

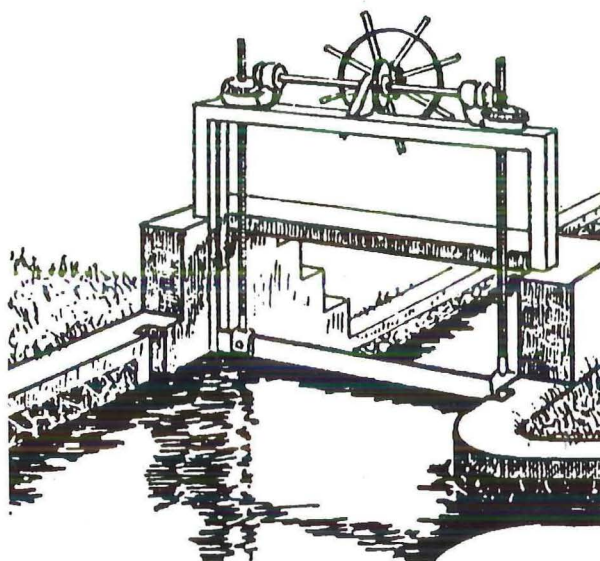
CTIw3410

Waterbeheersing

Oefenopgaven

november 1999

Ir. P. Ankum



OEFENOPGAVEN

Waterbeheersing

(College LW3410)

1. De onderstaande opgaven zijn bedoeld als **oefenmateriaal** voor het tentamen LW3410, en dekken de stof niet volledig. Bestudeer dus de volledige leerstof van het dictaat en de collegeaantekeningen!

2. Het min-teken voor vochtspanning van grondwater in de onverzadigde zone kan gemakkelijk voor verwarring zorgen. In deze bundel is gekozen voor:

- h is de **drukhoogte**: met een *negatieve* waarde in de onverzadigde zone,
- ψ is de **zuigspanning** of **vochtspanning**: met een *positieve* waarde in de onverzadigde zone, waarbij dus de drukhoogte $h = -\psi$ in de onverzadigde zone.

3. Eigen formulebladen e.d. zijn niet toegestaan op het tentamen. U kunt echter wel gebruik maken van de gegeven formules. Formules die veelal worden **gegeven op de tentamenopgave**, zijn:

$$v = -K_{\psi} \frac{dH}{dz}$$

$$q = \frac{8K_o dh + 4K_b h^2}{L^2},$$

$$d = \frac{D}{1 + \frac{8D}{\pi L} \ln \frac{D}{u}} \quad (L > 4D), \quad d = \frac{\pi L}{8 \ln \frac{L}{u}} \quad (L < 4D)$$

$$L = \pi \sqrt{\frac{KDt}{\mu} \frac{1}{\ln \left(1,16 \frac{h_o}{h_t} \right)}}$$

$$Q_{\max} = k A R^{\frac{2}{3}} (3 \times s_{\text{gem}})^{\frac{1}{2}}$$

$$v = k R^{\frac{2}{3}} s^{\frac{1}{2}} \quad Q = 1,7 b H^{\frac{3}{2}}, \text{ waarin } z > \frac{1}{3} H$$

$$z = \alpha \frac{v^2}{2g}, \text{ met } \alpha_i = 0,5 \text{ en } \alpha_v = 1,0$$

Opgave 1 (okt 1993: 2a+2b)

a. Wat is de formule voor *horizontale* verzadigde grondwaterstroming? Geef de afleiding van de formule voor verticale onverzadigde grondwaterstroming. Wat is de formule voor *horizontale* onverzadigde grondwaterstroming? Benoem de gebruikte letters in de formules.

b. De tabellen van Rijtema worden vaak gebruikt voor de berekening van de stroming in de onverzadigde zone. Geef aan welke parameters in deze tabel staan, en maak een opzet van deze tabel (getallen zijn niet nodig). Welke type berekeningen voor de stroming in de onverzadigde zone kan men uitvoeren? Geef kort aan hoe de berekening van het vochtgehalteprofiel bij twee bodemlagen plaatsvindt.

Opgave 2 (apr 1999: 1c)

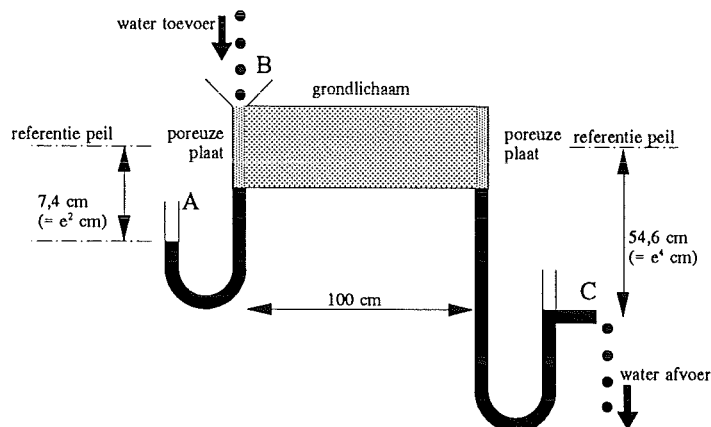
Maak een schatting van de 'verzadigde doorlatendheid' $K_{verz.}$ van lichte klei op basis van de Rijtema tabel voor Licht Klei, zie tabel 2.1.

Tabel 2.1. Rijtema tabel voor Lichte Klei.

v (cm/day) :	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,1	0,06	0,02
ψ (cm)								
θ (vol. %)								
z (cm) :								
0	50,0							
20	48,3	17,7	18,2	18,5	19,0	19,3	19,5	19,7
50	46,7	42,2	43,5	45,0	46,5	47,3	48,2	48,9
100	42,0	74,0	77,7	82,0	87,0	89,8	92,9	95,6
250	28,1	102,6	111,0	122,1	137,8	148,8	164,0	182,0
500	24,8	104,6	113,7	125,7	143,1	155,7	174,2	198,4
1000	21,3	105,9	115,3	127,8	146,3	160,1	180,6	209,1
2500	16,7	107,0	116,7	129,7	149,1	163,8	186,2	218,3
5000	14,2	107,7	117,5	130,7	150,7	165,9	189,4	223,7
10000	11,6	108,2	118,2	131,6	152,0	167,7	192,0	228,0
16000	9,8	108,5	118,5	132,1	152,7	168,6	193,4	230,3

Opgave 3 (aug 1998: 2a)

Een laboratorium test wordt uitgevoerd op een grondlichaam. Er wordt gebruik gemaakt van de proefopstelling zoals aangegeven in figuur 3.1. Daarbij is het grondlichaam ingeklemd tussen twee poreuze platen, waardoor een stationaire stroming optreedt. De aangegeven waterdrukken " e^2 " en " e^4 " (e is het natuurlijke getal: $e = 2,71828$) in de poreuze platen worden gehandhaafd door een wateraanvoer en een waterafvoer. De doorlatendheid van de grond (in cm/dag) bedraagt: $K = 1/\psi$, waarbij ψ is de zuigspanning (in cm waterkolom) in de grond. Bepaal de stroomsnelheid van het water door het grondlichaam.



Figuur 3.1. Proefopstelling (niet op schaal).

Opgave 4 (okt 1993: 2c)

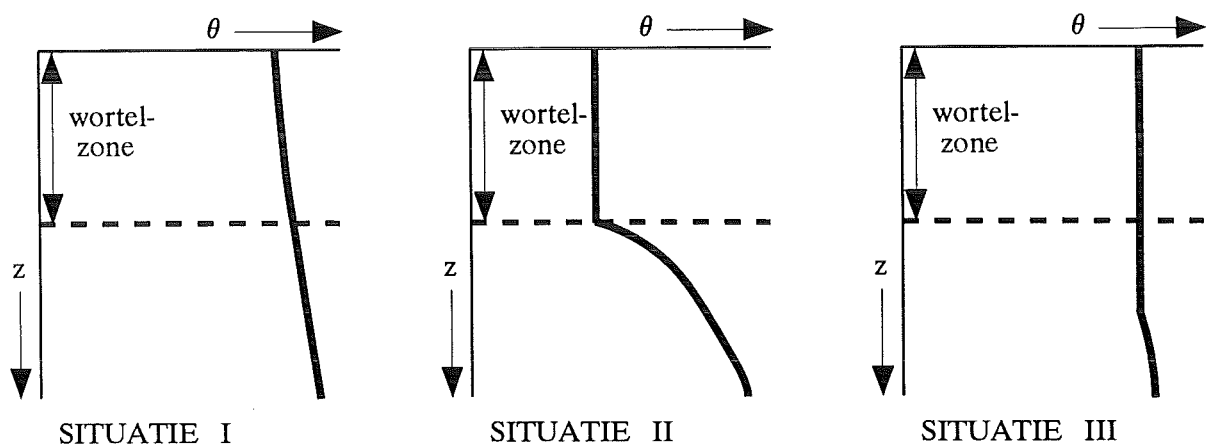
Gegeven is voor een bepaalde grondsoort dat $K = 1,4 e^{-0,04\psi}$ voor $\psi < 50$ cm, en $K = 30 \psi^{-1,5}$ voor $\psi > 50$ cm. Bereken de relatie tussen de grondwaterstand z en de zuigspanning ψ op een afstand 0,30 m boven de grondwaterstand en voor een capillaire opstijging van $v = 4$ mm/dag. Geadviseerd wordt om in rekenstappen van $\psi = 10$ cm te werken.

Opgave 5 (apr 1998: 1a)

Geef uitleg van het begrip "veldcapaciteit". Bespreek daarbij ook: wát is veldcapaciteit, wat is het begrip "pF", waarom neemt men juist pF2 aan voor diepe gronden, welke pF neemt men bij een grondwaterstand van 0,50 m beneden maaiveld, is pF2 ook toepasbaar voor een spons of verwacht u een grotere of kleinere waarde?

Opgave 6 (nov 1995: 2)

Een aantal vochtgehalteprofielen van deze bodem zijn gegeven in figuur 6.1. Onder welke omstandigheden treden de getoonde situaties op?



Figuur 6.1. Bodemvocht profielen.

Opgave 7 (okt 1995: 2a + 2b & aug 1999: 1b+c)

Een gewas met een worteldiepte van 0,30 m verdampt 4 mm/dag. Het bodemprofiel bestaat uit fijnzandige zavelgrond ("fine sandy loam") tot op 0,90 m beneden maaiveld, en beneden 0,90 m ÷ maaiveld uit zandige zavelgrond ("sandy loam"). De Rijtema tabellen van deze gronden zijn gegeven in tabel 7.1 en tabel 7.2. De grondwaterstand ligt op 1,40 m beneden maaiveld.

U moet vochtgehalteprofielen tekenen in één figuur. Neem als schalen bijvoorbeeld: horizontaal 2,5 cm \cong 10% en verticaal 1,0 cm \cong 0,10 m. U moet de verschillende lijnen duidelijk tekenen (gebruik eventueel een kleur). De gebruikte punten moeten ook worden getekend. Geef van deze punten de waarden van het vochtgehalte θ en de afstand tot bijvoorbeeld de scheidingsslaag, wortelzone of de grondwaterstand.

- Teken het vochtgehalteprofiel in de wortelzone wanneer de grond op veldcapaciteit is?
- Bepaal de zuigspanning in de wortelzone bij een capillaire toelevering van 4 mm/dag uit het grondwater. Teken het vochtprofiel van de grond.
- Bepaal het 'luchtgehalte' in de wortelzone aan het begin van het groeiseizoen. Beoordeel de kwaliteit van deze grond. Is een verlaging van de grondwater een verbetering of een verslechtering van de kwaliteit van de grond aan het begin van het groeiseizoen, en waarom?
Na een periode van neerslag in de winter ligt de grondwaterstand op 0,90 m beneden maaiveld, en is de grond op veldcapaciteit.
- Bepaal de hoeveelheid water (in mm) dat vrijkomt uit de grond wanneer de grondwaterstand in de winter daalt van 0,90 m tot 1,40 m beneden maaiveld. Wat is dan de 'bergingscoëfficiënt'?

Tabel 7.1. Fine sandy loam. (0 - 0,90 m)

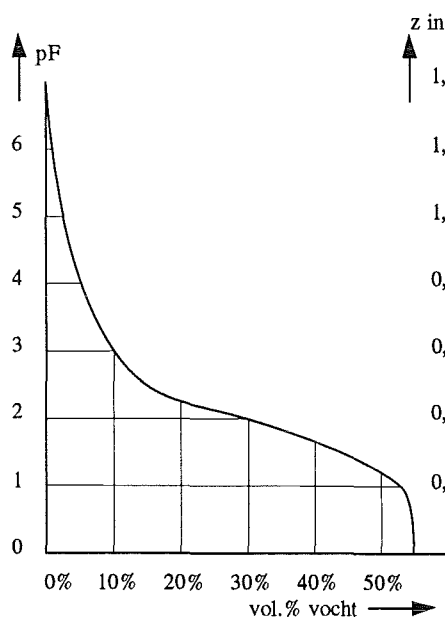
v (cm/day) :		0,5	0,4
ψ (cm)	θ (vol. %)	z (cm) :	
0	40,3		
20	38,9	19,1	19,0
50	37,4	47,0	48,0
100	34,0	88,0	90,0
250	20,4	137,0	145,0
500	17,8	140,9	150,0
1 000	14,0	143,3	153,0
2 500	10,6	145,4	155,0
5 000	9,0	146,6	157,0
10 000	7,7	147,5	158,0
16 000	7,0	148,0	159,0

Tabel 7.2. Sandy loam. (> 0,90 m)

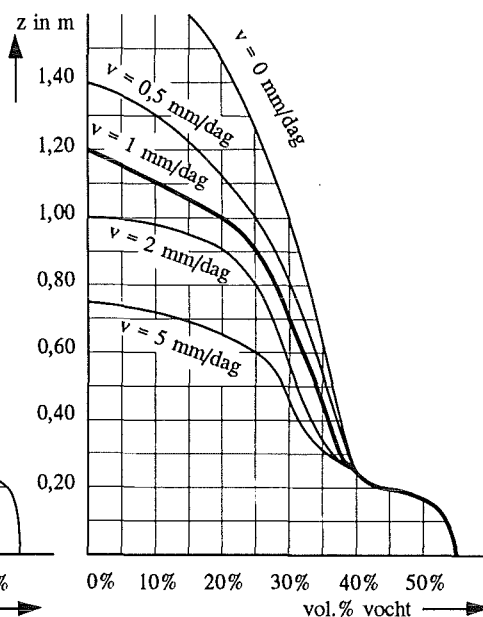
v (cm/day) :		0,5	0,4
ψ (cm)	θ (vol. %)	z (cm) :	
0	48,0		
20	42,6	18,7	19,0
50	36,0	39,7	40,0
100	26,0	47,6	50,0
250	18,0	47,9	55,0
500	14,2	47,9	55,0
1 000	11,8	47,9	55,0
2 500	9,2	48,0	55,0
5 000	7,9	48,0	55,0
10 000	6,8	48,0	55,0
16 000	6,1	48,0	55,0

Opgave 8 (nov 1994: 2)

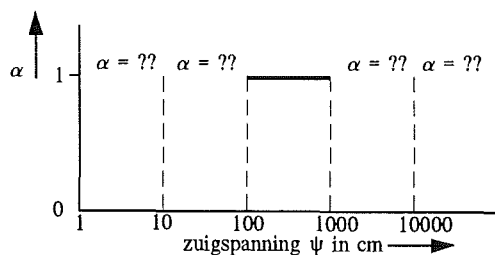
Nederland heeft vaak te lijden onder een nat voorjaar. Uitstel van de poot- en zaaidatum in het voorjaar heeft voor een groot aantal gewassen een grote opbrengstderving tot gevolg. Bij veel agrariërs ontstaat nu de gedachte, de grondwaterspiegel in het voorjaar te verlagen. Maar omdat de slimme boer uit het Noorden van het land ook wel weet dat dit niet straffeloos kan worden gedaan, vraagt hij U om advies.



Figuur 8.1. pF curve.



Figuur 8.2. Vochtgehalte profielen.



Figuur 8.3. Relatie α en ψ voor $100 < \psi < 1000$.

Hij stelt U de volgende gegevens ter hand: er is een homogeen grondpakket tot ± 4 meter diepte, de effectieve wortelzone bedraagt 0,40 m, het groeiseizoen is 125 dagen, de gemiddelde neerslag gedurende het groeiseizoen bedraagt 50 mm, en is gelijkmatig over het seizoen verdeeld, de pF-curve van de grond is gegeven in figuur 8.1, het vochtgehalteprofiel van de grond is gegeven in figuur 8.2.

Uit de literatuur haalt u het volgende: de bodemverdamping bedraagt 0,2 mm/dag, de plantverdamping is afhankelijk van het beschikbare hoeveelheid vocht in de wortelzone:

$E_{\text{plant}} = \int S(\psi) dw$, met: $S(\psi) = S_{\text{max}} \times \alpha(\psi)$, en $S_{\text{max}} = 0,0045 \text{ dag}^{-1}$
 waarin: w is de dikte van de wortelzone, ψ is de zuigspanning: $100 < \psi < 1000$, en α is een coëfficiënt afhankelijk van de zuigspanning ψ , zie figuur 8.3.

- Bereken de totale hoeveelheid plantverdamping gedurende een volledig groeiseizoen, geef een optimale vochtleverantie met $100 < \psi < 1000$ cm.
- Teken de relatie tussen de coëfficiënt α en de zuigspanning ψ (zie ook figuur 8.3) voor het gehele traject $\psi > 1$, en geef een korte argumentatie. Bepaal het direct beschikbare hoeveelheid vocht voor de plant uit de wortelzone gedurende het groeiseizoen (dus zonder capillaire opstijging mee te rekenen!).
- Teken het vochtgehalteprofiel aan het einde van het groeiseizoen voor $\psi = 1000$ cm en $v = 1$ mm/dag. Hoe diep staat het grondwater dan onder het maaiveld? (gebruik als horizontale schaal bijv.: 1 cm \cong 10 vol.%, en als verticale schaal: 1 cm \cong 0,10 m).
- Teken ook het vochtprofiel aan het begin van het groeiseizoen (veldcapaciteit!) bij een grondwaterstand 1,10 m beneden maaiveld. Bepaal uit de vochtprofielen de capillaire levering gedurende het groeiseizoen. Geef uw advies betreffende deze grondwaterstand in het voorjaar.

Opgave 9 (jun 1995: 2)

Een bodemprofiel bestaat uit lichte zavelgrond tot op 0,50 m beneden maaiveld, en beneden deze 0,50 m ÷ maaiveld uit lemig middel-grof zand. De Rijtema tabellen van deze gronden zijn gegeven in tabel 9.1 en 9.2.

U moet drie vochtgehalteprofielen tekenen in één figuur. Neem als schalen bijvoorbeeld: horizontaal 2,5 cm \cong 10% en verticaal 2,5 cm \cong 0,10 m. U moet de verschillende lijnen duidelijk tekenen (gebruik eventueel een kleur). De gebruikte punten moeten ook worden getekend. Geef van deze punten de waarden van het vochtgehalte θ en de afstand tot bijvoorbeeld de scheidingslaag, wortelzone of de grondwaterstand.

- Aan het begin van het groeiseizoen staat de grondwaterstand op 0,50 m beneden het maaiveld, dus op de scheidingslaag van de twee grondsoorten. De grond is dan op veldcapaciteit. Teken het vochtgehalteprofiel.
- Na deze periode van veldcapaciteit, treedt er een bodemverdamping op van 2 mm/dag. Er is dan nog geen gewas. De grondwaterstand blijft nog op 0,50 m beneden maaiveld, terwijl er een capillaire opstijging is van 2 mm/dag. Teken dit vochtgehalteprofiel.

Tabel 9.1. Rijtema tabel voor lichte zavel.

v (cm/dag) :	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,1	0,06	0,02	
ψ (cm)	θ (vol.%)	z (cm) :							
0	50,0								
20	48,7	18,3	18,6	19,0	19,0	19,4	19,3	19,6	
50	47,0	44,2	45,3	46,0	48,0	48,1	48,7	49,2	
100	46,1	81,3	84,2	88,0	91,0	93,3	95,4	97,2	
250	32,5	127,7	137,2	149,0	165,0	176,8	191,3	207,3	
500	27,9	134,4	145,5	160,0	179,0	197,2	220,5	252,1	
1 000	23,5	136,6	150,7	167,0	192,0	211,1	241,3	285,4	
2 500	18,7	142,3	155,3	173,0	203,0	223,2	259,1	315,2	
5 000	12,5	144,4	157,9	177,0	207,0	230,2	269,6	322,8	
10 000	10,3	146,1	160,1	179,0	210,0	236,0	278,2	347,0	
16 000	9,2	147,0	161,2	181,0	212,8	239,0	282,8	354,6	
								617,4	

Tabel 9.2. Rijtema tabel voor lemig middel-grof zand.

v (cm/day) :	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,10	0,06	0,02	
ψ (cm)	θ (vol.%)	z (cm) :							
0	30,1								
20	29,5	3,7	4,3	5,0	6,0	6,6	7,5	8,3	9,4
50	24,7	11,6	13,6	15,0	20,9	24,2	28,9	34,4	43,1
100	20,9	13,9	16,4	18,5	26,2	31,0	38,3	48,1	68,8
250	17,1	14,5	17,2	20,0	27,6	32,9	41,1	52,7	81,5
500	14,1	14,7	17,5	21,5	28,2	33,7	42,4	54,8	87,6
1 000	10,0	14,9	17,7	21,8	28,7	34,3	43,3	56,4	92,3
2 500	5,6	15,1	17,9	22,1	29,1	34,9	44,1	57,7	96,4
5 000	4,3	15,2	18,0	22,3	29,4	35,2	44,6	58,5	98,7
10 000	3,0	15,3	18,1	22,4	29,5	35,5	45,0	59,1	100,6
16 000	2,1	15,3	18,2	22,5	29,6	35,6	45,2	59,5	101,6

c. Na enige tijd staat er wel een gewas, met een worteldiepte van 0,20 m. De wortels van het gewas onttrekken met een zuigspanning van pF4. De capillaire opstijging is gelijk aan de gewas en bodemverdamping tesamen, en bedraagt in het totaal 3 mm/dag. De grondwaterstand is gezakt. Teken ook dit vochtgehalteprofiel, en bepaal de nieuwe ligging van het grondwater.

Opgave 10 (apr 1998: 1b+c)

U bent uitgenodigd om het waterbeheer in een bestaande polder te optimaliseren met als mogelijke aanbeveling om het polderpeil te veranderen. De volgende grondsoorten treft U aan: (i) leemhoudend zand, en (ii) zavel, zie ook de bijbehorende Rijtema tabellen.

U kunt aannemen dat de wortelzone van het gewas 0,30 m bedraagt. Het luchtgehalte voor optimale groei bedraagt tenminste 10%.

a. Bepaal de hoogst-toelaatbare grondwaterstand in de polder aan het begin van het groeiseizoen wanneer de grond op veldcapaciteit is, voor gebieden in de polder met (i) alleen leemhoudend zand en en met (ii) alleen zavel. Welk polderpeil beneden het maaiveld adviseert u voor de gehele polder? Verwacht u problemen met de capillaire nalevering tijdens droogten in de gebieden in de polder met (i) alleen leemhoudend zand en en met (ii) alleen zavel?

Men verzoekt u om een verdere analyse uit te voeren op het volgende bodemprofiel:

- 0,00 - 0,30 m beneden maaiveld: leemhoudend zand (=wortelzone),
- 0,30 - 1,30 m beneden maaiveld: zavel,
- 1,30 - 3,00 m beneden maaiveld: leemhoudend zand.

b. Teken het vochtgehalteprofiel wanneer de grond op veldcapaciteit is en de grondwaterstand op 1,30 m onder maaiveld ligt. Teken het vochtgehalteprofiel voor een capillaire nalevering van 2 mm/dag bij een uitdroging van de wortelzone tot pF3,0 en een verlaging van het grondwaterpeil. Hoeveel dagen kan het gewas overleven bij een evapo-transpiratie van 2 mm/dag?

Tabel 10.1. Leemhoudend zand.

v (cm/dag) :	0,4	0,3	0,2	0,1	
ψ (cm)	θ (vol.%)	z (cm) :			
0	31,1				
10	30,7				
20	30,1	4,3	5,0	6,0	7,5
50	25,7	13,6	16,5	20,9	28,9
100	20,9	16,4	20,1	26,0	38,3
250	17,1	17,2	21,1	27,6	41,1
500	14,1	17,5	21,5	28,2	42,4
1000	10,0	17,7	21,8	28,7	43,3
2500	5,6	17,9	22,1	29,1	44,1
5000	4,3	18,0	22,3	29,4	44,6
10000	3,0	18,1	22,4	29,5	45,0
16000	2,1	18,2	22,5	29,6	45,2

Tabel 10.2. Zavel

v (cm/dag) :	0,4	0,3	0,2	0,1	
ψ (cm)	θ (vol.%)	z (cm) :			
0	50,0				
10	49,9				
20	49,8	17,6	18,1	18,7	19,3
50	47,0	42,4	44,0	45,8	47,8
100	36,5	77,4	81,9	87,0	93,0
250	33,6	124,7	137,9	156,0	184,5
500	31,5	134,0	150,1	173,8	217,3
1000	29,4	140,3	158,3	187,0	241,3
2500	26,7	145,6	165,4	196,7	262,4
5000	24,5	148,7	169,6	203,0	274,9
10000	22,4	151,2	173,0	208,0	284,9
16000	21,0	152,6	174,7	210,7	290,3

Opgave 11 (aug 1998: 1)

Uw advies wordt gevraagd voor de verbetering van de watervoorziening van een landbouwgebied. Het bodemprofiel bestaat uit een twee-lagen grondpakket. De wortelzone bedraagt 0,50 meter en bestaat uit zavel, zie tabel 11.1. Daaronder bestaat de bodem uit lichte zavel tot 4 meter diepte, zie tabel 11.2. Een *gemiddelde* regenval van 100 mm is nuttig voor de landbouw tijdens het groeiseizoen. De grondwaterstand in het voorjaar ligt op 1 meter beneden maaiveld.

U moet twee vochtgehalteprofielen tekenen in één figuur. Neem als schalen bijvoorbeeld: horizontaal 2,5 cm \cong 10% en verticaal 1,0 cm \cong 0,10 m. U moet de verschillende lijnen duidelijk tekenen (gebruik eventueel een kleur). De gebruikte *punten* moeten ook worden getekend. Geef van deze punten de waarden van het *vochtgehalte* θ en de *afstand* tot bijvoorbeeld de scheidingslaag, wortelzone of de grondwaterstand.

a. Teken het vochtgehalte profiel in het voorjaar.

b. Teken het vochtgehalte profiel tegen het einde van het groeiseizoen, als door capillaire opstijging nog net 3 mm vocht per dag wordt geleverd en bij een zuigspanning van pF3.

c. Bereken de totale hoeveelheid vocht die door het gewas gedurende het groeiseizoen is verbruikt.

d. Voor een optimale groei van de plant is een hoeveelheid nodig die juist onder 'c' is berekend. Geef aan welke maatregelen genomen kunnen worden voor de *optimale* watervoorziening.

Tabel 11.1. Rijtema tabel voor Zavel.

v (cm/dag) :	0,4	0,3	0,2	0,1	
ψ (cm)	θ (vol%)	z (cm) :			
0	50,0				
20	49,8	17,6	18,1	18,7	19,3
50	45,0	42,4	44,0	45,8	47,8
100	36,5	77,4	81,9	87,0	93,0
250	33,6	124,7	137,9	156,0	184,5
500	31,5	134,0	150,1	173,8	217,3
1000	29,4	140,3	158,3	187,0	241,3
2500	26,7	145,6	165,4	196,7	262,4
5000	24,5	148,7	169,6	203,0	274,9
10000	22,4	151,2	173,0	208,0	284,9
16000	21,0	152,6	174,7	210,7	290,3

Tabel 11.2. Rijtema tabel voor Lichte Zavel.

v (cm/day) :	0.4	0.3	0.2	0.1	
ψ (cm)	θ (vol%)	z (cm) :			
0	50.0				
20	48.7	18.6	19.0	19.3	19.3
50	47.4	45.3	46.0	47.5	48.7
100	42.1	84.2	88.0	91.3	95.4
250	32.5	137.2	149.0	165.7	191.3
500	27.9	145.5	160.0	181.4	220.5
1000	20.5	150.7	167.0	191.9	241.3
2500	13.7	155.3	173.0	201.0	259.1
5000	12.5	157.9	176.6	206.3	269.6
10000	10.3	160.1	179.4	210.6	278.2
16000	9.2	161.2	180.9	212.8	282.8

Opgave 12 (apr 1999: 1a+b)

Men wil een gebied in cultuur brengen. Het bodemprofiel bestaat uit twee-lagen: de bovenste laag tot 1,10 m beneden maaiveld bestaat uit 'fijn-zandige leem', daaronder uit 'lichte klei', zie de Rijtema tabellen. De wortelzone heeft een dikte van 0,30 m.

De grond aan het begin van het groeiseizoen is op veldcapaciteit, met een grondwaterspiegel op 1,10 m beneden maaiveld. In het groeiseizoen valt geen neerslag, en bedraagt de gewasverdamping 3 mm/dag. De vochtonttrekking mag worden geschematiseerd in achtereenvolgens (i) een uitdroging van de wortelzone tot pF3,4; (ii) daarna een onttrekking uit de ondergrond; en (iii) die stopt bij een snelheid $v < 0,6$ mm/dag.

U moet twee vochtgehalteprofielen tekenen in één figuur. Neem als schalen bijvoorbeeld: horizontaal 2,5 cm \cong 10% en verticaal 1,0 cm \cong 0,10 m. U moet de verschillende lijnen duidelijk tekenen (gebruik eventueel een kleur). De gebruikte *punten* moeten ook worden getekend. Geef van deze punten de waarden van het *vochtgehalte* θ en de *afstand* tot bijvoorbeeld de scheidingslaag, wortelzone of de grondwaterstand.

a. Teken het vochtgehalteprofiel in de beide bodemlagen wanneer de grond op veldcapaciteit is en de grondwaterstand op 1,10 m onder maaiveld ligt. Teken het vochtgehalteprofiel voor een capillaire nalevering van 3 mm/dag bij een uitdroging van de wortelzone tot pF3,4 en een verlaging van het grondwaterpeil.

b. Na hoeveel dagen begint de capillaire nalevering van de ondergrond, en wat is dan de grondwaterstand? Na hoeveel dagen vanaf veldcapaciteit kan de ondergrond niet meer aan de gewasverdamping voldoen, en wat is dan de grondwaterstand? Wat is de laagste grondwaterstand die mogelijk is, wanneer er geen verzadigde horizontale grondwaterstroming is naar een drainagesysteem?

Tabel 12.1. Rijtema tabel voor Fijn-Zandige Leem (bovenste laag: boven 1,10 m ÷ m.v.).

v (cm/day) :		0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,1	0,06	0,02
ψ (cm)	θ (vol. %)	z (cm) :							
0	40,3								
20	39,9	19,1	19,3	19,5	19,7	19,7	19,8	19,9	20,0
50	37,4	47,0	47,5	48,1	48,7	49,0	49,4	49,6	49,9
100	33,6	88,0	90,1	89,0	94,7	95,9	97,2	98,3	99,4
250	20,4	137,0	145,1	155,0	169,8	179,5	192,3	213,7	230,0
500	17,8	140,9	150,0	162,0	179,4	192,0	210,6	235,5	297,1
1000	14,0	143,3	153,1	166,0	185,3	199,4	222,4	254,7	350,6
2500	10,6	145,4	155,6	169,0	190,4	206,7	232,5	271,6	399,9
5000	9,0	146,6	157,1	171,4	193,4	210,7	238,4	281,5	429,3
10000	7,7	147,5	158,3	173,0	195,8	213,9	243,2	289,5	453,2
16000	7,0	148,0	158,9	173,9	197,1	215,6	245,8	293,7	465,9

Tabel 12.2. Rijtema tabel voor Lichte Klei (onderste laag: beneden 1,10 m ÷ m.v.).

v (cm/day) :		0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,1	0,06	0,02
ψ (cm)	θ (vol. %)	z (cm) :							
0	50,0								
20	48,3	17,7	18,2	18,5	19,0	19,3	19,5	19,7	19,9
50	46,7	42,2	43,5	45,0	46,5	47,3	48,2	48,9	49,6
100	42,0	74,0	77,7	82,0	87,0	89,8	92,9	95,6	98,5
250	28,1	102,6	111,0	122,1	137,8	148,8	164,0	182,0	214,3
500	24,8	104,6	113,7	125,7	143,1	155,7	174,2	198,4	256,5
1000	21,3	105,9	115,3	127,8	146,3	160,1	180,6	209,1	287,2
2500	16,7	107,0	116,7	129,7	149,1	163,8	186,2	218,3	314,4
5000	14,2	107,7	117,5	130,7	150,7	165,9	189,4	223,7	330,5
10000	11,6	108,2	118,2	131,6	152,0	167,7	192,0	228,0	343,5
16000	9,8	108,5	118,5	132,1	152,7	168,6	193,4	230,3	350,5

Opgave 13 (apr 1997: 1)

U bent als waterbeheerder belast met het vaststellen van het winter- en zomerpeil in het openwatersysteem in een polder.

