

TU Delft
Faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen
Sectie Gezondheidstechniek

Tentamen CT3420 - Gezondheidstechniek

Datum : 2 april 2008
Tijd : 14.00 - 17.00

Er zijn 4 vragen. 1 over waterchemie (25%), 1 over drinkwaterzuivering (25%), 1 over riolering (samen 25%) en 1 over afvalwater (25%). 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.

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.

Een overzicht met algemene gegevens is bijgevoegd. U mag geen eigen aantekeningen bij het tentamen houden.

Overzicht vragen

1. Waterchemie
2. Drinkwaterzuivering
3. Riolering
4. Afvalwater

Algemene gegevens

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

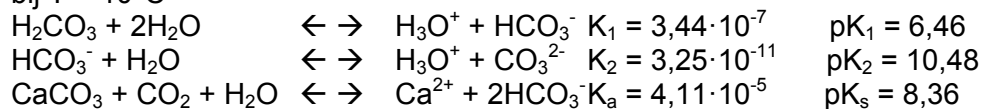
Element	Atoommassa	Element	Atoommassa
H	1	S	32
C	12	Cl	35.5
N	14	K	39
O	16	Ca	40
F	19	Mn	55
Na	23	Fe	56
Mg	24	As	75
Al	27	Pb	207
P	31		

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

Temperatuur [°C]	Dynamische viscositeit [10^{-3} Pa·s]	Kinematische viscositeit [10^{-6} m ² /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:

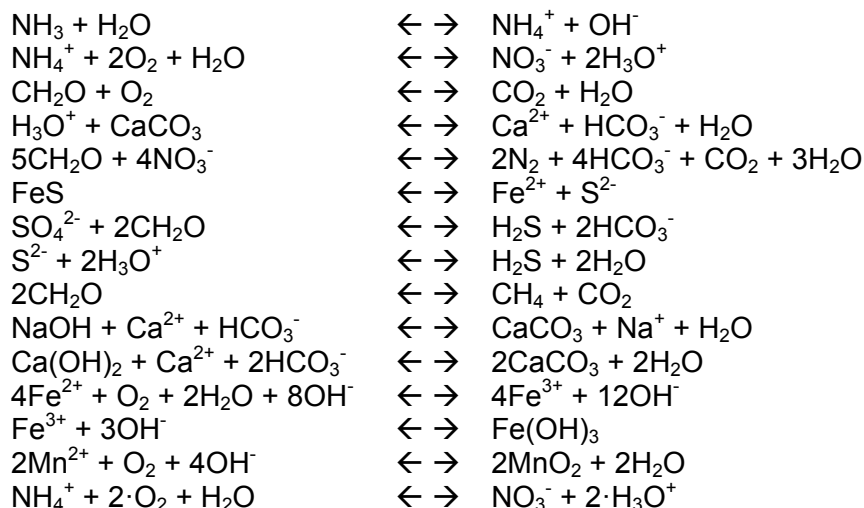
bij $T = 10^{\circ}\text{C}$



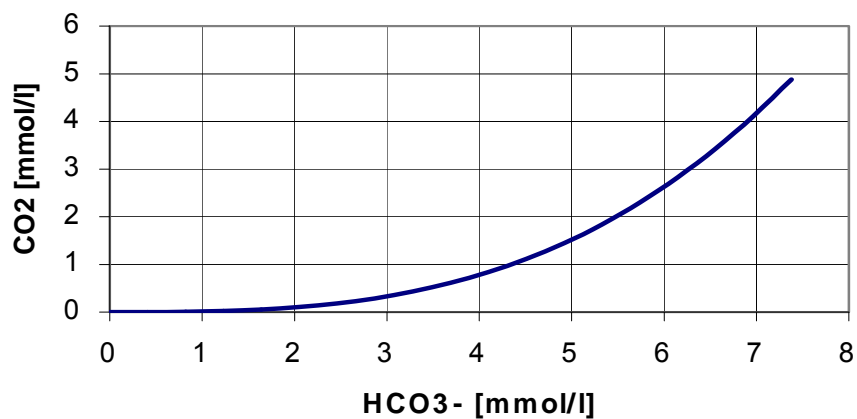
$$SI = \left(\frac{[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]}{K_s} \right) = pH - pH_s$$

$$pH_s = pK_2 - pK_s - \log([\text{Ca}^{2+}][\text{HCO}_3^-])$$

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



Tillmans-curve



Figuur 1 - Tillmans curve

Tabel 3 - Verdelingscoefficient voor de oplosbaarheid in water van verschillende gassen als functie van de temperatuur

