00	16,00	20,62	24,69	27,73	27,73	27,73
beweegbare stuw	247,7	256,0	256,0	247,4	246,9	249,6	249,6	249,6
steen drempel	0,36	0,39	0,39	0,37	0,36	0,35	0,35	10,5
overlaat	45,0	38,1	38,1	42,7	45,2	46,1	46,1	46,1
brug overlaat	12006	15800	15800	16574	16969	8014	8014	8,0
noodkering	13,5	12,5	12,5	13,0	13,4	13,8	13,8	13,8
totaal	329,0	334,1	334,1	330,8	333,3	328,0	328,0	328,0

Variant: wel contragewichten,
wel overlaat.

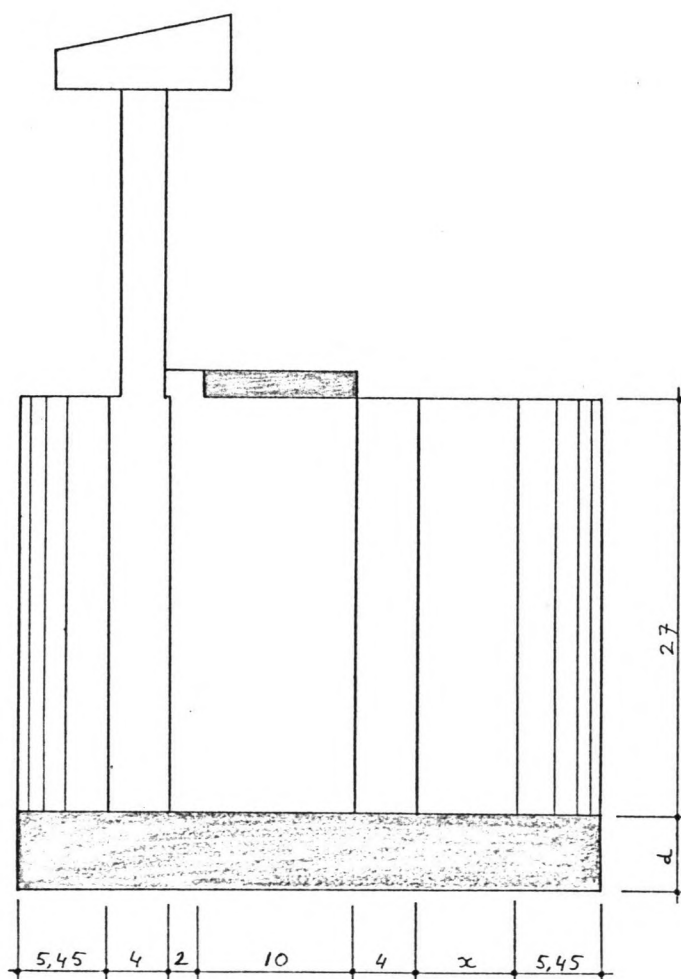
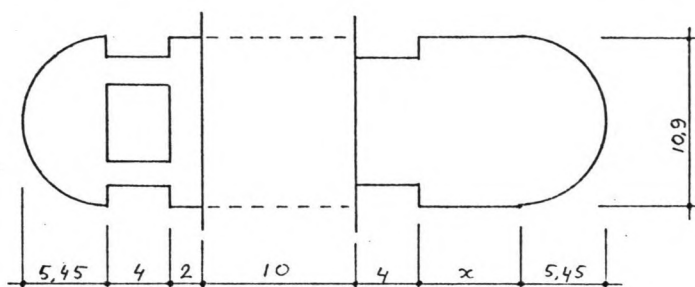
h(m)	23	23	23	23	23	23	23
l(m)	10	10	10	10	10	10	10
n	14	11	9	14	11	11	11
b(m)	31,0	39,2	47,7	30,6	38,6	38,6	38,6
C ₀ (m)	1074	1110	1134	1080	1116	1116	1116
d(m)	3,45	4,0	4,5	3,45	3,95	3,95	3,95
L(m)	26,4	27,1	27,1	26,3	27,1	27,1	27,1
bekleding	8442	10090	11799	8362	9970	9970	9970
brug	441	984	1400	636	957	957	957
drempel	2823	4249	5817	2776	4143	4143	4143
pijler	8691	8853	8724	8661	8847	8847	8847
schuif	713	902	1097	704	888	888	888
heftoren	164	207	252	162	204	204	204
per opening	19,33	23,70	27,98	19,35	23,39	23,39	23,39
beweegbare stuw	270,6	260,7	251,8	270,9	257,3	257,3	257,3
steen drempel	0,27	0,25	0,23	0,27	0,25	0,25	0,25
overlaat	45,2	48,8	51,4	45,8	49,5	49,5	49,5
brug overlaat	7,9	8,2	8,4	12,1	12,5	12,5	12,5
noodkering	13,1	13,6	14,2	12,9	13,4	13,4	13,4
totaal	344,9	338,8	332,7	349,8	340,2	340,2	340,2

Variant: wel contragewichten,
wel overlaat.

h(m)	23	23	23	23	23	23	23
l(m)	20	30	30	30	30	30	10
n	9	14	11	9	7	7	7
b(m)	46,9	30,3	38,4	46,7	61,0	61,0	61,0
C ₀ (m)	1141	1081	1119	1143	1158	1158	1158
d(m)	4,45	3,45	3,95	4,45	5,20	5,20	5,20
L(m)	27,2	26,2	27,5	27,2	27,2	27,2	27,2
bekleding	11638	8301	9929	11598	14472	14472	8,68
brug	1358	633	948	1347	2196	2196	2,20
drempel	5677	2757	4171	5653	8628	8628	8,63
pijler	8750	8652	8996	8748	8519	8519	5,96
schuif	1079	702	883	1074	1403	1403	9,20
heftoren	248	160	203	247	323	323	0,48
per opening	27,69	19,27	23,47	27,49	35,15	35,15	35,15
beweegbare stuw	249,2	269,8	258,2	247,4	246,1	246,1	246,1
steen drempel	0,23	0,27	0,25	0,23	0,21	0,21	6,3
overlaat	52,2	45,9	50,0	52,4	54,1	54,1	54,1
brug overlaat	12779	17080	17680	18059	8569	8569	8,6
noodkering	14,0	12,8	13,3	13,9	15,1	15,1	15,1
totaal	335,1	353,7	346,7	338,7	330,2	330,2	330,2

BIJLAGE 12: Berekening pijler,
drempel en pijler los van elkaar.

Voor de keuze van de plaats van het - - - benodigd extra eigen gewicht wordt naar blz. 145 verwezen. In de volgende figuren zijn een bovenaanzicht en een zijaanzicht van de pijler getekend (schaal 1 : 500).



In deze figuren is x een nog nader te bepalen maat en d de dikte van de pijler onder drempelniveau. In het verslag (blz. 143) is al bepaald dat de dikte van de drempel meer moet zijn dan 4,4 m. Een

praktische waarde is 4,5 m. Als de onderkant drempel en onderkant pijler aan elkaar gelijk genomen wordt is $d = 4,5$ m.

De maat x zal bepaald worden zodanig dat er voor een bepaalde belastingsituatie voldoende veiligheid tegen glijden aanwezig is. Deze belastingsituatie is dat aan weerszijden van de pijler de noodkering is geplaatst en dat bovenstrooms van de stuw de waterstand $140,6^+$ is dus $h_0 = 25,6$ m. (met h_0 en h_2 worden de waterstanden aan respectievelijk de bovenstroomse en benedenstroomse zijde van de pijler t.o.v. bovenkant drempel (115^+) aangeduid).

De verticale belasting bestaat uit de volgende componenten:

- pijlergewicht, gemakshalve wordt de pijler gesplitst in een gedeelte boven 115^+ en een gedeelte onder 115^+ . het eerste gedeelte heeft een volume van:

$$V = 27.(46,7 + 10,9.x + 8,5.4 + 10,9.12 + 4.3,3 + 46,7) \\ = 27.(271,4 + 10,9.x) = 7327,8 + 261,6.x \text{ m}^3$$

Het gewicht hiervan is:

$$G = 175867 + 7063.x \text{ kN}$$

Het tweede gedeelte heeft een volume van:

$$V = 10,9.(30,9 + x).4,5 = 1515,6 + 49,1.x \text{ m}^3$$

Het gewicht hiervan is:

$$G = 36375 + 1177.x$$

- brug, de gemiddelde dikte van de brug wordt geschat op $1/20$ van de overspanning dus 2 m. Het volume beton in de brug per overspanning is:

$$V = 2.10.(10,9 + 40,3) = 1024 \text{ m}^3$$

Het gewicht hiervan is:

$$G = 24576 \text{ kN}$$

- torens, de torens hebben per stuk een gewicht van 2257 kN (zie blz. 134). Voor de twee torens is het gewicht:

$$G = 4514 \text{ kN}$$

- contragewichten, het gewicht hiervan is n.a.v. V.2 te schatten op 7254 kN.