Het maatgevende gewas heeft een worteldiepte van 0,40 m en verdampt 4 mm/dag gedurende 90 dagen. Het bodemprofiel bestaat uit lichte klei tot op 0,90 m beneden maaiveld, en beneden 0,90 m ÷ maaiveld uit fijnzandige zavelgrond. De Rijtema tabellen van deze gronden zijn gegeven in tabel 13.1 en tabel 13.2.

U moet twee vochtgehalteprofielen tekenen in één figuur. Neem als schalen bijvoorbeeld: horizontaal 2,5 cm \cong 10% en verticaal 1,0 cm \cong 0,10 m. U moet de verschillende lijnen duidelijk tekenen (gebruik eventueel een kleur). De gebruikte *punten* moeten ook worden getekend. Geef van deze punten de waarden van het *vochtgehalte* θ en de *afstand* tot bijvoorbeeld de scheidingslaag, wortelzone of de grondwaterstand.

a. Welke (hoogste) grondwaterstand geeft het laagste vochtgehalte in de wortelzone wanneer het gegeven bodemprofiel 'op veldcapaciteit is'? Teken dit vochtgehalteprofiel.

Gedurende het groeiseizoen wordt er water geïnfiltreerd vanuit het open-water systeem. De zuigspanning in de wortelzone mag dan pF3 bedragen, zodat het gewas optimaal blijft groeien.

b. Welke grondwaterstand is dan nog toelaatbaar in de zomer? Teken ook dit vochtgehalteprofiel.

c. Hoeveel 'gebieds-vreemd' water (in mm per groeiseizoen) moet worden ingelaten bij een

(effectieve) neerslag van 60 mm gedurende het groeiseizoen?

Voor de bepaling van de winter- en zomerpeilen mag u uit gaan van: slootafstanden van 100 m, de watervoerende laag heeft een doorlatendheid $31,3 \times 10^{-2}$ m/dag en is 10 m dik. De maatgevende locatie ligt op 25 m afstand van de sloot. U mag met een 'eenparige' grondwaterstroming rekenen met een recht freatisch vlak. (U mag eventueel verder rekenen met een grondwaterstand onder a van 1,45 m-maaiveld, en onder b van 1,85 m-maaiveld)

- d. Bepaal het winterpeil (ten opzichte van het horizontale maaiveld) in het open-water systeem. Geef ook een schets ter verduidelijking.
- e. Bepaal het zomerpeil (ten opzichte van het horizontale maaiveld) in het open-water systeem. Geef ook een schets ter verduidelijking.

Tabel 13.1. Lichte klei (0 - 0,90 m).

v (cm/day) :	0,5	0,4		
ψ (cm)	θ (vol. %)	z (cm) :		
0	50,0			
20	48,0	17,7	18,0	
50	47,0	32,2	33,0	
100	42,0	62,0	65,0	
250	28,0	102,6	111,0	
500	25,0	104,6	113,0	
1 000	21,0	105,9	115,0	
2 500	17,0	107,0	116,7	
5 000	14,0	107,7	117,5	
10 000	12,0	108,2	118,2	
16 000	10,0	108,5	118,5	

Tabel 13.2. Fijnzandige zavel (> 0,90 m)

v (cm/day) :	0,5	0,4		
ψ (cm)	θ (vol. %)	z (cm) :		
0	41,0			
20	40,0	19,1	19,0	
50	37,0	47,0	48,0	
100	32,0	88,0	90,0	
250	26,0	137,0	145,0	
500	18,0	140,9	150,0	
1 000	14,0	143,3	153,0	
2 500	11,0	145,4	155,0	
5 000	9,0	146,6	157,0	
10 000	8,0	147,5	158,0	
16 000	7,0	148,0	159,0	

Opgave 14 (aug 1997: 1)

Een bodemprofiel in een aride gebied bestaat uit lichte zavelgrond tot op 0,75 m beneden maaiveld, en beneden deze 0,75 m ÷ maaiveld uit lichte klei. De "Rijtema tabellen" van deze gronden zijn gegeven in tabel 14.1 en 14.2.

Er is een gewasverdamping van 5 mm/dag. Het gewas kan water onttrekken aan de wortelzone tot een zuigspanning van pF3. Het gewas heeft een worteldiepte van 0,30 m. De grondwaterstand ligt na een irrigatiegift op 1,25 m beneden maaiveld.

- a. Teken het vochtgehalteprofiel juist na de irrigatiegift. De grond is dan op veldcapaciteit.
- b. Teken het vochtprofiel van de grond juist voor de irrigatiegift.
- c. Hoeveel vocht (in mm) heeft de plant tussen twee irrigatiegiften verbruikt?
- d. Welke gemiddelde waterschijf (in l/s.ha) moet men toevoeren? Welke bezwaren zijn verbonden aan een continue levering?
- e. Welke frequentie (in dagen) voor de irrigatiegift adviseert u, en hoeveel bedraagt deze gift?

Tabel 14.1. Rijtema tabel voor lichte zavel.

v (cm/dag) :	0.5	0.4	0.3		
ψ (cm)	θ (vol. %)	z (cm) :			
0	50,0				
20	48,7	18,3	18,6	18,9	
50	47,0	44,2	45,3	46,3	
100	46,0	92,0	94,2	97,6	
250	34,0	127,0	137,2	149,2	
500	28,0	134,0	145,5	160,0	
1 000	20,0	137,0	150,7	167,0	
2 500	13,7	142,3	155,3	173,0	
5 000	12,5	144,4	157,9	176,6	
10 000	10,3	146,1	160,1	179,4	
16 000	9,2	147,0	161,2	180,9	

Tabel 14.2. Rijtema tabel voor lichte klei.

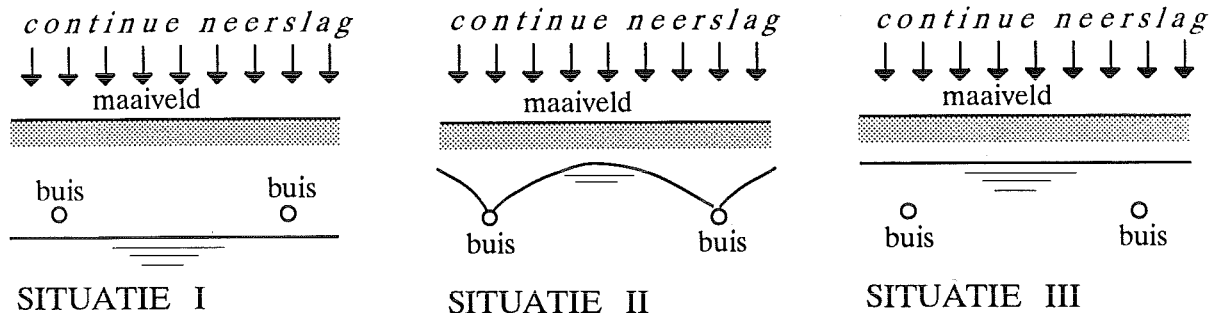
v (cm/day) :	0.5	0.4	0.3		
ψ (cm)	θ (vol. %)	z (cm) :			
0	48,0				
20	47,0	17,0	18,2	18,6	
50	42,0	42,0	43,5	45,0	
100	32,0	75,0	77,7	82,1	
250	28,1	102,6	111,0	122,1	
500	24,8	104,6	113,7	125,7	
1 000	21,3	105,9	115,3	127,8	
2 500	16,7	107,0	116,7	129,7	
5 000	14,2	107,7	117,5	130,7	
10 000	11,6	108,2	118,2	131,6	
16 000	9,8	108,5	118,5	132,1	

Opgave 15 (jun 1993: 3a)

Ondergrondse ontwateringsmiddelen worden vaak aangeduid met de naam "drain". Ook worden andere termen gebruikt, zoals: zuigbuis, drainbuis, drainpijp. In figuur 15.1 zijn verschillende grondwaterstanden getekend ten opzichte van de drains.

Worden de bovengenoemde termen voor "drain" gebruikt voor bepaalde type stromingen? Zo ja, welke?

Bespreek de verschillende situaties van figuur 15.1. In welke situatie(s) functioneert het ontwateringssysteem naar behoren?



Figuur 15.1. Ontwateringsmiddelen en grondwaterstanden.

Opgave 16 (okt 1996: 3b)

a. Geef de afleiding van de formule van Donnan $L^2 = 4K(A^2 - D^2)/R$. Uitgaande van de Formule van Donnan $L^2 = 4K(A^2 - D^2)/R$, geef de afleiding van de Hooghoudt Formule. Maak ook een schets voor de beide formules, met de parameters. Teken het *volledige* stroomlijnenpatroon in een dwarsdoorsnede volgens de methode Donnan en de methode Hooghoudt.

b. De diepte d van de Hooghoudt formule kan worden bepaald uit de formules:

$$d = \frac{D}{1 + \frac{8D}{\pi L} \ln \frac{D}{u}} \quad (L < 4D??), \quad d = \frac{\pi L}{8 \ln \frac{L}{u}} \quad (L > 4D??)$$

De vraag is echter of de geldigheid $L < 4D$ toepasbaar is voor de eerste formule, of voor de tweede. Wat is de geldigheid, en waarom?

c. Wat is de parameter u in de bovenstaande formules, en hoe wordt deze bepaald?

Opgave 17 (apr 1997: 2b)

Wat is een 'equivalent straal', en waarom wordt deze gebruikt? Wordt door drainage ingenieurs een vaste relatie tussen de equivalent straal en de natte omtrek gekozen? Zo ja, wat is deze relatie?

Opgave 18 (aug 1998: 3a+b)

U moet een drainagesysteem ontwerpen voor akkerbouwland. De grondeigenaar bestelde reeds drains met een diameter van 10 cm, die zonder omhullingsmateriaal zullen worden aangelegd. Alvorens hij de drains op 1 meter diepte laat leggen, vraagt hij U toch nog even om advies omtrent de drainafstand. Hij denkt aan een onderlinge afstand van 30 m, en heeft verder geen gegevens voor U ter beschikking.

U komt gewapend met een grondboor ter plaatse en vindt een ondoorlatende laag op 5 meter diepte. Verder constateert U dat de buurman tevreden is over de ontwatering van zijn grasland. U onderzoekt het buurterrein en vindt een drainagesysteem met alleen sloten op 50 meter afstand. Het waterpeil in de sloten is constant 1 m onder maaiveld. De sloot taluds liggen op 1:1 en u meet een wateroppervlakte van 1,30 m breedte.

U kiest een ontwateringsdiepte voor grasland van 0,20 m en voor bouwland van 0,50 m, bij een regenval van 9 mm/etmaal.

a. Bereken de doorlatendheid van de grond.

b. U besluit toch om verder te rekenen met een doorlatendheid van 1 m/etmaal. Controleer de voorgestelde drainafstand van 30 m.

Opgave 19 (okt 1996: 3c)

Drain-afvoeren q en de opbolling h midden-tussen de drains worden gemeten op een proefveld, zie tabel 19.1. De drainafstand is 30 m. Bepaal de doorlatendheid en de waarde van de equivalente diepte d voor de waarnemingen van het proefveld.

Tabel 19.1.

Opbolling h in m	afvoer q in mm/dag
0,10	0,64
0,20	1,29
0,30	1,96
0,40	2,64
0,50	3,33

Opgave 20 (nov 1995: 3)

Een terrein wordt belast met een stationaire neerslag van 40 mm/dag. Het terrein wordt ontwaterd door drainagebuizen met een diameter van 0,10 m en op een diepte van 3 m onder het maaiveld. De buizen liggen in een sleuf van 0,20 m breedte en zijn omhuld met grind. Er bevindt zich een ondoorlatende laag op 7 m onder het maaiveld. Voor doorlatendheid van de grond geldt dat $K = 0,2$ m/dag voor $0 \leq \psi \leq 100$ cm, en $K = 0,1$ m/dag voor $\psi > 100$ cm.

a. Bepaal het drainagecriterium van het terrein voor een zuigspanning $\psi = 80$ cm op maaiveld niveau midden tussen twee drains.

b. Bereken de onderlinge afstand tussen de drainagebuizen.

Opgave 21 (okt 1996: 4a)

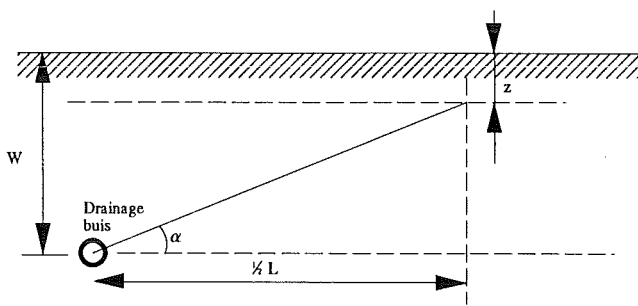
Hoe is het ontwerpproces van het ontwateringssysteem in Nederland: wat kiest men, en wat berekent men?

Opgave 22 (okt 1996: 4b)

Buitenlandse drainageingenieurs gebruiken soms de volgende vuistregel voor het ontwerpen van de onderlinge afstand tussen drainagebuizen, zie ook figuur 22.1:

- bepaal de draindiepte W ,
- bepaal de ontwateringsdiepte z ,
- trek vanuit de drainagebuis een lijn onder een hoek α , en bepaal $\frac{1}{2}L$, zoals aangegeven in de figuur 22.1.

De waarden voor α zijn proefondervindelijk bepaald. Wat is de achtergrond van deze methode, en wanneer kan deze methode wel of niet worden gebruikt? Van welke parameters is α afhankelijk?



Figuur 22.1. Ontwerp van drains.

Opgave 23 (jan 1989: 3)

Voor Nederlandse landbouwgrond geldt veelal het volgende drainage criterium: "voor een stationaire regenval van q mm/dag mag de grondwaterstand niet hoger komen dan op z meter onder het maaiveld", zie ook figuur 22.1 van het vorige vraagstuk. Diverse onderzoekers hebben betoogd dat dit ontwateringskriterium zou moeten variëren en daarbij afhankelijk is van het bergend vermogen μ van de grond en van de diepte W waarop de drainage buizen zijn gelegd.

a. Waarop zouden deze onderzoekers zich kunnen baseren?

b. Geef aan hoe de ontwateringsdiepte z zal variëren bij een toenemende waarde van μ , bv. van $\mu = 5\%$ naar 10% , bij een stationaire ontwerp regenval van $q = 8$ mm/dag.

c. Welke vereenvoudigingen worden vervolgens gemaakt met de drainage formule: $q = 8 KD h / L^2$?

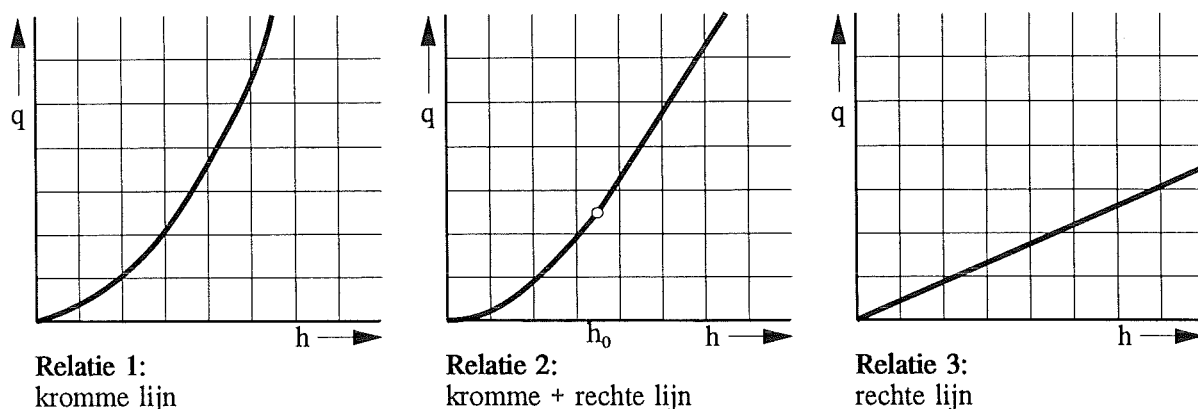
d. Bereken de kosten van een enkelvoudig, parallel buisdrainage systeem met een draindiepte $W = 1,50$ m beneden maaiveld en voor de volgende gegevens: homogene grond met een doorlatendheid $K = 0,5$ m/dag en een totale bodemdikte boven de ondoorlatende ondergrond van 4 meter, de grondwaterstand midden tussen de drains moet worden gehandhaafd op $0,50$ m beneden maaiveld bij een stationaire neerslag van 8 mm/dag, kosten aanleg buisdrainage $f [2 + 0,4(W-1)]$ per m drainlengte, waarin W is de draindiepte.

Opgave 24 (aug 1997: 2b + 2d)

De landbouw in Achterhoek ondervindt problemen door verdroging, in zowel de landbouwgebieden als in de natuurgebieden. De grondwaterstand is regionaal over de laatste 40 jaar zo'n $0,25$ m verlaagd. De Provinciale Waterstaat van Gelderland wil de verdroging voorkomen zonder dat men beregening toepast.

a. Geef aan voor welke omstandigheden de relatie tussen q en h het verloop zal hebben zoals aangegeven in figuur 24.1: geheel gebogen (relatie 1), eerst gebogen, daarna recht (relatie 2), geheel recht (relatie 3). Maak schetsen ter verduidelijking.

b. Wat zijn de werkelijke problemen waardoor de verdroging is ontstaan, en wat zijn de tegenstrijdige belangen? Welke maatregelen stelt u voor?



Figuur 24.1. Relatie tussen de afvoer q en de opbolling h van drainagebuizen.

Opgave 25 (okt 1991: 3b+c)

In een gebied met een vrijwel homogeen bodemprofiel tot op een diepte van $4,00$ m ÷ maaiveld is een aantal jaren geleden drainage aangebracht. De geribbelde pvc drains met een dunne cocosomhulling ($\varnothing 0,08$ m) zijn met een draineermachine op een gemiddelde diepte van $1,25$ m ÷ maaiveld aangebracht op een onderlinge afstand van 25 m. Het ontwerpcriterium voor het drainagesysteem was een ontwateringsdiepte van 50 cm bij een afvoer van 7 mm/dag. De gemiddelde horizontale doorlatendheid K is destijds met behulp van de boorgaten-methode vastgesteld op $0,45$ m/dag.

Reeds direct na aanleg van de drainage twijfelden enkele boeren aan de goede werking ervan. De laatste weken hebben deze boeren hun klachten duidelijk naar voren gebracht. Enkele uitspaken waren: plassen op het maaiveld, de drainage werkt niet, het land is te nat.

a. Bereken de onderlinge afstand van de drains, en beoordeel het ontwerp.

b. Noem tenminste vier (hoofd)oorzaken van de geconstateerde wateroverlast. Hoe kunt U met behulp van 4 piëzometers bepalen wat de oorzaak van deze wateroverlast is? Toon in tekeningen van dwarsdoorsneden over het profiel waar de piëzometers zijn gesitueerd en welke stijghoogtes worden gemeten, en geef aan waaruit U kunt afleiden wat de feitelijke oorzaak is. Geef in elk van de gevallen een advies om de wateroverlast weg te nemen.

Opgave 26 (jun 1996: 3a)

Het ontwerp van ontwateringsmiddelen kan plaatsvinden met behulp van de methodes: Donnan, Hooghoudt, de vereenvoudigde Hooghoudt ($q = 8 Kdh/L^2$) en Glover-Dumm.

Welke methode gebruikt u in welk geval? (Het wordt niet verwacht dat u de formules uit uw hoofd kent, en dat u de formules hier vermeldt). Geef tevens een uitleg van de Glover-Dumm methode.

Opgave 27 (apr 1997: 2c)

U moet een drainage systeem ontwerpen in een polder met alleen "diepe kwel" (en dus geen "omtreks-kwel"). Het terrein wordt belast met een ontwerpneerslag waarvan 30 mm ééns in de 14 dagen percoleert (dus niet continue). Tevens is er een diepe kwel van 1 mm/dag.

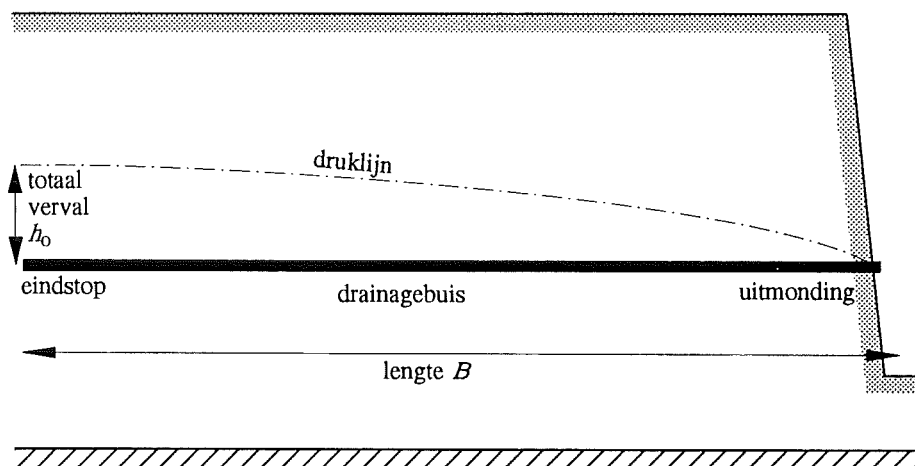
Het grondwater niet meer mag stijgen dan tot 0,90 m beneden maaiveld. Daartoe zijn drainagebuizen met een diameter van 0,20 m aangelegd op een diepte van 2,00 m en op een onderlinge afstand van 100 m. De ondergrond heeft een doorlatendheid van 0,75 m/dag, een bergingscoëfficiënt van 5% en met een ondoorlatende laag op 14 m beneden maaiveld. U mag de radiale weerstand verwaarlozen.

- Controleer of het bovenstaande ontwerp voldoet voor de alléén-de-neerslag. Daartoe mag u de bovenstaande ontwerpeis toepassen voor alléén-de-neerslag (dus zonder kwel).
- Controleer of de bovenstaande ontwerpeis ook wordt bereikt voor alléén-de-kwel.
- Tot welke diepte stijgt het grondwater wanneer beide belastingen gelijktijdig optreden en u 'superpositie' mag toepassen. Wat is uw conclusie ten aanzien van het ontwerp?

Opgave 28 (aug 1999: 2)

Een landelijk gebied wordt gedraineerd met pvc-buizen op afstand $L = 40$ m. De grond heeft een doorlatendheid van $K = 0,80$ m/dag, met een ondoorlatende laag op 5 m - maaiveld. De grondwaterstand mag niet hoger stijgen dan 1,00 m - maaiveld bij een ontwerpneerslag $q = 7$ mm/dag. De pvc-buizen worden toegepast zonder omhullende, hebben een (binnen)straal $r = 0,036$ m en worden op een diepte van 1,75 m - maaiveld gelegd.

- Controleer de onderlinge afstand L wanneer de buizen slechts half gevuld zijn. De buizen hebben een lengte $B = 200$ m en een Strickler ruwheid $k = 60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Voor de bepaling van het verhang s , rekent men nu dat de buizen bij de ontwerpneerslag q geheel gevuld zijn.
 - Toon aan dat $Q_{\max} = k A R^{2/3} (3 \times s)^{1/2}$, waarbij $Q_{\max} = q L B$ en het 'gemiddelde' verhang van de drukhoogte $s = h_0 / B$, zie figuur 28.1.
- Voor de bepaling van het verhang s past men op het debiet een veiligheidscoëfficiënt van 2 toe i.v.m. vervuiling van de buizen, dus men rekent met $2 \times q = 14$ mm/dag.
- Wat is het minimum verhang en wat is het maximum verhang s waaronder deze buizen mogen worden aangelegd?



Figuur 28.1. Lengtedoorsnede over drainagebuis.

Opgave 29 (jun 1996: 3b + 3c)

In de droge tijd, worden de velden in een irrigatiegebied elke 10 dagen geïrrigeerd. In de natte tijd is irrigatie niet nodig, maar dan percoleert er 5 mm/dag.

Het grondwater mag niet meer stijgen dan tot 0,80 m beneden maaiveld. Daartoe zijn drainagebuizen met een diameter van 0,20 m aangelegd in een sleuf van 0,40 m en die met grind is gevuld. De buizen liggen op een diepte van 2,00 m en op een onderlinge afstand van 100 m. De ondergrond heeft een doorlatendheid van 0,75 m/dag, een bergingscoëfficiënt van 15% en met een ondoorlatende laag op 26 m beneden maaiveld.

- a. Bereken of het drainagesysteem in de natte tijd voldoet.
- b. Bereken het maximum toelaatbare irrigatieverlies (in mm per gift).

Opgave 30 (nov 1995: 4b)

U moet een drainage systeem ontwerpen voor een irrigatieproject in een aride gebied. Men irrigeert elke 10 dagen door middel van een "plens irrigatie". Rekening houdend met alle waterverliezen, blijkt dat er dan een waterschijf van 40 mm percoleert. De grondwaterstand moet ten minste 0,90 m onder het maaiveld blijven.

Er zullen drainagebuizen met een diameter van 0,10 m worden aangelegd op een diepte van 2,00 m. De grond heeft een doorlatendheid 1,5 m/dag, en de bergingscoëfficiënt is 5%. Een ondoorlatende laag ligt op 14 m beneden het maaiveld. U mag de radiale weerstand van de drains verwaarlozen. Ontwerp het drainagesysteem.

Opgave 31 (apr 1999: 2b+c)

Voor drainage in een irrigatiegebied worden drainbuizen zonder omhullingsmateriaal toegepast. De buizen hebben een diameter van 20 cm, liggen op 1,80 m beneden maaiveld en op een onderlinge afstand van 87 m. De doorlatendheid van de grond is 0,80 m/dag, de bergingscoëfficiënt 0,05, terwijl op 6,80 m een ondoorlatende laag ligt. Er wordt éénmaal per 20 dagen geïrrigeerd, waarbij de percolatieverliezen dan 40 mm bedragen. Met de Hooghoudt formule berekende men een 'gemiddelde opbolling' van 0,60 m.

- a. Geef uw commentaar op de bovenstaande ontwerpmethodiek (formule, begrip 'gemiddelde opbolling', enz.).
- b. Bereken de hoogste grondwaterstand ('opbolling', t.o.v. het maaiveld) juist ná, en juist vóór de irrigatiegift.

Opgave 32 (okt 1993: 5)

Een polder van 10 ha bestaat voor 35% uit kassen, 5% asfaltwegen, 5% open water en de rest is weiland. Deze polder wordt bemalen met een gemaal dat 12 mm/etm kan uitslaan. De toelaatbare peilstijging van het open-water bedraagt 0,35 m. De drainage-capaciteit van het onverharde gebied bedraagt 0,8 l/s.ha. Voor het verharde gebied kan met een verlies van 3 mm rekening worden gehouden. De maatgevende bui is vastgesteld op 43 mm in 6 uur. Men is van plan om het kassen areaal uit te breiden tot 50% van de polderoppervlakte. De percentages open water en wegen blijven gelijk.

- a. Stel een waterbalans op voor het open water in dit gebied in de huidige toestand, en bereken de maximaal optredende peilstijging indien de maatgevende bui valt.
- b. Bepaal of dit ook mogelijk is na de uitbreiding van het kassen areaal, zonder dat de toelaatbare peilstijging overschreden wordt.
- c. Indien uit het antwoord op 'b' blijkt dat dit niet haalbaar is, wat moet dan volgens U het nieuwe percentage open water in deze polder worden indien men het kassenareaal uitbreidt tot 50%?
- d. Zijn er nog andere mogelijkheden om overschrijding van de toelaatbare peilstijging te voorkomen? Noem enkele.

Opgave 33 (okt 1992: 4)

U moet een open-waterloop in een polder ontwerpen. De maatgevende neerslag wordt bepaald door een opéén-volgende-reeks van dag-neerslagen: 40 mm, 14 mm, 8 mm, 6 mm en 3 mm. De polder heeft een oppervlakte van 10.000 ha. Een gemiddelde peilstijging van 0,10 m is toelaatbaar in het open-water, dat 5% van de polder beslaat. Een gemiddelde stijging van het grondwater van 0,30 m treedt op bij de maatgevende neerslag. Het waterbergend vermogen van de grond werd bepaald tijdens uitdroging en bedroeg 15%.

- Wat is een regenduurlijn?
- Bepaal de totale waterberging (in mm) van de polder.
- U besluit om een waterberging van 25 mm aan te nemen. Bepaal de capaciteit (in m³/s) van het pompstation met een stroomgebied van 10.000 ha.
- Welke bezwaren zijn er aan uw gevolgde methode?

Opgave 34 (apr 1997: 3b + 3c)

U moet de afvoercoëfficiënt (in l/s.ha) van een irrigatiegebied met rijstvelden bepalen. Uw collega's spreken over vuistregels zoals "de 3-daagse neerslag moet in 3 dagen worden afgevoerd" en ook "de 5-daagse neerslag moet in 5 dagen worden afgevoerd".

U gaat op onderzoek uit en constateert dat 'kom bevloeiing' ('basin irrigatie') wordt toegepast en dat de dijkes rond de velden tenminste een hoogte hebben van 0,18 m. De boeren passen een 'intermitterende' levering toe, waardoor de waterdiepte op het veld van 0,05 m tot 0,15 m wordt verhoogd.

Tevens verzamelt u maximale neerslagcijfers en hun tijdsduur van regenstations: 50 mm in 12 uur, 85 mm in 24 uur, 140 mm in 2 dagen, 160 mm in 3 dagen, 165 mm in 4 dagen, en 170 mm in 5 dagen. U besluit de 'regenduurlijn' methode toe te passen.

- Bepaal de afvoercoëfficiënt (in l/s.ha).
- Geef uw mening over de toepasbaarheid van dergelijke vuistregels. Welk hydrologisch criterium had vermeld moeten worden zowel in de vuistregels, als in de regenduurlijn?

Opgave 35 (okt 1988: 2)

Uw schoonvader is trots op zijn mooi grasgazon op een zanderige grond en met een diepe grondwaterstand. Hij vraagt uw advies over de frequentie van besproeiing (berekening) in een droge zomer. Met uw kennis van het LW3410-college heeft u daar weinig moeite mee en maakt u grote indruk met uw advies. U gebruikt de volgende gegevens: de verdamping van gras in juli is 5 mm/dag, de gemiddelde regenval in juli is 80 mm/maand, de veldcapaciteit is 35 vol.%, het verwelkingspunt is 10 vol.%, en de effectieve wortelzone van gras is 20 cm.

- Het tijdstip van besproeiing moet al plaatsvinden wanneer 2/3 van het beschikbare bodemvocht is gebruikt. Waarom?
- Na hoeveel dagen moet worden beregend?
- Na hoeveel tijd moet de sproeier worden verzet wanneer 15 m² vanuit één stand wordt beregend bij een capaciteit 0,30 m³/uur?
- Waarom besluit u toch om te adviseren om de sproeier langer te laten staan dan dat u berekend heeft?

Opgave 36 (jun 1990: 2b+c+d)

Bij de watervoorziening van het Waterschap "Wester Kwartier", Groningen, zou de maatgevende aanvoer kunnen worden gebaseerd op de voorkoming van droogteschade gedurende een 40 dagen durende regenloze zomerperiode. De waterbehoefte van de gewassen bedraagt in de zomer 5 mm/dag.

- Wanneer zou een boer moeten beginnen met berekening wanneer het Waterschap rekent met een totaal aanvoerdebiet van 0,3 l/s.ha en wanneer men uitgaat van een vochtlevering door de grond van 160 mm? N.B. De boer berekent alleen overdag, dus gedurende 12 uren.
- Wanneer de boeren binnen het Waterschap beregeningsinstallaties hebben met een capaciteit van

0,045 m³/s en hun landbezit 30 ha bedraagt, welk advies geeft U aan de boeren en/of het Waterschap?

c. Wat is een capaciteitslijn? Bereken en teken de capaciteitslijn voor het gebied van 10 ha tot 300 ha.

