

TU Delft  
Faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen  
Subfaculteit Civiele Techniek  
Afdeling Watermanagement

Tentamen CT3011 – Inleiding watermanagement

Datum : 22 januari 2007  
Tijd : 9.00 – 12.00

Het tentamen bestaat uit 2 delen. Het eerste deel gaat over Gezondheidstechniek. Het tweede deel gaat over Waterbeheersing. Elk deel telt voor 50% mee in het eindcijfer.

Bij alle vragen staat voorop dat u inzicht moet tonen in de materie. Motiveer steeds uw antwoord en vraag u af of het antwoord compleet is.

Een formuleblad met relevante formules is toegevoegd.

Indien er onduidelijkheden zijn betreffende de vraagstelling, meld deze dan om verwarring te voorkomen.

Gebruik voor iedere vraag een apart antwoordvel. Voorzie ieder vel van uw naam en studienummer.

## Formuleblad CT3011 – Inleiding watermanagement

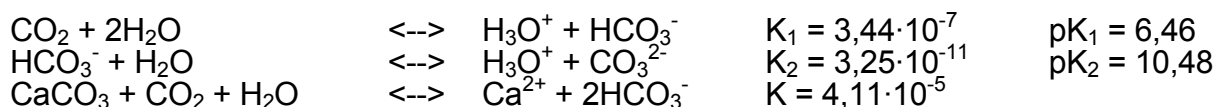
Tabel 1 - Atoommassa van de belangrijkste elementen in de waterchemie.

Element	Atoommassa	Element	Atoommassa
H	1	S	32
C	12	Cl	35,5
N	14	K	39
O	16	Ca	40
F	19	Mn	55
Na	23	Fe	56
Mg	24	As	75
Al	27	Pb	207
P	31		

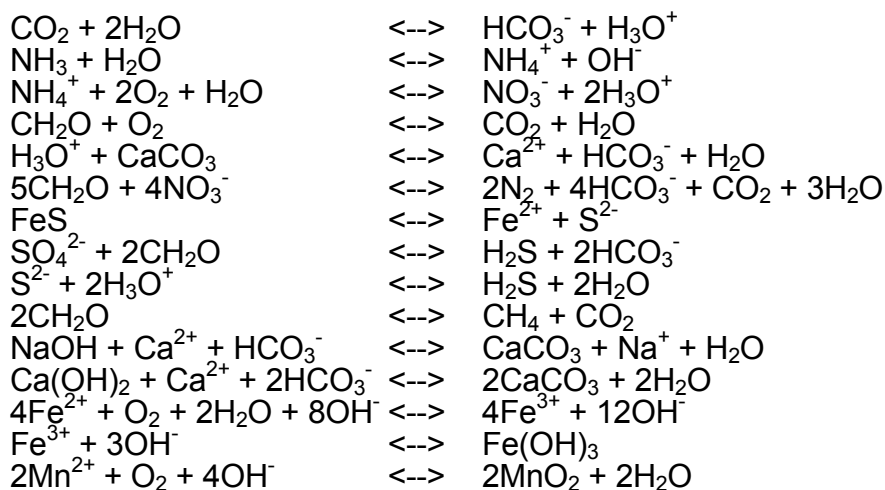
Tabel 2 - Dynamische en kinematische viscositeit als functie van de temperatuur.

Temperatuur [°C]	Dynamische viscositeit [ $10^{-3}$ Pa·s]	Kinematische viscositeit [ $10^{-6}$ m <sup>2</sup> /s]
0	1,79	1,79
5	1,52	1,52
10	1,31	1,31
15	1,15	1,15
20	1,01	1,01
25	0,90	0,90
30	0,80	0,80

bij T = 10°C:



gasuitwisseling  $\frac{dc}{dt} = k_2 \cdot (c_s - c)$



Tabel 3 – Verdelingscoëfficiënt H voor de oplosbaarheid in water.

$k_D$	0°C	10°C	20°C
Stikstof	0,023	0,019	0,016
Zuurstof	0,049	0,041	0,033
Methaan	0,055	0,043	0,034
Kooldioxide	1,710	1,230	0,942
Zwavelwaterstof	4,690	3,650	2,870
Tetrachlooretheen	-	3,380	1,880
Trichlooretheen	-	4,100	2,390
Chloroform	-	9,620	5,070

Tabel 4 – Samenstelling lucht in volumeprocenten bij 10°C en onder atmosferische druk (101325 Pa).