- schuif, bij deze belastingsituatie is de schuif geheven. Het gewicht van de schuif boven water is:

$$G = 6448 \text{ kN.}$$

- waterdruk, deze is te splitsen in een waterdruk tegen de onderkant van de pijler en een waterdruk op de bovenkant van de pijler d.w.z. in de nissen en bij de koppen. De waterdruk tegen de onderkant bedraagt:

$$\begin{aligned}
 W &= -10 \cdot (h_2 + 4,5) \cdot 10,9 \cdot (30,9 + x) \\
 &= -15156 - 3368 \cdot h_2 - 109 \cdot h_2 \cdot x - 491 \cdot x
 \end{aligned}$$

De waterdruk op de bovenkant bedraagt:

$$\begin{aligned}
 W &= 10 \cdot 25,6 \cdot (12,7 + 2 \cdot 1,2 \cdot 4) + 10 \cdot h_2 \cdot (12,7 + 2 \cdot 1,2 \cdot 4) \\
 &= 5709 + 223 \cdot h_2
 \end{aligned}$$

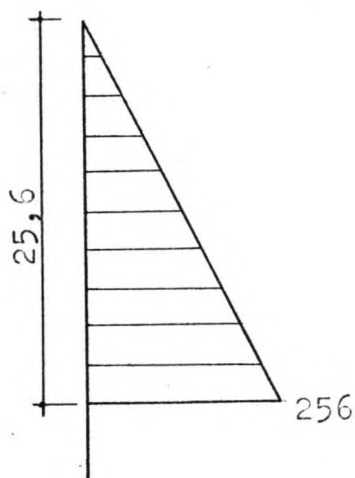
- bewegingswerk, het gewicht hiervan wordt bij de bepaling van de glijzekerheid achterwege gelaten omdat dit voor revisie o.i.d. geheel of gedeeltelijk afwezig kan zijn.

De totale verticale belasting is:

$$\sum F_v = 245587 + 7749 \cdot x - 3145 \cdot h_2 - 109 \cdot h_2 \cdot x$$

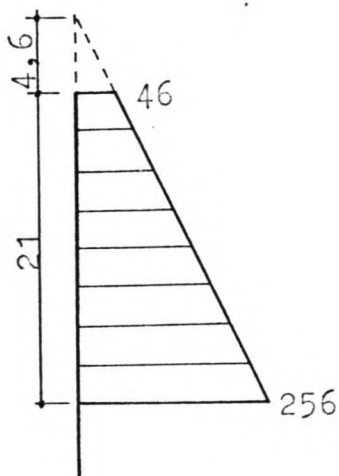
De horizontale belasting bestaat uit een horizontale waterdruk tegen de pijler, een horizontale waterdruk tegen de noodkering en een windbelasting op de geheven schuif.

De horizontale belasting op de bovenstroomse zijde van de pijler is:



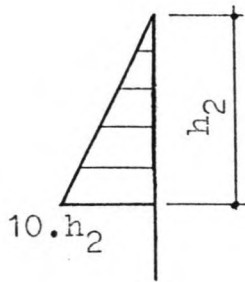
$$\begin{aligned}
 F_h &= 10,9 \cdot \frac{1}{2} \cdot 25,6 \cdot 256 \\
 &= 35717 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

De horizontale belasting op de bovenstroomse zijde van de noodkering is:



$$\begin{aligned}
 F_h &= 40,3 \cdot (46 \cdot 21 + \frac{1}{2} \cdot 21 \cdot 210) \\
 &= 127791 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

De horizontale belasting op de benedenstroomse zijde van de pijler en noodkering is:



$$F_h = -51,2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot h_2$$

$$= -256 \cdot h_2^2$$

Als windbelasting wordt de waarde uit de VOSB ($q = 1,5 \text{ kN/m}^2$) genomen. het door de wind getroffen oppervlak van de schuif en heftoren is bij benadering:

$$A = 21 \cdot 51,2 = 1075 \text{ m}^2$$

zodat de horizontale belasting t.g.v. de wind bedraagt:

$$F_h = 1,5 \cdot 1075 = 1613 \text{ kN}$$

De totale horizontale belasting is:

$$\Sigma F_h = 165121 - 256 \cdot h_2^2$$

Voor de wrijvingscoëfficiënt tussen pijler en ondergrond wordt 0,65 genomen. De mogelijke wrijvingskracht is: $F_w = 0,65 \cdot \Sigma F_v$
Bij een veiligheid van 2 tegen glijden moet er gelden:

$$\frac{0,65 \cdot \Sigma F_v}{\Sigma F_h} \geq 2 \Rightarrow \Sigma F_v \geq 3,1 \cdot \Sigma F_h \Rightarrow$$

$$x \geq \frac{266288 + 3145 \cdot h_2 - 794 \cdot h_2^2}{7749 - 109 \cdot h_2}$$

De waarde van h_2 waarvoor het rechterlid maximaal is is d.m.v. differentiatie te bepalen. Deze waarde blijkt te zijn: $h_2 = 4,5 \text{ m}$. Invullen van deze waarde in de bovenstaande uitdrukking levert op:

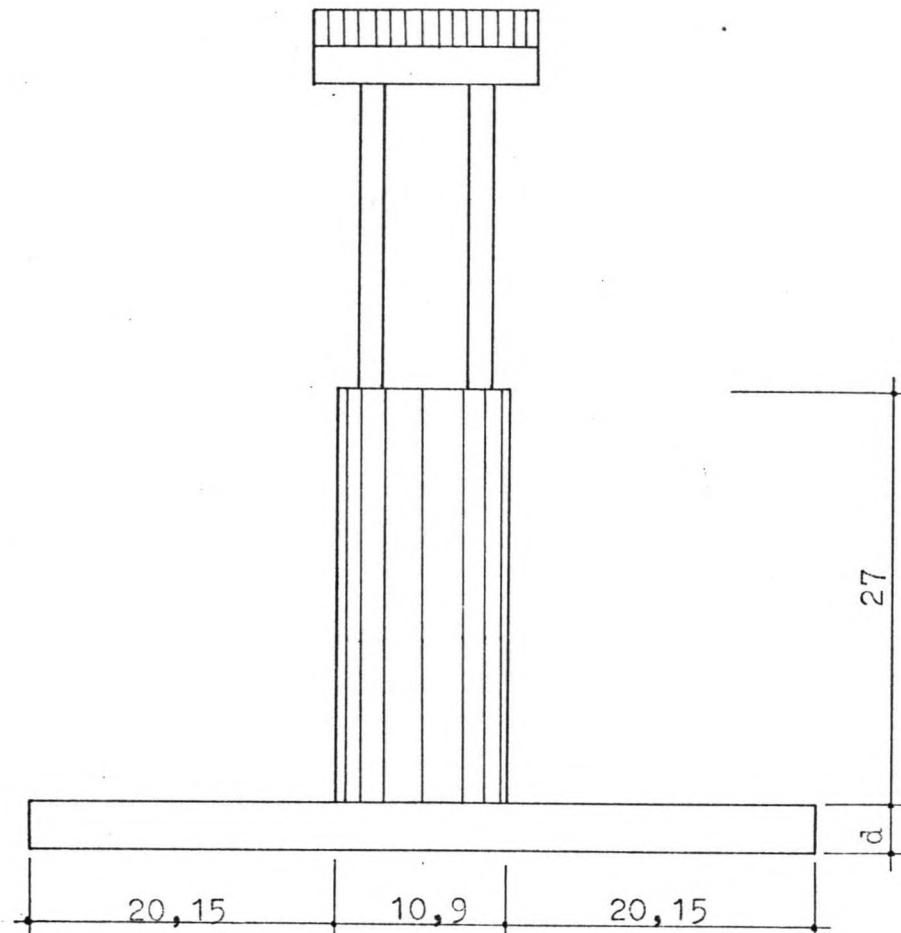
$$x \geq 36,4 \text{ m}$$

De totale lengte van de pijler is bij deze constructievorm minimaal 67,3 m. Het is mogelijk dat bij een ander belastinggeval de lengte nog groter moet zijn.