Opgave 37 (jun 1993: 5a+c+d)

Landbouwontwikkeling in Marokko is alleen goed mogelijk met irrigatie. Men wil katoen gaan verbouwen in een nieuw project, en vraagt aan u om de uitgangspunten op te stellen voor het irrigatie ontwerp. De verdamping van gras in de kritieke periode bedraagt 5 mm/dag. De gewasfactor van katoen over de groeiperiode van 5 maanden bedraagt voor de 1^e maand 0,4, de 2^e maand 0,7, de 3^e en 4^e maand 0,9, en voor de 5^e maand 0,7. U kunt 30 mm/maand aanhouden als effectieve regenval. De irrigatie efficiëntie op het veld tijdens het op veldcapaciteit brengen van de wortelzone is 75%. De wortelzone van katoen kunt u stellen op 0,60 m.

a. Wat is de piek-waterbehoefte van het gewas (in mm/dag)? Wat is totale piek-irrigatiebehoefte van het gewas (in mm/dag)?

U besluit tot een maatgevende gewasverdamping van 5 mm/dag, en geen rekening meer te houden met de effectieve regenval. De veldcapaciteit van de grond bedraagt 35%, en de plant heeft een vochtgehalte van meer dan 20% nodig. De levering aan een groep boeren stelt u op 42 l/s, waarmee men een roterende waterlevering moet toepassen. Het landbezit is 3 ha per boer.

b. Hoeveel is de vochtberging in de grond? Hoe frequent moet worden geïrrigeerd worden door een boer? Welke waterschijf moet dan worden toegediend? Teken het bodem-vochtgehalte (in mm) als functie van de tijd.

c. Hoe lang moet elk boer beschikking krijgen over het roterende debiet? Hoe groot is de groep boeren, wanneer men (i) dag-èn-nacht irrigatie toepast, en (ii) alléén-dag irrigatie? Hoe noemt men het irrigatiegebied van zo'n groep boeren?

Opgave 38 (jun 1995: 3)

In een aride gebied zonder neerslag moet het gewas mais worden geïrrigeerd. De gewasverdamping bedraagt 6 mm/dag. De bewortelingsdiepte is 0,60 m. Het vochtgehalte van de grond bij veldcapaciteit is 35 vol.%, en bij het verwelkingspunt 20 vol.%.

Irrigatie wordt toegepast wanneer $\frac{2}{3}$ van het voor de plant beschikbaar vocht is verbruikt. Een boer ontvangt dan een nader te bepalen debiet (*stream size, main d'eau*) tussen 25 en 50 l/s. De leveringsefficiëntie op het veld (*application efficiency*) is 75%. De bedrijfsgrootte van een boer (*farm size*) is 4 ha.

a. Bepaal de irrigatiegift (in m³) die één boer moet ontvangen. En bepaal de frequentie van deze irrigatiegift (*irrigation interval*).

b. Bepaal het debiet (in l/s) dat aan één boer wordt geleverd, en bepaal de tijdsduur van dit debiet. Men besluit toch maar om 40 l/s gedurende 24 uur aan één boer te leveren.

c. Wat is een eind- of tertiair vak (*end unit*)? Wat is de minimale grootte van het eindvak in dit geval? Teken de schematische layout van zo'n vak, en geef aan wat-wat-is.

Ook besluit men om tòch het eindvak 3× groter te maken dan de door u voorgestelde minimale grootte. De consequentie is dat verdeelkunstwerken (*division boxes*) nodig zijn.

d. Wat is de functie van een dergelijk verdeelkunstwerk? Hoeveel zijn er nodig, geef een layout ter verduidelijking? Wat is het ontwerpprincipe van zo'n verdeelkunstwerk? (geef een schets).

Opgave 39 (apr 1998: 2)

In een irrigatieproject op Bali bent u belast met het ontwerp van een tertiair vak voor rijstbouw. Voor de maatgevende periode geldt een gewasverdamping van 7 mm/dag en de neerslag van 0 mm/dag. De percolatie uit de rijstvelden bedraagt 1 mm/dag. Het waterpeil op de rijstvelden mag variëren tussen 5 cm en 15 cm. De waterlevering aan één boer ("*main d'eau*") moet liggen tussen 20 en 30 l/s. Een boer bezit 1 ha rijstveld.

a. Bepaal het debiet (in l/s) dat aan één boer wordt geleverd, en bepaal de tijdsduur van dit debiet.

En bepaal de frequentie van deze irrigatiegift (*irrigation interval*).

Men besluit toch maar om 25 l/s gedurende 12 uur aan één boer te leveren. Ook besluit men om het eindvak $2 \times$ groter te maken dan de minimale grootte. De consequentie is dat verdeelkunstwerken (*division boxes*) nodig zijn.

b. Bepaal de grootte van het eindvak in dit geval. Teken de schematische layout van zo'n vak, en geef aan wat-wat-is. Wat is de functie van zo'n verdeelkunstwerk? Hoeveel zijn er nodig, teken de lokaties in de *layout*.

c. Wat is het ontwerp-principe van zo'n verdeelkunstwerk? (geef formule met schets). Maak een duidelijke tekening (*bovenaanzicht & lengtedoorsnede, op schaal*) van het kunstwerk en de aansluiting op het kanaal. Teken ook de waterlijn voor het ontwerp-debiet. Vergeet niet de aanzichtlijnen in de lengtedoorsnede te tekenen!

Opgave 40 (nov 1995: 5a)

Een open waterloop met diverse kunstwerken moet worden ontworpen. Daarbij wordt uitgegaan van de formule van Manning-Strickler.

a. Geef een uitleg van de Manning-Strickler formule (verklaar termen, eenheden, relatie met Chézy formule, enz.). Beschrijf het ontwerp-proces van een open-waterloop met de Manning-Strickler formule (welke gegevens, welke onbekenden, hoe op te lossen).

b. Beschrijf het verschil in het hydraulisch ontwerp tussen de drie categorieën (i) duiker, brug, aquaduct, (ii) stortdam, meetkunstwerk en (iii) stuw, uitwateringssluis, peilregelaar. Wat zijn de relevante ontwerpformules en criteria?

Opgave 41 (apr 1999: 3a)

Een kunstwerk in een kanaal kan 'opstuwning' veroorzaken, maar ook 'afzuiging'. Geef uitleg wanneer 'opstuwning' en wanneer 'afzuiging' voorkomt. Hoe ontwerpt men een stortdam dat tijdens het ontwerp-debiet geen stuw-effecten geeft? Geef schetsen als verduidelijking.

Opgave 42 (nov 1995: 5b + 5c)

Een stuw in een open-waterloop is reeds ontworpen, en enige controle berekeningen moeten worden uitgevoerd. Het kanaal heeft een bodembreedte 3,00 m, een taludhelling 1:2, en een bodemverhang $0,2 \times 10^{-3}$. Een waterdiepte 1,50 m blijkt op te treden bij het ontwerp-debiet van $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$. In dit kanaal is een vaste stuw van 3,00 m breed ontworpen, met een kruinhoogte van 1,00 m boven de bodem. De overlaatformule is: $Q = 1,7 b H^{3/2}$ voor $z > \frac{1}{3}H$.

a. Bereken de Strickler ruwheid van het kanaal. Wat is dan de snelheidshoogte in het kanaal?

b. Is er sprake van een volkomen of een onvolkomen overlaat, en van een scherpe of een lange / brede overlaat? Wat zijn nu de nieuwe waterstanden: (i) zo'n 100 m benedenstrooms van de stuw, (ii) juist boven de stuw, (iii) zo'n 100 m bovenstrooms van de stuw?

Opgave 43 (jun 1995: 5)

Een drainage kanaal A-B-C met een ontwerp-debiet van $4 \text{ m}^3/\text{s}$ en een lengte van 7 km moet worden ontworpen. Het kanaal eindigt bij een uitwateringssluis in C in een kleine rivier. Het maaiveld is hellend, zie de hoogtelijnen in figuur 43.1. Het waterpeil bij het ontwerp-debiet moet tenminste 1,00 m onder het maaiveld blijven. Het maatgevende rivierpeil bij de uitwateringssluis ligt op $0,75 \text{ m}^+$. De rivierbodem ligt op $-1,00 \text{ m}^+$. Er zijn geen dijken. Bij B zal er een brug over het kanaal komen te liggen. Het natte doorstromingsprofiel van de brug zal $10,5 \text{ m}^2$ bedragen. De taluds van het kanaal zullen op $1_{\text{vert}} : 2_{\text{hor}}$ liggen, en de ruwheidscoëfficiënt bedraagt $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

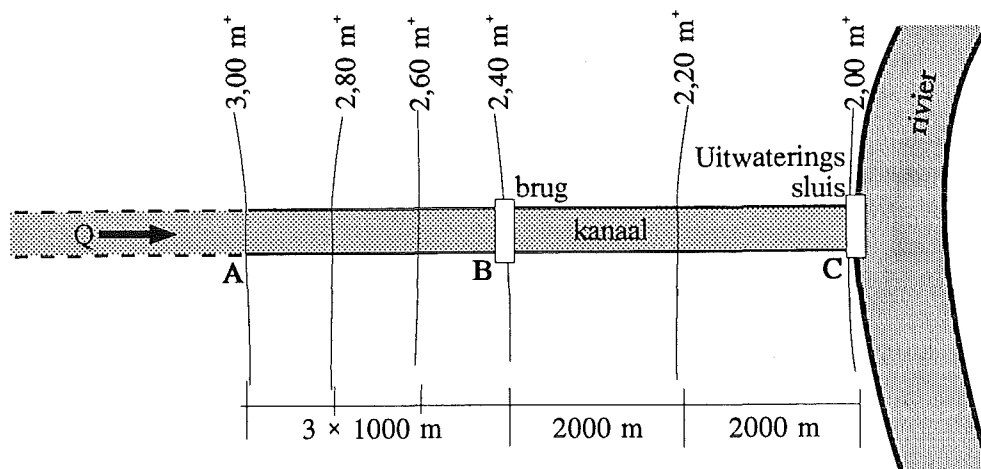
a. Bepaal de verhanghelling van de waterlijn bij het ontwerp-debiet in het kanaal A-B-C. Teken de waterlijn met de relevante peilen in een lengteprofiel, met bijvoorbeeld als horizontale schaal 2 cm \cong 1000 m en als verticale schaal 2,5 cm \cong 1,00 m.

b. Ontwerp de dwarsdoorsnede van het kanaal, juist vóór de uitwateringssluis. Als verhang, kunt u nu $0,10 \times 10^{-3}$ aanhouden. Ook mag u de relatie $b/y = 4$ gebruiken.

c. Ontwerp de hydraulische afmetingen van de uitwateringssluis met een vertikaal bewegende deur.

Bij het ontwerpdebiet moet er juist "volkomen" stroming zijn. Er is dan een waterdiepte in het kanaal, juist voor de sluis, van 1,50 m, bij een waterpeil van 1,00 m⁺. De bodembreedte van het kanaal mag u nu aannemen op $b = 4,00$ m.

d. Maak een duidelijke tekening (bovenaanzicht & lengtedoorsnede, op schaal) van de uitwaterings-sluis en de aansluiting op het kanaal en de rivier, met maten en peilen.



Figuur 43.1. Situatie van het kanaal.

Opgave 44 (nov 1994: 4)

Een open waterloop met een lengte van 6 km moet worden ontworpen in een polder. De open-waterloop eindigt bij een uitwateringssluis. Het maaiveld ligt horizontaal en het polderpeil ligt op 0,50 m beneden het maaiveld. Een ontwerpdebiet van $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ moet worden afgevoerd. Het grondverzet moet zo laag mogelijk zijn. Voor eventueel *rekenwerk* mag u aannemen dat de kanaalbodem horizontaal loopt.

- Wat zijn de beheersregels voor de beheerder van de uitwateringssluis?
- Ontwerp de kanaalafmetingen en de waterlijn ten opzichte van het maaiveld m.b.v. het computerprogramma *Profile* dat voor $f5,00$ beschikbaar is bij de Secretaresse van de sectie Land- en Waterbeheer, of gratis te downloaden is van de website van de Sectie (http://www.ct.tudelft.nl/wmg_land_water), zie tabel 44.1.
- Maak een duidelijke tekening van het lengteprofiel, met enige maten en peilen.

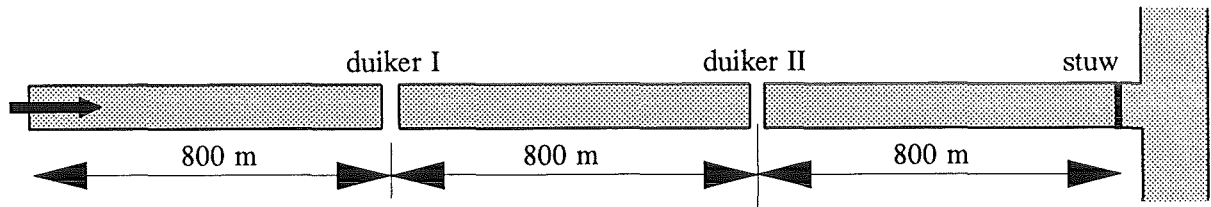
Tabel 44.1. Enige gegevens van het Computerprogramma Profile.

FILENAME :				DATE : 11-01-1994					
Q	y	ks = (1/n)	b	m	s	n	v	T	E
m^3/s	m	$\text{m}^{1/3}/\text{s}$	m	(v: m/h)	10^{-3}	(b/h)	m/s	N/m^2	W/m^3
2,50	1,52	40,00	3,00	2,00	0,05	1,97	0,27	0,75	0,13
2,50	1,17	40,00	6,00	2,00	0,05	5,14	0,26	0,57	0,13
2,50	0,95	40,00	9,00	2,00	0,05	9,44	0,24	0,47	0,12
2,50	1,28	40,00	3,00	2,00	0,10	2,34	0,35	1,26	0,34
2,50	0,96	40,00	6,00	2,00	0,10	6,23	0,33	0,94	0,32
2,50	0,78	40,00	9,00	2,00	0,10	11,47	0,30	0,77	0,30
2,50	1,08	40,00	3,00	2,00	0,20	2,79	0,45	2,11	0,88
2,50	0,80	40,00	6,00	2,00	0,20	7,53	0,41	1,56	0,81
2,50	0,64	40,00	9,00	2,00	0,20	14,04	0,38	1,26	0,74

Opgave 45 (jun 1994: 4)

U moet een open-waterloop ontwerpen in een polder. De capaciteit bedraagt $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$. De waterloop heeft een lengte van 2400 m. Er moeten 2 duikers als wegwijzingen worden aangelegd, beide op $\frac{1}{3}$ van de totale afstand (dus op 800 m en 1600 m), zie ook figuur 45.1. De watersnelheid in de duiker tijdens het ontwerpdebiet bedraagt $1,25 \text{ m/s}$. De lengte van de duiker is 3 m. Het terreinverhang langs de waterloop bedraagt $0,15 \text{ m}$ per km. Het waterpeil tijdens het ontwerpdebiet moet ten minste $0,75 \text{ m}$ beneden het maaiveld blijven.

- Ontwerp de bovengenoemde waterloop en de duiker(s). Geef de afmetingen en de hellingen. U kunt gebruik maken van de gegevens in tabel 45.1.
- Teken een duidelijk lengteprofiel met de waterlijn tijdens het ontwerpdebiet met terreinhoogten, bodem- en waterpeilen, en de duikers.
- Wat is de functie van de stuw in figuur 45.1: bij het maximum debiet, en bij het minimum debiet?
- Maak een duidelijke schets van een duiker, op schaal en met enige maten/peilen (bovenaanzicht, lengtedoorsnede, dwarsdoorsnede).



Figuur 45.1. De open-waterloop.

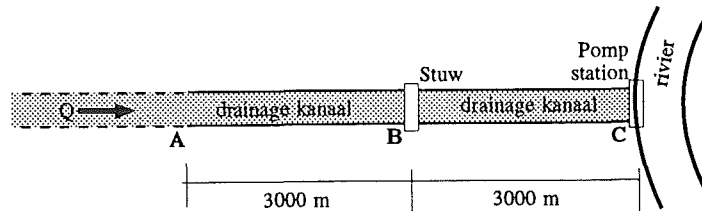
Tabel 45.1. Kanaaldimensies volgens "Profile" (Manning-Strickler).

Q m^3/s	Y m	k_s $\text{m}^{1/3}/\text{s}$	b m	m $(v:\text{mh})$	s 10^{-3}	n (b/h)	v m/s	T N/m^2	E W/m^3
3,50	2,61	35,00	2,00	1,00	0,05	0,77	0,29	1,28	0,14
3,50	2,20	35,00	2,00	1,00	0,10	0,91	0,38	2,16	0,37
3,50	1,99	35,00	2,00	1,00	0,15	1,00	0,44	2,93	0,65
3,50	1,70	35,00	5,00	1,50	0,05	2,94	0,27	0,83	0,13
3,50	1,41	35,00	5,00	1,50	0,10	3,53	0,35	1,39	0,34
3,50	1,27	35,00	5,00	1,50	0,15	3,95	0,40	1,86	0,59
3,50	1,18	35,00	10,00	2,00	0,05	8,47	0,24	0,58	0,12
3,50	0,97	35,00	10,00	2,00	0,10	10,34	0,30	0,95	0,30
3,50	0,87	35,00	10,00	2,00	0,15	11,56	0,34	1,27	0,51

Opgave 46 (apr 1997: 4b + 4c)

Een open-water loop **A-B-C** met een ontwerpdebiet $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ en een lengte van 6 km moet worden ontworpen, zie figuur 46.1. Het kanaal eindigt in **C** bij een pompstation, dat het waterpeil steeds $1,00 \text{ m}$ beneden het maaiveld handhaaft. In het punt **B** dat precies tussen **A** en **B** ligt (dus **A-B** = **B-C** = 3 km), moet een stuw worden ontworpen. Het water moet in punt **A** steeds ten minste $0,10 \text{ m}$ onder het maaiveld blijven. Het maaiveld ligt geheel horizontaal.

- Ontwerp de open-waterloop **A-B-C**. U mag de volgende aannamen doen: geen verval over de stuw tijdens het ontwerpdebiet, talud 1:1, bodembreedte is $3 \times$ waterdiepte, Mannings ruwheid is $0,03333 \text{ s/m}^{1/3}$. (U mag eventueel verder rekenen met een bodembreedte $3,50 \text{ m}$ en een ontwerp waterdiepte $1,10 \text{ m}$)
- Ontwerp de hydraulische afmetingen van de stuw met verticale schuif. Bereken ook het verval over de stuw tijdens het ontwerpdebiet.



Figuur 46.1. De open-waterloop.

Opgave 47 (aug 1997: 3b + 3c + 3d)

Een open waterloop in Drente moet door u worden ontworpen. Het maaiveld ligt onder een helling van 0,80 m per kilometer. Een ontwerpdebiet van $10 \text{ m}^3/\text{s}$ moet worden afgevoerd. Elke 500 m zal een duiker met drie rechthoekige kokers en een lengte van 5 m worden aangelegd, waarover een verval van 0,15 m per koker.

a. Het ontwerp-proces is voor uw collega niet geheel duidelijk. Voor hem is de "maximum toelaatbare snelheid" van belang, en wil hij alle informatie over de "ruwheids-term" in de Manning-Strickler formule: is deze nu wèl of niét constant, is de ruwheid van een duiker van belang, enz. Geef uitleg.

b. Ontwerp de parameters van het kanaal bij een talud-helling $1_{\text{vert}} : 2_{\text{hor}}$, en bij een ruwheid van $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. (*U mag eventueel verder rekenen met een bodembreedte 4,50 m en een ontwerp waterdiepte 1,50 m*)

c. Ontwerp de hydraulische afmetingen van de duiker. Het wrijvingsverlies over de duiker mag worden verwaarloosd.

Opgave 48 (apr 1998: 3)

Het waterbeheersingssysteem van een pas drooggelegde polder (zie figuur 48.1) moet door u worden ontworpen. Het lage gedeelte van de polder (900 ha op $0,00 \text{ m}^+$) bestaat uit veen en zal worden gebruikt als grasland. Het andere gedeelte van de polder (300 ha op $1,00 \text{ m}^+$) bestaat uit lichte kleigronden en zal gebruikt worden als akkerland.

Er wordt gekozen voor twee polderpeilen in het afwateringssysteem: het veengedeelte op $0,00 \text{ m}^+ - 0,40 \text{ m} = -0,40 \text{ m}^+$, en het akkerbouw deel op $1,00 \text{ m}^+ - 1,60 \text{ m} = -0,60 \text{ m}^+$. Een kunstwerk lijkt nodig te zijn tussen deze twee polderpeilen.

Er is een drainagemachine beschikbaar die drainbuizen kan leggen tot maximaal 1,40 m diepte. U heeft plastic geribbelde buizen met een diameter van 0,08 m en met cocosomhulling beschikbaar. U houdt de volgende drainagecriteria aan:

- het grasland wordt gedraineerd door open greppels met een bodembreedte van 0,50 m voor een stationaire neerslag van 10 mm/dag bij 0,20 m ontwateringsdiepte [onder "ontwateringsdiepte" wordt verstaan de vereiste diepte van het grondwater onder het maaiveld]. Het veen heeft een doorlatendheid van 2,0 m/dag, een bergingscoëfficiënt van 35% en een dikte van 3 m.
- het akkerland wordt gedraineerd door drainbuizen voor ontwerpbuizen van 60 mm met een interval van 10 dagen die in deze periode ook moet zijn afgevoerd, bij 0,30 m drooglegging. De lichte kleilaag heeft een doorlatendheid van 0,5 m/dag, een bergingscoëfficiënt van 15% en is 20 m dik (dus: $d \approx D$).

a. Bepaal voor beide gebieden het ontwateringssysteem (afmetingen c.q. diepte, afstand). [*advies: besteed niet te veel tijd aan iteratie*]

b. Voor het ontwerp van open-waterlopen wordt soms de hydraulische straal R en soms de waterdiepte y gebruikt. Geef uitleg wèlke in dit ontwerp gebruikt zou moeten worden (i) in de Chézy formule, (ii) in de Manning-Strickler formule en (iii) in de formule voor de wandschuifspanning ("tractive force"). Ontwerp de belangrijkste open-waterloop uit uw systeem (typische afmetingen, verhang, enz.). U kunt taluds 1:1 gebruiken, en een slootruwheid $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Tevens kunt u twee panden kiezen: pand 1 met een capaciteit $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$, en pand 2 met een

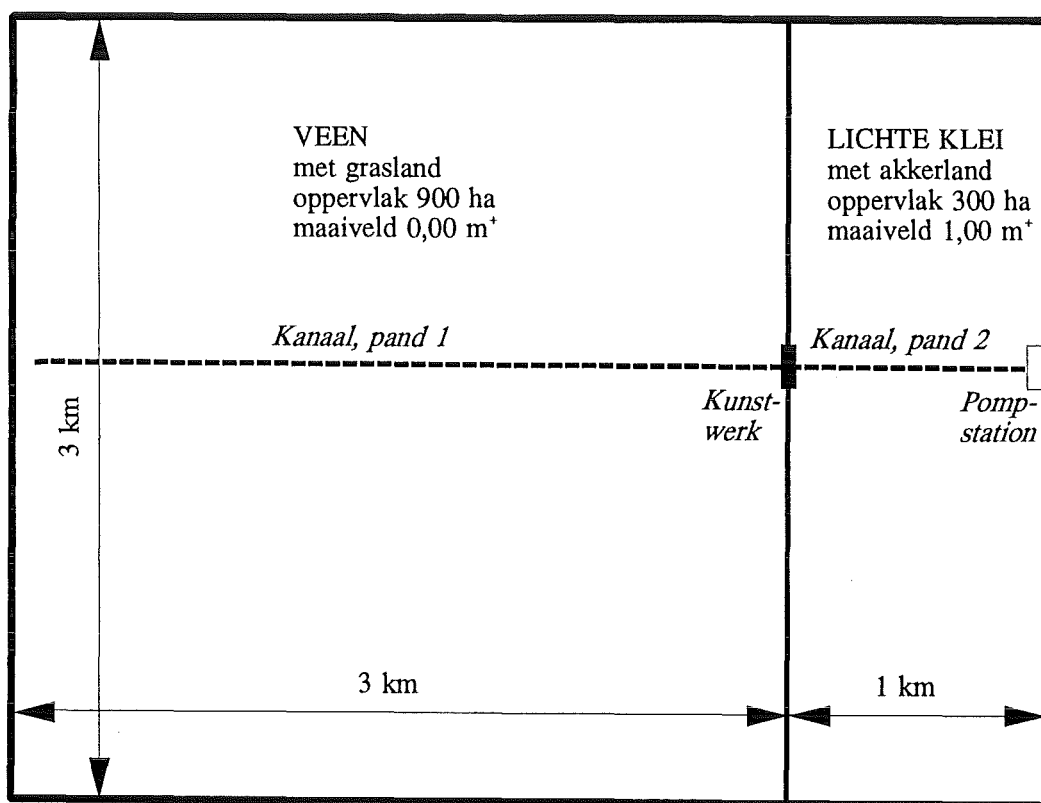
capaciteit 1,5 m³/s. Het kunstwerk heeft een capaciteit van 1,0 m³/s bij een verval van 0,05 m. Maak een eenvoudige schets van het lengteprofiel met terreinhoogten, polderpeilen en maximum waterstanden.

c. Ontwerp de hydraulische afmetingen van het kunstwerk tussen het hoge gedeelte en het lage gedeelte (zoals breedte, vloer/drempelhoogten). Het kunstwerk moet worden uitgevoerd met een vlakke schuif van 1,00 m breedte voor peilregeling. Maak een duidelijke tekening (*bovenaanzicht & lengtedoorsnede, op schaal*) van het kunstwerk en de aansluiting op het kanaal, met maten en en peilen. Teken ook de waterlijn voor het ontwerpdebiet. Vergeet niet de aanzichtlijnen in de lengtedoorsnede te tekenen!

FILENAME :

DATE : 04-24-1998

Q	y	ks=(1/n)	b	m	s	n	v	T	E
m ³ /s	m	m ^{1/3} /s	m	(v:mh)	10 ⁻³	(b/h)	m/s	N/m ²	W/m ³
1.00	0.85	30.00	3.00	1.00	0.20	3.51	0.30	1.68	0.60
1.00	0.93	30.00	3.00	1.00	0.15	3.23	0.27	1.36	0.40
1.00	1.04	30.00	3.00	1.00	0.10	2.88	0.24	1.02	0.23
1.00	1.26	30.00	3.00	1.00	0.05	2.37	0.19	0.62	0.09
1.00	1.46	30.00	3.00	1.00	0.03	2.06	0.15	0.43	0.05
1.50	1.08	30.00	3.00	1.00	0.20	2.79	0.34	2.11	0.67
1.50	1.17	30.00	3.00	1.00	0.15	2.57	0.31	1.72	0.45
1.50	1.31	30.00	3.00	1.00	0.10	2.30	0.27	1.28	0.26
1.50	1.58	30.00	3.00	1.00	0.05	1.90	0.21	0.78	0.10
1.50	1.81	30.00	3.00	1.00	0.03	1.65	0.17	0.53	0.05



Figuur 48.1. Polder.

Opgave 49 (aug 1998: 4)

Het hoofdafwateringskanaal van een polder moet worden ontworpen, zie ook figuur 49.1. Als kunstwerken, denkt men aan een duiker onder de hoofdweg en aan een uitwateringssluis.

Het maaiveld ligt horizontaal op het referentie peil P ($= 0,00 \text{ m}^+$). Het buitenwater heeft een constant peil $-2,20 \text{ m}^+$. Tevens mag men aannemen dat:

- de droogleggingseis tijdens het ontwerpdebiet (d.i. maaiveld minus waterstand in kanaal) bedraagt $1,00 \text{ m}$;
- het hoofdafwateringskanaal bestaat uit 3 panden:
 pand I: lengte 2 km , ontwerpdebiet $Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$,
 pand II: lengte 2 km , ontwerpdebiet $Q = 2,0 \text{ m}^3/\text{s}$,
 pand III: lengte 4 km , ontwerpdebiet $Q = 3,0 \text{ m}^3/\text{s}$.
- het verval tijdens het ontwerpdebiet Q bedraagt over de duiker $0,10 \text{ m}$ en over de sluis $0,30 \text{ m}$. De stroming door de sluis is dan 'volkomen';
- de maximum toelaatbare stroomsnelheid in het kanaal is $0,7 \text{ m/s}$, de taludhelling is $1:1$, de ruwheid is $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

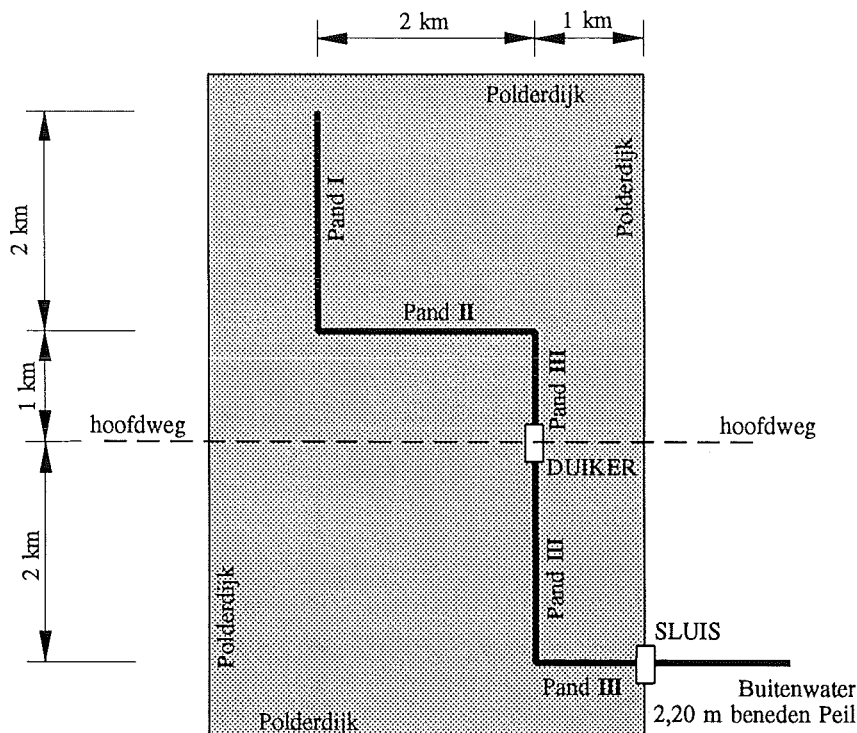
a. Bepaal het verhang van de waterlijn in het hoofdafwateringskanaal. [*advies: neem hetzelfde verhang in alle panden*] Teken in een lengteprofiel op schaal [bijv.: hor. $2 \text{ cm} \cong 1 \text{ km}$ en vert. $2,5 \text{ cm} \cong 1 \text{ m}$]: (i) de verhanglijn tijdens het ontwerpdebiet, (ii) de verhanglijn tijdens het 'nul-debiet', en (iii) de belangrijkste peilen.

b. Bepaal het dwarsprofiel van kanaalpand III voor $b/y = 2,5$.

U mag doorgaan met een waterdiepte $y = 1,50 \text{ m}$ en een bodembreedte $b = 4,00 \text{ m}$.

c. Ontwerp de hydraulische afmetingen van de sluis (zoals breedte, vloer / drempel-hoogten). Het kunstwerk moet worden uitgevoerd met één vlakke schuif. Maak een duidelijke tekening (*bovenaanzicht & lengtedoorsnede, op schaal bijv.: $1:100$*) van de sluis en de aansluiting op het kanalen, met maten en peilen. Het maaiveld direct rond de sluis ligt op $-1,40 \text{ m}^+$. Teken ook de waterlijn voor het ontwerpdebiet. Vergeet niet de aanzichtlijnen in de lengtedoorsnede te tekenen!

d. Wanneer men last heeft van verdroging in de zomer, welke aanpassingen van het systeem zijn dan nodig wanneer geen buitenwater kan worden ingelaten? Wat zijn de effecten van deze aanpassingen op de waterlijnen zoals bepaald in vraag 'a'?



Figuur 49.1. Het waterbeheersings systeem van de polder.

Opgave 50 (apr 1999: 4)

In het kader van 'levende berging' vraagt het Hoogheemraadschap in Edam uw advies betreffende de vergroting van de lozingscapaciteit van het "Noorderkwartier". De open-waterloop "De Wijzend" zal daartoe een nieuwe functie krijgen, zie figuur 50.1.

