

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

Tentamen CT3011 – Inleiding watermanagement

Datum : 15 Augustus 2008  
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 A4-tje met eigen aantekeningen is NIET toegestaan, een formuleblad met relevante formules is toegevoegd.

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

Gebruik voor elk deel een apart antwoordvel. Voorzie ieder vel van uw naam en studienummer.

## Formuleblad CT3011 – Inleiding watermanagement

### Algemene gegevens

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

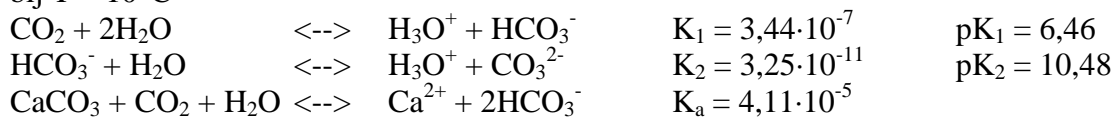
Element	Atoommassa	Element	Atoommassa
H	1	S	32
C	12	Cl	35,5
N	14	K	39
O	16	Ca	40
F	19	Mn	55
Na	23	Fe	56
Mg	24	As	75
Al	27	Pb	207
P	31		

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

### Relevante formules waterchemie

bij T = 10°C



Gasuitwisseling:  $\frac{dc}{dt} = k_2 \cdot (c_s - c), \quad \frac{c_s - c}{c_s - c_0} = e^{-k_2 \cdot t}$

Algemene gaswet:  $c_g = p_a / (RT) \quad R = 8,3143 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Tabel 3 -  $k_D$ -waarden voor verschillende gassen als functie van de temperatuur.

$k_D$	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

$$\Delta H_w = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$\lambda = 0.02$$

Totale verdragingsverliezen

$$\Delta H_v = \sum \xi \cdot \left( \frac{v^2}{2 \cdot g} \right)$$

Totale kosten transportleiding

$$K_{\text{totaal}} = 19,2 \cdot 16,7 \cdot Q^3 \cdot D^{-5} \cdot L + 500 \cdot D \cdot L$$

## Deel I      Gezondheidstechniek

### Vraag 1

*Drinkwater in Nederland en de wereld*

- 1.1 Hoe kwam men in de middeleeuwen aan drinkwater.
- 1.2 Waar in de wereld komt buiktyfus nog voor?
- 1.3 Waarom wordt er vooral zoetwater gebruikt als bron voor drinkwater. Als er niet genoeg zoet water is, hoe komt men dan aan drinkwater?

### Vraag 2

*Waterkwaliteit/microbiologie*

- 2.1 Waarom moet de temperatuur van water in warm water systemen minimaal 60°C zijn?
- 2.2 Hoe komen pathogene micro-organismen in het water?
- 2.3 Beschrijf in woorden wat Decimale Eliminatie Capaciteit (DEC) is en bereken de benodigde DEC van de zuivering voor *Cryptosporidium*. Er geldt een norm van minder dan 1 *Cryptosporidium* per 30 m<sup>3</sup>. In de Rijn komt een concentratie voor van 300 per l.

### Vraag 3

*Waterkwaliteit/chemie*

- 3.1 Noem 3 organoleptische parameters.
- 3.2 Bereken de verzadigingsconcentratie van zuurstof in water in contact met de lucht onder atmosferische omstandigheden bij een temperatuur van 10°C en op de Himalaya op 8 km hoogte, bij een temperatuur van 10°C en een lucht druk van 39866 Pa..
- 3.3 Een bronwaterfabrikant stopt CO<sub>2</sub> in 1 liter water. Een deel van het CO<sub>2</sub> zal dissociëren tot HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. De evenwichtsconcentratie aan CO<sub>2</sub> na de dissociatie is 99.8 mmol/l. Hoeveel mg CO<sub>2</sub> heeft de fabrikant toegevoegd en wat bedraagt de pH?

### Vraag 4

*Grondwater*

- 4.1 Wat is het grootste voordeel van aerobisch grondwater t.o.v. anaerobisch grondwater?
- 4.2 Hoe ziet de zuivering eruit als er agressief aerobisch grondwater gewonnen wordt?
- 4.3 Welke stoffen worden verwijderd als anaerobisch grondwater gezuiverd wordt door anaerobe nanofiltratie?