H	0°C	10°C	20°C
Stikstof	0,023	0,019	0,016
Zuurstof	0,049	0,039	0,033
Methaan	0,055	0,043	0,034
Kooldioxide	1,710	1,350	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

Relevante formules riolering:

Overlaatformule:

$$Q = mBh^{\frac{3}{2}}$$

Waarin:

- Q debiet in m³/s
- m overlaatcoëfficiënt in m^{0.5}/s
- h dikte overstortende straal in m

Lokale verliezen:

$$\Delta H = \xi \frac{Q|Q|}{2gA^2}$$

Waarin:

- ΔH verlies aan energiehogte in m
- ξ Verliescoëfficiënt (dimensieloos)
- Q debiet in m³/s
- A oppervlakte van de natte doorsnede in m²
- g zwaartekrachtversnelling in m/s²

Wrijvingsverlies in een leiding:

$$\Delta H = \frac{Q|Q|L}{C^2 R_h A^2}$$

Waarin:

- ΔH verlies aan energiehogte in m
- C Chezy coëfficiënt in m^{0.5}/s
- Q debiet in m³/s
- L lengte van de leiding
- R_h hydraulische straal in m
- A oppervlakte van de natte doorsnede in m²

De hydraulische straal R_h is gedefinieerd als:

$$R_h = \frac{A}{P}$$

Waarin:

- A oppervlakte van de natte doorsnede in m²
- P natte omtrek in m

De Chezy coëfficiënt is gedefinieerd als:

$$C = 18^{10} \log \left[\frac{12 R_h}{k_n} \right]$$

Waarin:

- C Chezy coëfficiënt in m^{0.5}/s
- R_h hydraulische straal in m
- k_n wandruwheid in m

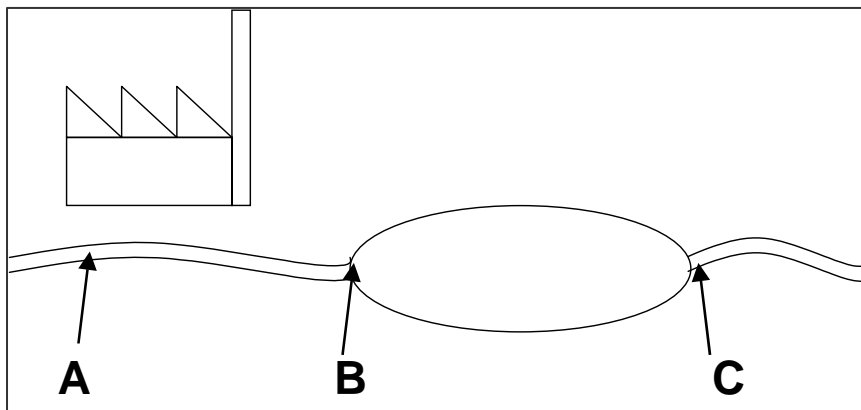
1. Waterchemie

- 1.1 Het ruwe water van een pompstation heft de volgende samenstelling:
 $\text{Ca}^{2+} = 80\text{mg/l}$, $\text{Mg}^{2+} = 2,4\text{ mg/l}$, $\text{Na}^+ = 23\text{ mg/l}$, $\text{HCO}_3^- = 244\text{mg/l}$, $\text{Cl}^- = 35\text{mg/l}$,
 $\text{CO}_2 = 176\text{ mg/l}$. Bereken de SO_4^{2-} -concentratie.
- 1.2 Bereken de pH
- 1.3 Teken het punt in de bijgevoegde Tillmanscurve; is het water agressief of kalkafzettend?
- 1.4 Bereken de pH_s en de SI
- 1.5 Men wil het ruwe water in kalk-koolzuurevenwicht brengen door het te beluchten. Geef in de bijgevoegde Tillmanscurve aan hoe de watersamenstelling verandert.
- 1.6 Bereken hoeveel CO_2 er verwijderd moet worden om het evenwicht te bereiken?
- 1.7 Als alternatief overweegt men om het water in kalk-koolzuurevenwicht te brengen door het filtreren over marmer. Geef in de bijgevoegde Tillmanscurve aan hoe de watersamenstelling verandert.
- 1.8 Beschrijf globaal wat de verschillen zijn in watersamenstelling bij het evenwicht in vergelijking tot het alternatief met beluchting.
- 1.9 Beschrijf de betekenis van de begrippen TOC, DOC, NOM en AOC
- 1.10 Geef de orde van grootte van de concentratie in Rijnwater van NOM, AOC en geneesmiddelen.