Daarbij denkt men niet aan het vergroten van het dwarsprofiel, maar men wil 'levende berging' toepassen, door de polder "De Kleiput" onder water te zetten gedurende 24 uur bij de ontwerpneerslag. De Kleiput is 100 ha groot en heeft een bodem op 3,50 m beneden NAP.

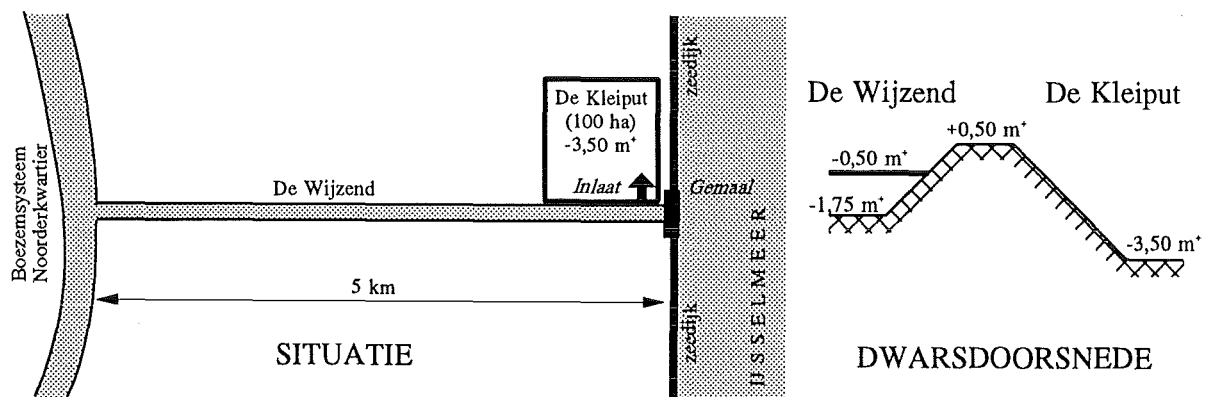
De Wijzend heeft een lengte van 5 km, een bodembreedte van 12 m, taluds 1:1, en een Manning ruwheid van $0,03 \text{ s/m}^{1/3}$. Het boezempeil ligt op 0,50 m beneden NAP, de dijkkruin ligt op 0,50 m boven NAP. Er is een 'maalstop' op 0,00 m NAP in de boezems van het Noorderkwartier, waarbij de polders niet meer mogen lozen. Het nieuwe gemaal is ingesteld op het handhaven van het boezempeil.

a. Bereken de huidige capaciteit van De Wijzend. [Aanwijzing: u mag stationair rekenen met uniforme stroming en een waterdiepte van 1,50 m]. Wat zijn de mogelijkheden om deze capaciteit met een factor $\pm 1,5 \times$ te vergroten, wanneer men niet het dwarsprofiel wil veranderen en ook niet de dijken wil ophogen? Kwantificeer uw oplossing(en).

Men besluit tot het verlagen van het boezempeil tot 1,00 m beneden NAP in alléén De Wijzend. Het inlaatkunstwerk voor de inundatiepolder wordt gepland juist naast het gemaal, met het bodempeil van De Wijzend op 1,75 m beneden NAP, zie figuur 50.1. Men overweegt (i) een vaste overlaat, en een (ii) inlaatsluis met vlakke schuif. U besluit uiteindelijk tot de inlaatsluis met een capaciteit van $4 \text{ m}^3/\text{s}$.

b. Welk bezwaar heeft u tegen de vaste overlaat? Ontwerp de hydraulische afmetingen van de inlaatsluis (zoals breedte, vloerhoogten). [Aanwijzing: de energielijn en de waterlijn in De Wijzend kunt u gelijk nemen] Maak een duidelijke tekening (bovenaanzicht & lengtedoorsnede, op de zelfde schaal) van het kunstwerk en de aansluiting op het kanaal, met maten en peilen. Teken ook de waterlijn voor het ontwerpdebiet. Vergeet niet de aanzichtlijnen in de lengtedoorsnede!

c. Geef uw uiteindelijke advies aan het Hoogheemraadschap betreffende het concept 'levende berging'. Ga in op aspecten als (i) benodigde infrastructuur, (ii) extra pompkosten, (iii) nieuwe beheersregels, (iv) effect op de afwatering, enz., enz.



Figuur 50.1. 'De Wijzend' en 'De Kleiput'.

Uitwerking 1

a. De formule voor *horizontale* verzadigde grondwaterstroming (wet van Darcy):

$$v = -K \frac{dH}{dx}$$

waarin v is de stroomsnelheid ("filtersnelheid"), K is de verzadigde doorlatendheid en dH/dx is het verhang van de stijghoogte ("potentiaal gradient").

De formule voor de *vertikale* onverzadigde grondwaterstroming is gebaseerd op de wet van Darcy:

$$v = -K_{\psi} \frac{dH}{dz}$$

waarin v is de stroomsnelheid, K_{ψ} is de onverzadigde doorlatendheid en dH/dz is het verhang van de stijghoogte ("potentiaal gradient").

De stijghoogte H is de som van de drukhoogte h (negatief in de onverzadigde zone) en de plaatshoogte z , dus: $H = h + z$. Daarbij wordt de grondwaterstand als referentieniveau voor de plaatshoogte genomen.

Substitutie in de wet van Darcy geeft de formule voor de verticale onverzadigde grondwaterstroming:

$$v = -K_{\psi} \frac{dH}{dz} = -K_{\psi} \frac{d(h+z)}{dz}, \quad \text{zodat: } v = -K_{\psi} \left(\frac{dh}{dz} + 1 \right)$$

Het min-teken voor vochtspanning van water in de grond kan gemakkelijk voor verwarring zorgen. In deze bundel is gekozen voor:

- h is de **drukhoogte**: met een *negatieve* waarde in de onverzadigde zone,
- ψ is de **zuigspanning** of **vochtspanning**: met een *positieve* waarde in de onverzadigde zone, waarbij dus de drukhoogte $h = -\psi$ in de onverzadigde zone.

Hierdoor wordt de formule voor de verticale onverzadigde grondwaterstroming:

$$v = -K_{\psi} \left(\frac{dh}{dz} + 1 \right) = -K_{\psi} \left(-\frac{d\psi}{dz} + 1 \right), \quad \text{zodat: } v = K_{\psi} \left(\frac{d\psi}{dz} - 1 \right),$$

waarin v is de stroomsnelheid, K_{ψ} is de onverzadigde doorlatendheid en $d\psi/dz$ is het verhang van de zuigspanning.

De formule voor *horizontale* onverzadigde grondwaterstroming kan overeenkomstig worden afgeleid:

$$v = -K_{\psi} \frac{dH}{dx} = -K_{\psi} \frac{dh}{dx} = K_{\psi} \frac{d\psi}{dx}$$

b. *Zie het dictaat voor de opzet van de Rijtema tabellen.* Er zijn drie type berekeningen mogelijk voor stroming in de onverzadigde zone: (i) het grondwaterniveau z onder de wortelzone en de zuigspanning ψ in de wortelzone zijn bekend zodat de capillaire opstijging v kan worden berekend, (ii) het grondwaterniveau z onder de wortelzone en de capillaire opstijging v zijn bekend zodat de zuigspanning ψ in de wortelzone kan worden berekend, (iii) de zuigspanning ψ in de wortelzone en de capillaire opstijging v zijn bekend zodat het grondwaterniveau z onder de wortelzone kan worden berekend.

De berekening van het vochtgehalteprofiel gaat òf van boven naar beneden, òf van beneden naar boven waarbij steeds voor de bepaalde plaatshoogte z het bijbehorende vochtgehalte θ wordt bepaald. Echter de omrekening van de ene laag naar de andere laag gaat op de basis van een gelijke zuigspanning ψ op de scheidingslaag, waardoor het vochtgehalte θ op de scheidingslaag verschillend zal zijn.

Uitwerking 2

De Rijtema tabel betreft 'onverzadigde' stroming. Echter, de grond is vrijwel verzadigd in de ± 20 cm juist boven de grondwaterspiegel, zodat in dit traject gesteld zou kunnen worden gesteld dat $K_{\text{verz.}} \approx K_{\psi}$. Darcy voor de onverzadigde zone: $v = -K_{\psi} \times dH / dz = -K_{\psi} \times d(-\psi + z) / dz = K_{\psi} \times [d\psi / dz - 1]$. Ingevuld geeft dit: $0,5 = K_{\psi} [(20 - 0)/(17,7) - 1]$, zodat de onverzadigde doorlatendheid $K_{\psi} = 0,5 / [(20-0)/(17,7) - 1] = 3,85$ cm/dag. De verzadigde doorlatendheid $K_{\text{verz.}} = 3,85$ cm/dag.

Uitwerking 3

Het moet duidelijk zijn dat het hier om *onverzadigde* stroming gaat. Daarvoor geldt dat de doorlatendheid K afhankelijk is van het vochtgehalte, en daardoor ook van de zuigspanning ψ . Wel is de 'filter'snelheid, in m/s of in cm/dag, constant.

$$v = -K \frac{dH}{dx} = -K \frac{d(h+z)}{dx} = -K \frac{dh}{dx} = K \frac{d\psi}{dx} = \frac{1}{\psi} \times \frac{d\psi}{dx}$$

waardoor: $v dx = \frac{1}{\psi} d\psi$, en: $\int v dx = \int \frac{1}{\psi} d\psi$. $v x \Big|_0^{100} = \ln \psi \Big|_{-e^2}^{-e^4}$. Zodat: $100 v = \ln(-e^4) - \ln(-e^2) = \ln e^2 = 2$. Dus, de snelheid $v = 0,02$ cm/dag.

Uitwerking 4

Voor elk zuigspanning ψ kan de doorlatendheid K bepaald worden met $K = 1,4 \times e^{-0,04\psi}$ voor $\psi < 50$ cm, en met $K = 30 \psi^{-1,5}$ voor $\psi > 50$ cm.

$$v = -K \frac{dH}{dz} = -K \frac{d(z-\psi)}{dz} = -K + K \frac{d\psi}{dz},$$

$$\text{zodat: } \frac{d\psi}{dz} = \frac{v}{K} + 1, \text{ en dus: } dz = \frac{d\psi}{1 + v/K}$$

Aangezien $d\psi = 10$ cm en de capillaire opstijging is $v = 0,4$ cm/dag, is:

$$dz = \frac{10}{1 + 0,4/K}$$

$\psi = 0$	$K = 1,4 e^{-0,04\psi} = 1,40$	.....	$z = 0$ cm
		$K(\text{gem.}) = 1,17$	$dz = 7,45$
$\psi = 10$	$K = 1,4 e^{-0,04\psi} = 0,94$	.....	$z = 7,5$ cm
		$K(\text{gem.}) = 0,79$	$dz = 6,64$
$\psi = 20$	$K = 1,4 e^{-0,04\psi} = 0,63$	.....	$z = 14,1$ cm
		$K(\text{gem.}) = 0,48$	$dz = 5,70$
$\psi = 30$	$K = 1,4 e^{-0,04\psi} = 0,42$	.....	$z = 19,8$ cm
		$K(\text{gem.}) = 0,35$	$dz = 4,67$
$\psi = 40$	$K = 1,4 e^{-0,04\psi} = 0,28$	.....	$z = 24,5$ cm
		$K(\text{gem.}) = 0,24$	$dz = 3,75$
$\psi = 50$	$K = 1,4 e^{-0,04\psi} = 0,19$	.....	$z = 28,2$ cm
		$K(\text{gem.}) = 0,13$	$dz = 2,45$
$\psi = 60$	$K = 30 \psi^{-1,5} = 0,065$	.....	$z = 30,1$ cm

Conclusie: voor $z = 30$ cm zal de zuigspanning $\psi = 60$ cm.

Uitwerking 5

Begrip veldcapaciteit, begrip pF: zie *dictaat*. Juist een zuigspanning van pF2: empirisch gevonden voor vele gronden. Voor grondwaterstand op 50 cm beneden maaiveld: $\log 50 = \text{pF}1,70$. Een spons zal wel een kleinere capillaire zuigspanning kennen omdat de poriën veel groter zijn dan van de grond, dus $\text{pF} < 2$.

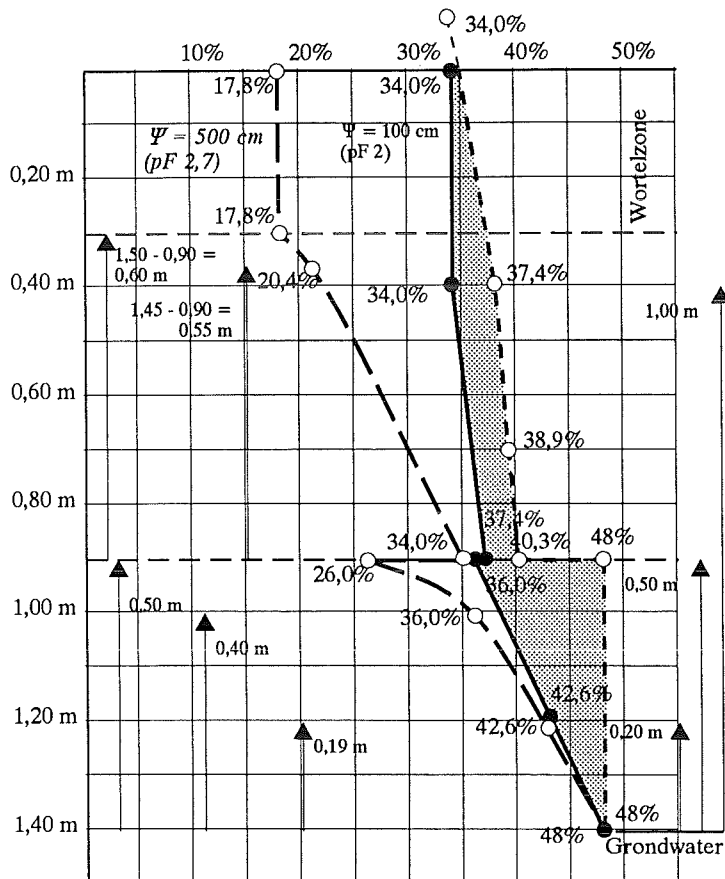
Uitwerking 6

I: Dit is een bijzonder verloop van het bodemvocht. Normaal onttrekken de wortels gelijkmatig over de gehele wortelzone, en is dus niet hier van toepassing. Ook is er normaal een constant vochtgehalte over de wortelzone wanneer de grond op veldcapaciteit is, aangezien pF2 (zuigspanning $\psi = 100$ cm) dan optreedt. De enigste mogelijkheid die nog overblijft is dat de grond op veldcapaciteit is, maar met een grondwaterdiepte $< 1,00$ m zodat de zuigspanning $< 1,00$ m.

II: de wortels onttrekken nu gelijkmatig aan de wortelzone, dus de zuigspanning in de wortelzone ligt tussen het verwelkingspunt en de veldcapaciteit.

III: de grond is op veldcapaciteit pF2, met grondwaterdiepte $> 1,00$ m

Uitwerking 7



Figuur 7.1. De drie vochtgehalteprofielen.

waterdiepte $z = 0,90$ m getekend in figuur 7.1, en wordt de waterhoeveelheid A bepaald uit 'hokjes-tellen': ± 58 hokjes@ $0,02 \times 50$ mm. Dus, **58 mm** komt vrij bij een grondwaterdaling van 0,90 m naar 1,40 m. De bergingscoëfficiënt is dan $\mu = 58/[1400 - 900] \times 100\% = 11,6\%$.

Uitwerking 8

a. $E_{\text{plant}} = \int S(\psi) dw = \int S_{\text{max}} \times \alpha(\psi) dw = S_{\text{max}} \int \alpha(\psi) d w$
 $\alpha(\psi) = 1$ voor $100 \text{ cm} < \psi < 1000 \text{ cm}$ en voor $0 < w < 0,40 \text{ m}$

$E_{\text{plant}} = 0,0045 \int 1 dw = 0,0045 \times 400 = 1,8 \text{ mm/dag}$

Plantverdamping gedurende het seizoen: $125 \times 1,8 = 225 \text{ mm}$

b. Zie figuur 8.4

$1 < \psi < 100$ Het gewas verrot bij natte grond, en verdamping = 0 bij $\psi = 1 \text{ cm}$

$10^3 < \psi < 10^4$ De groei van de plant, en daardoor de verdamping, is niet meer optimaal, en zal stoppen bij het verwelkingspunt bij $\psi = 16000 \text{ cm}$.

$\psi > 1,6 \times 10^4$ De plant is bezweken, en er is geen plantverdamping meer.

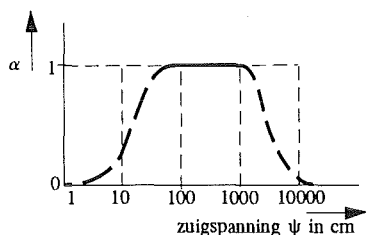
a en b. Zie figuur 7.1 voor de vochtgehalteprofielen.

c. Het luchtgehalte in de wortelzone is dan $40,3\% - 34,0\% = 6,3\%$. Het luchtgehalte voor optimale groei moet minimaal 10 - 12% zijn, dus de kwaliteit van deze grond aan het begin van het groeiseizoen is niet zo goed. Een verlaging van de grondwaterstand geeft geen verbetering omdat de zuigspanning pF2 gehandhaafd blijft en daardoor hetzelfde vochtgehalte. Een verhoging van het grondwater geeft een verslechtering door een lagere zuigspanning in de wortelzone en daardoor een hoger vochtgehalte en een lager luchtgehalte.

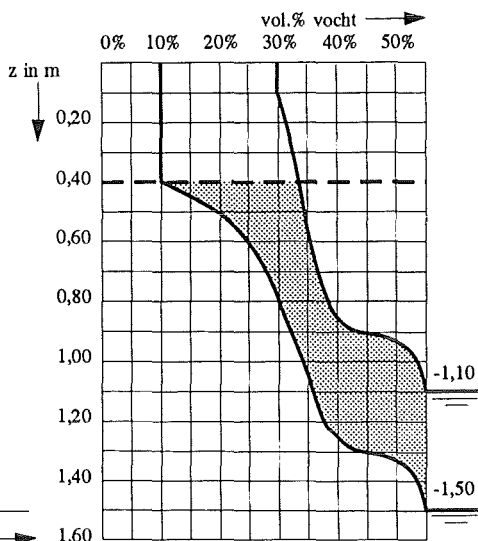
d. De bergingscoëfficiënt is de hoeveelheid water A , in mm, dat vrijkomt wanneer bij een grond, die op veldcapaciteit is, de grondwaterstand daalt over d in m, gedeeld door het bedrag van die daling d , dus $\mu = A/d$. Voor de bepaling van de waterhoeveelheid A wordt eerst een nieuw vochtgehalteprofiel bij een grond-

Direct beschikbaar voor de plant:

- uit de berging in de wortelzone $400 \times (0,30 - 0,10) = 80 \text{ mm}$
 - neerslag 50 mm
 - (minus) bodemverdamping $-25 \text{ mm} +$
- totaal beschikbaar voor de plant (zonder capillaire opstijging) **105 mm**



Figuur 8.4. Relatie α en ψ voor $\psi > 1$.



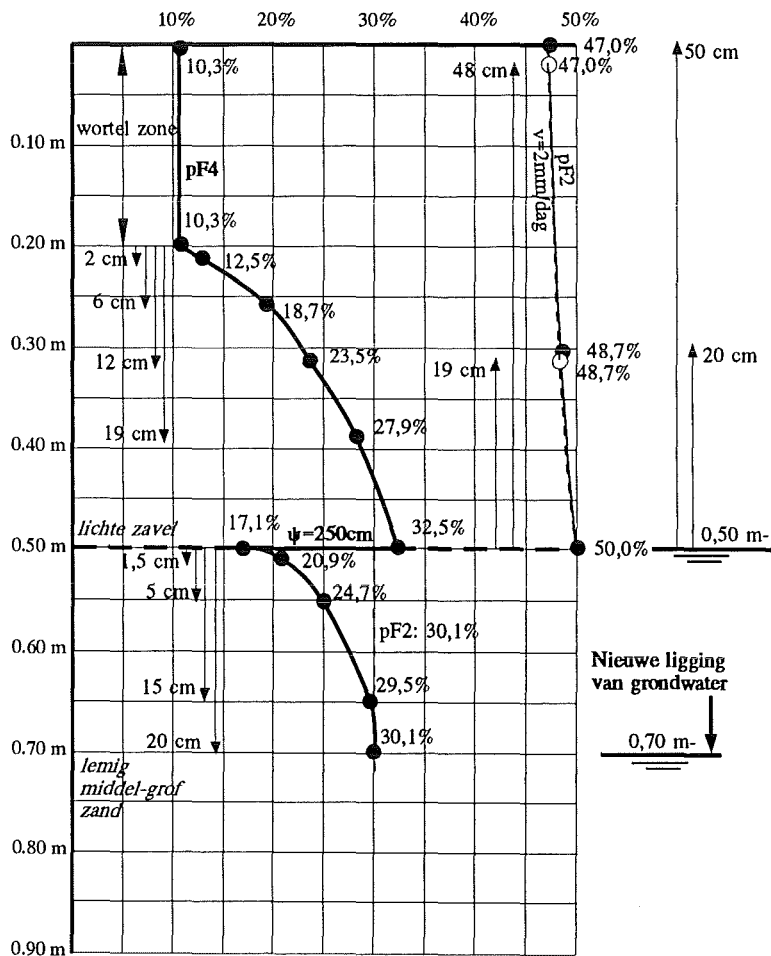
Figuur 8.5. Vochtgehalte profielen.

c. en d. Zie figuur 8.5. Het grondwater staat op 1,50 m beneden het maaiveld aan het einde van het groeiseizoen. De capillaire nalevering: 27,5 hokjes @ 5% \times 100 mm = 138 mm.

Het gewas heeft tijdens het groeiseizoen 225 mm nodig (vraag a). Uit de wortelzone komt 105 mm (vraag b), dus een nalevering van $225 - 105 = 120 \text{ mm}$ is nodig. Bij een grondwaterstand van 1,10 m - maaiveld aan het begin van het groeiseizoen, wordt 138 mm nageleverd (vraag d). Dat is dus

voldoende. Dus **advies**: grondwaterstand aan begin van groeiseizoen op 1,10 m beneden maaiveld!

Uitwerking 9



Figuur 9.1. De drie vochtgehalteprofielen.

Uitwerking 10

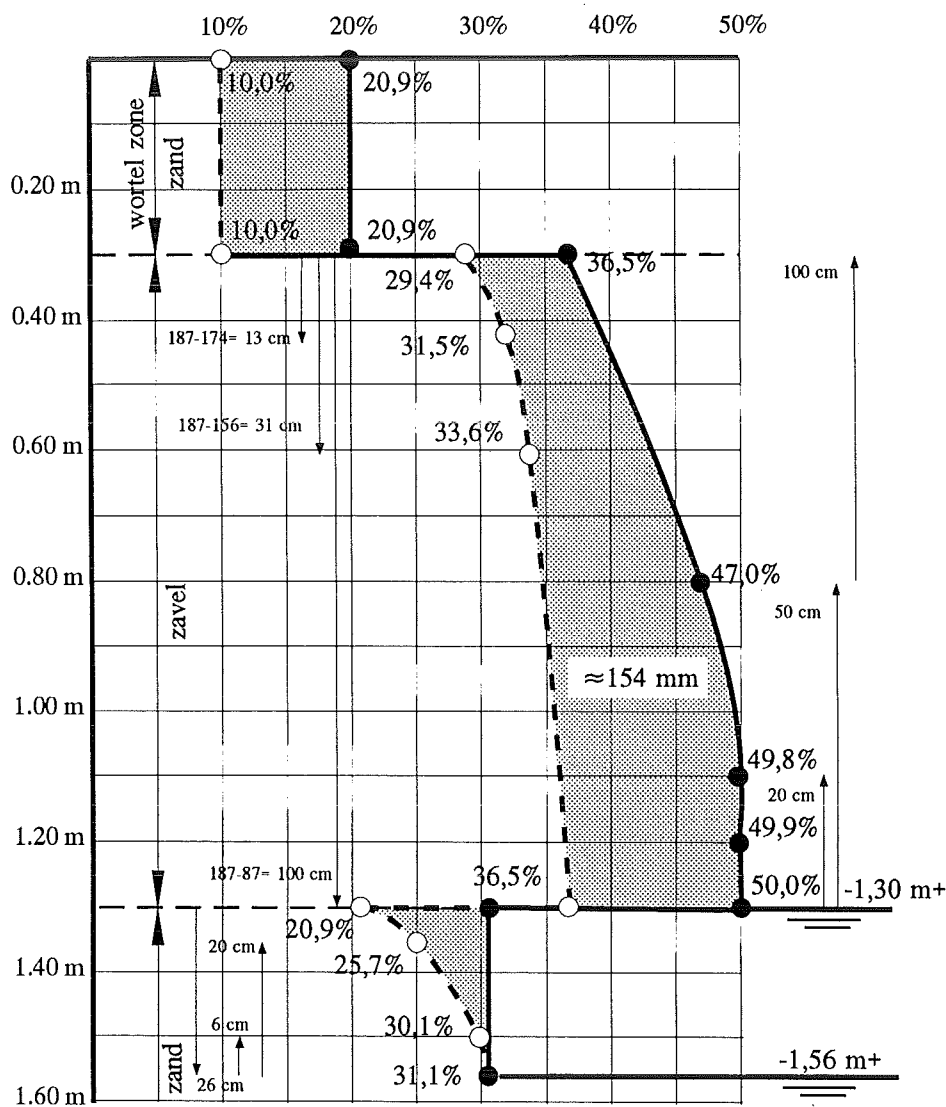
a. Een minimale luchtgehalte van 10% is belangrijk voor de optimale groei, ook aan het begin van het groeiseizoen. Voor leemhoudend zand zal daarom het maximale vochtgehalte $\theta = 31,1\%$ verlaagd moeten zijn i.v.m. 10% lucht, zodat als vochtgehalte dan overblijft $\theta = 31,1 - 10,0 = 21,1\%$. Volgens de Rijtema tabel hoort hierbij, toevallig, een zuigspanning $\psi \approx 100$ cm onderin de wortelzone, waardoor de grondwaterstand $1,00 + 0,30 = 1,30$ m onder maaiveld moet liggen.

Voor zavel volgt een vergelijkbare bepaling: vochtgehalte $\theta = 50,0 - 10,0 = 40\%$ onderin de wortelzone bij een zuigspanning $\psi \approx 75$ cm, dus een grondwaterstand $1,05$ m onder het maaiveld.

Een polderpeil van $1,30$ m beneden het maaiveld zorgt voor de gehele polder dat het luchtgehalte in de wortelzone tenminste 10% is.

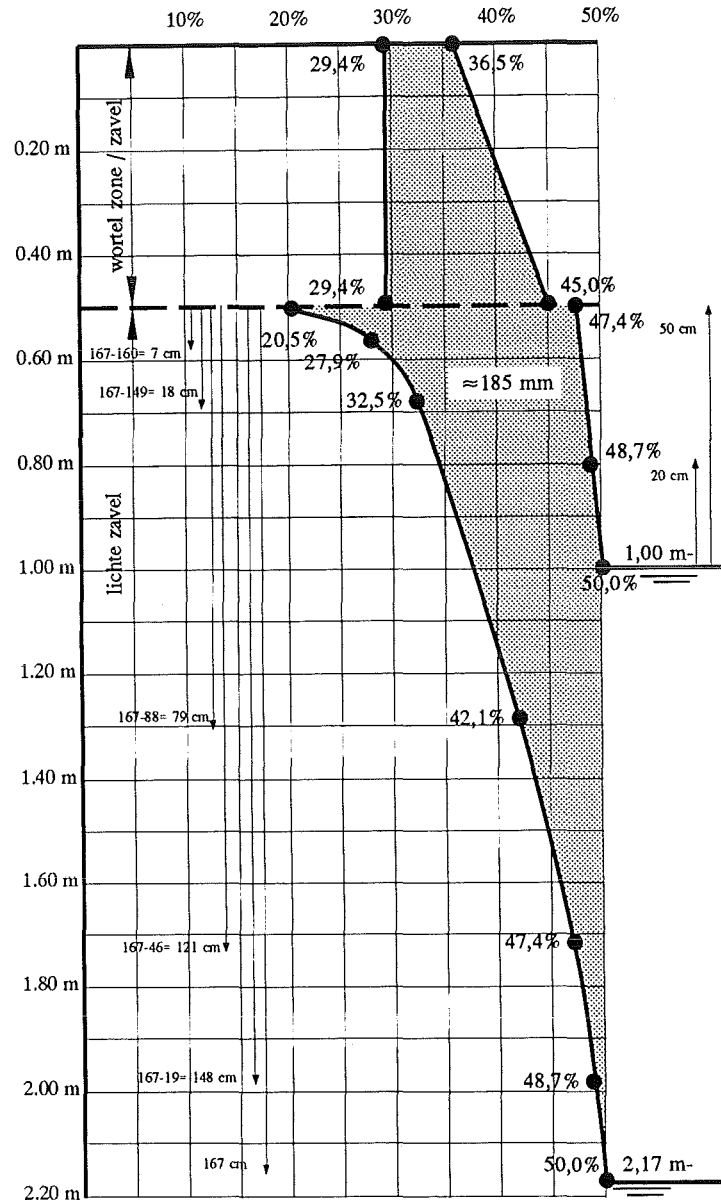
De capillaire nalevering voor bijvoorbeeld $2 - 4$ mm/dag volgt uit de Rijtema tabellen: voor zand is dan een zeer ondiep grondwater nodig van $0,18 - 0,29$ m onder de wortelzone. Voor zavel zijn echter geen problemen te verwachten voor een dergelijke nalevering bij een grondwaterstand van $1,40 - 1,87$ m onder de wortelzone.

b. De vochtgehalteprofielen zijn gegeven in figuur 10.1. De hoeveelheid vocht die capillair is opgestegen, volgt uit 'hokjes-tellen': op $\frac{1}{2}$ cm papier ± 154 hokjes @ $50 \text{ mm} \times 2\% = 154 \text{ mm}$. Het gewas kan dan $154/2 = 77$ dagen overleven.



Figuur 10.1. De vochtgehalteprofielen.