Gas	Samenstelling [volumeprocenten]
Stikstof	78,084
Zuurstof	20,948
Argon	0,934
Koolzuur	0,034
Methaan	0,0001

Darcy-Weisbach	$\Delta H_w = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$ $\lambda = 0.02$
Reynolds getal	$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$
Totale verdragingsverliezen	$\Delta H_v = \sum \xi \cdot \left( \frac{v^2}{2 \cdot g} \right)$
Totale kosten	$K_{\text{totaal}} = 19,2 \cdot 16,7 \cdot Q^3 \cdot D^{-5} \cdot L + 500 \cdot D \cdot L$

## Deel I      Gezondheidstechniek

### Vraag 1

#### *Drinkwaterzuivering*

Voor de drinkwatervoorziening van een stad moet een keuze gemaakt worden tussen de volgende bronnen: aëroob grondwater, anaëroob grondwater, oppervlaktewater, oeverfiltraat, duininfiltraat.

- 1.1 Geef voor elk van de 5 bronnen aan met welke verontreinigingen je rekening zult moeten houden bij het ontwerp van de zuivering. Maak een keuze uit de volgende mogelijkheden:
  - Bacteriën
  - $\text{Fe}^{2+}$
  - $\text{NO}_3^-$
  - Bestrijdingsmiddelen
  - Zwevende stof
  - $\text{NH}_4^+$
  - Algen
  - Kleurvormende bestanddelen
  - $\text{CO}_2$
  
- 1.2 Geef voor elk van de bronnen een geschikt zuiveringsschema. Let op de juiste volgorde van de processen en geef bij elk proces aan welke componenten verwijderd worden. Maak een keuze uit een of meerdere van de volgende processen om het zuiveringsschema op te bouwen:
  - Snelfiltratie
  - Aktief koolfiltratie
  - Cascadebeluchting
  - Ozonisatie
  - Langzame zandfiltratie
  - Chlorering
  - Bezinking
  - Vlokvorming
  - UV-desinfectie
  
- 1.3 Noem tenminste 5 criteria die een rol spelen bij de uiteindelijke keuze tussen de 5 mogelijke bronnen en zuiveringsschema's en geef aan welke bron gunstig scoort bij elk criterium?

## Vraag 2

### Waterchemie

Zure regen is neerslag met een hogere zuurgraad dan normaal. Zonder enige vervuiling is de regen al een beetje zuur door de (normale) hoeveelheid koolstofdioxide in de atmosfeer. De pH van het regenwater is dan 6,0 en bevat 0,80 mg/l  $\text{CO}_2$  en 0,38 mg/l  $\text{HCO}_3^-$  en 0,20 mg Ca. In Nederland ligt de pH-waarde van de zure regen tussen 4,0 en 5,0. In Amerika is in de zestiger jaren ooit een pH van 2,1 bereikt: het had net zo goed citroensap kunnen zijn.

- 2.1 Ga uit van een (zure) regenbui met een pH van 4,0. Hoeveel maal zo groot is de concentratie van de  $\text{H}^+$ -ionen in de bui als in een regenbui met normale zuurgraad?
- 2.2 Bereken de  $\text{CO}_2$ -concentratie in de zure regen met een pH van 4.
- 2.3 Wordt het zure regen water harder of zachter in de kalkrijke grond?
- 2.4 Bereken de pH van het water in de evenwichtssituatie in de kalkrijke grond.

### Vraag 3

#### Distributie

- 3.1 Bereken met behulp van de gegevens in tabel 1 de benodigde berging van de reinwaterkelder. De produktie van het pompstation is 120 l/h. Wat is het doel van een reinwaterkelder?

**Tabel 1 Verbruik**

Tijd [uur]	Verbruik [m <sup>3</sup> /h]	Tijd [uur]	Verbruik [m <sup>3</sup> /h]
0	60	12	165
1	20	13	155
2	5	14	150
3	5	15	150
4	5	16	150
5	15	17	155
6	55	18	160
7	120	19	170
8	170	20	175
9	180	21	175
10	180	22	165
11	175	23	120

- 3.2 Op welk uurverbruik wordt de capaciteit van de zuivering ontworpen en waarom? Kies tussen: gemiddeld uurverbruik, gemiddeld uurverbruik op de maximale dag, maximale uurverbruik op de maximale dag.
- 3.3 Bij de klant moet de druk in het leidingnet minimaal 20 meter waterkolom zijn. De afstand van het pompstation tot de klant is maximaal 50km. De leiding diameter is 1 meter en het debiet is 1 m<sup>3</sup>/s. Er zitten 10 bochten, 5 afsluiters en 2 terugslagkleppen in de leiding. Bereken hoe groot de opvoerhoogte is die de pompen moet leveren.
- 3.4 Geef met een tekening aan wat de besparing op energie is bij het gebruik van een aanjager in het distributiesysteem.