### Vraag 5

*Oppervlaktewater*

- 5.1 Bij de zuivering van oppervlaktewater in het westen van Nederland wordt gebruik gemaakt van duinfiltratie. Wat zijn de 3 functies van duinfiltratie?
- 5.2 Voor oppervlaktewater in de duinen geïnfiltreerd mag worden, moet het een zuivering ondergaan. Welke zuiveringstappen zijn nodig om het water schoon genoeg te krijgen om het water te mogen infiltreren?
- 5.3 Bij de nazuivering van duinfiltraat wordt soms gebruik gemaakt van ozonisatie en biologische actiefkoolfiltratie. Wat zijn hier de functies van ozonisatie?

## **Vraag 6**

### *Waterverbruik*

- 6.1 Noem 3 van de grootste waterverbruikers in Nederland en zet ze in volgorde van grootte van waterverbruik.
- 6.2 Er moet een nieuwe drinkwaterzuivering voor 100.000 mensen gebouwd worden. Het gemiddelde drinkwaterverbruik is geschat op 125 l/(inw.dag). De dagpiekfactor is 1,3, de uur piekfactor is 1,4 en de jaar piekfactor is 0,94 of 1,08 afhankelijk van de hoeveelheid regen.  
Bereken de gemiddelde capaciteit op een maximum dag van een droog jaar en op het maximum uur van de maximum dag in een nat jaar.

## **Vraag 7**

### *Transport en distributie*

- 7.1 Hoe hoog moet de druk minimaal zijn die het waterleidingbedrijf levert aan een flatgebouw met 20 verdiepingen.
- 7.2 Beredeneer waarom je uit kosten oogpunt beter een grotere leidingdiameter kan kiezen dan een kleinere.
- 7.3 Bereken het wrijvingsverlies voor een leiding van 40 km, met een diameter van 1200 mm en een wandruwheid van 1,2 mm. Het debiet door de leiding is 10.000 m<sup>3</sup>/h.

## Deel II Waterbeheer

Maximum aantal punten is 100, 25 per vraag.

### Vraag 1

*Algemeen*

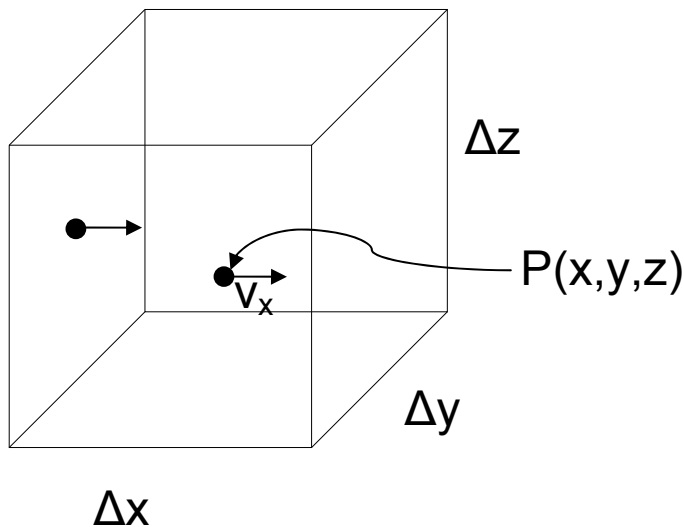
- Welke overheid beheert voornamelijk de riolering in Nederland: Gemeente, Provincie, Rijk, of Waterschap? (5 punten)
- Globaal wordt water gebruikt voor landbouw, huishoudens, en industrie. Zet deze sectoren op volgorde, met afnemende belangrijkheid. (5 punten)
- Als men het debiet stroomafwaarts van een regelkunstwerk zo weinig mogelijk met de tijd wil laten variëren, wat is dan beter: een overlaat of een onderspuier? Beredeneer zeer kort. (5 punten)
- Staat het gebouw van Civiele Techniek in een polder? En de duinen bij Monster? (5 punten)
- Hoeveel moleculen water verbruikt een tarwe plant ongeveer per molecuul vastgelegde kooldioxide? (5 punten)

### Vraag 2

*Afleiding formule debiet put*

- Laplace (10 punten)

Beginpunt is een controle volume rond het punt  $P(x,y,z)$ .