Uitwerking 11



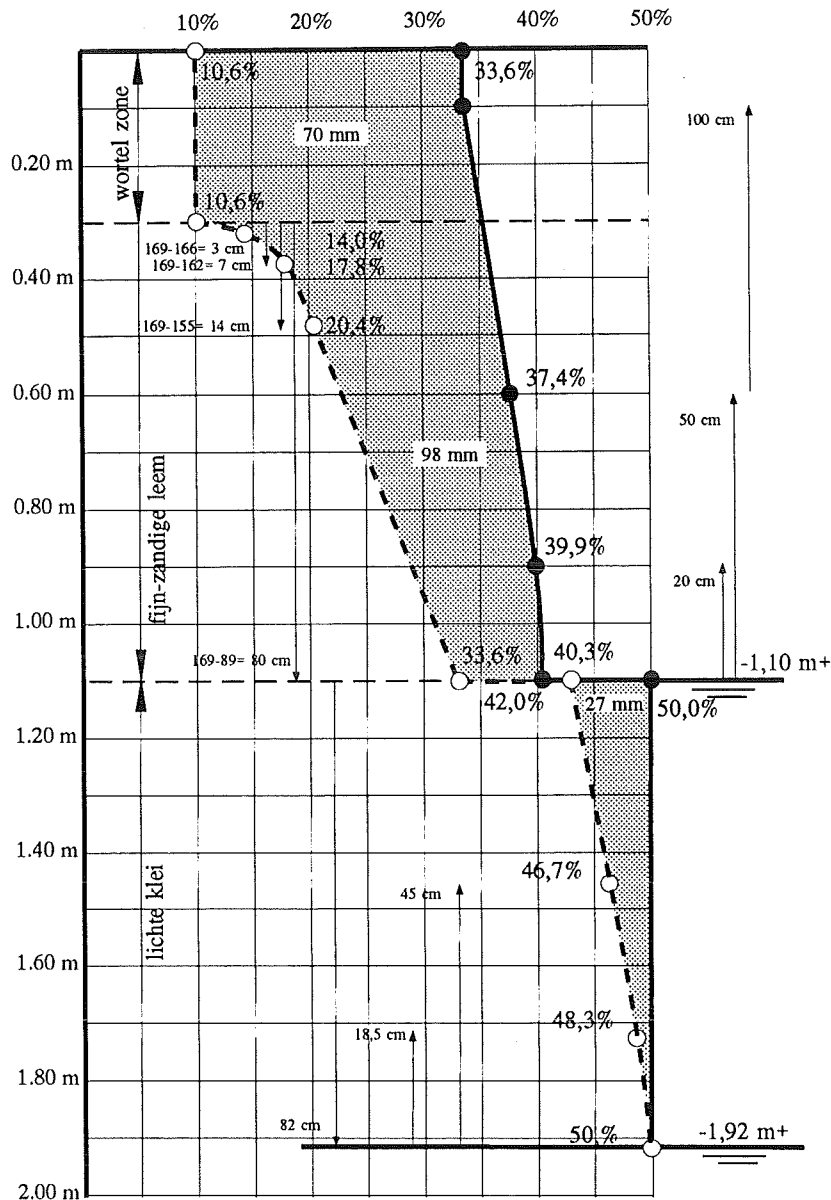
Figuur 11.1. De vochtgehalteprofielen.

a. en b. zie figuur 11.1.

c. De hoeveelheid bodem en capillaire opstijgingsvocht die de plant heeft verbruikt, wordt bepaald door het ingesloten oppervlakte op te meten. Het eenvoudigste gaat dit door "vierkantjes" te tellen en te vermenigvuldigen met de schaalfactor. Op ruitjespapier geeft dit: ± 185 hokjes @ $50\text{mm} \times 0.02 = \pm 185$ mm. De regenval van 100 mm moet worden opgeteld om de totale hoeveelheid vocht te bepalen dat door de plant is verbruikt: $\pm 185 + 100 = \pm 285$ mm is door het gewas verbruikt.

d. Er is ± 285 mm nodig voor de optimale groei van het gewas. In een *gemiddeld* jaar is dit aanwezig. Echter, in de drogere jaren zal er een water tekort optreden, d.w.z. in 50% van de jaren. Dit zou maatregelen kunnen rechtvaardigen, zoals irrigatie door beregening. Tevens zou onderzocht moeten worden in hoe verre de grondwaterstand beïnvloed zou kunnen worden. De voorjaars grondwaterstand zou hoger gekozen kunnen worden, maar dat heeft als nadeel dat (i) het land later machinaal te bewerken is, en dat (ii) de gronden "kouder" blijven in het voorjaar waardoor de plantengroei wordt vertraagd. Ook is 'inzijging' vanuit sloten een optie, zodat de zomergrondwaterstand niet daalt tot de berekende 2,17 m-maaiveld.

Uitwerking 12



Figuur 12.1. De vochtgehalteprofielen.

a. De vochtgehalteprofielen in beide lagen zijn getekend in figuur 12.1. Dus moet ook het vochtgehalte in Lichte Klei worden getekend bij a.1 op 50%.

b. De hoeveel vocht uit de wortelzone volgt uit 'hokjes tellen': op $\frac{1}{2}$ cm papier ± 70 hokjes @ 50 mm \times 2% = 70 mm. Bij een verdamping van 3 mm/dag, begint dus de capillaire nalevering na $70/3 = \pm 23$ dagen. De grondwaterstand ligt dan nog op 1,10 m \div maaiveld.

Evenzo kan de berging van de ondergrond worden bepaald op $98 + 27 \approx 125$ mm, zodat na $23 + 125/3 = \pm 68$ dagen de capillaire opstijging minder wordt dan de optimale 3 mm/dag. De grondwaterstand ligt dan op 1,92 m \div maaiveld, zie ook het vochtgehalteprofiel.

De plant bezwijkt bij $v = 0,6$ mm/dag wanneer het verwelkingspunt met een zuigspanning van 16000 cm is bereikt. De zuigspanning in de scheidingslaag op 80 cm beneden de wortelzone volgt uit $z = 293,7 - 80 = 213,7$ cm, en bedraagt volgens de Rijtema tabel voor fijn-zandige klei $\psi = 250$ cm. De Rijtema tabel voor lichte klei geeft aan dat hier een grondwaterstand $z = 182$ cm bij hoort. Dus, de laagste grondwaterstand ten gevolge van capillaire opstijging is dus: $1,10 + 1,82$ m = 2,92 m \div maaiveld.

Uitwerking 13

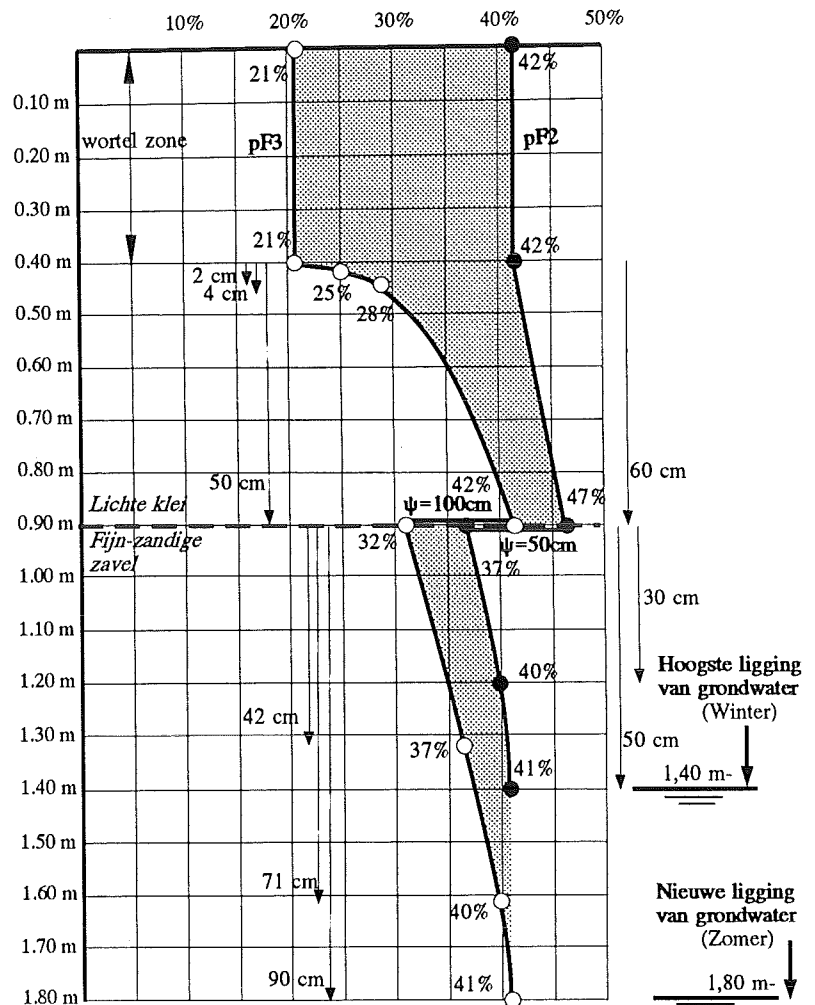
a. Een hoge grondwaterstand kan bij veldcapaciteit een lagere zuigspanning dan pF2 geven, en zo een hoog vochtgehalte. Dus, het laagste vochtgehalte in de wortelzone, bij veldcapaciteit, behoort bij een zuigspanning van pF2 in de gehele wortelzone. De gevraagde 'hoogste grondwaterstand' kan zo berekend worden op 1,40 m - maaiveld, door vanuit de wortelzone naar beneden rekenend, zie het vochtgehalteprofiel in figuur 13.1.

b. Evenzo kan de grondwaterstand in de zomer berekend worden op 1,80 m - maaiveld, zie ook het vochtgehalteprofiel in figuur 13.1.

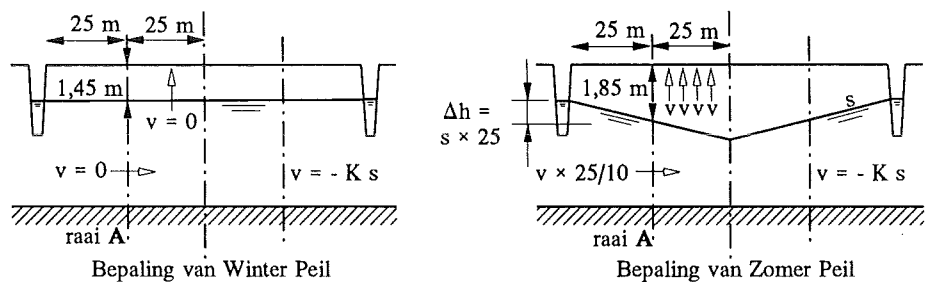
c. De oppervlakte tussen beide vochtprofielen is de hoeveelheid onttrokken bodemvocht: $157 \text{ hokjes} @ 50 \text{ mm} \times 2\% = 157 \text{ mm}$. Tijdens het groeiseizoen is $90 \times 4 = 360 \text{ mm}$ nodig. De effectieve neerslag is 60 mm, zodat $360 - 157 - 60 = 143 \text{ mm}$ moet worden aangevoerd als 'gebieds-vreemd' water.

d. Het winterpeil is de hoogst toelaatbare waterstand in het open-water, en wordt bepaald door een grondwaterstand 1,45 m - maaiveld tijdens veldcapaciteit. Bij de veldcapaciteit is er geen grondwaterbeweging, en is er een horizontaal freatisch vlak, zie figuur 13.2. Dus, het winterpeil is op 1,45 m - maaiveld.

e. In de zomer wordt er water geïnfiltreerd, waardoor een verhang s van het freatisch vlak moet optreden. De maatgevende locatie ligt in raai A op 25 m van de sloot, zie figuur 13.2. De piek grondwaterstroming wordt bepaald door de verdamping van 4 mm / dag, en bedraagt $25 \times 4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{dag.m}$. Dus, de stroomsnelheid in het 10 m dikke pakket, volgt uit $v = 25 \times 4 \times 10^{-3} / 10 = 0,010 \text{ m/dag}$. Bij een doorlatendheid $K = 0,313 \text{ m/dag}$ is het verval over 25 m: $\Delta h = v/K \times 25 = 0,80 \text{ m}$. Dus, het zomerpeil ligt op $-1,85 + 0,80 = 1,05 \text{ m}$ beneden het maaiveld.



Figuur 13.1. De vochtgehalteprofielen van vraag a en b.



Figuur 13.2. Bepaling van het Winter en Zomer Peil.

Uitwerking 14

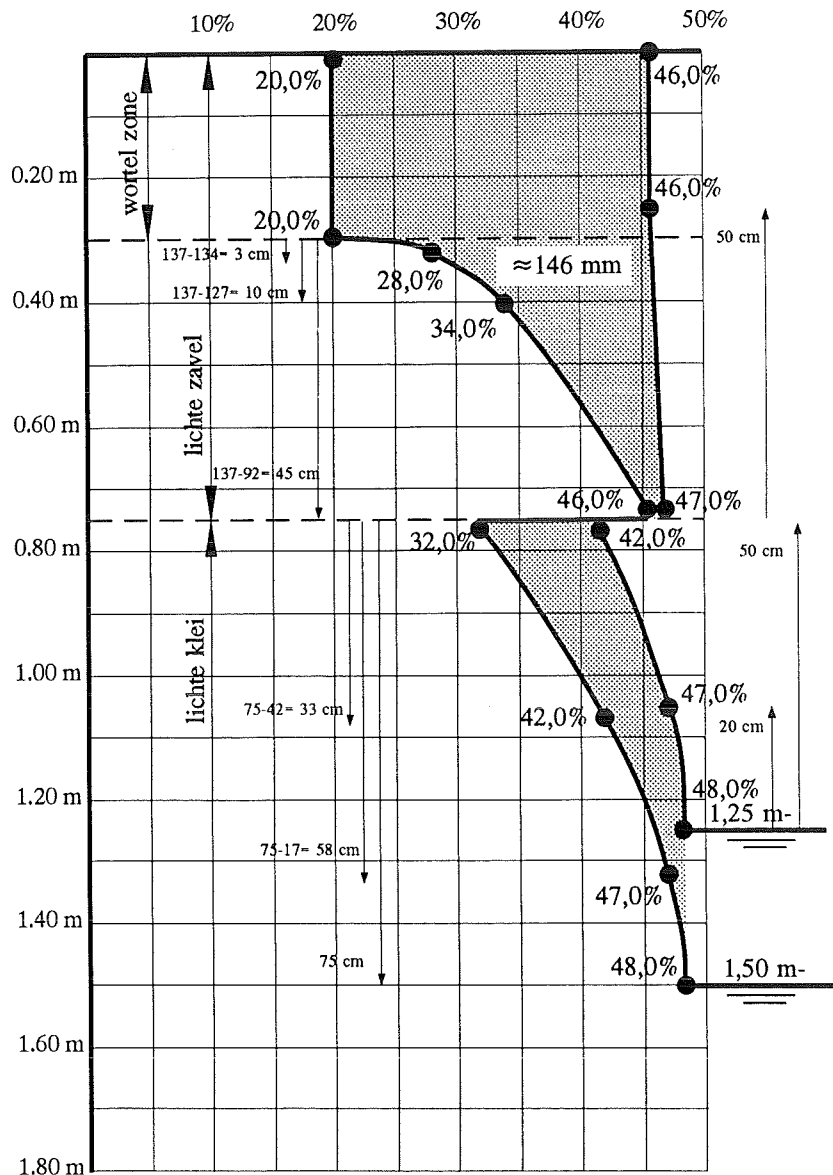
c. De plant heeft verbruikt uit de bodem: ± 146 hokjes @ $2\% \times 50 \text{ mm} = \pm 146 \text{ mm}$.

d. De gemiddelde waterschijf die men moet toevoeren, hangt af van de dagelijkse verdamping en van de *application efficiency* van bv. 75%. Dus, aangevoerd moet worden $5 / 0,75 = 6,67 \text{ mm/dag} = 6,67 \times [10^{-3} \text{ m}] \times [\text{m}^2/10^{-4} \text{ ha}] / [24 \times 3600 \text{ s}] = 0,77 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 0,77 \text{ l/s.ha}$.

Het bezwaar van een continue waterlevering is de slechte ontwikkeling van de wortelzone en het wortelstelsel. Tevens is er ook lucht in de wortelzone nodig, zodat een "plens" bevoeiing wordt toegepast voor de niet-rijstgewassen.

e. De frequentie voor de watergift volgt uit $146 \text{ mm} / 5 \text{ mm/dag} = 29,2$ dagen. Kies dus 29 dagen. De benodigde gift is dan $146/0,75 = 195 \text{ mm}$.

Het vochtgehalte in de wortelzone varieert tussen $300 \text{ mm} \times 20\% = 60 \text{ mm}$ en $300 \text{ mm} \times 46\% = 138 \text{ mm}$ met een frequentie van 29 dagen.



Figuur 14.1. De vochtgehalteprofielen van vraag a en b.

Uitwerking 15

"Nee", het zijn verschillende termen voor hetzelfde type.

I: buizen werken (nog) niet omdat ze boven het freatisch vlak liggen.

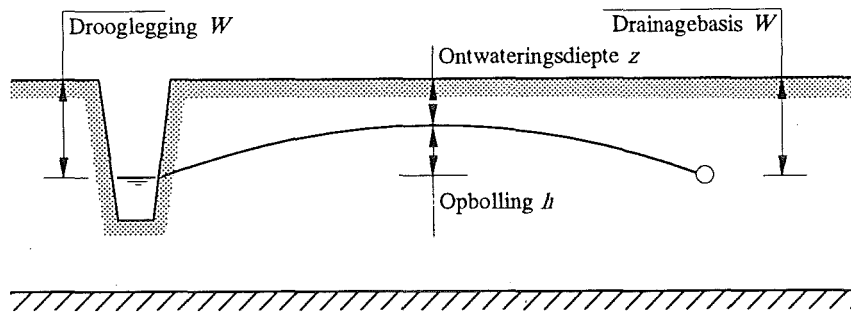
II: buizen werken naar behoren.

III: buizen niet door verstopping of slechte afwatering.

Uitwerking 16

a. zie dictaat. NB: stroomlijnen sluiten aan op de percolerende regen, en niet op de andere drainagebuis! Ook stroomt grondwater niet volgens hoeken van 90° . Zie ook figuur 16.1 voor de gebruikte terminologie in ontwatering.

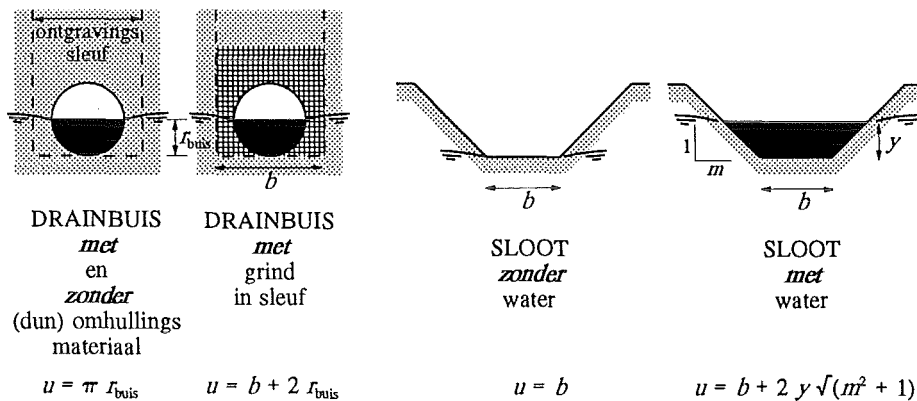
b. De gegeven geldigheid staat juist verkeerd: de " $<$ " en " $>$ " tekens" moeten omgedraaid worden. De grondwaterstroming "gaat niet diep" wanneer de buizen relatief dicht bij elkaar liggen: $L \ll D$ betekent dat de term D niet in de formule zit. En evenzo het omgekeerde. Een andere methode: laat $L \rightarrow \infty$, dan nadert d in de eerste vergelijking naar $d \rightarrow D$, en de tweede vergelijking $d \rightarrow \infty$, hetgeen niet logisch is.



Figuur 16.1. Terminologie in ontwatering.

c. NB. Het dictaat is nogal omslachtig hierover. De parameter u is de natte omtrek van de ontwateringsmiddelen. De waarde u is afhankelijk van het type ontwateringsmiddel, zie figuur 16.2: (i) drainagebuis met straal r_{buis} zonder omhullingsmateriaal: $u = \pi r_{\text{buis}}$, (ii) drainagebuis met straal r_{buis} met dun omhullingsmateriaal: $u = \pi r_{\text{buis}}$, (iii) drainagebuis met grind in sleuf met breedte b : $u = b + 2 r_{\text{buis}}$, (iv) droge sloot met breedte b : $u = b$, (v) gevulde sloot met waterdiepte y : $u = b + 2 y \sqrt{m^2 + 1}$.

Men neemt dus aan bij de formules van Hooghoudt dat de drainagebuizen slechts *half gevuld* zijn. Bij de berekening van de buisdiameter, echter, neemt men aan dat de buizen *geheel gevuld* zijn met water. In werkelijkheid zullen de buizen *geheel vervuld* zijn, zodat de radiale weerstand in Hooghoudt formule te groot is genomen, en daardoor de drainafstand L iets kleiner uitvalt dan nodig zou zijn. Dit geeft dus een extra veiligheid.



Figuur 16.2. De natte omtrek u van ontwateringsmiddelen.

Uitwerking 17

De equivalent straal r_0 wordt gebruikt om het effect van de radiale stroming te bepalen. Daartoe wordt de 'equivalent diepte' d afgelezen in tabellen die de relatie geven tussen de dikte D van het pakket en de equivalent straal r_0 .

De equivalent straal r_0 bij drainagebuizen en sloten is afhankelijk van de natte omtrek u , en kan worden berekend uit de vaste relatie: $r_0 = u/\pi$.

Uitwerking 18

a. $D = 5 - 1 = 4,00\text{m}$. U had geen zin om de slootdiepte y en/of de bodembreedte b te meten. U moet nu één van beide aannemen, waardoor de andere is te berekenen uit de waterbreedte w d.m.v. de relatie: $w = b + 2 m y$, zodat:

$1,30 = b + 2 y$. De natte omtrek u volgt dan uit: $u = b + 2 y \sqrt{2}$:

- stel $b = 0,00$ m, waardoor $y = 0,65$ m, dan is de natte omtrek $u = 1,84$ m,
- stel $b = 0,50$ m, waardoor $y = 0,40$ m, dan is de natte omtrek $u = 1,63$ m,
- stel $b = 1,00$ m, waardoor $y = 0,15$ m, dan is de natte omtrek $u = 1,42$ m.

U kiest, bijvoorbeeld, als natte omtrek $u = 1,60$ m. Aangezien $L > 4D$, kan de equivalent diepte d berekend worden uit:

$$d = D / [1 + \{8D \times \ln D/u\} / \pi L] = 4 / [1 + \{8 \times 4 \times \ln (4/1,60)\} / (\pi \times 50)] = 3,37 \text{ m.}$$

De ontwateringsdiepte gras bedraagt 0,20 m en de waterstand in de sloot ligt 1,00 m -m.v., dus $h = 0,80$ m. U kunt dan de doorlatendheid K berekenen uit de Hooghoudt formule: $9 \times 10^{-3} = [8 \times K \times 3,37 \times 0,80 + 4 \times K \times 0,80^2] / 50^2$, waaruit volgt dat de doorlatendheid $K = 0,93$ m/etmaal.

b. De ontwateringsdiepte bouwland is 0,50 m, dus $h = 1,00 - 0,50 = 0,50$ m. Er wordt geen omhullingsmateriaal gebruikt, waardoor de natte omtrek u van de (half-volle) drainbuis volgt uit: $u = \pi r = \pi \times 0,05 = 0,16$ m. De equivalent diepte d voor een drainafstand van $L = 30$ m is dan: $d = D / [1 + \{8D \times \ln D/u\} / \pi L] = 4 / [1 + \{8 \times 4 \times \ln (4/0,16)\} / (\pi \times 30)] = 1,91$ m.

U kunt opnieuw de Hooghoudt formule gebruiken: $q = [8 \times 1 \times 1,91 \times 0,50 + 4 \times 1 \times 0,50^2] / 30^2$, waaruit volgt een neerslag van $q = 9,6 \times 10^{-3}$ m/dag. Dus het systeem kan zeker de ontwerpneerslag van 9 mm/dag verwerken.

Uitwerking 19

De formule van Hooghoudt kan worden herschreven in:

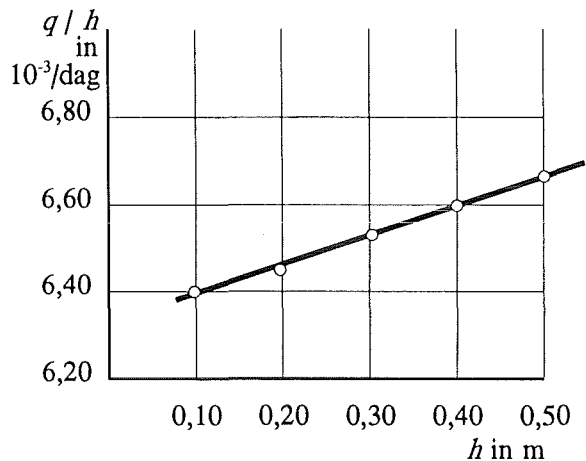
$$\frac{q}{h} = \frac{8 K d}{L^2} + \frac{4 K}{L^2} h$$

Vergelijking van waarnemingen q/h en h : $q/h = (6,33 + 0,65 h) \times 10^{-3}$, zodat:

$$4 K / L^2 = 0,65 \times 10^{-3}, \text{ en dus: } K = 1/4 \times 900 \times 0,65 \times 10^{-3} = 0,146 \text{ m/dag}$$

$$\text{en: } 8Kd/L^2 = 6,33 \times 10^{-3}, \text{ en dus: } d = 6,33 \times 10^{-3} \times 900 / (8 \times 0,146) = 4,88 \text{ m}$$

Opbolling h in m	afvoer q in mm/dag	ratio q/h in 10^{-3} /dag
0,10	0,64	6,40
0,20	1,29	6,45
0,30	1,96	6,53
0,40	2,64	6,60
0,50	3,33	6,66



Figuur 19.1. Opbolling h versus ratio q/h .

Uitwerking 20

a. Darcy: $v = -K dH / dz$, waarin v en z positief zijn naar boven, en $H = z + h = z - \psi$, zodat $v = -K d(z - \psi) / dz$ en $v = -K (1 - d\psi / dz)$. De percolatie $v = -0,040$ m/dag (negatief i.v.m. richting) en de doorlatendheid $K = 0,2$ m/dag voor $0 \leq \psi \leq 100$ cm, zodat: $-0,040 = -0,2 (1 - d\psi / dz)$ en $d\psi / dz = 1 - 0,040/0,2 = 0,8$. Waaruit volgt dat $\psi = 0,8 z$. Het freatisch vlak ligt dus op $z = 1,00$ m voor een zuigspanning $\psi = 0,80$ m op maaiveldniveau.

b. Hooghoudt: $L^2 = [8 \times 0,2 d (3-1) + 4 \times 0,2 (3-1)^2] / 0,04 = 80 d + 80$. De waarde van d is afhankelijk van de natte omtrek $u = b + 2 r_{\text{buis}} = 0,20 + 0,10 = 0,30$ m, en van de onderlinge afstand L . Kies $L > 4D$ zodat $L > 4 \times (7-3) = 16$ m. De equivalent diepte $d = (7-3) / [1 + \{(8 \times 4) / (\pi L)\} \ln (4 / 0,3)] = 4 / [1 + 26,4 / L]$. Probeer voor $L = 20$ m is $d = 1,72$ m en daardoor $L = 80 d + 80 = 14,7$ m, dus niet de correcte formule voor d .

De equivalent diepte volgt dan uit de formule voor $L < 16$ m: $d = [\pi L] / [8 \ln (L / u)] = [\pi L] / [8 \ln (L / 0,3)]$. Probeer opnieuw voor $L = 16$ m is $d = 1,58$ m en daardoor $L = 80 d + 80 = 14,4$ m; en voor $L = 14$ m is $d = 1,43$ m en daardoor $L = 13,9$ m; en voor $L = 13,9$ m is $d = 1,42$ m en daardoor $L = 13,9$ m.

Uitwerking 21

- ga uit van een drainagekriterium: continue neerslag q en de bijbehorende ontwateringsdiepte z ,
- bepaal de diepte W van de drainagebasis, op basis van kosten,
- hieruit volgt q en de opbolling h ,
- kies het type ontwateringsmiddel (greppel, buis), met de bijbehorende parameters (straal r , natte omtrek u),
- bepaal de bodemparameters (doorlatendheid K , en diepte D van ondoorlatende laag onder de drainagebasis),
- gebruik Hooghoudt formule voor de berekening van de drainafstand L .

Uitwerking 22

Kennelijk wordt hier gesproken over een stationaire stroming waarvoor geldt de Hooghoudt formule: $q = (4 K_b h^2 + 8 K_o d h) / L^2$. Deze formule wordt met $\alpha = h/2L$:

$$q = (4 K_b h^2 + 8 K_o d h) / (2h/\alpha)^2 = (K_b + 2 K_o d/h) / \alpha^2$$

zodat $\alpha^2 = (K_b + 2 K_o d/h) / q$.

De waarde van α is onafhankelijk van $h = W - z$ wanneer $K_b \gg 2K_o d/h$, dus wanneer de stroming hoofdzakelijk plaatsvindt boven het "drainageniveau".

Dus $\alpha = \sqrt{(q / K_b)}$ en voor: stationair, en stroming boven het drainageniveau.

Uitwerking 23

a. Bij een drainage criterium gaat het erom dat de wortelzone zo weinig mogelijk overlast krijgt van water, b.v. het freatisch vlak mag maar 2 dagen per jaar tot in de wortelzone reiken. Dit is dus feitelijk een niet-stationaire eis. Deze niet-stationaire eis is afhankelijk van: (i) het bergend vermogen μ van de grond: $\mu =$ neerslag in mm gedeeld door de stijging van het grondwater. Hoe groter het bergend vermogen, hoe lager zal de grondwater stijging zijn; (ii) in de vergelijking worden de onderlinge afstand van buizen constant gehouden, dus ook de hoogte h . Hierdoor wordt de ontwateringsdiepte z rechtstreeks afhankelijk van de diepte W waarop de buizen worden gelegd.

b. Bij een ontwerpgeval van 8 mm/dag is de grondwaterstijging:

bij $\mu = 5\%$: een grondwaterstand stijging van $8 / 0,05 = 160$ mm,

bij $\mu = 10\%$: een grondwaterstand stijging van $8 / 0,10 = 80$ mm.

De waarde van de ontwateringsdiepte z zal dus toenemen met 0,08 m.

c. Verwaarloosd zijn (i) de stroming boven de drains, en (ii) de radiale weerstand.

d. Voor $W = 1,5$ m, $h = 1,0$ m en $D = 2,5$ m, waardoor $L^2 = 8 \times 0,5 \times 2,5 \times 1,0/0,008 = 1250$. Dus, $L = 35$ m en de drainlengte per ha is $10000/35 = 286$ m/ha.

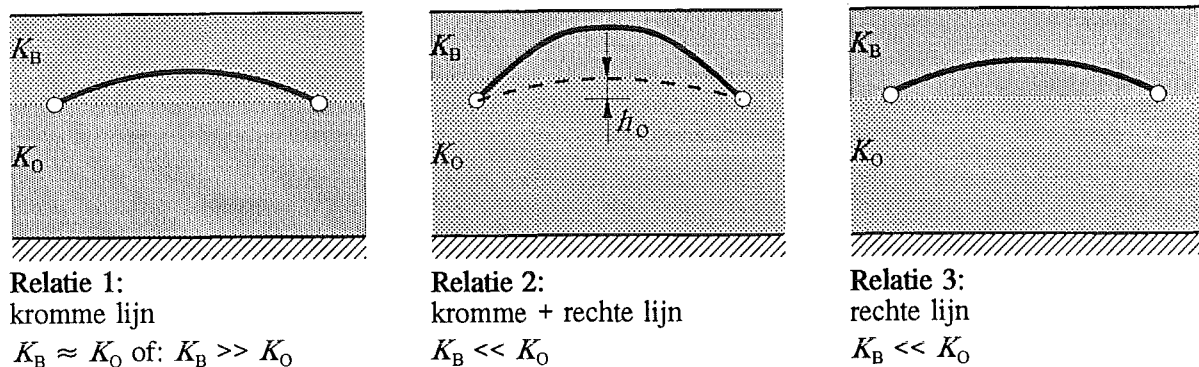
De kosten per ha zijn dan: $286 \times f [2 + 0,4(1,5 - 1)] = f 629$ per ha.

Uitwerking 24

a. De Hooghoudt formule: $q = (4 K_b h^2 + 8 K_o d h) / L^2$ heeft een parabolisch deel: $4 K_b h^2 / L^2$ dat afhankelijk is van de doorlatendheid K_b van de laag boven het drainageniveau, en een lineair deel: $8 K_o d h / L^2$, dat afhankelijk is van de doorlatendheid K_o van de laag onder het drainage-niveau. De relatietypen 1, 2 en 3 zijn daardoor afhankelijk van de ligging van de doorlatende en de ondoorlatende lagen ten opzichte van de drainbuizen, zie figuur 24.1.

b. In het voorjaar wil men een lage grondwaterstand i.v.m. de bereikbaarheid en de werkbaarheid van de gronden, i.v.m. hogere temperaturen in de gronden. Daardoor werden drainagesystemen aangelegd om de gronden te draineren in de winter, dat is de natte periode in Nederland. Door de verbeterde drainage zijn de middel-hoge gronden veranderd in hoge gronden. Drinkwateronttrekking is alleen lokaal van belang door de relatief kleine waterschijf.

Maatregelen tegen verdroging zijn niet gemakkelijk te nemen omdat berging van grote hoeveelheden water nauwelijks mogelijk is, en omdat men irrigatie met gebiedsvreemd water niet wil. Peilbeheer in het afwateringssysteem d.m.v. hogere zomerpeilen zou enig effect kunnen hebben.



Figuur 24.1. De relatiestypen zijn afhankelijk van de doorlatendheid van de lagen.