## **Deel II      Waterbeheersing**

### **Vraag 1**

#### *Algemeen*

Ieder onderdeel (a,b,c,d,e) 5 punten.

- a) Hoe komen waterschappen aan het geld voor het kwantitatieve beheer van regionale watersystemen?
- b) Wat is wereldwijd de belangrijkste water consumerende sector?
- c) In irrigatie gebieden controleert men waterstromen vaak door naar het niveau te kijken dat benedenstrooms van een verdeelkunstwerk ligt. In drainage gebieden kijkt juist vaak stroomopwaarts. Leg (zeer) kort uit waarom dat is.
- d) Wat verloopt in west Nederland op dit moment sneller, bodemdaling of zeespiegelstijging, en hoe was dat in de middeleeuwen?
- e) Noem drie vormen van irrigatie, dwz drie manieren waarop het water naar de planten wordt gebracht.

## Vraag 2

### Afleiding van Penman formule

De Penman formule staat centraal in vele verdampingsberekeningen. Penman lijkt erg empirisch maar volgt betrekkelijk direct uit de energie balans en overwegingen omtrent turbulent transport. In een aantal stappen wordt u gevraagd Penman af te leiden. Deze formule berekent de potentiële verdamping, oftewel de verdamping van goed bewaterd gras onder gegeven windsnelheid, temperatuur, en luchtvochtigheid.

#### a) Energie balans

$$R_n = H + \lambda E + G$$

met  $R_n$  als netto straling,  $H$  de voelbare warmtestroom van oppervlak naar atmosfeer,  $\lambda E$  de verdamping of de latente warmtestroom van oppervlak naar atmosfeer, en  $G$  de warmte die opgeslagen wordt in de bodem. Meteorologen geven als eenheid normaal gesproken  $W/m^2$ ; voor berekeningen in de irrigatie zijn mm/dag handiger. De verdampingswarmte van water,  $\lambda$ , is  $2445 \text{ kJ/kg}$  en de dichtheid van water is  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Hoeveel  $W/m^2$  zijn gelijk aan 1 mm/dag? (4 punten)

#### b) Onder welke omstandigheden kan men $G$ verwaarlozen? (4 punten)

#### c) Turbulent transport

Het turbulent transport wordt gedreven door een windfunctie,  $f(u)$ , en de relevante verticale gradiënt. Bij de afleiding gebruikt men de Bowen ratio, de verhouding  $H/\lambda E$ :

$$\frac{H}{E} = \frac{c_1}{c_2} \cdot \frac{f(u) T_0 - T_A}{f'(u) e_0^* - e_A}$$

waarin  $c_1/c_2$  de psychrometrische constante,  $\gamma$  ( $=0.67 \text{ hPa/}^\circ\text{K}$ ), is. Men neemt aan dat de windfuncties voor warmte en damp transport gelijk zijn ( $f\{u\}=f'\{u\}$ ). Wat zijn  $T_0$ ,  $T_A$ ,  $e_0^*$  en  $e_A$ ? Welke van deze variabelen worden niet waargenomen op standaard weerstations? (4 punten)

#### d) Delta, $\Delta$

Penman's "truc" is aan te nemen dat de bekende helling van de dampspanningscurve,  $\Delta$ , gebruikt kan worden om van meethoogte naar oppervlakte te extrapoleren:

$$\Delta(T_A) = \left. \frac{de^*}{dT} \right|_{T=T_A} \approx \frac{e_0^* - e_A^*}{T_0 - T_A}$$

Dit is redelijk als  $T_0 - T_A < 10^\circ\text{K}$ . Neem aan dat  $G$  inderdaad verwaarloosbaar is.