2. Drinkwaterzuivering

- 2.1 Een grondwaterpompstation bestaat uit versproeiing, droogfiltratie, torenbeluchting en natfiltratie. Geef aan om wat voor soort grondwater het hier zal gaan en welke componenten in de verschillende zuiveringsstappen worden verwijderd.
- 2.2 In het droogfilter blijkt de pH te dalen, verklaar waardoor dit veroorzaakt wordt
- 2.3 Van het natfilter bedraagt de T_q 20 uur en de T_r 30 uur. Geef aan wat de nadelen hiervan zijn en wat voor verbeteringen U in het ontwerp en de bedrijfsvoering kunt voorstellen, incl de voor- en nadelen
- 2.4 Een beluchtingstoren heeft een rendement van 90% voor de zuurstofinbreng en 60% voor de verwijdering van CO_2 . Verklaar het verschil.
- 2.5 Het gewenste rendement voor CO_2 is 90%. Geef een aantal mogelijkheden om het rendement van de bestaande toren te verhogen, inclusief voor en nadelen.

Een rioolwaterzuiveringsinstallatie loost gezuiverd afvalwater ter hoogte van punt A op een kanaal (zie figuur 2). De hoeveelheid afvalwater die geloosd wordt bedraagt $10 \text{ m}^3/\text{h}$. Het kanaal heeft een lengte van 10 km, een breedte van 6 m en een diepte van 1 m. Het kanaal stroomt uit in een meer (punt B) met een diepte van 10 meter, een lengte van 10 km en een breedte van 100 m. De afvoer van het kanaal bedraagt $6 \text{ m}^3/\text{s}$ en het aantal E-coli's in het kanaal bedraagt $1 \cdot 10^{12}$ per liter. Door een niet goed functionerende zuivering bedraagt de concentratie aan E-coli's in het afvalwater $1 \cdot 10^{15}$ E-coli's per liter. De afbraakcoëfficiënt bedraagt $0,5 \text{ d}^{-1}$.



Figuur 2: lozingspunten en meetpunten langs rivier

- 2.6 Bereken het aantal E-coli's dat in het water aanwezig is op punt A en punt B.
- 2.7 Bereken het aantal E-coli's dat in het water aanwezig is op punt C
- 2.8 Welke basiseisen worden traditioneel gesteld aan de zuivering van oppervlaktewater en welke eisen zijn daar de laatste decennia bijgekomen?
- 2.9 Een oppervlaktewaterzuivering bestaat uit een bekken, vlokvorming, bezinking, snelfiltratie, UV-desinfectie, snelfiltratie, langzame zandfiltratie. Het bestrijdingsmiddel atrazine blijkt door de zuivering heen te lopen. Welke