Uitwerking 25

a. De Hooghoudt formule wordt toegepast:

$$q = \frac{8K_o dh + 4K_b h^2}{L^2}, \text{ waarin } d = \frac{D}{1 + \frac{8D}{\pi L} \ln \frac{D}{u}} \text{ met } u = \pi r_{\text{buis}}$$

De waarde van $u = \pi \times 0,04 = 0,13$ m. De dikte $D = 4,00 - 1,25 = 2,75$ m. De opbolling $h = 1,25 - 0,50 = 0,75$ m. De equivalent dikte d volgt dan uit:

$$d = \frac{2,75}{1 + \frac{8 \times 2,75}{\pi L} \ln \frac{2,75}{0,13}} = \frac{2,75}{1 + \frac{21,38}{L}}, \text{ zodat } d = 1,48 \text{ m voor } L = 25 \text{ m}$$

$$L = \sqrt{\frac{8 \times 0,45 \times 1,48 \times 0,75 + 4 \times 0,45 \times 0,75^2}{0,007}} = 26,77 \text{ m.}$$

De afstand tussen de drainagebuizen is kleiner gekozen dan theoretisch benodigd. Het ontwerp was dus goed t.o.v. de aangenomen criteria.

b. De mogelijke hoofdoorzaken voor de problemen kunnen zijn, zie ook figuur 25.1 voor lokatie van piezometers en mogelijke oplossingen: (i) er is kwel in de polder; (ii) de verticale doorlatendheid is lager dan de (gemeten) horizontale doorlatendheid; (iii) de radiale weerstand is toegenomen door slecht functionerend filtermateriaal; (iv) de drainagebuizen kunnen het drainagewater niet afvoeren.

Uitwerking 26

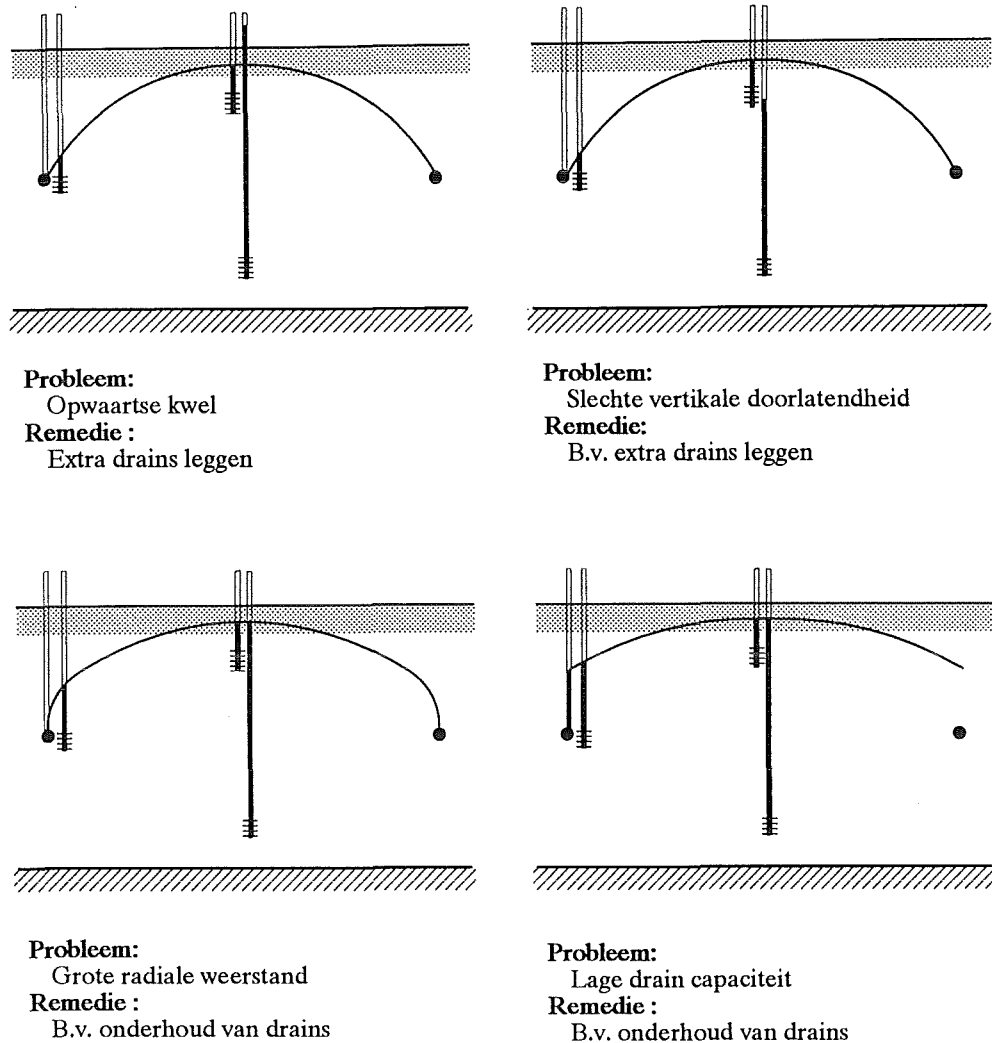
Donnan: (i) stationaire stroming, (ii) ontwateringsmiddelen tot op de ondoorlatende laag, dus geen radiale stroming;

Hooghoudt: (i) stationaire stroming, (ii) radiale stroming naar de ontwateringsmiddelen, (iii) stationaire stroming;

Hooghoudt (vereenvoudigd): (i) stationaire stroming, (ii) radiale stroming naar de ontwateringsmiddelen, (iii) relatief een kleine opbolling t.o.v. de diepte d waardoor de stroming boven de drainage-basis verwaarloosd mag worden;

Glover-Dumm: (i) niet-stationaire stroming, (ii) radiale stroming naar de ontwateringsmiddelen.

Uitleg van de Glover-Dumm methode: de bodemkarakteristiek KD/μ moet bekend zijn. Het uitgangspunt is dat: " t dagen na een irrigatiegift moet de grondwaterstand gedaald zijn van h_0 tot h_t meter".



Figuur 25.1. Mogelijke problemen en hun oplossingen.

Uitwerking 27

a. Glover-Dumm moet worden gebruikt voor "alleen regen". De radiale weerstand mag worden verwaarloosd, dus de dikte $d = D = 14 - 2 = 12$ m, de grondwatervariatie $h_o - h_t = 0,030/0,05 = 0,60$ m, zodat de afstand $L = 162$ m kan worden berekend voor $h_o = 2,00 - 0,90 = 1,10$ m en $h_t = 1,10 - 0,60 = 0,50$ m. Dus, het systeem voldoet.

Het is praktischer i.v.m. de vervolgvraag waarbij 'superpositie' wordt toegepast, om niet de afstand L te berekenen maar de waarde van h_o uitgaande van $L = 100$ m. Aangezien $h_o = h_t + 0,60$:

$$100^2 = \pi^2 \frac{0,75 \times 12 \times 14}{0,05} \ln^{-1} \left(1,16 \frac{h_o}{h_t} \right), \text{ zodat: } \ln \left(1,16 \frac{h_t + 0,60}{h_t} \right) = \ln 12,00$$

waardoor $h_t = 0,06$ m en $h_o = 0,66$ m. Dus, het systeem voldoet.

b. Hooghoudt moet worden gebruikt voor "alleen kwel": $0,001 = [8 \times 0,75 \times 12 \times h + 4 \times 0,75 \times h^2] / 100^2$, zodat $3h^2 + 72h - 10 = 0$, waardoor $h = 0,14$ m. Dus, voldoet ook.

c. Superpositie mag worden toegepast voor "regen en kwel", waardoor de hoogste grondwaterstand van $0,66 + 0,14 = 0,80$ m boven het drainageniveau wordt bereikt, dat is **1,20 m beneden maaiveld**. Dus, een goed ontwerp.

Uitwerking 28

a. De natte omtrek $u = 0,036 \pi = 0,113$ m. De equivalent diepte $d = 3,25 / [1 + 8/\pi \times 3,25/40 \times \ln 3,25/0,113] = 1,92$ m. De onderlinge afstand $L^2 = [8 \times 0,80 \times 1,92 + 4 \times 0,80 \times 0,75^2] / 0,007 = 1574$, zodat $L = 39,67$ m. Dus, $L = 40$ m is correct.

b. De stroming in de buis is niet-uniform door de zijdelingse toestroming. Neem het assenkruis ter plaatse van de 'eindstop', zie figuur 28.2. Op een afstand x van de 'eindstop' is het debiet in de buis $Q_x = q L x$, en geldt de Strickler formule: $Q_x = -k A R^{2/3} (dh/dx)^{1/2}$, met de natte doorsnede $A = \pi r^2$ en de hydraulische straal $R = 1/2 r$. Zo kan de differentiaalvergelijking worden opgesteld:

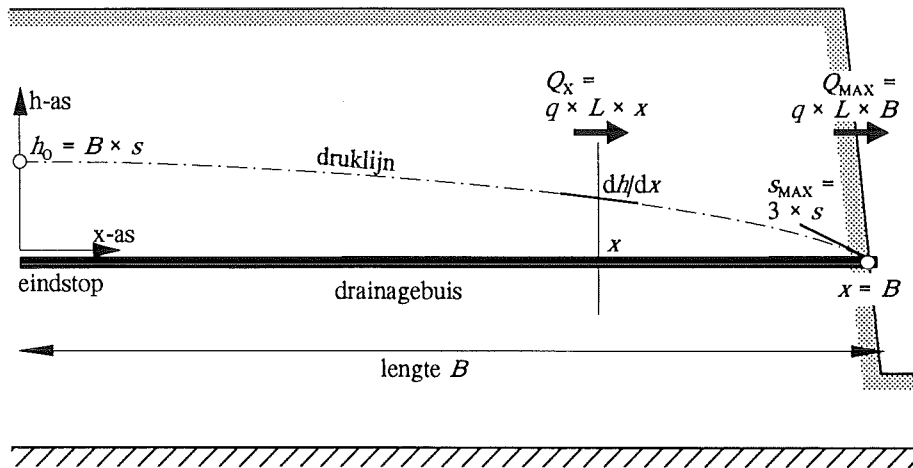
$$\frac{dh}{dx} = - \frac{q^2 L^2}{k^2 A^2 R^{4/3}} x^2, \text{ zodat: } h = - \frac{1}{3} \frac{q^2 L^2}{k^2 A^2 R^{4/3}} x^3 + C$$

De waarde C volgt uit $h = h_0$ voor $x = 0$, waarbij $h_0 = B \times s$. Dus $C = B \times s$.

Voor $x = B$ is $h = 0$, zodat:

$$s = \frac{1}{3} \frac{q^2 L^2 B^2}{k^2 A^2 R^{4/3}} = \frac{1}{3} \frac{Q_{\max}^2}{k^2 A^2 R^{4/3}}, \text{ en zo: } Q_{\max} = k A R^{2/3} (3 \times s)^{1/2}$$

Het betekent dat het verhang s_{\max} van de druklijn bij de uitmonding is $3 \times$ zo groot als het gemiddelde verhang s van de druklijn, dus $s_{\max} = 3 \times s$.



Figuur 28.2. Bepaling van de afvoerformule van een drainagebuis.

c. Drainagebuizen kunnen, hydraulisch gezien, horizontaal worden aangelegd, dus $s_{\text{buis}} = 0$, en of zelfs onder een 'tegen' verhang $s_{\text{buis}} < 0$. Echter, meestal worden de buizen toch onder een zeker verhang gelegd (bijvoorbeeld $s = 0,5 \times 10^{-3} = 5$ cm per 100 m), omdat:

- stilstaand water in de buizen onder een 'tegen' verhang verhoogt het sedimentatiegevaar;
- in horizontale buizen is er kans op luchtopsluiting in de buis, waardoor de capaciteit afneemt;
- drainagebuizen met een lange lengte kunnen beter het terreinhelling volgen waardoor de draandiepte en de ontwateringsdiepte constant kan blijven.

Het maximum helling van het verhang wordt bepaald door de druklijn: de buis is geheel gevuld wanneer deze onder de druklijn is gelegen. Een groot verhang $s_{\text{buis}} \geq s$ betekent dat de buisdoorsnede niet meer geheel gevuld is, en dat daardoor de capaciteit afneemt. Het maximum verhang s_{buis} is dus gelijk aan het gemiddelde verhang s van de druklijn.

$$(2q \times L \times B = k \times \pi \times r^2 \left(\frac{1}{2} r\right)^{2/3} \times (3 \times s)^{1/2}$$

$$(2 \times 7 \times 10^{-3} / [24 \times 3600]) \times 200 \times 40 = 60 \times \pi \times 0,036^2 \times 0,018^{2/3} \times (3 \times s)^{1/2}$$

zodat $s = 1,99 \times 10^{-3}$. Dus het maximum verhang $s_{\text{buis}} = 1,99 \times 10^{-3}$ (19 cm / 100 m), en $h_0 = 0,40$ m.

Uitwerking 29

a. $u = 0,4 + 2 \times 0,1 = 0,6$ m. $L = 100$ m en $D = 26 - 2 = 24$ m, zodat $L > 4D$ en d :

$$d = \frac{24}{1 + \frac{8 \times 24}{100 \pi} \ln \frac{24}{0,6}} = 7,37 \text{ m}$$

De formule van Hooghoudt:

$$q = \frac{8 \times 0,75 \times 7,37 \times 1,2 + 4 \times 0,75 \times 1,2^2}{100^2} = 0,006 \frac{\text{m}}{\text{dag}} = 5,7 \frac{\text{mm}}{\text{dag}}$$

5,7 mm/dag > 5 mm/dag, zodat het drainagesysteem voldoet voor de natte tijd.

b. De formule van Glover-Dumm, met d in plaats van D :

$$100^2 = \pi^2 \times \frac{0,75 \times 7,37 \times 10}{0,15} \times \frac{1}{\ln \left(1,16 \frac{1,2}{h_t} \right)}$$

$$\ln \left(1,16 \frac{1,2}{h_t} \right) = 0,363, \quad \text{zodat } h_t = 0,97 \text{ m.}$$

Het grondwater mag dan stijgen $1,20 - 0,97 = 0,23$ m. Voor een bergingscoëfficiënt $\mu = 15\%$, is dan het maximum toelaatbare irrigatieverlies ("percolatie"): $0,15 \times 0,23 = 0,035 \text{ m} = 35 \text{ mm}$.

Uitwerking 30

Door de irrigatiegift van 120 mm, eens per 10 dagen, stijgt het grondwater met $0,040 / 0,05 = 0,80$ m. Dit grondwater mag niet hoger komen dan 0,90 m onder het maaiveld, dus $h_0 = 2,00 - 0,90 = 1,10$ m boven het niveau van de drainagebuizen. Na $t = 10$ dagen moet het grondwaterpeil met 0,80 m gedaald zijn, dus $h_t = 1,10 - 0,80 = 0,30$ m. De Glover-Dumm formule is hier van toepassing, met $d = D = 14 - 2 = 12$ m, omdat de radiale weerstand verwaarloosd mag worden:

$$L = \pi \sqrt{\frac{1,5 \times 12 \times 10}{0,05} \frac{1}{\ln \left(1,16 \times \frac{1,10}{0,30} \right)}} = 157 \text{ m.}$$

Uitwerking 31

a. De Hooghoudt formule is hier niet toepasbaar omdat de belasting 'niet-stationair' is. De 'gemiddelde opbolling' betreft niet het gemiddelde (over de gehele afstand) tussen de drainbuizen, maar de gemiddelde waarde (over de tijd) van het midden tussen de drainbuizen.

b. De opbolling wordt met de Glover-Dumm formule berekend. Daarin is de natte omtrek van de buizen zonder omhullingsmateriaal $u = \pi \times 0,1$, de equivalent diepte $d = [6,80 - 1,80] / [1 + 8/\pi \times 5/87 \times \ln\{5/(\pi \times 0,1)\}] = 3,56$ m, en de waterstandsverhoging per gift $h_0 - h_t = 0,040/0,05 = 0,80$ m. Ingevuld in de Glover-Dumm formule: $87 = \pi \{ [0,8 \times 3,56 \times 20] / 0,05 \}^{1/2} \{ \ln (1,16 \times [1 + 0,80] / h_t) \}^{-1/2}$, waaruit volgt $h_t = 0,29$ m. Dus: de grondwaterstand midden tussen de drainbuizen varieert tussen $1,80 - 0,29 = 1,51 \text{ m} \div \text{m.v.}$, en $1,80 - (0,29 + 0,80) = 0,71 \text{ m} \div \text{m.v.}$

Uitwerking 32

a. Waterbalans voor open-water gedurende een periode $\Delta T = 6$ uur: "instroming minus uitstroming = berging":

- Instroom vanaf weilanden: $0,55 \times 10 \times 0,8 \times 6 \times 3600 = 95 \text{ m}^3$
- Instroom direct op open-water: $0,05 \times 10^5 \times 0,043 = 215 \text{ m}^3$
- Instroom vanaf verharding: $0,40 \times 10^5 \times 0,040 = 1600 \text{ m}^3 +$
- Totale instroom open-water 1910 m³
- Uitstroom door gemaal: $0,012 \times 6/24 \times 10^5 =$ 300 m³ -
- Benodigde berging in open-water 1610 m³

Stijging Δy van waterstand volgt uit: $0,05 \times 10^5 \times \Delta y = 1610 \text{ m}^3$, dus $\Delta y = 0,32 \text{ m}$.

b. Uitbreiding van het kassenareaal geeft hogere peilstijgingen!

c. Het nieuwe percentage open-water is " α " en volgt uit de waterbalans tijdens de ontwerpbeurt:

$$\begin{array}{rcl}
 50\% \text{ kassen} + 5\% \text{ asfalt} & : 0,55 \times 10^5 \times 0,040 & = 2200 \text{ m}^3 \\
 \alpha \times 100\% \text{ open-water} & : \alpha \times 10^5 \times 0,043 & = 4300 \alpha \text{ m}^3 \\
 (0,45-\alpha) \times 100\% \text{ weiland} & : (0,45-\alpha) \times 10 \times 0,8 \times 6 \times 3600 & = \frac{78 - 173 \alpha \text{ m}^3}{1978 + 4127 \alpha \text{ m}^3} \\
 \text{benodigde berging:} & &
 \end{array}$$

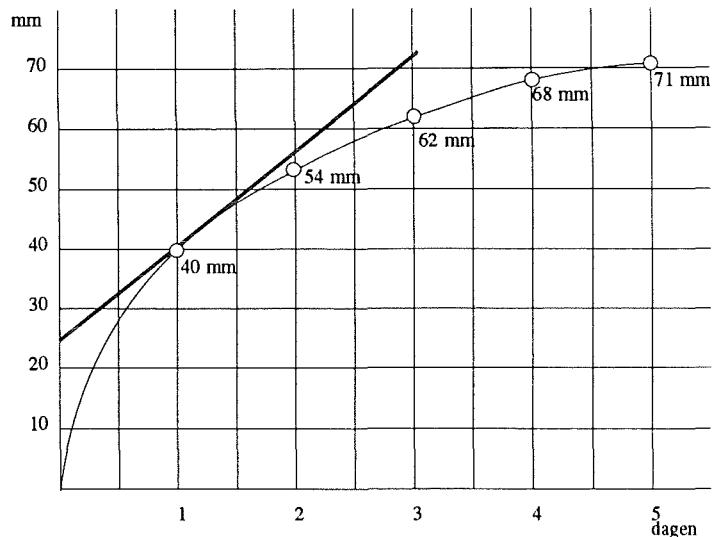
De beschikbare berging bedraagt $0,35 \times \alpha \times 10^5 = 35000 \alpha \text{ m}^3$, waardoor: $1978 + 4127 \alpha = 35000 \alpha$. Het nieuwe percentage open-water is dan: $\alpha = 0,064 = 6,4 \%$.

d. Grotere gemaalcapaciteit, retentie-bekkens bij kassen, lager polderpeil bij kassen, besturing van de gemalen op neerslag en berging.

Uitwerking 33

a. Regenduurlijn, zie ook dictaat en collegeaantekeningen, b.v.: een kromme welke voor een bepaalde herhalingsstijd het verband weergeeft tussen de hoeveelheid neerslag en de periode.

b. De open-water berging als waterschijf over de gehele polder volgt uit: $5\% \times 0,10 = 0,005 \text{ m} = 5 \text{ mm}$. De waterbergend vermogen van de grond werd bepaald op $\mu = 15\%$ tijdens *uitdroging* en kan niet direct worden gebruikt tijdens *bevochtiging* vanwege het "hysterese effect". U zou een aanname van $\mu = 7,5\%$ mogen doen, waardoor de 'gesloten berging' in de grond tijdens de ontwerpbeurt berekend kan worden: $95\% \times 0,075 \times 0,30 = 0,021 \text{ m} = 21 \text{ mm}$. De totale waterberging in de polder is dus: $5 + 21 = 26 \text{ mm}$.



Figuur 33.1. Bepaling van de gemaalcapaciteit met de duurlijn-methode.

c. De benodigde capaciteit van het pompstation wordt grafisch bepaald, zie figuur 33.1. U kunt aflezen dat de helling van de raaklijn $(72 - 25) / 3 = 15,67 \text{ mm/dag}$ bedraagt. De capaciteit van het pompstation is dan $(15,67 \times 10^{-3} \times 10.000 \times 100^2) / (3600 \times 24) = 18,1 \text{ m}^3/\text{s}$.

d. De bezwaren van de 'durlijn-methode' zijn bijvoorbeeld: (i) de duurlijn geeft niet het verloop van een maatgevende bui, (ii) de vertraging in grond en open-waterloop worden niet verrekend, (iii) het gemaal begint direct bij $t = 0$ dagen al te pompen, (iv) de berging is geheel "leeg" zodat met voorgaande buien geen rekening is gehouden.

Uitwerking 34

a. De berging in het gebied wordt bepaald (i) door het gemiddelde waterstand in de rijstvelden, d.i. 0,10 m, en (ii) de maximale waterstand, d.i. 0,18 m, en bedraagt dus 0,08 m. De helling van de getekende raaklijn is dan $[140 - 80]/2 = 30 \text{ mm/dag} = 3,47 \text{ l/s.ha}$.

b. De vuistregels zeggen niets over de omstandigheden. De "herhalingsstijd" had vermeld moeten worden.

Uitwerking 35

a. Wanneer het bodemvocht het verwelkingspunt nadert, gaat de plant minder goed groeien en zal het gras minder groen zien.

b. Er is geen capillaire opstijging, en het beschikbaar bodemvocht bedraagt $(35 \text{ vol. \%} - 10 \text{ vol. \%}) \times 200 \times 2/3 = 33 \text{ mm}$. Een *gemiddelde* regenval van 80 mm/maand heeft geen betekenis voor de frequentie van sproeien gedurende droge perioden. Dus, de frequentie van sproeien is $33 : 5 = 6,6$ dagen. Om praktische redenen kiest u voor hele dagen en maakt u de afronding naar beneden.

De frequentie is dus **6 dagen** waarbij bij elke berekening de gehele wortelzone op veldcapaciteit wordt gebracht.

c. Tijdens een besproeiing moet $6 \times 5 = 30$ mm geleverd worden, d.w.z. $0,030 \times 15 = 0,45$ m³ per stand. Dus U moet $0,45 : 0,30 = 1\frac{1}{2}$ uur de sproeier verzetten.

d. Er zal een "application efficiency" zijn, d.w.z. tijdens het op veldcapaciteit brengen zal er een percolatieverlies optreden en kan er verdamping van het beregeningswater optreden. Bijvoorbeeld, 10 mm zal verloren gaan aan het diepe grondwater en aan verdamping. Er moet dan met 40 mm worden besproeid om 30 mm in de wortelzone te bergen. De efficiency is dan $e_a = 30/40 = 75\%$, waardoor de sproeier pas na **2 uur** verplaatst moet worden.

Uitwerking 36

a. Met een capaciteit van het wateraanvoersysteem van 0,3 l/s.ha kan $0,3 \times 8,64 = 2,6$ mm/dag worden aangeleverd. De plant verbruikt 5 mm/dag, zodat er een tekort is zonder het gebruik van het aanwezige bodemvocht.

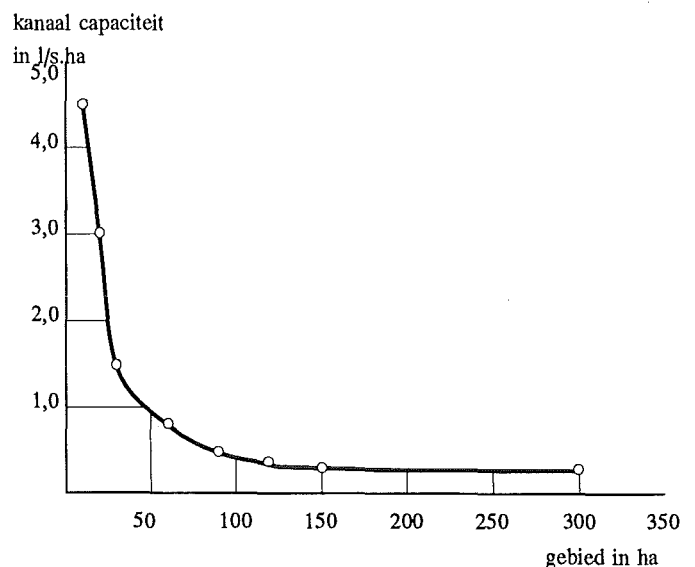
Het ontwerp van de maatgevende aanvoer is gebaseerd op voorkoming van droogteschade gedurende een regenloze zomerperiode van 40 dagen. Het gewas heeft dan een waterbehoefte van $40 \times 5 = 200$ mm. Er is een totaal watertekort van $200 - 160 = 40$ mm (400 m³/ha). Het aantal dagen dat moet worden beregend is dus: $40 / 2,6 = 15,4$ dagen, aan het einde van de droge tijd. Bij alleen berekening gedurende de daguren betekent dit dat de boeren beginnen te beregenen na: $40 - 2 \times 15,4 = 9,2$ droge dagen. Dus, in de praktijk moet worden begonnen met berekening na 9 droge dagen.

b. De onttrekkingsmogelijkheid van een individuele boer bedraagt 1,5 l/s.ha. Hij kan daarmee zijn land beregenen in 1/5 van de tijd die onder 'a' werd berekend. Maar deze capaciteit is 5× zo hoog dan de capaciteit van het aanvoersysteem. De boeren mogen dus niet tegelijk gaan onttrekken. Het waterschap moet dus adviseren (opleggen) aan de boeren dat zij niet tegelijk mogen pompen, maar dat er een zekere **beurtregeling** ("rotatie") moet worden toegepast: **om de 5 dagen** mag er maar beregend worden ("frequentie van 5 dagen") **gedurende 12 uur**.

c. De capaciteitslijn geeft de relatie tussen de kanaalcapaciteit (in l/s.ha) en het verzorgingsgebied (in ha). De capaciteitslijn is berekend in tabel 36.1 en getekend in figuur 36.1.

Tabel 36.1. Capaciteit van kanaal

gebied in ha	kanaal debiet in m ³ /s	kanaal capaciteit in l/s.ha
30	0,045	1,5
20	0,045	3,0
10	0,045	4,5
60	0,045	0,8
90	0,045	0,5
120	0,045	0,4
150	0,045	0,3
300	0,090	0,3

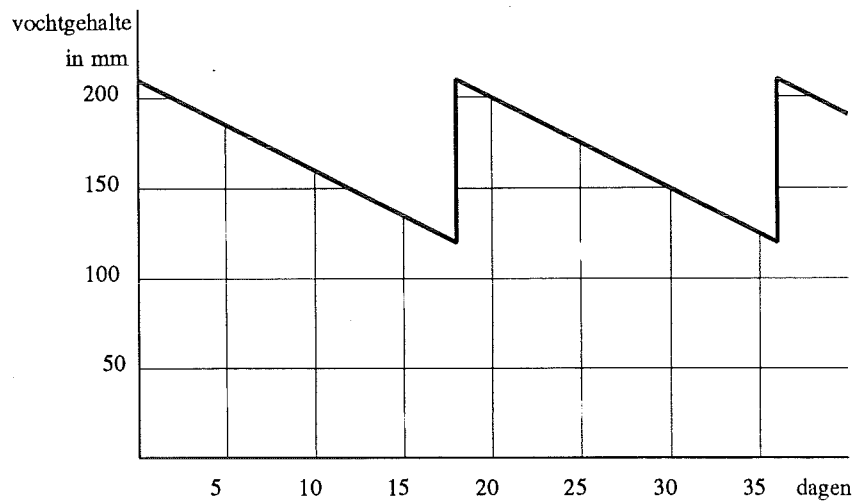


Figuur 36.1. Capaciteitslijn.

Uitwerking 37

a. piek gewas behoefte $0,9 \times 5 = 4,50$ mm/dag, piek irrigatie behoefte $4,5 - 1,0 = 3,5$ mm/dag, toeleveren i.v.m. verliezen: $3,5 / 0,75 = 4,67$ mm/dag.

b. vochtberging in de wortelzone: $(0,35-0,20) \times 600$ mm = **90 mm**, frequentie van irrigatie door een boer: $90/5 = 18$ dagen, waarbij dan een watergift $90/0,75 = 120$ mm nodig is. Het bodem-vochtgehalte (in mm) als functie van de tijd is getekend in figuur 37.1. Het vochtgehalte fluctueert tussen de veldcapaciteit $0,35 \times 600 = 210$ mm en $0,20 \times 600 = 120$ mm.



Figuur 37.1. Bodemvochtgehalte als functie van de tijd.

c. Een boer heeft per keer een watergift nodig van $0,120 \times 30000 = 3600$ m³

water om zijn 3 ha te irrigeren. De levering is bepaald op een debiet van 42 l/s, zodat de benodigde tijdsduur voor irrigatie door één boer volgt uit: $3600/0,042 = 85.714$ s = 23,8 uur \approx **24 uur**.

d. Bij dag-en-nacht irrigatie krijgt één boer elke 18 dagen beschikking over het water gedurende 24 uur. Andere boeren hebben recht op deze stroom ("*main d'eau*") tijdens de tussenliggende tijd. Dus, 18 boeren maken gebruik van deze waterstroom.

Bij alleen-dag irrigatie heeft elke boer recht op de waterstroom gedurende twee kalenderdagen, terwijl hij toch elke 18 dagen beschikking krijgt over deze stroom. Dus, nu maken slechts 9 boeren gebruik van deze waterstroom.

Het irrigatiegebied van zo'n groep boeren heet een "tertiair vak", "tertiaire eenheid", "bevolkingsvak", of ook wel een "eindvak".

Uitwerking 38

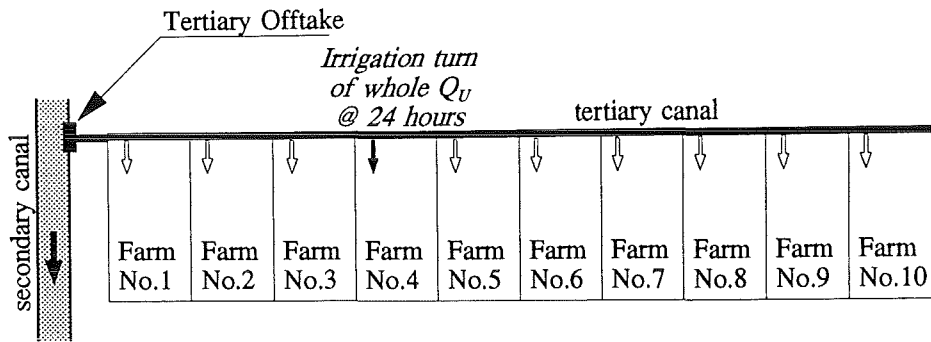
a. Bodemvocht dat voor de plant beschikbaar is: $(0,35 \times 0,20) \times 600 = 90$ mm. Aanvulling van het vocht $\frac{2}{3} \times 90 = 60$ mm. Frequentie $T = 60/6 = 10$ dagen. Irrigatiegift per 4 ha en vermeerderd met de verliezen: $60 \times 10^{-3} \times 4 \times 10^4 / 0,75 = 3200$ m³.

b. De leveringsduur t moet een veelvoud zijn van 12 uur i.v.m. de 'rotatie' tussen boeren die op een duidelijk herkenbaar ogenblik moet beginnen. Stel leveringsduur $t = 24$ uur. Het leveringsdebiet Q_U is dan: $Q_U = 3200 / (24 \times 3600) = 0,037$ m³/s = **37 l/s**, hetgeen binnen de gestelde grenzen ligt.