Laat nu de algebra zien die leidt tot de Penman formule, die een gewogen gemiddelde is van de beschikbare energie en de zgn. isotherme verdamping,  $E_i$ , die optreedt als er geen warmte transport zou zijn ( $T_0 = T_A$  en

$E_i = c_2 \cdot f\{u\} \cdot \{e_A^* - e_A\}$ ). Penman:

$$E = \frac{\Delta R_n + \gamma \cdot c_2 \cdot f'(u) \cdot (e_A^* - e_A)}{\Delta + \gamma}$$

(13 punten)



### Vraag 3

#### Ontwerp "raised beds"

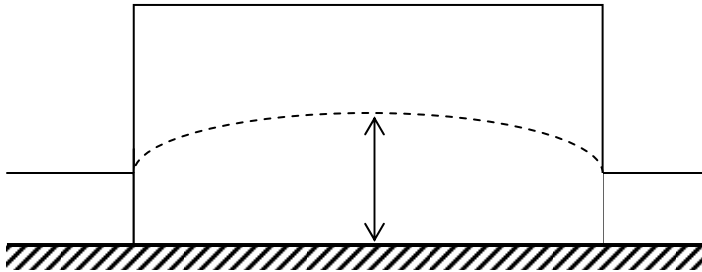
In tropische moerassen worden vaak gewassen geteeld op zogenaamde "raised beds", betrekkelijk smalle verhoogde veldjes. In dit geval liggen ze op een ondoorlatende kleilaag. We zijn geïnteresseerd in stationaire grondwater stroming.

a) De te gebruiken formule luidt:

$$H_{\max}^2 - H_0^2 = \frac{1}{4} \frac{P}{K_s} L^2$$

Hoe wordt deze formule genoemd? (4 punten)

b) Neem onderstaande tekening over en geef aan/beschrijf wat de variabelen  $H_{\max}$ ,  $H_0$ ,  $P$ ,  $K_s$ , en  $L$  zijn. (8 punten)



c) Deze bedden mogen niet te breed zijn. Men wil voorkomen dat tijdens het droge seizoen er onvoldoende water tot het midden van het bed kan doordringen om de gewassen van water te voorzien. De verdamping is 9 mm/dag, de waterstand in de aangrenzende kanalen is 20 cm boven de ondoorlatende laag, en de doorlatendheid is 15 mm/uur. Wat is onder deze omstandigheden de maximale breedte van de bedden? (8 punten)

d) In het natte seizoen mag het waterniveau in het bed niet te hoog zijn. Als deze maximaal aanvaardbare hoogte 40 cm boven de ondoorlatende laag is (met nog steeds 20 cm water in de kanalen en een doorlatendheid van 20 mm/uur), hoe hard mag dan de constante regen intensiteit zijn als u uitgaat van de onder c) berekende breedte.

Als u onder c) geen antwoord heeft kunnen vinden, gaat u dan uit van een breedte van 7 meter. (5 punten)

## Vraag 4

### Buitenopgave

- Deze opgave dient gemaakt te worden als er geen buitenopdracht is ingeleverd.
- De opgave mag gemaakt worden door iedereen. Het hoogste aantal punten zal gelden.
- Voor ieder onderdeel (a,b,c,d,e) worden 5 punten gegeven bij een goed antwoord.

### In de omgeving van Delft staan vele kleine gemaaltjes.

- a. Wie beheert deze gemaaltjes?
- b. Leg de werking van dergelijke gemaaltjes uit (waar komt het water vandaan, waar gaat het heen, hoogteverschillen, namen van peilen, locatie peilschalen).
- c. Als gegeven is dat de polder die met dit gemaaltje afwatert ongeveer 600 hectare is, hoeveel zou de pompcapaciteit van het gemaaltje ongeveer zijn in  $\text{m}^3/\text{min}$ ?



### In de buurt van Berken en Rodenrijs staat het bovengemaal van de Polder Berkel.

- d. Geef aan hoe de afwatering van de polder Berkel geregeld is, als gegeven is dat het bovengemaal het water vanuit de tussenboezem naar de boezem pompt (waar komt het water vandaan, waar gaat het heen, hoogteverschillen, namen van peilen, locatie peilschalen)?
- e. Aan de andere kant van de polder Berkel staat nog een pomp om af te wateren, een zogenaamde onderbemaling. Wat is de functie van deze pomp?



**Achter het gemaal, aan de Molenweg, ligt de zogenaamde bergboezem van de polder Berkel.**

- f) Wat is de functie van deze bergboezem?
- g) Schat de capaciteit van de bergboezem.