Aan andere belastinggevallen en aan de vraag of de resultante altijd in de kern ligt wordt verder geen aandacht besteed.

BIJLAGE 13: Berekening pijler,
drempel en pijler vormen een monolietconstructie.

Het boven- en zijaanzicht van de pijler zijn bij deze constructievorm gelijk aan die in bijlage 12. Het vooraanzicht van de pijler is hieronder getekend (schaal 1 : 500).



De dikte van de drempel wordt voorlopig geschat op $d = 4,0$ m. Voor de bepaling van de maat x wordt hetzelfde belastinggeval beschouwd als in bijlage 12 dus $h_0 = 25,6$ m. en aan beide zijden van de pijler is de noodkering geplaatst.

De verticale belasting bestaat uit de volgende onderdelen:

- pijlergewicht, het gedeelte boven niveau 115^+ weegt:

$$G = 175867 + 7063 \cdot x$$

- drempel, inclusief het gedeelte van de pijler onder 115^+ . Het volume van de drempel is:

$$V = 4 \cdot 51,2 \cdot (30,9 + x) = 6328 + 205 \cdot x$$

Het gewicht bedraagt:

$$G = 151880 + 4915 \cdot x$$

- brug, $G = 24576$ kN

- torens, $G = 4514 \text{ kN}$
- geheven schuif, $G = 6448 \text{ kN}$
- contragewichten, $G = 7254 \text{ kN}$
- noodkering, $G = 21.40,3.14,8 = 12525 \text{ kN}$
- bewegingswerk, het gewicht hiervan wordt hier buiten beschouwing gelaten.

- waterdruk tegen de onderkant:

$$W = -10.(h_2 + 4).51,2.(30,9 + x) =$$

$$= -15821.h_2 - 63283 - 512.h_2.x - 2048.x$$

- waterdruk op de drempel:

$$W = 10.25,6.40,3.(9,45 + x) + 12,7 + 2.1,2.4) +$$

$$10.h_2.40,3.21,45 + 12,7$$

$$= 103206 + 103317.x + 8771.h_2$$

De totale verticale belasting is:

$$\Sigma F_v = 422987 + 20247.x - 7050.h_2 - 512.h_2.x$$

De horizontale belasting op de pijler bestaat uit precies dezelfde componenten als in bijlage 12 vermeld zijn. Het daar gevonden resultaat kan zonder meer overgenomen worden.

$$\Sigma F_h = 165121 - 256.h_2^2$$

Bij een veiligheid van 2 tegen glijden moet er gelden:

$$\frac{0,65. \Sigma F_v}{\Sigma F_h} \geq 2$$

Uitwerken van deze eis geeft:

$$x \geq \frac{88.888 + 7050.h_2 - 794.h_2^2}{20247 - 512.h_2}$$

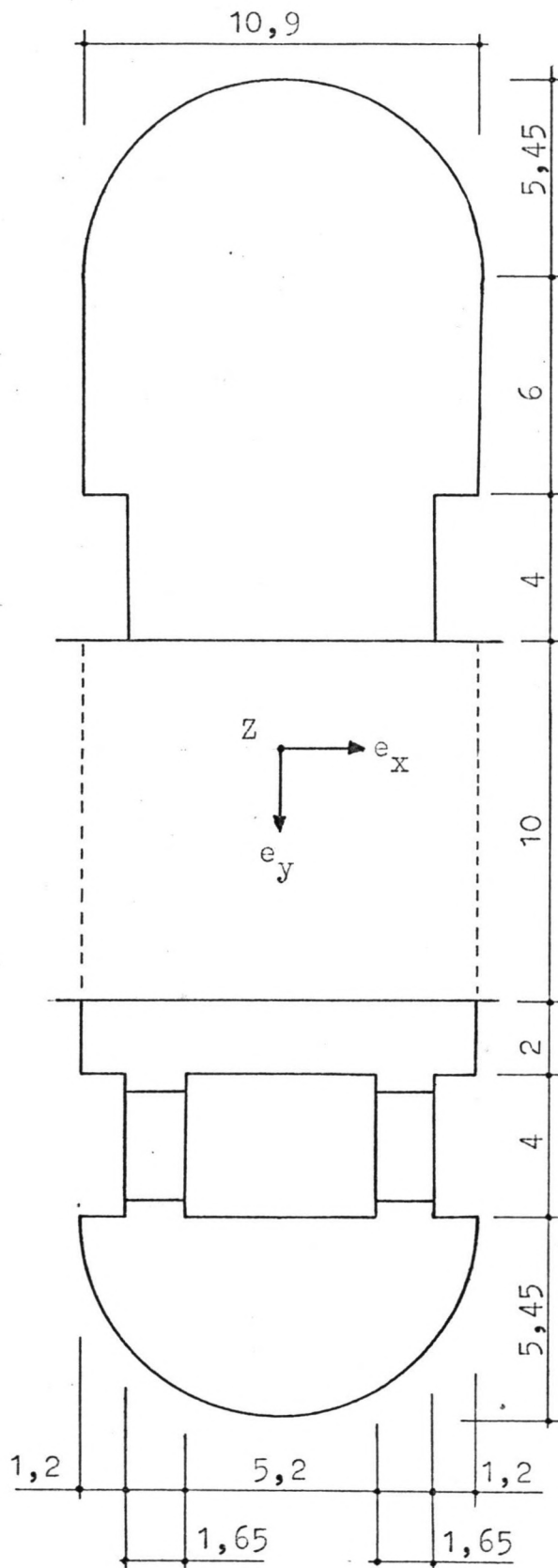
Dit moet voor iedere h_2 gelden. De waarde van h_2 waarvoor het rechterlid maximaal is is door differentiatie naar h_2 te bepalen. Het resultaat van deze bewerking is dat er voor $h_2 = 6,35 \text{ m.}$ een extreem optreedt. Invullen van deze waarde in bovenstaande uitdrukking levert op:

$$x \geq 5,98 \text{ m.}$$

Voor het ontwerp wordt daarom gekozen $x = 6,0 \text{ m.}$

Er wordt voorlopig zonder meer verondersteld dat er bij deze waarde van x voor andere belastingsituaties voldoende veiligheid tegen glijden aanwezig is.

In de volgende figuur is een bovenaanzicht van de pijler getekend (schaal 1 : 200).



Z : zwaartepunt van het grondvlak.

Vervolgens wordt er gecontroleerd of de aangenomen drempeldikte van 4 m. voldoende is. Hiervoor is het nodig om de belasting op de drempel te weten. Deze bestaat uit het eigen gewicht, de waterdruk tegen boven- en onderkant en de korreldruk tegen de onderkant. Als de resultante in de kern ligt (hetgeen een stabiliteits-eis is) dan is de gemiddelde korreldruk onder de benedenstroomse rand van de pijler:

$$\sigma = \frac{\sum F_v}{A} + \frac{\sum M_x}{W_x} + \frac{\sum M_y}{W_y}$$

Hierin is:

$$A = 51,2 \cdot 36,9 = 1889,3 \text{ m}^2$$

$$W_x = \frac{1}{6} \cdot 36,9 \cdot 51,2^2 = 16121,9 \text{ m}^3$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot 51,2 \cdot 36,9^2 = 11619 \text{ m}^3$$

$\sum F_v$, $\sum M_x$ en $\sum M_y$ worden bepaald voor de volgende belasting-situatie: aan beide zijden van de pijler zijn de schuiven gesloten, $h_0 = 25,6$ m. en de waterstand benedenstrooms van de stuw staat niet onder de bovenkant van de drempel dus $h_2 \geq 0$. Dit is slechts een van de mogelijke belastinggevallen.

De verticale belasting op de pijler bestaat uit de volgende onderdelen met bijbehorende excentriciteiten. De excentriciteiten zijn gemakkelijk uit de tekening op blz. B.13.3 af te leiden. Doordat er hier een symmetrisch belastinggeval wordt beschouwd geldt er voor alle belastingonderdelen $e_x = 0$ dus $\sum M_x = 0$.