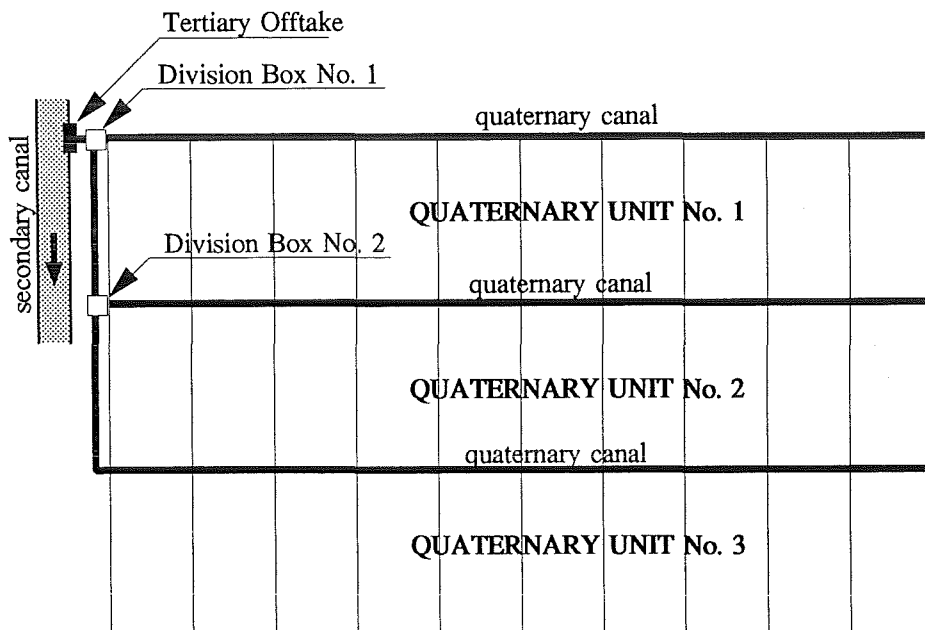
c. De bevolking doet de waterregeling zelf binnen het eindvak. De minimale grootte is hier: 10 dagen \times 1 boer per dag \times 4 ha = **40 ha**. Zie figuur 38.1 voor de layout.

d. Er komen dus dus 3 eenheden, "quarternaire vakken", in een tertiair vak. De boeren binnen één quarternair vak irrigeren steeds met één *main d'eau*. De drie quarternaire vakken tesamen vormen één tertiair vak die steeds één debiet geleverd krijgen vanuit het "hoofd systeem" dat door de irrigatiedienst wordt beheerd.

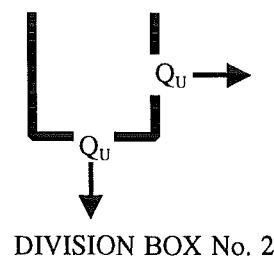
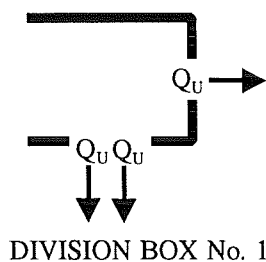
De functie van het verdeelkunstwerk is evenredige of "proportionele" verdeling van het inkomende debiet in drie *main d'eaux*. Er zijn twee verdeelkunstwerken nodig, zie figuur 38.1. Het ontwerpprincipe: het is een volkomen overlaat, met drempels op gelijke hoogte. De verhouding van de drempelbreedte geeft de verhouding in het debiet, dat is 1:2 en 1:1.



24 UUR IRRIGATIE PER FARM PER 10 DAGEN = 10 FARMS PER EENHEID



3 "MAIN D'EAUX" Q_U GEEFT 3 QUATERNARY UNITS PER TERTIAIR VAK



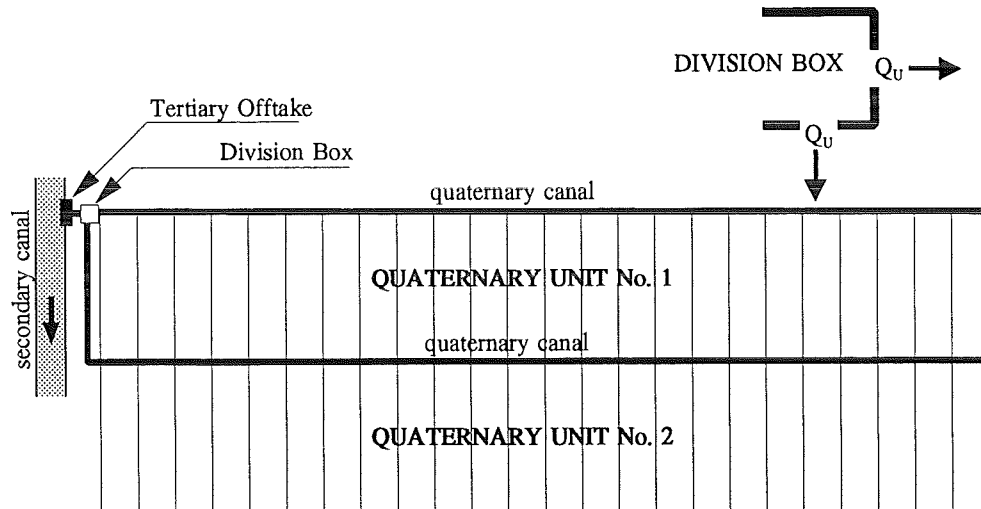
Figuur 38.1. Layout van het 'tertiaire vak'.

Uitwerking 39

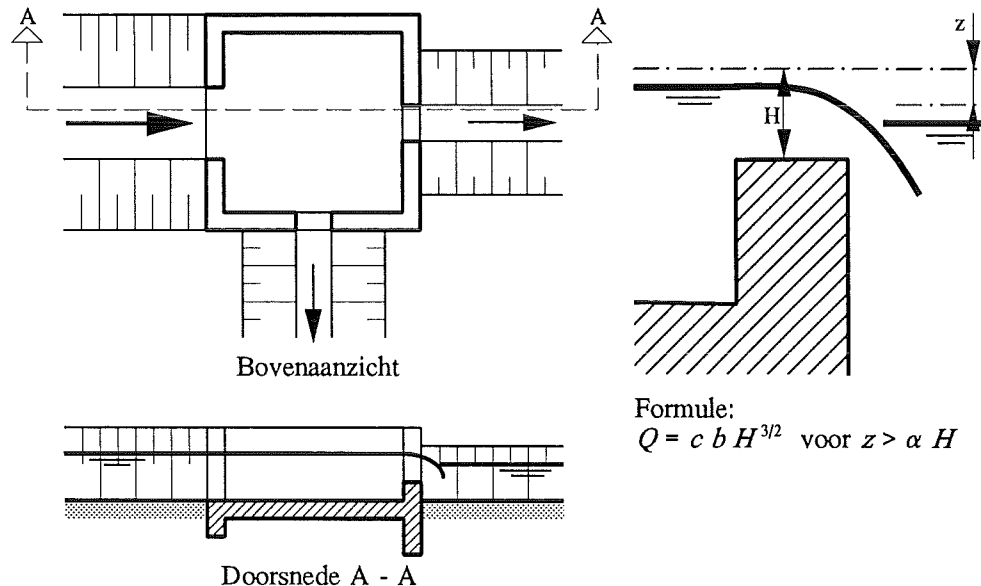
a. De frekwentie van de irrigatiegift volgt uit: $T = \Delta h / [ET_c + Perc] = [150 - 50] / [7 + 1] = 12,5$ dagen. Neem dus een frekwentie op gehele dagen, naar beneden afgerond: $T = 12$ dagen. Dan is nodig als gift: $12 \times 8 = 96$ mm. Stel een waterlevering gedurende 24 uur, dan volgt de *main d'eau* uit: $96 \times 10^{-3} \times 100^2 = 24 \times 3600 Q$, en zo $Q = 11,11$ l/s. Deze *main d'eau* ligt niet tussen de gestelde grenzen, waardoor een kortere waterlevering moet worden toegepast: $Q = 22,22$ l/s gedurende 12 uur, elke 12 dagen.

b. De minimale grootte van het eindvak treedt op wanneer er slechts één *main d'eau* wordt toegepast, zodat het eindvak maar uit één kwartaire unit bestaat: per dag wordt $2 \times 1 \text{ ha} = 2 \text{ ha}$ geïrrigeerd. Na $T = 12$ dagen worden deze velden opnieuw geïrrigeerd, waardoor $QU = 2 \times 12 = 24 \text{ ha}$. In dit geval bestaat het eindvak uit twee kwartaire units, waardoor de grootte van het eindvak **48 ha** bedraagt. De schematische *layout* is getekend in figuur 39.1. Er is dus één verdeelkunstwerk ('*division box*') nodig om het inkomende debiet te splitsen in twee gelijke delen: de twee *main d'eaux*.

Het ontwerpprincipe van zo'n verdeelkunstwerk is 'proportionele verdeling' bij een laag verval. Daardoor worden twee gelijke overlaten toegepast met zelfde afmetingen van de kruinhoogte en de kruinbreedte, zie figuur 39.2. De ontwerpformule is dan $Q = c b H^{3/2}$ voor $z > \alpha H$, met $c = 1,7 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ en $\alpha = 1/3$ voor een brede overlaat, zie ook figuur 39.2.



Figuur 39.1. De *layout* van het tertiaire vak.



Figuur 39.2. Het verdeelkunstwerk.

Uitwerking 40

a. Q is debiet in m^3/s , k is de kanaal ruwheid, in $\text{m}^{1/3}/\text{s}$, R is de hydraulische straal, in m , s is het energieverhang, A is de natte doorsnede, in m^2 . De Chézy formule $Q = C A \sqrt{R s}$ heeft geen "constante" C , want C is afhankelijk van de waterdiepte y (of R) en van het onderhoud. De Manning-Strickler constante k is onafhankelijk van de waterdiepte y , maar nog wel van het onderhoud. De relatie tussen de Chézy en de Manning-Strickler formule via de constanten: $C = k R^{1/6}$.

Veelal zijn de bekende parameters: het ontwerpdebiet Q , de terreinhelling (maar is $\neq s$!), de kanaal ruwheid k op basis van ervaring met onderhoud. De aannemer heeft de volgende onbekende parameters nodig voor de constructie: bodemhelling s , bodembreedte b , waterdiepte y , de taludhelling $1_{\text{vert}} : m_{\text{hor}}$, die echter meestal volgt uit veldverkenningen.

Er resteren dus 3 onbekenden, tegenover 1 vergelijking: de Manning-Strickler formule, met daarin $R = A / \{b + 2y\sqrt{1+m^2}\}$ en $A = (b + my)y$. Dus er zijn nog twee aanvullende condities nodig. Men kan een keuze doen voor additionele eisen, zoals: (i) de relatie b/y , op basis van ervaring (kosten, berging, scheepvaart, enz.); (ii) geen uitschuring ($T = \rho g y s < T_{\text{max}}$), of geen opslibbing, of een flauw verhang in een polder.

b. (Zie ook de collegeaantekeningen) Duiker: laag verval bij elk debiet, verval $z = 1,5 v^2/2g$, stortdam: groot verval bij elk debiet (eventueel: afzuiging te verhinderen door $Q = 1,7 b H^{3/2}$), peilregelaar: laag verval bij ontwerp debiet Q_{max} , verval $z = 1,5 v^2/2g$ maar groot verval bij debiet $Q < Q_{\text{max}}$.

Uitwerking 41

Zie ook de collegeaantekeningen. Er is 'opstuwning' als $H_{\text{kunstwerk}} > H_{\text{uniform}}$, er is 'afzuiging' als $H_{\text{kunstwerk}} < H_{\text{uniform}}$, er zijn 'geen-stuweffecten' als $H_{\text{kunstwerk}} = H_{\text{uniform}}$. $H_{\text{kunstwerk}}$ is de energiehogte in het kanaal juist bovenstrooms van het kunstwerk, dus bijvoorbeeld $H_{\text{kunstwerk}} = p + H_c$, waarbij p is de drempelhogte en H_c is de energiehogte boven de kruin. H_{uniform} is de energiehogte in het kanaal bij uniforme stroming. Ontwerp van stortdam zonder stuweffecten: $p + H_c = H_{\text{uniform}}$.

Uitwerking 42

a. $A = (b + my) y = (3 + 2 \times 1,5) \times 1,5 = 9 \text{ m}^2$. $R = A / [b + 2y(m^2 + 1)^{1/2}] = 0,93 \text{ m}$. Manning-Strickler formule: $5 = k \times 9 \times 0,93^{2/3} \times (0,2 \times 10^{-3})^{1/2}$, en zo is de ruwheidscoëfficiënt: $k = 41,2 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. De snelheidshogte: $v^2/2g = (5/9)^2/2g = 0,02 \text{ m}$.

b. Het is een brede overlaat vanwege de coëfficiënt "1,7" in de formule $Q = 1,7 b H^{3/2}$. Voor een volkomen stroming moet het (energie)verval z groter of gelijk zijn aan $1/3 H$. De energiehogte H volgt uit $5 = 1,7 \times 3 \times H^{3/2}$, zodat $H = 0,99 \text{ m}$. Het energieverval is het verschil tussen de energiehogte ter plaatse van de overlaat en die van het benedenstroomse pand, dus $z = (1 + 0,99) - (1,50 + 0,02) = 0,47 \text{ m}$. Omdat dus $z > 1/3 H$ treedt hier een volkomen stroming op.

De benedenstroomse waterstand is en blijft 1,50 m. De waterstand juist boven de stuw is $2/3 H = 0,66 \text{ m}$ boven de kruin, dat is 1,66 m boven de kanaalbodem. De boven-stroomse waterstand wordt bepaald door de (energie)hoogte ter plaatse van de stuw, dus door $1,00 + 0,99 = 1,99 \text{ m}$ boven de bodem. De evenwichtsdiepte blijft echter 1,00 m maar zal gelden op een "aanzienlijke" afstand van de stuw. Rekening houdend met de stuwkromme en met de snelheidshogte, zal de waterstand op 100 m afstand zo'n 1,97 m boven de bodem liggen.

Uitwerking 43

a. Zie ook figuur 43.2. Het natte doorstromingsprofiel A van de brug bepaalt het verval z onder de brug: $z = 1,5 v^2/2g = 1,5 (4/10,5)^2 / 2g = 0,01 \text{ m}$, en mag worden verwaarloosd.

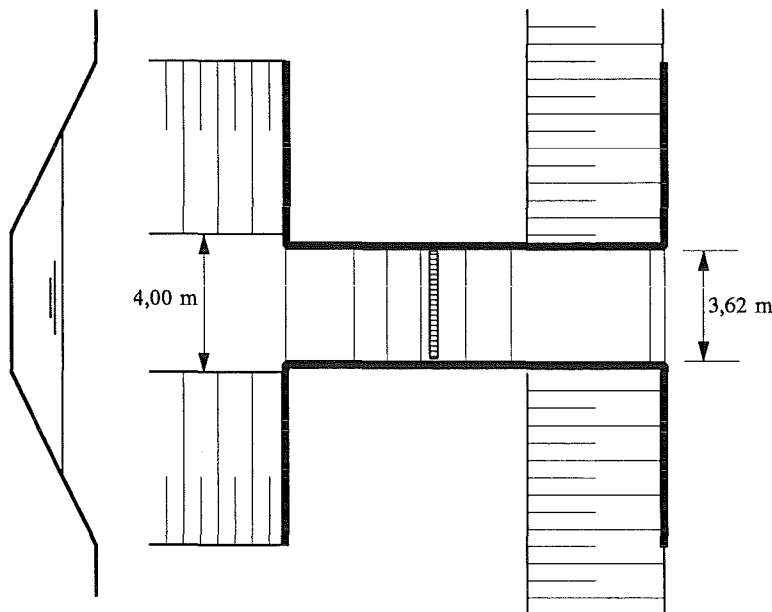
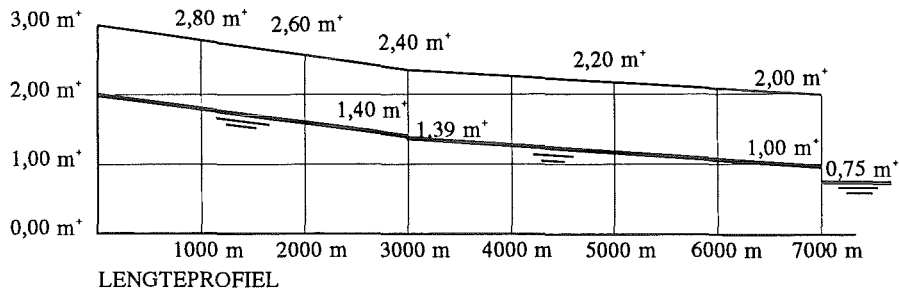
Verhang A-B: $(2,00 - 1,40)/3000 = 0,20 \times 10^{-3}$

Verhang B-C: $(1,40 - 1,00)/4000 = 0,10 \times 10^{-3}$

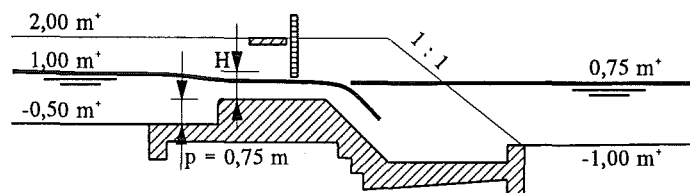
b. $Q = k A R^{2/3} s^{1/2}$, en dus $4 = 40 A R^{2/3} (0,1 \times 10^{-3})^{1/2}$, zodat: $A R^{2/3} = 10$.
 Nog onbekend: bodembreedte b en waterdiepte y , zodat nog één vergelijking nodig is. Gebruik daarvoor de gegeven relatie $b/y = 4$.

Het natte oppervlak kan worden uitgedrukt in y : $A = (b + 2y)y = (4y + 2y)y = 6y^2$. Ook de hydraulische straal kan worden uitgedrukt in y : $R = A / [b + 2y(2^2+1)^{1/2}] = 6y^2 / [4y + 2y(2^2+1)^{1/2}] = 0,71 y$. Substitutie in $A R^{2/3} = 10$ geeft: $6y^2 (0,71y)^{2/3} = 4,78 y^{8/3} = 10$. En dus is de waterdiepte $y = 1,32 \text{ m}$ en de bodembreedte $b = 5,28 \text{ m}$. Het bodempeil is op $2,00 - 1,00 - 1,32 = -0,32 \text{ m}^+$.

c. Juist volkomen stroming: $z = \frac{1}{3}H$. En zo: $H = 3 \times (1,00 - 0,75) = 0,75 \text{ m}$.
 Overlaat: $Q = 1,7 b H^{3/2}$, en dus de sluisbreedte is $b = Q / [1,7 H^{3/2}] = 4 / [1,7 \times 0,75^{3/2}] = 3,62 \text{ m}$. De drempelhoogte $p = y - H = 1,50 - 0,75 = 0,75 \text{ m}$.



BOVENAANZICHT UITWATERINGSSLUIS



LENGTEDOORSNEDE UITWATERINGSSLUIS

Figuur 43.2. Lengteprofiel van kanaal en tekening van uitwateringssluiss.

d. Zie ook figuur 43.2. Teken bovenaanzicht en lengtedoorsnede in samenhang, met de juiste arceringen voor 'aanzicht talud' en 'doorsneden'. Maak de tekening stap-voor-stap: bovenaanzicht kanaal, overgang naar bovenstroomse verticale wanden van kunstwerk, bovenaanzicht schuif en drempel met ev. brug, dan hetzelfde in lengtedoorsnede en controleer lijnen in bovenaanzicht, woelbak in lengtedoorsnede en dan ook in bovenaanzicht, de overgang naar benedenstroomse kanaal in bovenaanzicht en dan in lengtedoorsnede. Denk aan de 'koffers'.

Uitwerking 44

a. Het beheer van de sluis zal zijn op basis van de beheersregels: binnen-waterpeil hoger dan polderpeil: sluis openen, binnen-waterpeil lager dan polderpeil: sluis sluiten.

b. De beheersregels betekenen dat de waterlijn roteert om het polderpeil ter plaatse van de sluis, zie figuur 44.1. Er is maar weinig verval beschikbaar tijdens het ontwerpdebiet: de waterloop is 6 km lang en het maaiveld ligt slechts 0,50 m boven het polderpeil. Een waterlijn-verhang van $0,10 \times 10^{-3}$ levert reeds $6000 \times 0,10 \times 10^{-3} = 0,60$ m verhoging op. Dus de steilere verhangen van $0,10 \times 10^{-3}$ en $0,20 \times 10^{-3}$ zijn onaanvaardbaar, waardoor het verhang $0,05 \times 10^{-3}$ gekozen moet worden.

De gestelde eis van een minimum grondverzet, dus van een minimum waarde van $(y+0,50) \times [y + m(y+0,50)]$, bepaalt het profiel:

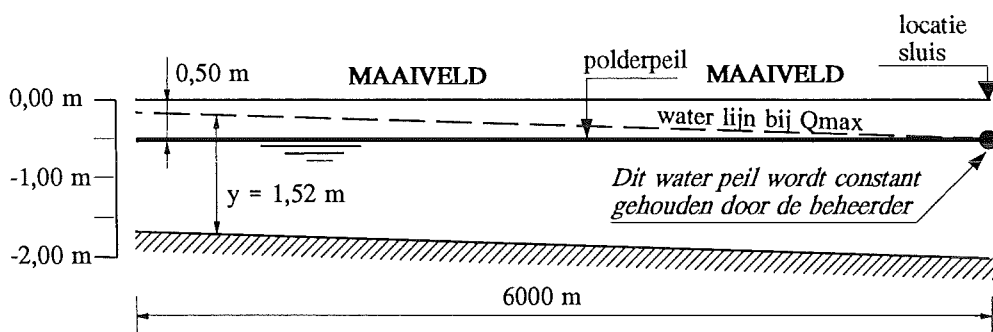
$b=3$ m & $y=1,52$ m: grondverzet $(1,52+0,50) \times [3+2(1,52+0,50)] = 11,1$ m³ per m',

$b=6$ m & $y=1,17$ m: grondverzet $(1,17+0,50) \times [6+2(1,17+0,50)] = 15,6$ m³ per m',

$b=9$ m & $y=0,95$ m: grondverzet $(0,95+0,50) \times [9+2(0,95+0,50)] = 17,3$ m³ per m'.

Dus hieruit volgt het ontwerp: bodembreedte $b = 3$ m, waterdiepte $y = 1,52$ m en waterlijn-verhang $s = 0,05 \times 10^{-3}$.

c. Zie figuur 44.1 voor het lengteprofiel.



Figuur 44.1. Lengteprofiel

Uitwerking 45

a. Het verval per duiker volgt uit $z = 1,5 v^2/2g$ en $v = 1,25$ m/s. Dus het verval is $z = 0,12$ m. Het verhang s van de waterlijn is gelijk aan het bodemverhang S , maar is niet gelijk aan het terreinverhang. Een steil verhang s is gunstig omdat het een kleiner doorstromingsprofiel geeft, en dus minder grondverzet. Echter, het verval S van het terrein over 2400 m bedraagt slechts $2400 \times 0,15 \times 10^{-3} = 0,36$ m, terwijl de duikers reeds $2 \times 0,12 = 0,24$ m nodig hebben. We worden dan gedwongen om het minimale verhang $s = 0,05 \times 10^{-3}$ te kiezen uit tabel 45.1 om de waterlijn zo veel als mogelijk de terreinhelling te laten volgen.

Uit tabel 45.1 volgt dan het profiel: de bodembreedte b wordt gekozen op $b = 5$ m, aangezien $b = 2$ m of $b = 10$ m onlogische profielen opleveren.

Dit betekent dat de (natte) afmeting van het kanaal zijn: bodembreedte $b = 5$ m, waterdiepte $y = 1,70$ m, taluds 1 : 1,5 en bodem- en waterverhang $s = 0,05 \times 10^{-3}$.

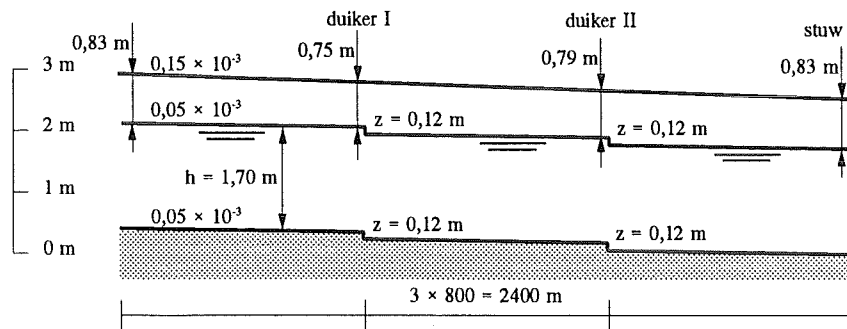
Het natte doorstromingsprofiel van de duiker is $A = 3,5 / 1,25 = 2,80$ m². Het ligt voor de hand om de bodemhoogte in de duiker gelijk te kiezen aan de kanaalbodem, waardoor $y = 1,70$ m. De breedte van de duiker volgt dan uit $b_d = 2,80 / 1,70 = 1,65$ m. Een vrije waterspiegel in

de duiker zorgt voor de afvoer van drijvend vuil, zodat de hoogte van de duiker gekozen kan worden op bijvoorbeeld $h = 2,00 \text{ m}$.

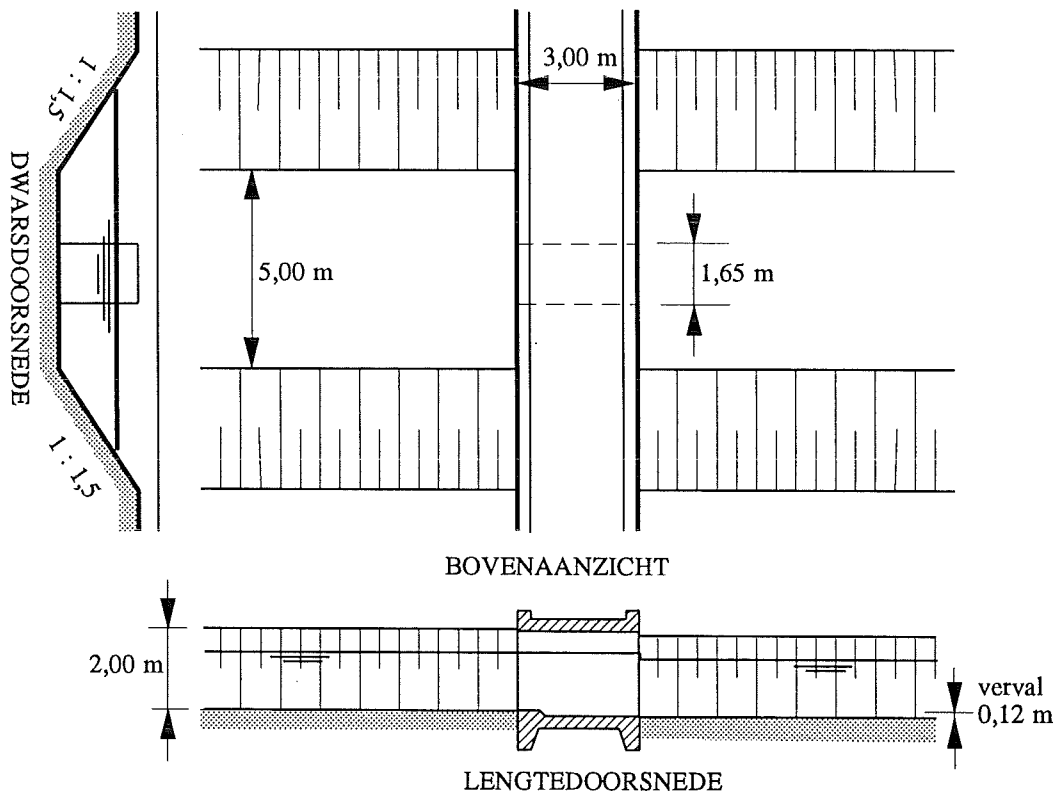
b. Het verval van de waterlijn over een kanaalpannd is $800 \times 0,05 \times 10^{-3} = 0,04 \text{ m}$, en van het terrein $0,12 \text{ m}$. Enz, enz, enz., zie figuur 45.2.

c. De stuw heeft geen functie tijdens het maximum debiet, aangezien daardoor slechts een hogere waterstand in het kanaal zou optreden. De functie van de stuw is bij het minimum debiet: het op peil houden van de waterstand i.v.m. inzijging, kering van vee, enz.

d. Zie figuur 45.3. Teken bovenaanzicht en lengtedoorsnede in samenhang met de juiste arceringen voor 'aanzicht talud' en 'doorsneden'. Stap-voor-stap: bovenaanzicht kanaal, overgang naar bovenstroomse verticale wanden van kunstwerk, bovenaanzicht, dan hetzelfde in lengtedoorsnede en controleer lijnen in bovenaanzicht, de overgang naar benedenstroomse kanaal in bovenaanzicht en dan in lengtedoorsnede. Denk aan de 'koffers'.



Figuur 45.2. Lengteprofiel van de open-waterloop.



Figuur 45.3. De opzet van de tekening voor de duiker.

Uitwerking 46

a. De hydraulische straal $R = [(3y + 1y)y]/[3y + 2y\sqrt{2}] = 0,69y$, en het verhang $s = 0,90/[6 \times 10^3] = 0,15 \times 10^{-3}$, zodat $1,5 = 30 \times 4y^2 \times (0,69y)^{2/3} (0,15 \times 10^{-3})^{1/2}$, waardoor $y = 1,11$ m en $b = 3,33$ m.

b. De stuw moet "verdrongen" zijn gedurende het ontwerpdebiet, dus $z = 1,5 v^2/2g$. Een vaste drempel in de stuw verkleint het doorstromingsprofiel, waardoor een grotere breedte nodig is. Dus, geen drempel en kies een stuwbreedte van bijv. $b = 3,00$ m. Het doorstromingsprofiel is dan $1,11 \times 3,00 = 3,33$ m², waardoor $v = 0,45$ m/s. Het verval is dan $z = 1,5 \times 0,45^2/2g = 0,02$ m.

Uitwerking 47

a. Uitschuring van het kanaalbed wordt niet bepaald door de watersnelheid maar de wandschuifspanning ("tractive force"). Daartoe mag de wandschuifspanning $T = \rho g y s$ niet hoger worden dan een kritieke waarde T_{\max} , in N/m². Bijvoorbeeld, kleine kanalen (0,5 m³/s) met een watersnelheid van 0,6 m/s kunnen reeds uitschuren ($T = 9$ N/m²), terwijl grote kanalen (25 m³/s) met dezelfde watersnelheid stabiel kunnen zijn ($T = 3$ N/m²).

De Strickler factor varieert gedurende het jaar. De Strickler factor k (= de "gladheid", maar wordt foutief ook wel de "ruwheid" genoemd) wordt lager wanneer de ruwheid toeneemt. De Manning factor $n = 1/k$ (= de "ruwheid") wordt groter wanneer de ruwheid toeneemt.

Dus, de Strickler factor heeft een hoge waarde juist na het onderhoud, maar neemt af met de plantengroei. De ruwheid van de duiker is niet van belang: korte lengte en hoge waarde van de Strickler factor.

b. Gegeven: $Q = 10$ m³/s, $m = 2$, $k = 40$ m^{1/3}/s. Verder is het terreinverhang $0,8 \times 10^{-3}$. Er zijn 3 onbekenden (b , y , s) en één vergelijking (Manning-Strickler). Een b/y relatie moet worden aangenomen. De kanaalhelling s is niet gelijk aan de terreinhelling $0,8 \times 10^{-3}$ doordat het verval in de duikers van $2 \times 0,15 = 0,30$ m per km. Dus:

vergelijking nr.2: $b/y = 3$, en vergelijking nr.3: $s = 0,5 \times 10^{-3}$

$A = (b + 2y)y = 5y^2$, en $R = A / \{b + 2y\sqrt{[1+m^2]}\} = 5y^2/[3y + 2y\sqrt{5}] = 0,67y$. De Strickler formule wordt dan: $10 = 40 \times 5 y^2 \times [0,67y]^{2/3} \times [0,5 \times 10^{-3}]^{1/2}$. Hieruit volgt $h^{8/3} = 2,92$. De waterdiepte is dan $y = 1,49$ m en de bodembreedte $b = 4,48$ m.

c. Het verval per koker wordt beschreven door $z = (0,5 + 1,0) v^2/2g$, dus $0,15 = 1,5 v^2/2g$ en waaruit een watersnelheid $v = 1,40$ m/s volgt. De minimale breedte van de duiker volgt uit gelijke hoogten voor de duikerbodem en de kanaalbodem, en een vrije waterspiegel in de duiker, zodat de effectieve breedte van de duiker $b_{\text{effectief}} = Q/v$, en zo $b_{\text{effectief}} = 10/[1,40 \times 1,50] = 4,76$ m. Dus de kokerbreedte is $b_{\text{koker}} = 4,76/3 = 1,59$ m. De breedte van de kokerwanden kan geschat worden op 0,20 m, waardoor de totale binnen-breedte van de duiker $4,76 + 0,40 = 5,16$ m wordt. Dit is dus breder dan de bodembreedte, waardoor een talud- en bodemaansluiting moet worden getekend!