## Antwoorden CT3011, januari 2007, gedeelte Gezondheidstechniek

### Vraag 1

Drinkwaterzuivering

#### 1.1

	Aëroob grondwater	Anaëroob grondwater	Oppervlaktewater	Oeverfiltraat	Duininfiltraat
Bacteriën					
Fe					
NO3					
BM					
SS					
NH4					
Algen					
Kleur					
CO2					

Aëroob grondwater: NO3, CO2

Anaëroob grondwater: CO2, Kleur, NH4, Fe

Oppervlaktewater: Kleur, Algen, NH4, SS, BM, NO3, Bacterien

Oeverfiltraat: CO2, kleur, NH4, BM, Fe

Duininfiltraat: CO2, NH4, BM, Fe

#### 1.2

**Aëroob grondwater: cascadebeluchting** voor de verwijdering van CO2 (NO3 kan een probleem zijn, maar de zuivering is niet aangegeven)

**Anaëroob grondwater: cascadebeluchting** voor de verwijdering van CO2 en de inbreng van O2-**snelfiltratie** voor de verwijdering van Fe en NH4 (kleur kan een probleem zijn, als dat zo is kan **actief koolfiltratie** toegevoegd worden als laatste stap)

**Oppervlaktewater: vlokvorming-vlokverwijdering** voor de verwijdering van SS, algen en gedeeltelijk kleur en bacteriën- **snelfiltratie** voor het verwijderen van resten SS/algen/kleur/bacteriën en NH4- **ozonisatie** voor de verwijdering van bacteriën en kleur- **actief koolfiltratie** voor de verwijdering van BM-**langzame zandfiltratie** voor nadesinfectie. Eventueel nog **nachlorering** maar liever niet i.v.m. THM. NO3 kan een probleem zijn, zie hierboven.

**Oeverfiltraat: beluchting-snelfiltratie** voor de verwijdering van CO2, Fe, NH4-**actief koolfiltratie** voor de verwijdering van BM en kleur

Duininfiltraat: zie oeverfiltratie

#### 1.3 De criteria zijn:

zuiveringskosten (laagst bij aëroob grondwater, hoogst bij oppervlaktewater)

transportkosten (laag als bron in de buurt is, meestal laag bij grondwater, )

betrouwbaarheid/robuustheid/ongevoeligheid voor calamiteiten (slecht bij oppervlaktewater)

duurzaamheid/beschikbaarheid/milieu-invloed (eventueel kritisch bij grondwater)

drinkwaterkwaliteit (overal goed , maar bij grondwater minder bedreigingen/onzekerheden)

## Vraag 2

### Waterchemie

2.1

$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] \quad 6,0 = -\log[\text{H}^+] \rightarrow [\text{H}^+] = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ mol/l}$   
 $\text{pH} = -\log[\text{H}^+] \quad 4,0 = -\log[\text{H}^+] \rightarrow [\text{H}^+] = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$   
Verskil is een factor 100.

2.2.

$\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$   
 $\text{p}K_1 = \text{pH} + \log\left\{\frac{[\text{CO}_2]}{[\text{HCO}_3^-]}\right\}$   
 $\text{p}K_1 = 6,46$   
 $\text{pH} = 4$   
 $[\text{HCO}_3^-] = 0,38 \text{ mg/l} = 0,0063 \text{ mmol/l}$   
 $\rightarrow [\text{CO}_2] = 1,82 \text{ mmol/l} = 80 \text{ mg/l}$

Op kalkrijke grond zijn de gevolgen tot nu toe binnen de perken gebleven door het vermogen van kalk om de grond te ontzuren.

2.3 Harder, want meer  $\text{Ca}^{2+}$ .

2.4

$\text{Ca}^{2+} = 0,20 \text{ mg/l} = 0,005 \text{ mmol/l}$   
 $\text{HCO}_3^- = 0,0063 \text{ mmol/l}$   
 $\text{CO}_2 = 1,82 \text{ mmol/l}$

$\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$

$K_a = 4,11 \cdot 10^{-5} = \frac{[\text{Ca}^{2+}][\text{HCO}_3^-]^2}{[\text{CO}_2]}$

Er wordt x mol  $\text{Ca}^{2+}$  gevormd en  $2x$  mol  $\text{HCO}_3^-$ , er wordt x mol  $\text{CO}_2$  verwijderd.