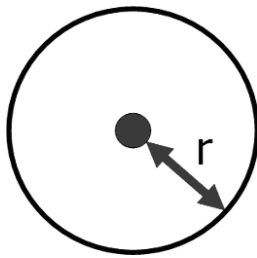


Leid met behulp van de formule van Darcy,  $V_x = -K_s \frac{\partial h}{\partial x}$ , de Laplace vergelijking af:

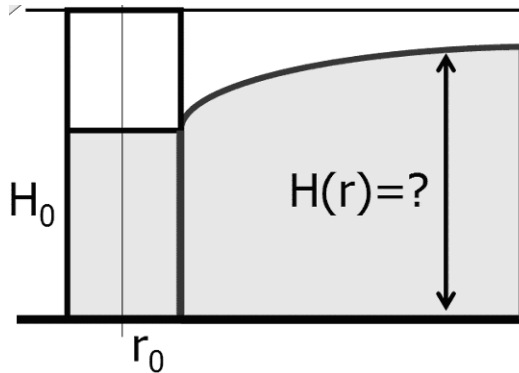
$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = 0 \quad (\text{Laplace})$$

waarbij  $h$  de stijghoogte van het grondwater is,  $V_x$  de stroomsnelheid in de  $x$ -richting, en  $K_s$  de verzadigde doorlatendheid van de grond, die in alle richtingen gelijk is.

b) Put (15 punten)



Boven aanzicht, kleine cirkel is de put met straal  $r_0$  en  $r$  is de afstand van de put.



Zij aanzicht met  $H_0$  waterstand in put,  $r_0$  straal van de put,  $r$  de afstand van de put, en  $H(r)$  de hoogte van het grondwater op de afstand  $r$  van de put. De put loopt door tot op een ondoorlatende laag.

De 3-dimensionele Laplace vergelijking kan tot een 1-dimensionele vergelijking vereenvoudigd worden m.b.v. de Dupuit aanname. Men gaat er dan van uit dat verticale energie verliezen verwaarloosbaar zijn t.o.v. horizontale energie verliezen. Het lijndebiet in de  $x$ -richting wordt dan:

$$q_x = K_s H \frac{\partial H}{\partial x}$$

waarbij  $q_x$  [ $L^2/T$ ] het debiet in de  $x$ -richting door een lijn van hoogte  $H$ ,  $K_s$  [ $L/T$ ] de hydraulische doorlatendheid,  $H$  [ $L$ ] de grondwaterstand.

Wanneer men een vast debiet  $Q$  [ $L^3/T$ ] uit de put pompt, komt de grondwaterstand na verloop van tijd in evenwicht en verandert niet meer. Het verband tussen  $Q$ ,  $r$ , en  $H$  wordt gegeven door:

$$\ln\left(\frac{r}{r_0}\right) = \frac{\pi K_s}{Q} \left( (H(r))^2 - H_0^2 \right)$$

**Leid deze formule af!**

$\pi$  is het bekende transcendent nummer dat men verkrijgt door de omtrek van een cirkel te delen door de doorsnede van diezelfde cirkel: 3.14159265...  $\ln(\cdot)$  is de logfunctie met de basis  $e$ , een ander transcendent nummer met een waarde in de buurt van 2.7182818...

### Vraag 3

#### Berekeningen irrigatie.

a) Bron (8 punten)

Net over de Duits-Nederlandse grens ligt de Eltenberg, een stuwwal met een hoogte van 82 m boven de nabije Rijn. De Eltenberg hoorde van 1949 tot 1962 bij Nederland, maar dat is verder niet van belang voor het beantwoorden van deze vraag. Op de Eltenberg vindt men de *Drususbrunnen*, een put van 57 m diep. Op de bodem van de put bevindt zich een doorlatende keileem laag. Als men niet pompt, is het water in de put 3,0 m diep. Tot 1931 kon men met de beschikbare technieken (touw+emmer) continu 50 liter per 5 minuten putten. De diepte van het water daalde dan tot 0,5 m. De doorsnede van de put is 3,0 m. De doorlatendheid van het zand rond de put is 10 m/dag.