- pijler (boven niveau 115⁺): $G = 218246 \text{ kN}$

Het grondvlak van de pijler heeft een oppervlakte van:

$$A = 46,7 + 6 \cdot 10,9 + 4 \cdot 3,5 + 12 \cdot 10,9 + 4 \cdot 3,3 + 46,7 \\ = 336,8 \text{ m}^2$$

Het statisch moment hiervan t.o.v. de bovenstroomse rand van de pijler bedraagt:

$$S = A \cdot y_0 = 46,7 \cdot 3,14 + 6 \cdot 10,9 \cdot 3,45 + 4 \cdot 3,5 \cdot 13,45 + \\ 12 \cdot 10,9 \cdot 21,45 + 3,3 \cdot 4 \cdot 29,45 + 46,7 \cdot 33,76 \\ = 5927,6 \text{ m}^3$$

Het zwaartepunt van de pijler ligt op

$$y_0 = \frac{S}{A} = 17,60 \text{ m.}$$

van de bovenstroomse rand. T.o.v. het zwaartepunt bedraagt de excentriciteit:

$$e_y = y_0 - \frac{1}{2} \cdot 36,9 = -0,85 \text{ m.}$$

- drempel (inclusief pijlergedeelte onder 115⁺):

$$G = 24.51,2.36,9.4 = 181371 \text{ kN} \quad e_y = 0$$

- brug: $G = 24576 \text{ kN} \quad e_y = 2,0 \text{ m.}$

- torens: $G = 4514 \text{ kN} \quad e_y = 11,0 \text{ m.}$

- contragewichten: $G = 7254 \text{ kN} \quad e_y = 11,0 \text{ m.}$

- bewegingswerk: $G = 2000 \text{ kN} \quad e_y = 13,0 \text{ m.}$

- schuiven (gesloten) $G = 5642 \text{ kN} \quad e_y = 11,0 \text{ m.}$

- waterdruk tegen de onderkant:

$$W = -10.(h_2 + 4).51,2.36,9 = -18893.h_2 - 75571 \text{ kN} \quad e_y = 0$$

- waterdruk op de drempel, deze wordt gemakshalve in een aantal delen gesplitst:

12,7.256 =	3251 kN	$e_y = -17,25 \text{ m.}$
40,3.31,45.256 =	324463 kN	$e_y = -2,73 \text{ m.}$
2.1,2.4.256 =	2458 kN	$e_y = -5,00 \text{ m.}$
2.1,2.4.256 =	2458 kN	$e_y = 11,00 \text{ m.}$
40,3.5,45.10.h ₂ =	2196.h ₂ kN	$e_y = 15,73 \text{ m.}$
12,7.10.h ₂ =	127.h ₂ kN	$e_y = 17,25 \text{ m.}$

De totale verticale belasting bedraagt:

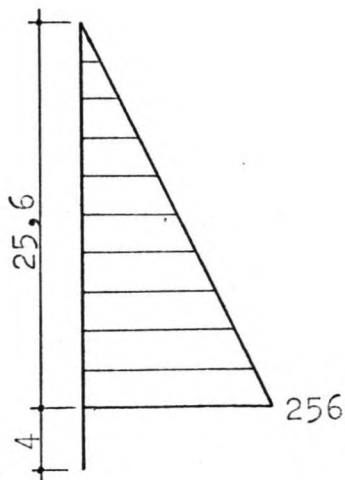
$$\Sigma F_v = 700662 - 16570.h_2$$

Verder is:

$$\Sigma F_v \cdot e_y = 843558 + 36750.h_2$$

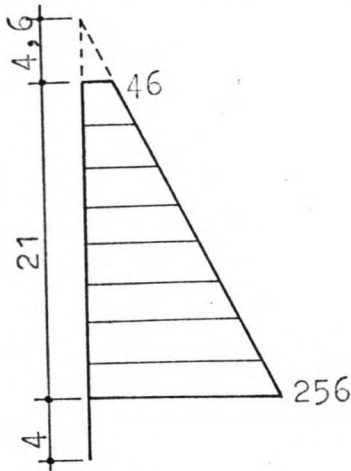
Op de pijler werkt ook een kantelmoment t.g.v. de horizontale waterdruk op pijler en schuif. Deze bestaat uit:

- horizontale waterdruk op de bovenstroomse zijde van de pijler:



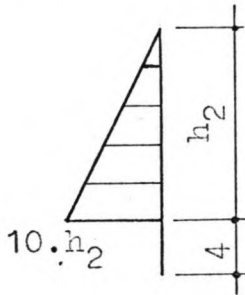
$$M_y = 10,9 \cdot \frac{1}{2} \cdot 25,6 \cdot (4 + \frac{1}{3} \cdot 25,6) = 447655 \text{ kNm}$$

- horizontale waterdruk op de bovenstroomse zijde van de schuif:



$$M_y = 40,3 \cdot 46 \cdot 21 \cdot \left(4 + \frac{1}{2} \cdot 21\right) + \frac{1}{2} \cdot 21 \cdot 210 \cdot \left(4 + \frac{1}{3} \cdot 21\right) = 1541959 \text{ kNm}$$

- de horizontale waterdruk tegen de benedenstroomse zijde van de pijler en schuif:



$$M_y = -51,2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot h_2 \cdot h_2 \cdot \left(4 + \frac{1}{3} \cdot h_2\right) = -1024 \cdot h_2^2 - 85,3 \cdot h_2^3$$

Voor dit belastinggeval geldt dus:

$$\sum M_y = 1146056 + 36750 \cdot h_2 - 1024 \cdot h_2^2 - 85,3 \cdot h_2^3$$

En passant is te controleren of voor dit belastinggeval de resultante van de belasting altijd het grondvlak binnen de kern doorsnijdt. De plaats waar de resultante het grondvlak doorsnijdt wordt gegeven door:

$$e_y = \frac{\sum M_y}{\sum F_y} = \frac{1146056 + 36750 \cdot h_2 - 1024 \cdot h_2^2 - 85,3 \cdot h_2^3}{700662 - 16570 \cdot h_2}$$

D.m.v. differentiatie naar h_2 is te bepalen voor welke h_2 het rechterlid een extreme waarde bereikt. Dit blijkt te zijn voor $h_2 = 14,1$ m. De hierbij behorende waarde voor e_y bedraagt $e_y = 2,62$ m. en dit punt ligt ruimschoots binnen de kern.

De gemiddelde korreldruk onder de benedenstroomse rand van de pijler is:

$$\sigma = \frac{\sum F_V}{A} + \frac{\sum M_y}{W_y} = 370,9 - 8,8 \cdot h_2 + 98,6 + 3,2 \cdot h_2 - 0,09 \cdot h_2^2 - 0,007 \cdot h_2^3$$

$$= 469,5 - 5,6 \cdot h_2 - 0,09 \cdot h_2^2 - 0,007 \cdot h_2^3$$

Bij dit belastinggeval treedt de maximum korreldruk op bij $h_2 = 0$ en bedraagt dan:

$$\sigma = 469,5 \text{ kN/m}^2$$

Een eerste benadering om de krachten in de drempel uit te rekenen is om de korreldruk als gelijkmatig te beschouwen. Deze benadering is correct als de drempel als zeer stijf en de ondergrond als slap is te beschouwen. Nu is een drempel van 4 m. dik wel als stijf te beschouwen maar de ondergrond bestaat in dit geval uit een steenskelet en is ook als stijf te beschouwen. De drempel is in feite een elastisch ondersteunde plaat. Als benadering voor de krachtsverdeling hierin zal de benedenstroomse rand als een elastisch ondersteunde ligger van 1 m. breed uitgerekend worden. De algemene vergelijking voor een elastisch ondersteunde ligger luidt:

$$w = e^{\beta x} (C_1 \cdot \cos \beta x + C_2 \cdot \sin \beta x) + e^{-\beta x} (C_3 \cdot \cos \beta x + C_4 \cdot \sin \beta x) + q/k$$

De eerste, tweede en derde afgeleide hiervan zijn:

$$\frac{dw}{dx} = \beta e^{\beta x} \{ (C_1 + C_2) \cdot \cos \beta x + (C_2 - C_1) \cdot \sin \beta x \} + \beta e^{-\beta x} \{ (-C_3 + C_4) \cdot \cos \beta x + (-C_3 - C_4) \cdot \sin \beta x \}$$

$$\frac{d^2 w}{dx^2} = 2\beta^2 \cdot e^{\beta x} \{ C_2 \cdot \cos \beta x - C_1 \cdot \sin \beta x \} + 2\beta^2 \cdot e^{-\beta x} \{ C_3 \cdot \sin \beta x - C_4 \cdot \cos \beta x \}$$

$$\frac{d^3 w}{dx^3} = 2\beta^3 \cdot e^{\beta x} \{ (C_2 - C_1) \cdot \cos \beta x - (C_2 + C_1) \cdot \sin \beta x \} + 2\beta^3 \cdot e^{-\beta x} \{ (C_3 + C_4) \cdot \cos \beta x + (-C_3 + C_4) \cdot \sin \beta x \}$$

Hierin is :

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4 \cdot EI}}$$

waarin: k: beddingsconstante van de ondergrond die hier geschat wordt op $k = 10^5 \text{ kN/m}^3$, per m' drempel: $k = 10^5 \text{ kN/m}^2$.