$K_a = 4,11 \cdot 10^{-5} = \frac{[\text{Ca}^{2+} + x][\text{HCO}_3^- + 2x]^2}{[\text{CO}_2 - x]} \rightarrow x = 1,49 \text{ mmol/l}$

$\text{p}K_1 = \text{pH} + \log\left\{\frac{[\text{CO}_2]}{[\text{HCO}_3^-]}\right\} = 6,46 = \text{pH} + \log\left\{\frac{1,82 - 1,49}{0,0063 + 2 \cdot 1,49}\right\}$   
 $\text{pH} = 7,42$

**Vraag 3**  
Distributie

3.1 675 m<sup>3</sup>

Uur	Uit [m <sup>3</sup> ]	In [m <sup>3</sup> ]	Toename [m <sup>3</sup> ]	Som toename [m <sup>3</sup> ]
0	60	120	60	
1	20	120	100	
2	5	120	115	
3	5	120	115	
4	5	120	115	
5	15	120	105	
6	55	120	65	
7	120	120	0	0
8	170	120	-50	-50
9	180	120	-60	-110
10	180	120	-60	-170
11	175	120	-55	-225
12	165	120	-45	-270
13	155	120	-35	-305
14	150	120	-30	-335
15	150	120	-30	-365
16	150	120	-30	-395
17	155	120	-35	-430
18	160	120	-40	-470
19	170	120	-50	-520
20	175	120	-55	-575
21	175	120	-55	-630
22	165	120	-45	-675
23	120	120	0	-675

's Nachts is het verbruik lager dan het daggemiddelde en wordt de kelder gevuld. Dit wordt gedaan uit economische overwegingen want het is goedkoper om een kelder te bouwen dan een grotere productieinstallatie.

3.2. Gemiddeld uurverbruik op de maximale dag. Op de maximale dag moet de zuivering het gevraagde debiet kunnen leveren. Met behulp van de reinwaterberging kan de dagmodulatie worden afgevlakt zodat de zuivering het gemiddeld debiet van de maximale dag moet kunnen leveren.

3.3  $V=1/(0.25*\pi*1^2)=1,27$  m/s.

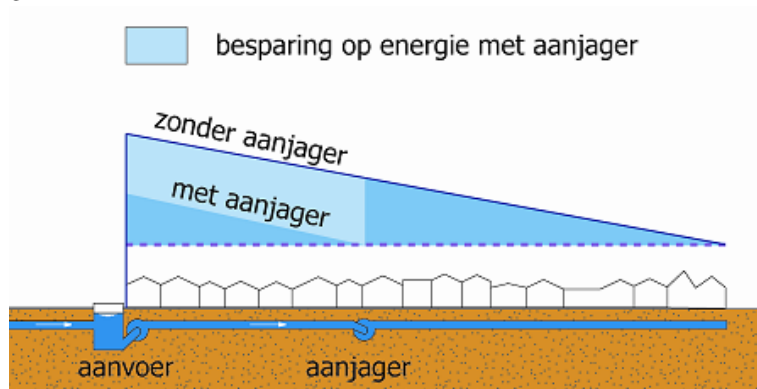
Wrijvingsverlies:  $dH=0.02*50000/1*1,27^2/(2*9.8)= 82,3$ m waterkolom.

Vertragingverlies:

$10*0.5+5*0.3+2*2.5+1=12.5$   $12.5*1.27^2/(2*9.8)= 1,0$  m waterkolom.

Totaal verlies is  $82,3+1,0=83,3$  m. Dus de pompen moeten  $83,3+20=103,3$  meter waterkolom kunnen leveren.

3.4





## Antwoorden CT3011 Examen 5, januari 2007, gedeelte Waterbeheer

### Vraag 1

#### Algemeen

Ieder onderdeel (a,b,c,d,e) 5 punten.

- a) Hoe komen waterschappen aan het geld voor het kwantitatieve beheer van regionale watersystemen?  
*Door directe heffingen inwonenden en eigenaren (zgn omslagen: ingezetenenomslag, omslag bebouwd, omslag onbebouwd)*
- b) Wat is wereldwijd de belangrijkste water consumerende sector?  
*Voedselproducti, irrigatie*
- c) In irrigatie gebieden controleert men waterstromen vaak door naar het niveau te kijken dat benedenstrooms van een verdeelkunstwerk ligt. In drainage gebieden kijkt juist vaak stroomopwaarts. Leg (zeer) kort uit waarom dat is.  
*In irrigatie wil men er zeker van zijn dat er voldoende toevoer is voor de (benedenstroomse) vraag terwijl de bovenstroomse toevoer (reservoir) niet beperkend wordt geacht. Bij drainage is dat andersom waarbij het reservoir vervangen wordt door een gemaal.*
- d) Wat verloopt in west Nederland op dit moment sneller, bodemdaling of zeespiegelstijging, en hoe was dat in de middeleeuwen?  
*Net als in de Middeleeuwen verloopt de bodemdaling in west Nederland nu (veel) sneller dan de zeespiegelstijging.*
- e) Noem drie vormen van irrigatie, dwz drie manieren waarop het water naar de planten wordt gebracht.  
*Sprinkler, drip, basin, furrow (voren), instuwing.*