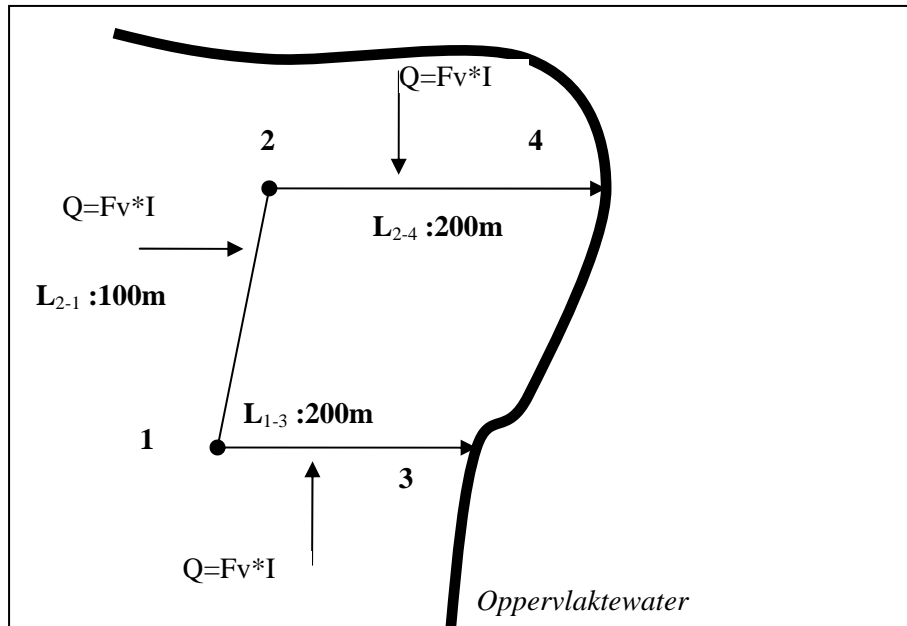
mogelijkheden ziet U om ontwerp en bedrijfsvoering te verbeteren? Noem de voor en nadelen.

- 2.10 In een korrelreactor wordt het water 2 mmol/l onthard. De reactor heeft een oppervlak van 1 m². Het debiet is 100 m³/h. Bereken hoe hoog theoretisch de kalksteenlaag zou worden in 1 jaar tijd als de kalk zich niet via de korrels verwijderd zou worden (neem aan dat de dichtheid van kalksteen 2800 kg/m³ is)

Vraag 3: Riolering

Gegeven een gemengd rioelstelsel als weergegeven in figuur 3.

Equivalentente zandruwheid vlg. Nikuradse	: $k_n = 2 \text{ mm}$
Buisprofiel	: rond
Neerslagintensiteit (I)	: 60 l/(s.ha)
Aantal inwoners	: 300
Afvoerend oppervlak (Fv) streng 1-2	: 6 ha
Afvoerend oppervlak (Fv) streng 1-3	: 2 ha
Afvoerend oppervlak (Fv) streng 2-3	: 4 ha
Overlaat coëfficiënt	: $1,4 \text{ m}^{0,5}/\text{s}$



Figuur 3 – Schematisatie van rioelstelsel

Vragen:

- 3.1 Hoe groot is het totale overstortdebiet naar het oppervlaktewater als het regent met de gegeven neerslagintensiteit ?
- 3.2 Er wordt een pompstation geplaatst om afvalwater en een deel van het regenwater naar een rioelwaterzuivering te pompen. Hoe zou je het totale regenwaterdebiet verdelen tussen pompdebiet en debiet over de overstorten ?
- 3.3 Bereken de verdeling van de debieten over de leidingen als gegeven is dat:
 - streng 1-2 een diameter heeft van 700 mm
 - streng 1-3 een diameter heeft van 800 mm
 - streng 2-4 een diameter heeft van 600 mm(P.S. leg eerst uit hoe je het aanpakt, ga pas daarna rekenen)
- 3.4 Aannemende dat het debiet in streng 1-3 $0,45 \text{ m}^3/\text{s}$ is, bepaal dan de noodzakelijke breedte van de overstortdrempel in put 3 als verder gegeven is dat het peil van het ontvangende oppervlaktewater $0.0 \text{ m} +\text{NAP}$ is en het maaiveld bij put 3 $0.5 \text{ m} +\text{NAP}$. (diameters van de leidingen zijn identiek aan die gegeven in vraag 3).

Vraag 4: Afvalwaterbehandeling

De waterlijn van een RWZI van 100.000 i.e. bestaat uit de volgende onderdelen:

grofrooster:	capaciteit max. 4.500 m ³ /h
vijzelgemaal:	3 vijzels van elk 1.500 m ³ /h
gootzandvanger:	2 goten, elk 2,3m × 24m × 0,9 m (breedte × lengte × diepte)
fijnrooster:	3 stuks, elk 1.500 m ³ /h
voorbezinking:	2 ronde tanks 35m × 2,5m (diameter × zijwaterdiepte)
beluchting:	totaal volume 10.000 m ³ ; slibgehalte 3,5 g/L
nabezinking:	3 ronde tanks 49m × 2m (diameter × zijwaterdiepte)

Het dagdebiet bedraagt 14.000 m³/d, de maximale droogweeraanvoer is 1.100 m³/h en de maximale aanvoer (bij regen) is 4.500 m³/h