E: elasticiteitsmodulus, voor beton B 17,5 is $E = 25 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$

I: traagheidsmoment van de ligger. Voor een betonconstructie die een niet homogene doorsnede heeft kan deze bij

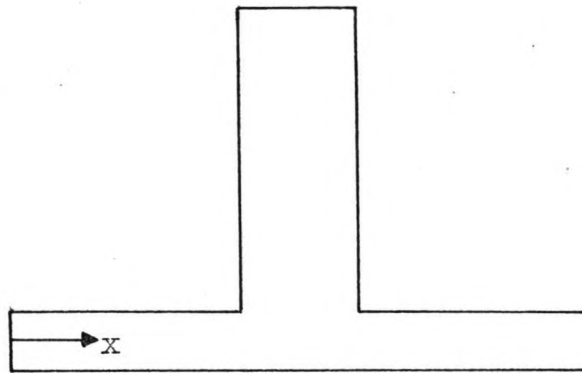
benadering gesteld worden op $I = 0,1 \cdot b \cdot d^3$. Voor de drempel wordt dit: $I = 0,1 \cdot 1 \cdot 4^3 = 6,4 \text{ m}^4$.

Als bovenstaande waarden in de uitdrukking voor β worden ingevuld resulteert er:

$$\beta = 0,11 \text{ m}^{-1}$$

De belasting op de ligger (q) bestaat uit het eigen gewicht en de waterdruk.

De constanten C_1 , C_2 , C_3 en C_4 moeten uit de randvoorwaarden bepaald worden. Hiertoe wordt een assenstelsel gedefinieerd waarbij de oorsprong t.p.v. een dilatatievoeg ligt.



Bij de dilatatievoeg ($x = 0$) zijn zowel het moment als de dwarskracht nul. Hieruit volgen de eerste twee randvoorwaarden:

$$x = 0 : \quad M = -EI \frac{d^2 w}{dx^2} = 0 \Rightarrow \frac{d^2 w}{dx^2} = 0 \Rightarrow$$

$$C_2 - C_1 + C_3 + C_4 = 0$$

$$x = 0 : \quad D = -EI \frac{d^3 w}{dx^3} = 0 \Rightarrow \frac{d^3 w}{dx^3} = 0 \Rightarrow$$

$$C_2 - C_4 = 0$$

Aangezien er hier een symmetrisch belastinggeval wordt beschouwd zal de pijler, in damasrichting gezien, geen hoekverdraaiing ondergaan. De hoekverdraaiing van de drempel t.p.v. de aansluiting met de pijler zal daarom ook nul zijn. Hieruit volgt de derde randvoorwaarde:

$$x = 20,15 : \quad \varphi = \frac{dw}{dx} = 0 \Rightarrow$$

$$-13,34 \cdot C_1 + 1,42 \cdot C_2 - 0,016 \cdot C_3 - 0,148 \cdot C_4 = 0$$

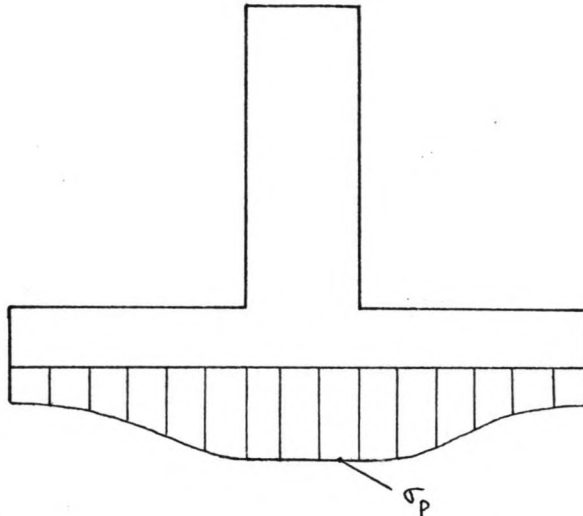
De vierde randvoorwaarde volgt uit het feit dat t.p.v. de aansluiting van de drempel aan de pijler de zetting van beiden gelijk

is. Deze eis luidt:

$$w(20,15) = \frac{\sigma_p}{k}$$

waarin σ_p de korreldruk onder de pijler is.

De verdeling van de korreldrukken onder de pijler zal ongeveer van de volgende vorm zijn:

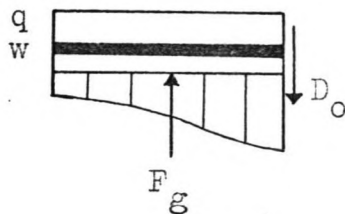


De gemiddelde korreldruk (bij $h_2 = 0$) is $469,5 \text{ kN/m}^2$. Als de resultante van de korreldruk onder een halve drempel wordt aangeduid met F_g dan moet er gelden:

$$\frac{2 \cdot F_g + 10,9 \cdot \sigma_p}{51,2} = 469,5$$

Op een halve drempel werken de volgende krachten:

- eigen gewicht: $q = 24 \cdot 4 = 96 \text{ kN/m}^2$
- opwaartse waterdruk, deze is voor het beschouwde belastinggeval: $w = 10 \cdot 4 = 40 \text{ kN/m}^2$,
- de korreldruk, de resultante hiervan wordt aangeduid met F_g
- een dwarskracht in de overgang drempel-pijler, deze wordt D_0 genoemd.



Uit het verticale evenwicht volgt:

$$q \cdot 20,15 + D_0 = w \cdot 20,15 + F_g \Rightarrow$$

$$F_g = D_0 + 1128$$

Nu is:

$$\sigma_p = \frac{51,2 \cdot 469,5 - 2 \cdot (D_0 + 1128)}{10,9}$$

zodat de zakking van de pijlervoet bedraagt:

$$w = \frac{\sigma_p}{k} = \frac{21782 - 2 \cdot D_0}{10,9 \cdot 10^5}$$

Dit is de vierde randvoorwaarde. D_0 en w zijn in C_1 , C_2 , C_3 en C_4 uit te drukken.

$$\begin{aligned} D_0 &= -EI \frac{d^3 w}{dx^3} \Big|_{x=20,15} \\ &= -EI \cdot 2\beta^3 \{-1,42 \cdot C_1 - 13,34 \cdot C_2 - 0,148 \cdot C_3 + 0,016 \cdot C_4\} \\ &= 10^5 \{6,45 \cdot C_1 + 60,64 \cdot C_2 + 0,67 \cdot C_3 - 0,07 \cdot C_4\} \end{aligned}$$

$$w(20,15) = -5,96 \cdot C_1 + 7,38 \cdot C_2 - 0,066 \cdot C_3 + 0,082 \cdot C_4 + 56 \cdot 10^{-5}$$

Uit de vier randvoorwaarden resulteren vier vergelijkingen in C_1 , C_2 , C_3 en C_4 . Deze zijn hieruit eenvoudig op te lossen met als resultaat:

$$\begin{aligned} C_1 &= 0,12 \cdot 10^{-3} \\ C_2 &= 1,08 \cdot 10^{-3} \\ C_3 &= -2,04 \cdot 10^{-3} \\ C_4 &= 1,08 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