## Vraag 2

### Afleiding van Penman formule

De Penman formule staat centraal in vele verdampingsberekeningen. Penman lijkt erg empirisch maar volgt betrekkelijk direct uit de energie balans en overwegingen omtrent turbulent transport. In een aantal stappen wordt u gevraagd Penman af te leiden. Deze formule berekent de potentiële verdamping, oftewel de verdamping van goed bewaterd gras onder gegeven windsnelheid, temperatuur, en luchtvochtigheid.

a) Energie balans

$$R_n = H + \lambda E + G$$

met  $R_n$  als netto straling,  $H$  de voelbare warmtestroom van oppervlak naar atmosfeer,  $\lambda E$  de verdamping of de latente warmtestroom van oppervlak naar atmosfeer, en  $G$  de warmte die opgeslagen wordt in de bodem. Meteorologen geven als eenheid normaal gesproken  $W/m^2$ ; voor berekeningen in de irrigatie zijn mm/dag handiger. De verdampingswarmte van water,  $\lambda$ , is  $2445 \text{ kJ/kg}$  is en de dichtheid van water is  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Hoeveel  $W/m^2$  zijn gelijk aan 1 mm/dag? (4 punten)

$$1 \text{ mm/dag} \Rightarrow 1 \text{ kg/dag} \cdot m^2 \Rightarrow 2445 \text{ kJ/dag} \cdot m^2 \Rightarrow (2445000/86400) \text{ J/s} \cdot m^2 = 28.3 \text{ W/m}^2$$

b) Onder welke omstandigheden kan men  $G$  verwaarlozen? (4 punten)

*$G$  is cyclisch, opslag tijdens de dag, afgifte tijdens de nacht. Over langere periodes, bijvoorbeeld het gemiddelde over 24 uur, kan de  $G$  term meestal worden verwaarloosd.*

c) Turbulent transport

Het turbulent transport wordt gedreven door een windfunctie,  $f(u)$ , en de relevante verticale gradiënt. Bij de afleiding gebruikt men de Bowen ratio, de verhouding  $H/\lambda E$ :

$$\frac{H}{E} = \frac{c_1}{c_2} \cdot \frac{f(u) (T_0 - T_A)}{f'(u) (e_0^* - e_A)}$$

waarin  $c_1/c_2$  de psychrometrische constante,  $\gamma$  ( $=0.67 \text{ hPa}/^\circ\text{K}$ ), is. Men neemt aan dat de windfuncties voor warmte en damp transport gelijk zijn ( $f\{u\}=f\{u\}$ ). Wat zijn  $T_0$ ,  $T_A$ ,  $e_0^*$  en  $e_A$ ? Welke van deze variabelen worden niet waargenomen op standaard weerstations? (4 punten)

*$T_0$ : Temperatuur van het verdampende oppervlak, niet bekend*

*$T_A$ : Temperatuur van de lucht (meestal op 2m), gemeten*

*$e_0^*$ : Dampspanning aan het verdampende oppervlak (gelijk aan de verzadigde dampspanning omdat het hier om een goed bewaterd oppervlak gaat), niet gemeten, wel te berekenen als  $T_0$  bekend is.*

*$e_A$ : Dampspanning van de lucht, gemeten*

d) Delta,  $\Delta$

Penman's "truc" is aan te nemen dat de bekende helling van de dampspanningscurve,  $\Delta$ , gebruikt kan worden om van meethoogte naar oppervlakte te extrapoleren:

$$\Delta(T_A) = \left. \frac{de^*}{dT} \right|_{T=T_A} \approx \frac{e_0^* - e_A^*}{T_0 - T_A}$$

Dit is redelijk als  $T_0 - T_A < 10^\circ\text{K}$ . Neem aan dat  $G$  inderdaad verwaarloosbaar is. Laat nu de algebra zien die leidt tot de Penman formule, die een gewogen gemiddelde is van de beschikbare energie en de zgn. isotherme verdamping,  $E_I$ , die optreedt als er geen warmte transport zou zijn ( $T_0 = T_A$  en

$E_I = c_2 \cdot f'(u) \cdot (e_A^* - e_A)$ ). Penman:

$$E = \frac{\Delta R_n + \gamma \cdot c_2 \cdot f'(u) \cdot (e_A^* - e_A)}{\Delta + \gamma}$$

(13 punten)