Uitwerking 48

a. De greppels in het grasland kunnen worden aangelegd met de bodem juist op het Polderpeil. Daardoor is de opbolling $h = 0,40 - 0,20 = 0,20$ m, en de dikte D van de watervoerende laag $D = 3,00 - 0,40 = 2,60$ m. De natte omtrek u van droge greppels is gelijk aan de bodembreedte b , dus $b = 0,50$ m. Voor de stationaire neerslag naar greppels moet de Hooghoudt formule worden gebruikt, waarbij verwacht mag worden dat de equivalent diepte d kan worden berekend uit de formule behorende bij $L > 4 D$ ($= 10,40$ m). Er zijn dan twee formules, waarbij de afstand L berekend kan worden door iteratie:

$$L = \sqrt{\frac{8K_o dh + 4K_b h^2}{q}} = \sqrt{\frac{8 \times 2 \times d \times 0,2 + 4 \times 2 \times 0,2^2}{0,010}} = \sqrt{320 d + 32}$$
$$d = \frac{D}{1 + \frac{8D}{\pi L} \ln \frac{D}{u}} = \frac{2,60}{1 + \frac{8 \times 2,60}{\pi L} \ln \frac{2,60}{0,50}} = \frac{2,60}{1 + \frac{10,92}{L}}$$

Kies $L = 20,00$ m, dan is $d = 1,68$ m en volgt $L = 23,88$ m; neem $L = 23,88$ m, dan is $d = 1,78$ m en volgt $L = 24,55$ m, enzovoort, tot $L = 24$ m.

De drainbuizen in het akkerland zullen ook zo diep mogelijk worden aangelegd, en wel op de maximale diepte van de drainagemachine, dat is op $1,40$ m beneden maaiveld. Daardoor is de opbolling $h_o = 1,40 - 0,30 = 1,10$ m boven het drain-niveau, en de dikte van de watervoerende laag $D = 20,00 - 1,40 = 18,60$ m. Voor de niet-stationaire neerslag naar buizen moet de Glover-Dumm formule worden gebruikt, waarbij de equivalent diepte $d = D$. De neerslag van 60 mm geeft een stijging van het grondwater van $0,060 / \mu = 0,060 / 0,15 = 0,40$ m. De grondwaterstand moet na $T = 10$ dagen weer terug zijn op $h_t = 1,10 - 0,40 = 0,70$ m boven het drain-niveau.

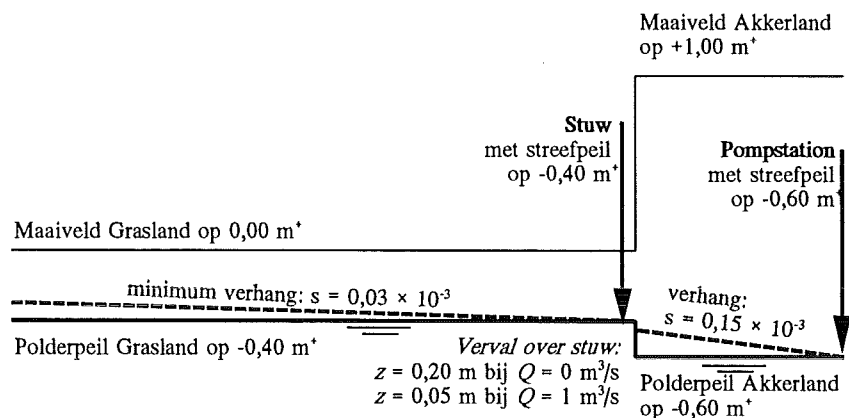
$$L = \pi \sqrt{\frac{KDt}{\mu} \frac{1}{\ln(1,16 \frac{h_o}{h_t})}} = \pi \sqrt{\frac{0,5 \times 18,6 \times 10}{0,15} \frac{1}{\ln(1,16 \frac{1,10}{0,70})}} = 101 \text{ m.}$$

b. De hydraulische straal R moet worden gebruikt in zowel de Chézy als de Manning-Strickler formules. Het gebruik van de hydraulische straal R in de formule voor de wandschuifspanning $T_{\text{gem.}} = \rho g R s$ geeft de gemiddelde wandschuifspanning in het doorstromingsprofiel. Voor uitschuring is de maximale wandschuifspanning op de bodem van belang. Deze kan worden bepaald uit $T_{\text{max.}} = 0,98 \times \rho g y s \approx \rho g y s$. Dus nu is de waterdiepte y van belang.

Het ontwerp van de afmetingen van pand 1 en pand 2 kan worden gedaan met behulp van de gegeven berekenen door het Strickler programma 'Profile'. Daarvoor moet echter wel het verhang worden bepaald. Eigenlijk moet de berekening in de omgekeerde volgorde worden gedaan vanuit het lengteprofiel, zie figuur 48.2: bepaal eerst het verhang van de waterlijn in pand 2, en bepaal ten slotte het verhang van de waterlijn in pand 1.

Het verhang in beide panden volgt uit de beheerseis van zowel het pompstation als het kunstwerk: beide zijn 'peilregelaars' die als functie hebben om het peil aan de bovenstroomse zijde 'vast' te houden. Het verval over het kunstwerk is gegeven op $z = 0,05$ m, zodat voor het verval in pand 2 overblijft: $0,20 - 0,05 = 0,15$ m. Het pand 2 heeft dan als verhang $s = 0,15 \times 10^{-3}$, een bodembreedte $b = 3,00$ m en een waterdiepte $y = 1,17$ m.

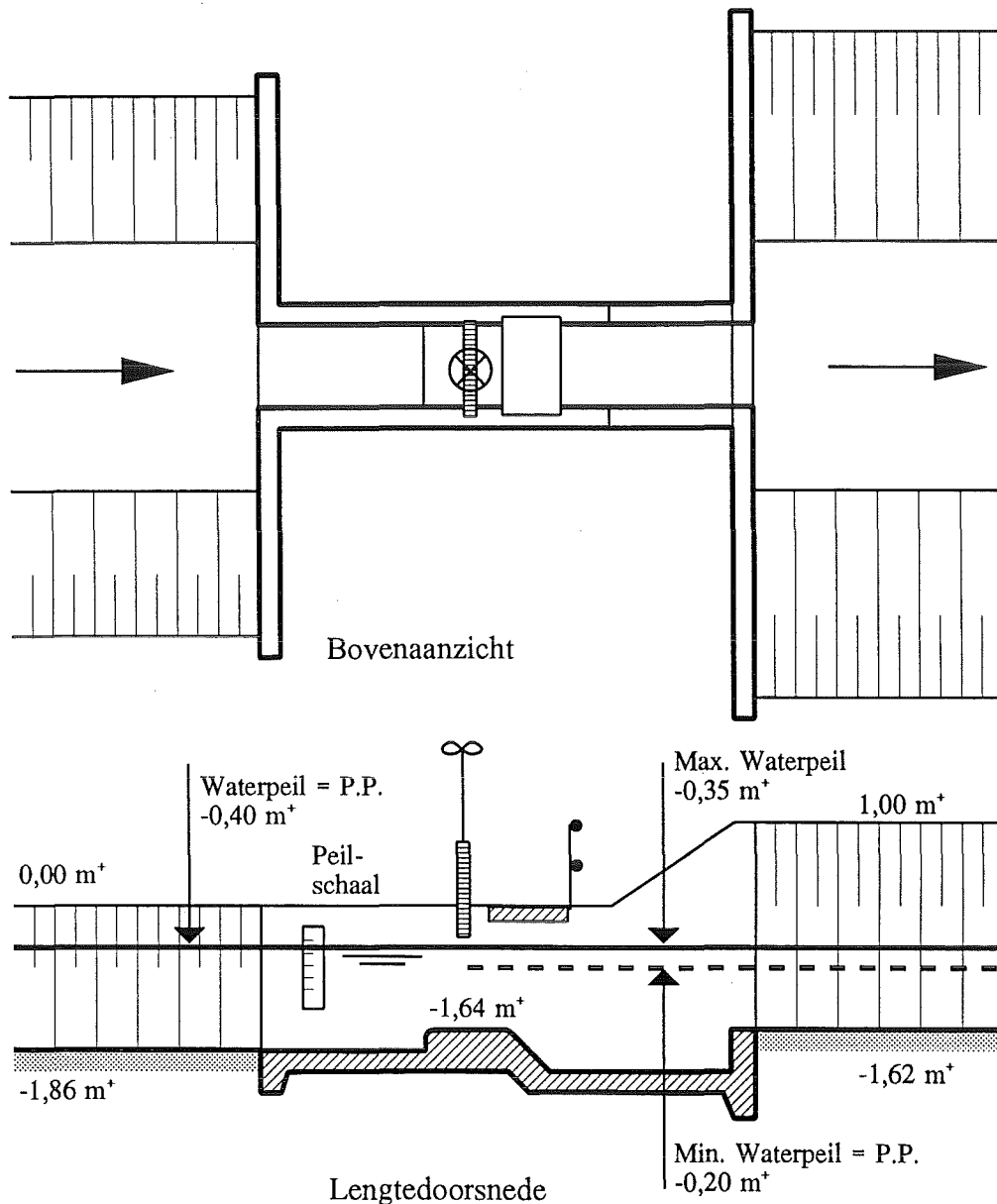
Het verhang in pand 1 hoeft aan geen andere voorwaarde te voldoen dan een 'zo-laag-mogelijke' verhoging van de waterstand tijdens het maximum debiet, dus $s = 0,03 \times 10^{-3}$. Hierbij hoort een bodembreedte $b = 3,00$ m en een waterdiepte $y = 1,46$ m.



Figuur 48.2. Het lengteprofiel van de open-waterloop.

c. Het kunstwerk betreft een 'stuw', met een verval $z = 0,05$ m bij het maximum debiet van 1 m³/s. Tijdens dit maximale debiet zal de schuif uit het water worden getrokken, en kan de snelheid $v = 0,81$ m/s in de opening worden berekend uit $z = 1,5 v^2 / 2g$. Bij een breedte $b = 1$ m van de schuif, volgt een waterdiepte y boven de drempel van $y = 1 / 0,81 = 1,24$ m. Het peil van de drempel is dan $-0,40$ m⁺ - $1,24$ m = $-1,64$ m⁺ (of eventueel t.o.v. het beneden peil $-0,45$ m⁺ - $1,24$ m = $-1,59$ m⁺).

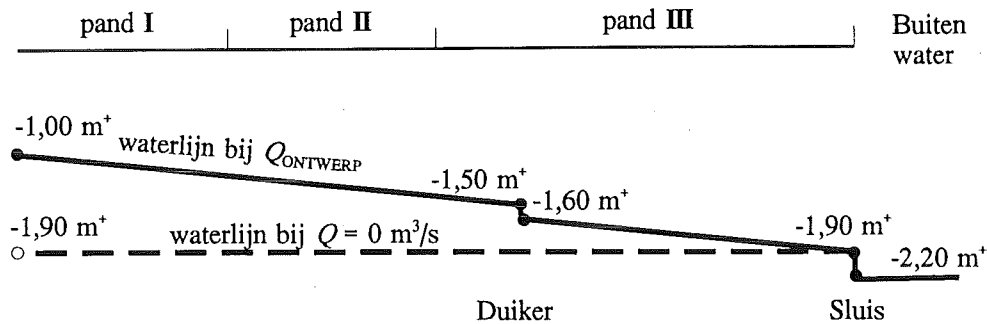
De tekening van het kunstwerk wordt op de gebruikelijke wijze gemaakt, zie uw college-aantekeningen: Teken bovenaanzicht en lengtedoorsnede in samenhang, met de juiste arceringen voor 'aanzicht talud' en 'doorsneden'. Maak de tekening stap-voor-stap: bovenaanzicht kanaal, overgang naar bovenstroomse verticale wanden van kunstwerk, bovenaanzicht schuif en drempel met ev. brug, dan hetzelfde in lengtedoorsnede en controleer lijnen in bovenaanzicht, woelbak in lengtedoorsnede en dan ook in bovenaanzicht, de overgang naar benedenstroomse kanaal in bovenaanzicht en dan in lengtedoorsnede. Denk aan de 'koffers'.



Figuur 48.3. De stuw tussen pand 1 en pand 2.

Uitwerking 49

a. Het beschikbaar verval in het kanaal met een lengte van 8 km, volgt uit het bovenstroomse peil in pand I ($0,00 \text{ m}^+ - 1,00 \text{ m} = -1,00 \text{ m}^+$) en het peil van het buitenwater ($-2,20 \text{ m}^+$). Voor de duiker en voor de sluis is een verval van 0,10 m en 0,30 m, respectievelijk, gereserveerd. Het verhang van het kanaal is dus: $s = [1,20 - 0,10 - 0,30]/8 \times 10^3 = 0,1 \times 10^{-3}$. Het lengteprofiel is getekend in figuur 49.2. Natuurlijk is er geen verval in de duiker bij het nul-debiet.

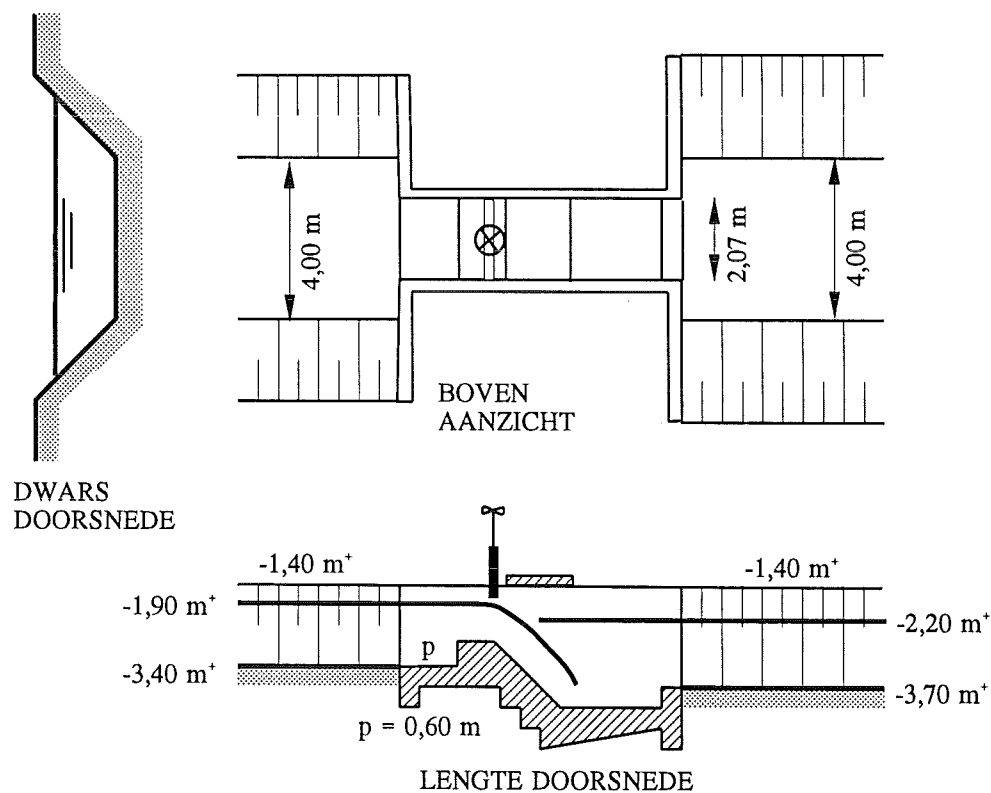


Figuur 49.2. Het lengteprofiel.

b. Twee onbekenden moeten worden opgelost: de afmetingen b en y van het dwarsprofiel. Er zijn twee formules: (i) de Manning-Strickler formule, en (ii) $b/y = 2,5$. Bovendien is er een derde conditie dat de *maximum* snelheid is $0,70$ m/s (die dus eigenlijk overbodig is).

De natte oppervlak $A = (b + m y) y = 3,5 y^2$ en de natte omtrek $P = b + 2y\sqrt{2} = 5,33 y$, zodat de hydraulische straal $R = 0,66 y$. Dus in Manning-Strickler: $3 = 40 \times 3,5 y^2 \times (0,66y)^{2/3} \times (0,1 \times 10^{-3})^{1/2}$, zodat $y^{8/3} = 2,83$, waardoor de water diepte $y = 1,48$ m en de bodembreedte $b = 3,69$ m.

c. De sluis heeft een verval $z = 0,30$ m voor volkomen stroming. Volkomen stroming treedt op voor $z \geq \frac{1}{3} H$, zodat de energiehogte boven de kruin/bodem $H \leq 0,90$ m. Een kleinere H geeft een grotere kunstwerkbreedte, en dus hogere kosten. Kies dus voor $H = 0,90$ m. Dit betekent een drempel in de sluis, met drempelhogte $p = 1,50 - 0,90 = 0,60$ m. De breedte van de sluis volgt uit $3 = 1,7 b 0,90^{3/2}$, zodat $b = 2,07$ m. Zie ook de tekening in figuur 49.3.



Figuur 49.3. De sluis.

d. Het bovenstaande ontwerp geldt voor het ontwerpdebiet. Veelal zal het optredende debiet echter $Q = 0 \text{ m}^3/\text{s}$ zijn, met een horizontale (en lagere) waterstand in het kanaal. Dit peil tijdens het nuldebiet wordt bepaald door het 'streefpeil' bij de sluis.

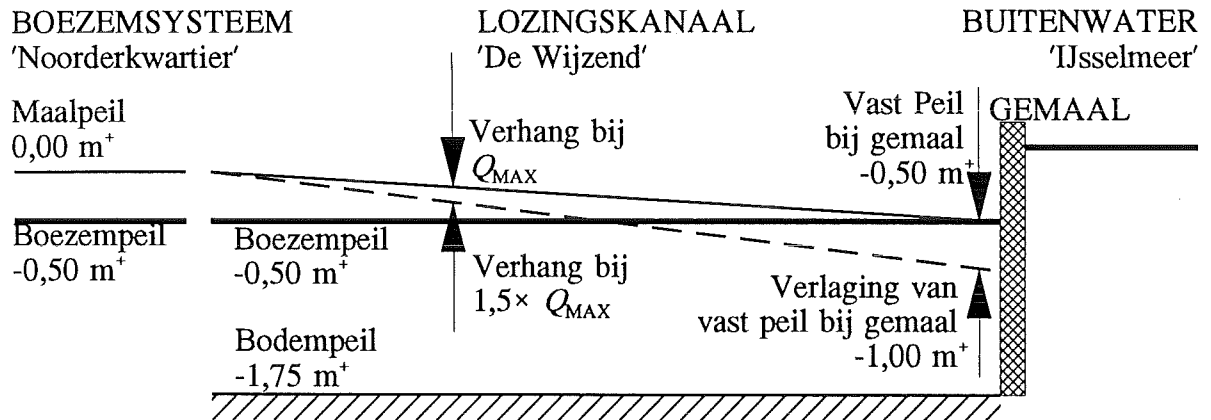
Het is dus beter om opzetinrichtingen (stuwen) toe te passen om het kanaalpeil, en daarmee het grondwaterpeil, op een hoger peil te handhaven.

Een opzetinrichting bij de duiker kost geen extra verval bij het ontwerpdebiet. Stuwen op andere locaties kost echter wel enig extra verval van de waterlijn zoals onder 'a' bepaald.

Uitwerking 50

a. Het natte oppervlak bedraagt $A = (b + my)y = (12 + 1,50) \times 1,50 = 20,25 \text{ m}^2$, en de hydraulische straal $R = A / \{b + 2y \sqrt{[1+m^2]}\} = 20,25 / \{12 + 2 \times 1,5 \times \sqrt{2}\} = 1,25 \text{ m}$. Het verhang volgt uit het verval $0,50 \text{ m}$ tussen de maalstop in de (bovenstroomse) boezem en het streefpeil bij het gemaal, en de afstand 5 km , dus $s = 0,1 \times 10^{-3}$, zie figuur 50.2. Het debiet volgt dan uit de Manning-Strickler formule: $Q = 1/0,03 \times 20,25 \times 1,25^{2/3} \times (0,1 \times 10^{-3})^{1/2} = 7,83 \text{ m}^3/\text{s}$.

De vergroting van de capaciteit kan dan alleen door veranderingen in de ruwheid n en in het verhang s . De ruwheid kan verkleind worden tot $n = 1/1,5 \times 0,03 = 0,02 \text{ s/m}^{1/3}$ ($k = 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) door beter onderhoud. Het verhang moet vergroot worden met een factor $1,5^2 \times$, dus tot $s = 1,5^2 \times (0,10 \times 10^{-3}) = 0,225 \times 10^{-3}$. Dit wordt bereikt bij een verval $5 \times 0,225 \times 10^{-3} = 1,125 \text{ m}$ over 5 km . Aangezien het peil in het boezemsysteem niet hoger mag komen dan het 'maalpeil', zal de waterstand bij het gemaal moet worden verlaagd tot ongeveer $-1,10 \text{ m}^+$ om de afvoercapaciteit van De Wijzend te vergroten.

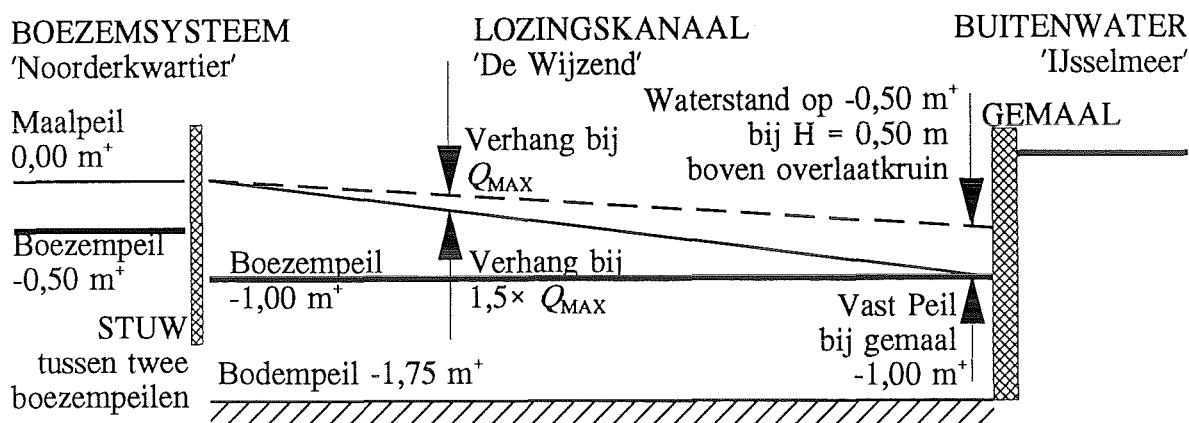


Figuur 50.2. De verhanglijnen in 'De Wijzend' bij een boezempeil op $-0,50 \text{ m}^+$.

b. De drempel van de vaste overlaat moet niet lager liggen dan op het boezempeil $-1,00 \text{ m}^+$, omdat anders bij 'droog weer' De Kleiput al volstroomt. Echter, er is een energiehoogte boven de drempel nodig om tot afvoer te komen: bijvoorbeeld $H = 0,50 \text{ m}$ vraagt om een overlaatbreedte $b = 4 / [1,7 \times 0,50^{1,5}] = 6,66 \text{ m}$. Dan ligt de waterstand in De Wijzend op $-0,50 \text{ m}^+$, waardoor het verhang zich verlaagd tot $s = 0,1 \times 10^{-3}$ en er dus juist minder water wordt aangevoerd, zie figuur 50.3.

De inlaatsluit zal een minimale breedte moeten hebben om de kosten laag te houden. Daarom wordt de schuif uit het water geheven, en wordt geen drempel toegepast. De vloer wordt gekozen op het peil van de bodem, zodat de energiehoogte $H = -1,00 - (-1,75) = 0,75 \text{ m}$. De afvoerformule is $Q = c b H^{3/2}$ voor $z \geq \frac{1}{3}H$, met $c = 1,8$ (of $1,7$) $\text{m}^{1/2}/\text{s}$, zodat de breedte van de sluis

$b = 4 / [1,8 \times 0,75^{3/2}] = 3,42 \text{ m}$ (of $3,62 \text{ m}$) volgt. Bij één schuif is dan de schuifhoogte bijv. $1,00 \text{ m}$ of $1,50 \text{ m}$ en de breedte bijv. $3,50 \text{ m}$. Een eventuele controle of er altijd schietend water optreedt door de inlaatsluis volgt uit: $4 \text{ m}^3/\text{s}$ gedurende 24 uur dat resulteert in een waterpeil in De Kleiput van $-3,50 + [4 \times 24 \times 3600 / [100 \times 10^4]] = -3,50 + 0,35 \text{ m} = -3,15 \text{ m}^+$, zodat $z = -1,00 - (-3,15) = 2,15 \text{ m}$ t.o.v. $H = 0,75 \text{ m}$, zodat altijd $z > \frac{1}{3}H$.



Figuur 50.3. De verhanglijnen in 'De Wijzend' bij een boezempeil op $-1,00 \text{ m}^+$.

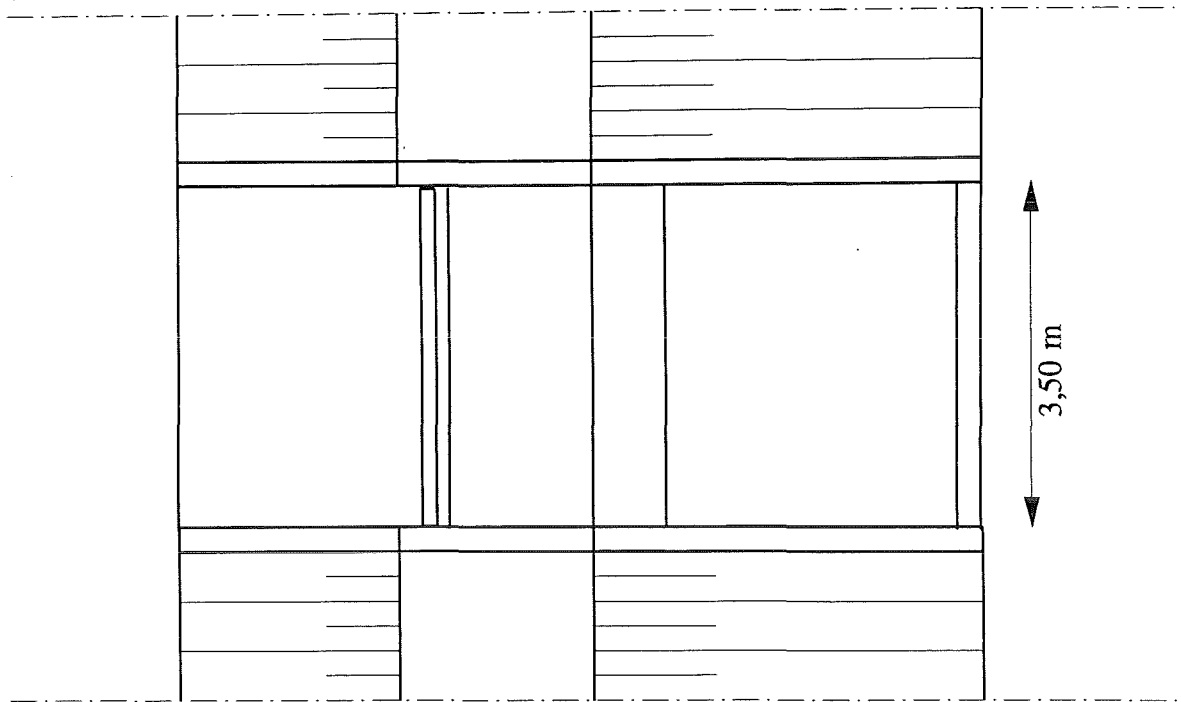
Teken bovenaanzicht en lengtedoorsnede in samenhang met de juiste arceringen voor 'aanzicht talud' en 'doorsneden', zie figuur 50.4. Stap-voor-stap: bovenaanzicht kanaal, verticale wanden van kunstwerk, bovenaanzicht van de schuif, dan hetzelfde in lengtedoorsnede en controleer lijnen in bovenaanzicht, de woelbak-met-vertikale-wanden in lengtedoorsnede, dan weer controleren in bovenaanzicht. Denk aan de 'koffers'.

c. Het concept 'levende berging' lijkt op technische problemen te stuiten wanneer het volgens deze implementatie wordt toegepast. De benodigde infrastructuur: (i) inlaatsluis voor De Kleiput, (ii) pompstation voor De Kleiput, (iii) peilregelaar tussen het boezemsysteem 'Noorderkwartier' ($-0,50 \text{ m}^+$) en De Wijzend ($-1,00 \text{ m}^+$).

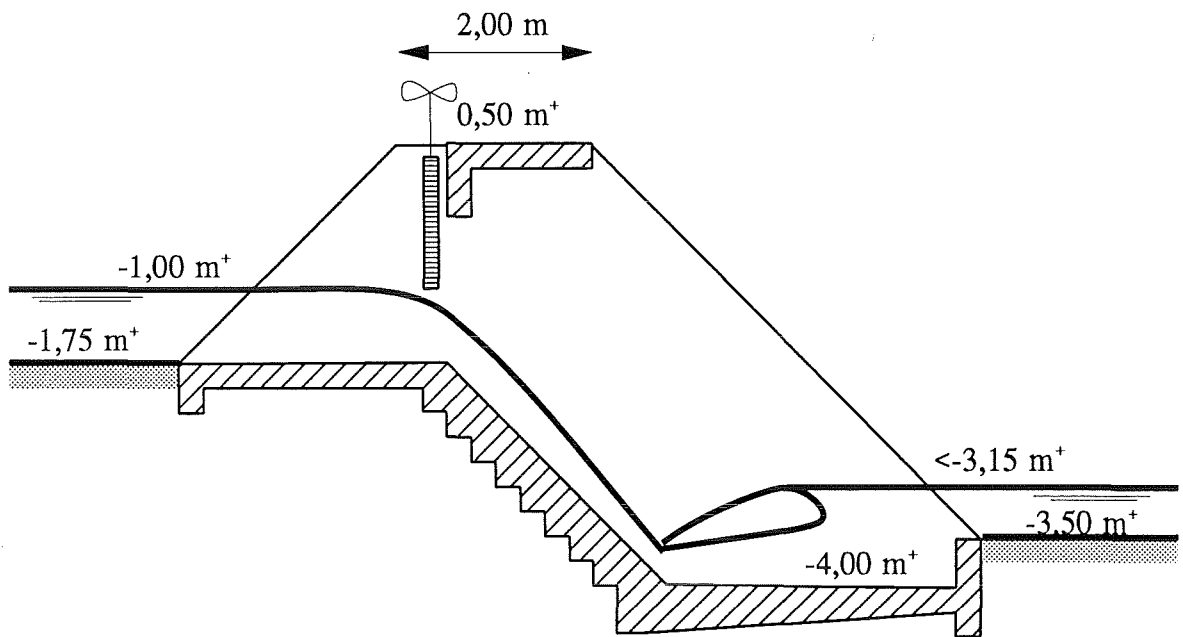
De extra pompkosten: (i) uit De Kleiput, (ii) ten gevolge van het lagere boezempeil ($0,50 \text{ m}$) in De Wijzend.

De nieuwe beheersregels: (i) de nieuwe peilregelaar handhaaft $-0,50 \text{ m}^+$ in het boezemsysteem 'Noorderkwartier', (ii) de inlaatsluis handhaaft $-1,00 \text{ m}^+$ in het boezemsysteem De Wijzend als het gemaal maximaal pompt.

Het **uiteindelijke advies** is: pas geen Levende Berging toe onder deze omstandigheden. Deze inundatiepolder ligt direct naast het gemaal zodat het slechts een alternatief is voor gemaalvergroting. Een vergroting van het gemaal is veel eenvoudiger en zal sociaal-economisch meer aanvaardbaar zijn. Bovendien is het effect op de totale afwatering naar het IJsselmeer is maar beperkt omdat de capaciteit van De Wijzend slechts vergroot is met een factor $1,5 \times$: van $7,8 \text{ m}^3/\text{s}$ tot $11,7 \text{ m}^3/\text{s}$.



BOVENAANZICHT



LANGSDOORSNEDE

Figuur 50.4. De inlaatsluis.