Wat is de hoogte van het grondwater boven het keileem op 20 m afstand van de bron?

Gebruik daarvoor de inmiddels bekende formule:

$$\ln\left(\frac{r}{r_0}\right) = \frac{\pi K_s}{Q} \left( (H(r))^2 - H_0^2 \right)$$

b) Gewasbehoefte (5 punten)

Er zijn verschillende formules in omloop om de irrigatie behoefte van een gewas te bepalen. In Nederland (en vlak daarbuiten) lijkt de formule van Makkink goed te werken:

$$E = \frac{0,0353\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot [0,65 * R_s]$$

met E (mm/dag) de verdamping van een goed bewaterd grasveld,  $R_s$  ( $W/m^2$ ) de inkomende zonnestraling,  $\Delta$  ( $kPa/^\circ C$ ) de helling van de dampspanningscurve, en  $\gamma$  ( $kPa/^\circ C$ ) de psychrometrische constante. Gegeven is dat  $R_s = 220 W/m^2$ ,  $\Delta = 0,252 kPa/^\circ C$ , en  $\gamma = 0,066 kPa/^\circ C$ .

Wat is de verdamping in mm/dag van een goed bewaterd grasveld?

c) Oppervlakte (4 punten)

Gegeven het debiet van de *Drususbrunnen* (50 liter per 5 minuten), hoe groot is het grasveld (in  $m^2$ ) dat men hier continu zou kunnen irrigeren? Als u onder b) niets heeft gevonden, ga dan uit van een verdamping van 5 mm/dag.

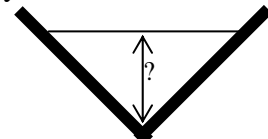
d) Aanvoerkanaal (8 punten)

Het grasveld ligt op 200 m van de *Drususbrunnen* en 2,0 m lager (het beschikbare verhang is dus 2,0 m per 200 m). Men wil een gootje aanleggen om het water naar het grasveld te laten stromen. Voor de dimensionering gebruikt men Manning:

$$V = K_m S^{1/2} R_h^{2/3}$$

Waarbij  $V$  (m/s) de gemiddelde stroomsnelheid is,  $K_m$  ( $m^{1/3}/s$ ) de Manning constante is, die we hier op  $20 m^{1/3}/s$  mogen stellen,  $S$  (-) het verhang, en  $R_h$  (m) de hydraulische straal. Ga uit een V-vormig profiel met een hoek van  $90^\circ$ :

Hoe diep zal het water in het gootje zijn? Laat berekening zien!





#### Vraag 4. Vervanging van de buitenopdracht

Deze vraag hoeft u niet te maken als u in het academisch jaar 2007-2008 de Buitenopdracht heeft ingeleverd. Uw cijfer voor de Buitenopdracht maal 2,5 is dan het aantal punten dat voor deze vraag wordt geteld. Indien u de Buitenopdracht heeft ingeleverd en deze vraag toch maakt, geldt het hoogste cijfer.

Het Hoogheemraadschap van Delfland realiseert in de Woudse polder (gemeente Midden-Delfland) een calamiteitenberging. De berging heeft een oppervlak van 34 hectare. Er zal circa 800.000 m<sup>3</sup> water in geborgen kunnen worden, waarvan circa 500.000 m<sup>3</sup> vaste berging en circa 300.000 m<sup>3</sup> gecreëerd door een tijdelijke waterkering. De berging bevindt zich in agrarisch veenweide gebied. De vaste kade van de berging is onverhard en blijft een natuurlijk onderdeel van het grasland gebied waar in normale situaties vee graast. Deze kade heeft een kruinbreedte van 6 meter en een lengte van 1250 meter. Over deze lengte zal tijdens dreigende calamiteiten een tijdelijke kade binnen een bepaalde tijd moeten worden opgezet en worden afgebouwd.