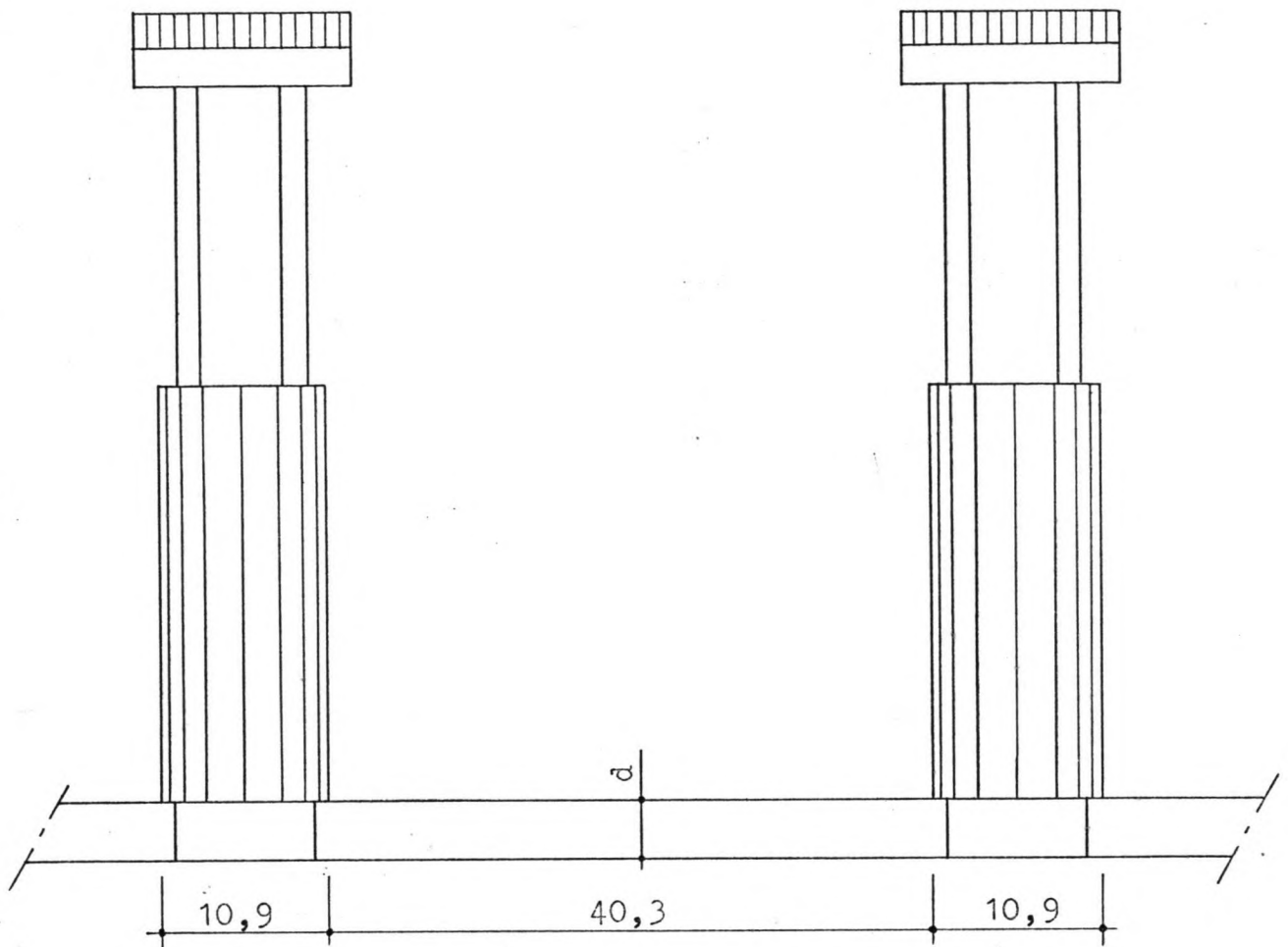
M.b.v. dit resultaat is uit te rekenen wat het moment in de drempel is t.p.v. de overgang met de pijler ($x = 20,15$):

$$M = -EI \frac{d^2 w}{dx^2} = EI \cdot 2\beta^2 \cdot 7,41 \cdot 10^{-3} = 28692 \text{ kNm.}$$

Het benodigd wapeningspercentage bedraagt 1 % hetgeen, gezien de grote dikte van de drempel, een zeer dicht wapeningsnet in meerdere lagen betekent. Het hier beschouwde belastinggeval behoeft niet maatgevend te zijn zodat mogelijkerwijs een nog dichter wapeningsnet vereist is.

BIJLAGE 14: Berekening pijler,
de drempel steekt onder de pijler.

Het boven- en zijaanzicht van de pijler zijn bij deze constructievorm gelijk aan die in bijlage 12. Het vooraanzicht van de pijler is hieronder getekend (schaal 1 : 500).



De dikte van de drempel wordt geschat op $d = 4$ m. Voor het glijden in de stroomrichting is de situatie identiek als bij de constructievorm van bijlage 13. De daar gevonden waarde $x = 6$ m. kan dus zonder meer overgenomen worden.

Om de krachten in de drempel te bepalen is het nodig om te weten welke kracht de pijler op de drempel uitoefent. Deze kracht is te bepalen uit het evenwicht van de pijler. De drempel fungeert daarbij als een soort starre veer. De veerconstante is te bepalen door de drempel als een elastisch ondersteunde ligger te beschouwen. De zakking van de ligger wordt gegeven door de formule:

$$w = e^{\beta x}(C_1 \cdot \cos \beta x + C_2 \cdot \sin \beta x) + e^{-\beta x}(C_3 \cdot \cos \beta x + C_4 \cdot \sin \beta x) + q/k$$

Hierin is $\beta = 0,11$ (zie blz. B.13.7)

De oorsprong van het assenstelsel wordt bij de overgang drempel-pijler gekozen. Uit het feit dat deze overgang geen moment kan overdragen volgen de eerste twee randvoorwaarden:

$$x = 0 \quad : \quad M = -EI \frac{d^2 w}{dx^2} = 0 \Rightarrow \frac{d^2 w}{dx^2} = 0 \Rightarrow$$

$$C_2 - C_4 = 0$$

$$x = 40,3 \quad : \quad M = 0 \Rightarrow \frac{d^2 w}{dx^2} = 0 \Rightarrow$$

$$87,99 \cdot C_1 - 18,98 \cdot C_2 - 0,011 \cdot C_3 + 0,002 \cdot C_4 = 0$$

Uit symmetrie overwegingen volgt dat de zakking van de beide einden van de drempel gelijk moet zijn. Hieruit volgt de derde randvoorwaarde:

$$w(0) = w(40,3)$$

$$C_1 + C_3 = -18,98 \cdot C_1 - 87,99 \cdot C_2 - 0,002 \cdot C_3 - 0,011 \cdot C_4 = 0$$

C_1 , C_3 en C_4 zijn nu in C_2 uit te drukken:

$$C_1 = 0,204 \cdot C_2$$

$$C_3 = -92,083 \cdot C_2$$

$$C_4 = C_2$$

Noem de zakking van de drempel t.p.v. de oorsprong van het assenstelsel w_0 en de dwarskracht in de drempel D_0 . Een positieve D_0 betekent dat de contactkracht tussen drempel en pijler op de drempel omhooggericht dus op de pijler omlaag gericht is. Uit de theorie voor de elastisch ondersteunde ligger volgt:

$$D_0 = -EI \frac{d^3 w}{dx^3} = -EI \cdot 2\beta^3 \cdot -90,287 \cdot C_2$$

$$= 38,455 \cdot 10^6 \cdot C_2$$

$$w_0 = C_1 + C_3 + q/k = -91,879 \cdot C_2 + q/k$$

Nu is D_0 in w_0 uit te drukken:

$$D_0 = 418540 \cdot \left(\frac{q}{k} - w_0 \right)$$

Deze kracht is op de pijler omlaag gericht. De op de pijler omhooggerichte kracht is:

$$-D_0 = 418540 \cdot (w_0 - q/k)$$

N.B. de bovenstaande afleiding is alleen geldig als de drempel over de volle breedte ondersteund is. Als hij door opbuiging in het midden los komt van de ondergrond is de theorie voor

elastisch ondersteunde liggers niet meer geldig.