*In het algemeen, zie de afleiding op Blackboard*

*(AfleidingenCT3011\_Lecture4.pdf). Algebra details:*

i) Vul  $\Delta$  in:

$$\frac{H}{E} = \frac{\gamma}{\Delta} \cdot \frac{e_0^* - e_A^*}{e_0^* - e_A} = \frac{\gamma}{\Delta} \cdot \left\{ 1 - \frac{e_A^* - e_A}{e_0^* - e_A} \right\}$$

ii)  $e_A$  is nog steeds onbekend maar met de isotherme verdamping krijgen we:

$$\frac{H}{E} = \frac{\gamma}{\Delta} \cdot \frac{e_0^* - e_A^*}{e_0^* - e_A} = \frac{\gamma}{\Delta} \cdot \left\{ 1 - \frac{c_2 \cdot f'(u) \cdot (e_A^* - e_A)}{c_2 \cdot f'(u) \cdot (e_0^* - e_A)} \right\} = \frac{\gamma}{\Delta} \cdot \left\{ 1 - \frac{E_I}{E} \right\}$$

iii) Dit invullen in de energie balans ( $H = R_n - E$ ) geeft:

$$\Delta R_n - \Delta E = \gamma E - \gamma E_I \text{ oftewel}$$

$$E = \frac{\Delta R_n + \gamma \cdot E_I}{\Delta + \gamma} = \frac{\Delta R_n + \gamma \cdot c_2 \cdot f'(u) \cdot (e_A^* - e_A)}{\Delta + \gamma}$$

### Vraag 3

#### Ontwerp "raised beds"

In tropische moerassen worden vaak gewassen geteeld op zogenaamde "raised beds", betrekkelijk smalle verhoogde veldjes. In dit geval liggen ze op een ondoorlatende kleilaag. We zijn geïnteresseerd in stationaire grondwater stroming.

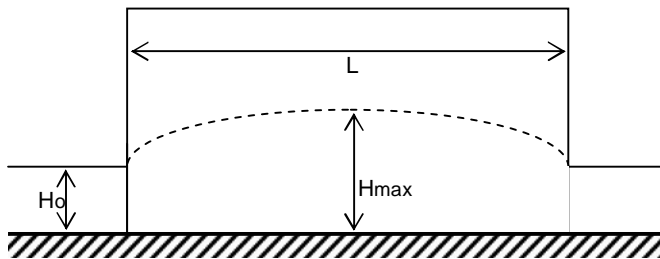
a) De te gebruiken formule luidt:

$$H_{\max}^2 - H_0^2 = \frac{1}{4} \frac{P}{K_s} L^2$$

Hoe wordt deze formule genoemd? (4 punten)

*Donnan*

b) Neem onderstaande tekening over en geef aan/beschrijf wat de variabelen  $H_{\max}$ ,  $H_0$ ,  $P$ ,  $K_s$ , en  $L$  zijn. (8 punten)



$P$  is de neerslag (positief) of verdamping (negatief) in, bijvoorbeeld, mm/dag, die het grondwater verticaal aanvult of uitput.

$K_s$  is de doorlatendheid van de grond in, bijvoorbeeld, mm/dag

c) Deze bedden mogen niet te breed zijn. Men wil voorkomen dat tijdens het droge seizoen er onvoldoende water tot het midden van het bed kan doordringen om de gewassen van water te voorzien. De verdamping is 9 mm/dag, de waterstand in de aangrenzende kanalen is 20 cm boven de ondoorlatende laag, en de doorlatendheid is 15 mm/uur. Wat is onder deze omstandigheden de maximale breedte van de bedden? (8 punten)

$$(0.0)^2 - (0.2)^2 = 0.25 * (-9/360) * L^2 \text{ oftewel } L = 2.53 \text{ m}$$

d) In het natte seizoen mag het waterniveau in het bed niet te hoog zijn. Als deze maximaal aanvaardbare hoogte 40 cm boven de ondoorlatende laag is (met nog steeds 20 cm water in de kanalen en een doorlatendheid van 20 mm/uur), hoe hard mag dan de constante regen intensiteit zijn als u uitgaat van de onder c) berekende breedte.

Als u onder c) geen antwoord heeft kunnen vinden, gaat u dan uit van een breedte van 7 meter. (5 punten)

$$(0.4)^2 - (0.2)^2 = 0.25 * (P/480) * 6.4 \text{ oftewel } P = 36 \text{ mm/dag}$$

### Vraag 4

#### Buitenopgave

*Hier worden geen antwoorden verstrekt.*