- Wat is de functie van een calamiteitenberging? (4 punten)
- Welke minimale regenbui moet vallen voordat de berging gebruikt zal gaan worden? (3 punten)
- Hoe hoog moet de vaste kade minimaal zijn? (3 punten)
- Waarom is de vaste kade dan 2 meter? (3 punten)
- Wat was de doorslaggevende reden een tijdelijke kering toe te passen bovenop de vaste kade? (3 punten)
- Welke waterhoogte zal de tijdelijke waterkering dienen te keren? (4 punten)
- Als gegeven is dat het inlaatwerk vanuit de boezem naar de berging een lange overlaat is met een afvoercoëfficiënt  $C$  van  $1.4 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ , het maximale in te laten debiet  $9 \text{ m}^3/\text{s}$  en de breedte van het inlaatwerk  $20 \text{ m}$  is, hoe hoog moet dan het water aan de bovenstroomse kant van het inlaatwerk staan? ( $Q = cbH^{1.5}$ ) Geef de hoogte in meters ten opzichte van het maaiveld in de berging. (5 punten)

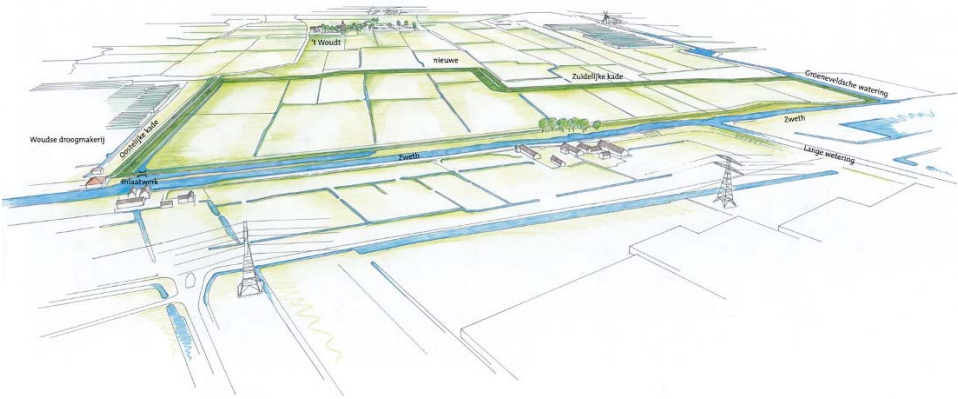
#### Gebied van Delfland



**Overzichtsfoto gebied**



**Tekening nieuwe calamiteitenberging**



## Deel I Gezondheidstechniek Antwoorden

### Vraag 1

*Drinkwater in Nederland en de wereld*

- 1.1 Hoe kwam men in de middeleeuwen aan drinkwater.  
(regenwater, grachtenwater)
- 1.2 Waar in de wereld komt buiktyfus nog voor?  
(Azie, Afrika, Zuid-Amerika)
- 1.3 Waarom wordt er vooral zoetwater gebruikt als bron voor drinkwater. Als er niet genoeg zoet water is, hoe komt men dan aan drinkwater?  
(ontzouten, regenwater opvangen, hergebruik afvalwater)

### Vraag 2

*Waterkwaliteit/microbiologie*

- 2.1 Waarom moet de temperatuur van water in warm water systemen minimaal 60°C zijn?  
(anders kan er legionella groeien)
- 2.2 Hoe komen pathogene micro-organismen in het water?  
(via feces en urine van mens en dier)
- 2.3 Beschrijf in woorden wat Decimale Eliminatie Capaciteit (DEC) is en bereken de benodigde DEC van de zuivering voor Cryptosporidium. Er geldt een norm van minder dan 1 Cryptosporidium per 30 m<sup>3</sup>. In de Rijn komt een concentratie voor van 300 per l.  
(DEC: hoeveel log eenheden er verwijderd wordt door de zuivering. DEC =log (Cruw/Cnazuivering)=log(300/(1/30000))= log 9.000.000= 6,9)

### Vraag 3

*Waterkwaliteit/chemie*

- 3.1 Noem 3 organoleptische parameters.  
(geur, kleur, smaak, troebelingsgraad, aluminium, ijzer, mangaan, natrium, sulfaat, zink)
- 3.2 Bereken de verzadigingsconcentratie van zuurstof in water in contact met de lucht onder atmosferische omstandigheden bij een temperatuur van 10°C en op de Himalaya op 8km hoogte, bij een temperatuur van 10°C en een lucht druk van 39866 Pa.