Om de kracht in de drempel te kunnen bepalen wordt als belasting-geval genomen: aan beide zijden van de pijler zijn de schuiven gesloten, de waterstand bovenstrooms van de stuw is $h_0 = 25,6$ m. en de waterstand benedenstrooms van de stuw bedraagt $h_2 = 0$.

De belasting op de pijler bestaat dan, afgezien van de krachten uit ondergrond en drempel, uit de volgende componenten met bijbehorende excentriciteiten:

- pijler (boven 115 ⁺):	$G = 218246$ kN	$e_y = -0,85$ m.
- pijler (onder 115 ⁺):	$G = 24.4.10,9.36,9 = 38612$ kN	$e_y = 0$
- brug:	$G = 24576$ kN	$e_y = 2,0$ m.
- torens:	$G = 4514$ kN	$e_y = 11,0$ m.
- contragewichten:	$G = 7254$ kN	$e_y = 11,0$ m.
- schuiven (gesloten):	$G = 5642$ kN	$e_y = 11,0$ m.
- bewegingswerk:	$G = 2000$ kN	$e_y = 13,0$ m.
- water tegen de onderkant:		
	$W = -4.10.10,9.36,9 = -16088$ kN	$e_y = 0$
- water op de bovenkant:		
	$W = 12,7.256 = 3251$ kN	$e_y = -17,25$ m.
	$W = 2.1,2.4.256 = 2458$ kN	$e_y = -5,0$ m.
	$W = 2.1,2.4.256 = 2458$ kN	$e_y = 11,0$ m.

Verder werkt er op de pijler nog een moment t.g.v. de horizontale waterdruk op pijler en schuif. Deze bedragen respectievelijk (zie blz. B.13.5 en B.13.6):

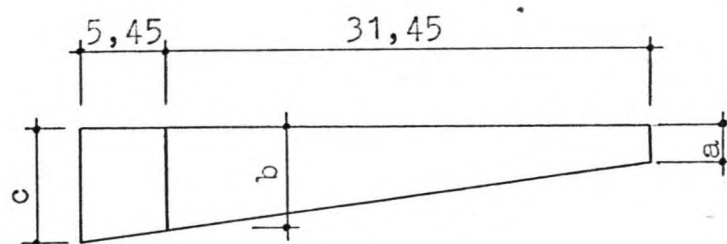
$$M_y^+ = 447655 \text{ kNm} \quad \text{en} \quad M_y^- = 1541959 \text{ kNm}$$

De som van bovenstaande componenten bedraagt:

$$F_{v1} = 292923 \text{ kN}$$

$$M_{y1} = 2029435 \text{ kNm}$$

Deze belasting moet weerstaan worden door de gronddruk onder de pijler en de "veerkracht" vanuit de drempel. Beiden zijn afhankelijk van de zetting van de pijler. Veronderstel dat de zetting van de pijler verloopt zoals in onderstaande figuur is aangegeven:



Hierin is:

a : de zetting van de bovenstroomse rand

c : de zetting van de benedenstroomse rand

b : de zetting t.p.v. de waterkering,

$$b = a + \frac{31,45}{36,90} \cdot (c - a) = \frac{31,45 \cdot c + 5,45 \cdot a}{36,90}$$

Door de zetting met de beddingconstante ($k = 10^5 \text{ kN/m}^2$) te vermenigvuldigen verkrijgt men de korrelspanning. De resultante hiervan is:

$$F_{v2} = -\frac{1}{2} \cdot (a + c) \cdot 10^5 \cdot 36,9 \cdot 10,9 \\ = -201 \cdot 10^5 \cdot (a + c)$$

Het moment van de korrelspanning t.o.v. het zwaartepunt van het grondvlak bedraagt:

$$M_{y2} = -\frac{1}{2} \cdot (c - a) \cdot 10^5 \cdot 10,9 \cdot 36,9 \cdot \frac{1}{6} \cdot 36,9 \\ = -124 \cdot 10^6 \cdot (c - a)$$

Om het verloop van D_0 langs de pijlerrand te kunnen bepalen moet q bekend zijn. De verticale belasting op de drempel bestaat, afgezien van de korrelspanning, uit:

- eigen gewicht, $q = 4 \cdot 24 = 96 \text{ kN/m}^2$
- opwaartse waterdruk tegen de onderkant, $w = -4 \cdot 10 = -40 \text{ kN/m}^2$
- waterdruk op de bovenkant van de drempel, benedenstrooms van de schuif is deze afwezig, bovenstrooms van de schuif bedraagt deze $w = 25,6 \cdot 10 = 256 \text{ kN/m}^2$

Bovenstrooms van de schuif is dus:

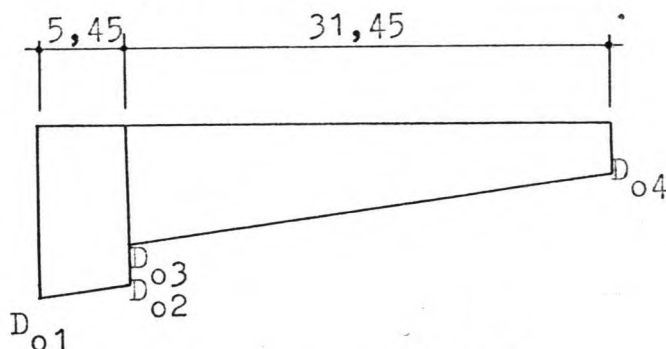
$$q = 96 - 40 + 256 = 312 \text{ kN/m}^2$$

en benedenstrooms:

$$q = 96 - 40 = 56 \text{ kN/m}^2$$

Door deze verschillende waarden voor q zal er t.p.v. de waterkering een sprong in D_0 optreden. Door het aanwezige dwarsverband in de drempel zal deze sprong in werkelijkheid wel gelijkmatiger zijn maar als benadering voor het gedrag is het wel geschikt.

In de volgende figuur is het verloop van de (op de pijler omlaag gerichte) kracht D_0 aangegeven.



Hierin is:

$$D_{o1} = 418540 \cdot (56 \cdot 10^{-5} - c)$$

$$D_{o2} = 418540 \cdot (56 \cdot 10^{-5} - b)$$

$$D_{o3} = 418540 \cdot (312 \cdot 10^{-5} - b)$$

$$D_{o4} = 418540 \cdot (312 \cdot 10^{-5} - a)$$

Dit is aan beide zijden van de pijler aanwezig.

In totaal is deze belasting:

$$\begin{aligned} F_{v3} &= 2 \cdot 418540 \cdot \left\{ \frac{1}{2} \cdot (312 \cdot 10^{-5} - a + 312 \cdot 10^{-5} - b) \cdot 31,45 + \right. \\ &\quad \left. \frac{1}{2} \cdot (56 \cdot 10^{-5} - b + 56 \cdot 10^{-5} - c) \cdot 5,45 \right\} \\ &= -154 \cdot 10^5 \cdot a - 154 \cdot 10^5 \cdot c + 84545 \end{aligned}$$

Het moment van deze belasting t.o.v. het zwaartepunt van het grondvlak is:

$$\begin{aligned} M_{y3} &= 2 \cdot 418540 \cdot \left\{ (312 \cdot 10^{-5} - a) \cdot 31,45 \cdot -2,73 + \frac{1}{2} \cdot (a - b) \cdot 31,45 \cdot \right. \\ &\quad \left. 2,52 + (56 \cdot 10^{-5} - b) \cdot 5,45 \cdot 15,73 + \frac{1}{2} \cdot (b - c) \cdot 5,45 \cdot 16,63 \right\} = \\ &= 95 \cdot 10^6 \cdot a - 95 \cdot 10^6 \cdot c - 184049 \end{aligned}$$

In totaal moet er krachtenevenwicht zijn dus:

$$\sum F_v = F_{v1} + F_{v2} + F_{v3} = 0$$

$$\sum M_y = M_{y1} + M_{y2} + M_{y3} = 0$$

$$\begin{aligned} \sum F_v = 0 \Rightarrow 292923 - 201 \cdot 10^5 \cdot (a + c) - 154 \cdot 10^5 \cdot a \\ - 154 \cdot 10^5 \cdot c + 84545 = 0 \Rightarrow \end{aligned}$$

$$a + c = 10,63 \cdot 10^{-3}$$

$$\begin{aligned} \sum M_y = 0 \Rightarrow 2029435 - 124 \cdot 10^6 \cdot (c - a) + \\ 95 \cdot 10^6 \cdot (a - c) - 184049 = 0 \Rightarrow \end{aligned}$$

$$c - a = 8,35 \cdot 10^{-3}$$

Uit de twee bovenstaande vergelijkingen zijn a en c op te lossen:

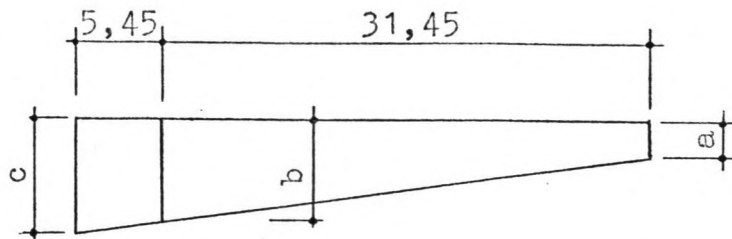
$$a = 1,14 \cdot 10^{-3}$$

$$c = 9,49 \cdot 10^{-3}$$

Aan de bovenstroomse rand is de kracht tussen drempel en pijler:

$$D_o = 418540 \cdot (312 \cdot 10^{-5} - 114 \cdot 10^{-5}) = 829 \text{ kN}$$

Dit betekent dat er tussen pijler en drempel een trekkracht aanwezig is hetgeen fysisch niet kan. Het rekenmodel moet dus aangepast worden zodanig dat er tussen pijler en drempel geen trekkracht optreedt. Het verloop van de zetting wordt wederom als volgt aangenomen:



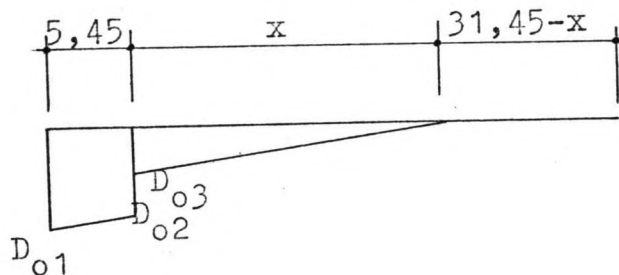
De resultante van de korrelspanning op de onderkant is:

$$F_{v2} = -201 \cdot 10^5 \cdot (a + c)$$

Het moment hiervan t.o.v. het zwaartepunt van het grondvlak is:

$$M_{y2} = -124 \cdot 10^6 \cdot (c - a)$$

Het verloop van de (op de pijler omlaag gerichte) kracht D_o is in de volgende figuur aangegeven.



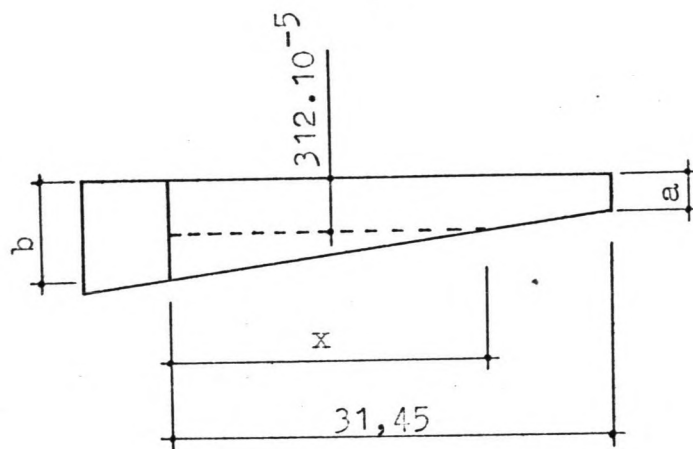
Hierin is:

$$D_{o1} = 418540 \cdot (56 \cdot 10^{-5} - c)$$

$$D_{o2} = 418540 \cdot (56 \cdot 10^{-5} - b)$$

$$D_{o3} = 418540 \cdot (312 \cdot 10^{-5} - b)$$

Als $D_o = 0$ is de zetting van de drempel: $w = 312 \cdot 10^{-5}$ m. De zetting van de pijler moet in dat geval minder zijn. De grootte van x volgt uit de volgende zettingsfiguur.



$$\frac{x}{31,45} = \frac{b - 312 \cdot 10^{-5}}{b - a}$$

De over de beide pijlerranden gesommeerde kracht D_0 bedraagt:

$$F_{V3} = 2.418540 \cdot \left\{ \frac{1}{2} \cdot x \cdot (312 \cdot 10^{-5} - b) + \frac{1}{2} \cdot (56 \cdot 10^{-5} - b + 56 \cdot 10^{-5} - c) \cdot 5,45 \right\}$$

Het moment van deze kracht t.o.v. het zwaartepunt van het grondvlak bedraagt:

$$M_{Y3} = 2.418540 \cdot \left\{ \frac{1}{2} \cdot x \cdot (312 \cdot 10^{-5} - b) \cdot (13 - \frac{1}{3} \cdot x) + (56 \cdot 10^{-3} - b) \cdot 5,45 \cdot 15,73 + \frac{1}{2} \cdot (b - c) \cdot 5,45 \cdot 16,63 \right\}$$

Uit de eisen:

$$\sum F_v = F_{v1} + F_{v2} + F_{v3} = 0$$

$$\sum M_y = M_{y1} + M_{y2} + M_{y3} = 0$$

en de gevonden uitdrukkingen voor b en x zijn a, b, c en x op te lossen. Dit gaat het beste proberenderwijs. Het resultaat van deze berekening is:

$$a = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

$$b = 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

$$c = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

$$x = 21,1 \text{ m.}$$

Hieruit valt te concluderen dat onder de gehele pijler de zetting positief is zodat ook onder het gehele grondvlak een korreldruk aanwezig is. De zetting van de pijler is maximaal bij de benedenstroomse rand van de pijler en bedraagt daar:

$$w_0 = c = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

De contactkracht tussen drempel en pijler is daarmee:

$$\begin{aligned} D_0 &= 418540 \cdot \left(\frac{g}{k} - w_0 \right) \\ &= 418540 \cdot (56 \cdot 10^{-5} - 9,8 \cdot 10^{-3}) \\ &= -3867 \text{ kN} \end{aligned}$$

De onbekenden C_1 , C_2 , C_3 en C_4 uit de formule voor w zijn nu te bepalen.

$$\begin{aligned} D_0 &= 38,455 \cdot 10^6 \cdot C_2 \Rightarrow C_2 = -10 \cdot 10^{-5} \\ C_1 &= 0,204 \cdot C_2 = -2 \cdot 10^{-5} \\ C_3 &= -92,083 \cdot C_2 = 926 \cdot 10^{-5} \\ C_4 &= C_2 = -10 \cdot 10^{-5} \end{aligned}$$

De zakkingslijn en momentenlijn voor de benedenstroomse rand zijn nu respectievelijk:

$$\begin{aligned} w &= e^{\beta x} \cdot (-2 \cdot 10^{-5} \cdot \cos \beta x - 10 \cdot 10^{-5} \cdot \sin \beta x) + \\ &e^{-\beta x} \cdot (926 \cdot 10^{-5} \cdot \cos \beta x - 10 \cdot 10^{-5} \cdot \sin \beta x) + 56 \cdot 10^{-5} \end{aligned}$$

$$M = -EI \frac{d^2 w}{dx^2} = e^{\beta x} \cdot (387,2 \cdot \cos \beta x - 77,44 \cdot \sin \beta x) + e^{-\beta x} \cdot (-35854,72 \cdot \sin \beta x - 387,2 \cdot \cos \beta x)$$

In de volgende tabel zijn voor verschillende waarden van x de zakking en het moment bepaald.

x(m)	w(mm)	M(kNm)
0	9,8	0
2	7,7	-6217
4	5,8	-9642
6	4,1	-11052
8	2,7	-11087
10	1,6	-10291
12	0,7	-9100
14	0,1	-7857
16	-0,3	-6790
18	-0,6	-6073
20,15	-0,7	-5794

Uit deze tabel blijkt dat de drempel in het midden niet ondersteund is. Dit betekent dat de gemaakte afleiding voor het verband tussen de zetting van de pijlervoet en de kracht die tussen de drempel en de pijler werkt niet meer geldig is hetgeen een meer gecompliceerde berekening noodzakelijk maakt.