(Gebruik wordt gemaakt van de volgende formule om de verzadigingsconcentratie te berekenen:

$$c_s = k_D \cdot c_g = k_D \cdot \frac{P}{R \cdot T} \cdot MW$$

De waarde voor de verdelingscoëfficiënt  $k_D$  bedraagt 0.041 (zie tabel 3). Het molecuul gewicht  $MW$  van zuurstof bedraagt 32 g/mol, de gasconstante  $R$  bedraagt 8,3143 J/(mol·kg) en de temperatuur  $T$  bedraagt 283 °K.

Op zeeniveau bevat lucht ongeveer 20.9% zuurstof. De molaire fractie van zuurstof is dus 0.209. De partiele druk van zuurstof is dan 0.209 bar ofwel 101325\*0.209=21177Pa.

Na invulling in bovenstaande vergelijking volgt een verzadigingsconcentratie van zuurstof van 0.37 mmol/l=11.8 mg/l

De druk op 8 km hoogte is 39.866Pa. De samenstelling blijft gelijk. Dus de verzadigingsconcentratie van zuurstof is daar 0.15 mmol/l = 4.6 mg/l)

3.3 Een bronwaterfabrikant stopt CO<sub>2</sub> in 1 liter water. Een deel van het CO<sub>2</sub> zal dissociëren tot HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. De evenwichtsconcentratie aan CO<sub>2</sub> na de dissociatie is 99,8 mmol/l. Hoeveel mg CO<sub>2</sub> heeft de fabrikant toegevoegd?

(Als x mol CO<sub>2</sub> dissocieert dan ontstaat hierbij x mmol H<sup>+</sup>, x mol HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en 1-x mol CO<sub>2</sub>. Uit  $K_1 = \frac{x \cdot x}{(0,1-x)} = 4,5 \cdot 10^{-7}$  volgt dat  $x = 0,00021$  mol/l ofwel 0,21 mmol/l. Uit  $K_2 = 4,7 \cdot 10^{-11} = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]}$  en na invulling van de bekende waarden voor H<sup>+</sup> en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> volgt  $CO_3^{2-} = 4,7 \cdot 10^{-11}$ . Dit is inderdaad verwaarloosbaar, zodat:  $[CO_2] = Y - 0,21 = 99,8$  mmol/l  $\rightarrow Y$  is 100 mmol = 0,1 \* 44 = 4,4 g/l. Dus er is 4,4 g/l CO<sub>2</sub> toegevoegd.  $pH = 6,4 * \log(99,8 * 10^{-3} / 0,21 * 10^{-3}) = 3,67$ )

#### Vraag 4

##### Grondwater

- 4.1 Wat is het grootste voordeel van aerob grondwater t.o.v. anaerob grondwater? (aerob grondwater is niet zuurstofloos waardoor ook geen anaerobe oplosreacties uit de bodem optreden van onder meer ijzer, deze hoeven dus ook niet verwijderd te worden.)
- 4.2 Hoe ziet de zuivering eruit als er agressief aerob grondwater gewonnen wordt? (alleen marmerfiltratie, geen beluchting)
- 4.3 Welke stoffen worden verwijderd als anaerob grondwater gezuiverd wordt door anaerobe nanofiltratie? (2-waardig ijzer, mangaan, calcium, organische stof, pesticiden)

#### Vraag 5

##### Oppervlaktewater

- 5.1 Bij de zuivering van oppervlakte water in het westen van Nederland wordt gebruik gemaakt van duininfiltratie. Wat zijn de 3 functies van duininfiltratie? (voorraadvorming, afvlakking, bacteriologische betrouwbaarheid)
- 5.2 Voor oppervlakte water in de duinen geïnfiltreerd mag worden, moet het een zuivering ondergaan. Welke zuiveringstappen zijn nodig om het water schoon genoeg te krijgen om het water te mogen infiltreren? (coagulatie, vlokvorming, sedimentatie, (actiefkoolfiltratie) of coagulatie, vlokvorming, flotatie, (actiefkoolfiltratie) of ultrafiltratie, (actiefkoolfiltratie).)
- 5.3 Bij de nazuivering van duininfiltraat wordt soms gebruik gemaakt van ozonisatie en biologische actiefkoolfiltratie. Wat zijn hier de functies van ozonisatie? (desinfectie, organisch materiaal afbreken voor de actiefkoolfiltratie)

## Vraag 6

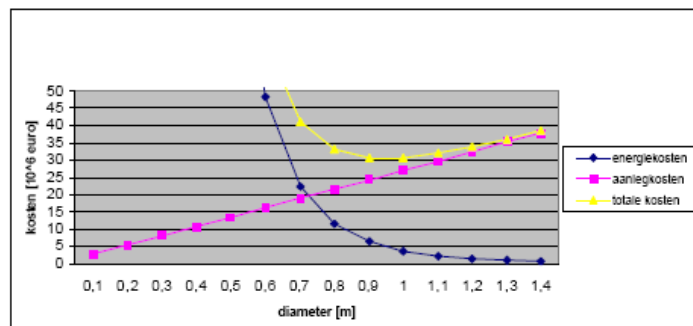
### Waterverbruik

- 6.1 Noem 3 van de grootste waterverbruikers in Nederland en zet ze in volgorde van grootte van waterverbruik.  
(Electriciteitscentrales, industrieën, huishoudens, kleine bedrijven, waterleidingbedrijven)
- 6.2 Er moet een nieuwe drinkwaterzuivering voor 100.000 mensen gebouwd worden. Het gemiddelde drinkwaterverbruik is geschat op 125 l/(inw.dag). De dagpiekfactor is 1,3, de uur piekfactor is 1,4 en de jaar piekfactor is 0,94 of 1,08 afhankelijk van de hoeveelheid regen.  
Bereken de gemiddelde capaciteit op een maximum dag van een droog jaar en op het maximum uur van de maximum dag in een nat jaar.  
( $1,3 \cdot 1,08 \cdot 125 \cdot 100.000 / 24 = 731,25 \text{ m}^3/\text{uur}$  en  $1,4 \cdot 1,3 \cdot 0,94 \cdot 125 \cdot 100.000 / 24 = 891 \text{ m}^3/\text{uur}$ )

## Vraag 7

### Transport en distributie

- 7.1 Hoe hoog moet de druk minimaal zijn die het waterleidingbedrijf levert aan een flatgebouw met 20 verdiepingen.  
(200kPa, of 20 meter water kolom, (of 1 verdieping is 3 meter,  $20 \cdot 3 = 60\text{m}$  dus  $6 \text{ bar} + 2\text{bar} = 8\text{bar} = 8\text{kPa} = 80 \text{ meter waterkolom}$ ))
- 7.2 Beredeneer waarom je uit kosten oogpunt beter een grotere leidingdiameter kan kiezen dan een kleinere.  
(Door de vorm van de totale kosten, kleinere diameter wordt sneller duurder, dan een grotere diameter, zie plaatje)



Figuur 1 - Aanlegkosten en contante waarde van de energiekosten als functie van de leidingdiameter

- 7.3 Bereken het wrijvingsverlies voor een leiding van 40 km, met een diameter van 1200 mm en een wandruwheid van 1,2 mm. Het debiet door de leiding is 10.000 m<sup>3</sup>/h. ( $v = 10.000 / (0,25 \cdot 3,14 \cdot 1,2 \cdot 1,2) = 2,46 \text{ m/s}$   
 $dH_w = \lambda \cdot (l/D) \cdot (v^2 / (2 \cdot g)) = 0,02 \cdot (4000 / 1,2) \cdot (2,46^2 / (2 \cdot 9,81)) = 20,5 \text{ m}$ )

**Deel II Waterbeheer Antwoorden**

**Niet beschikbaar**