Gegevens

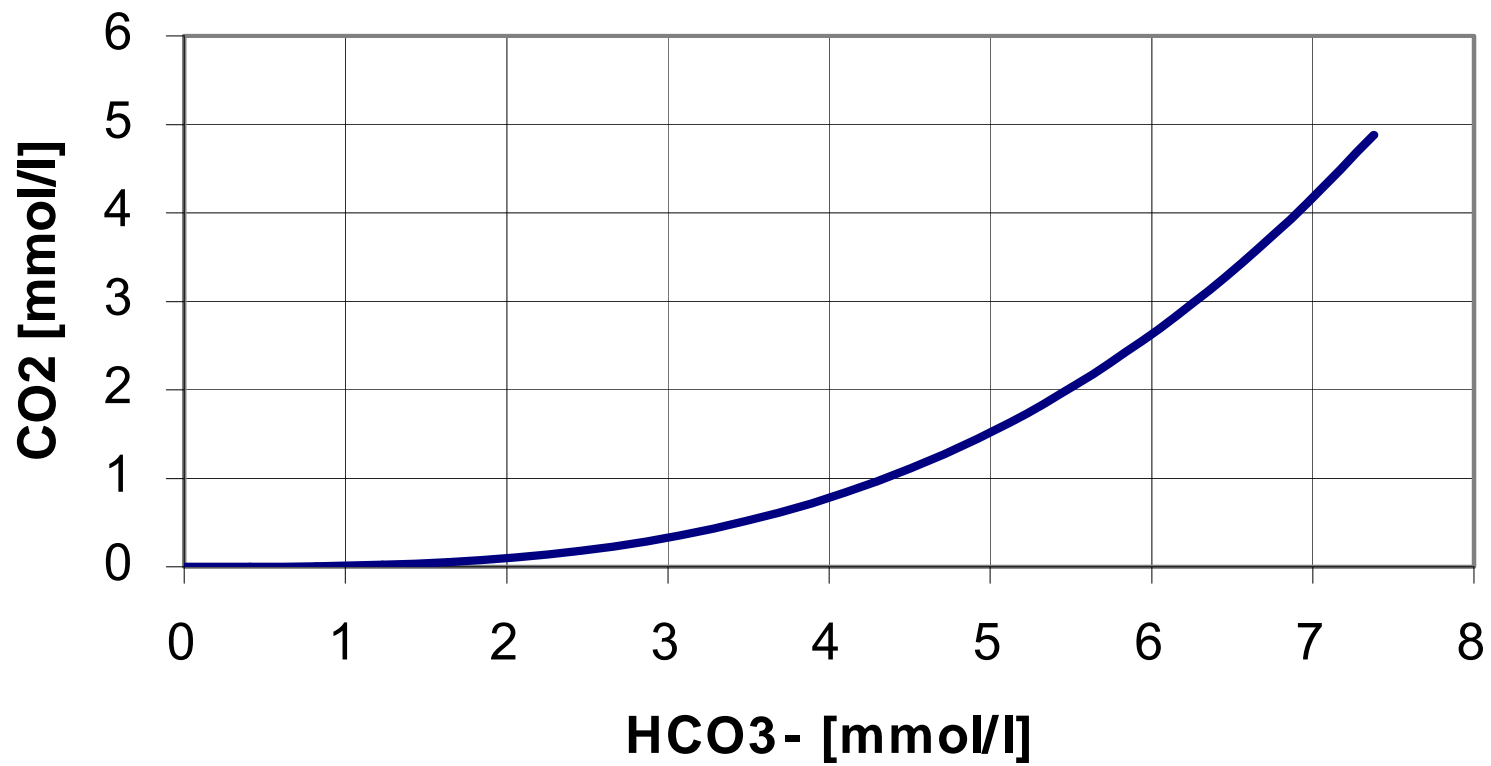
	<u>influent</u>	<u>afloop voorbezinking</u>	<u>effluent</u>	
BZV	200	140	7	mgO ₂ /L
CZV	500	350	50	mgO ₂ /L
Kjeldahl-N	50	45	4	mgN/L
Nitraat	0	0	20	mgN/L
Totaal P	6	5	3	mgP/L

Vragen:

- 4.1 Is de voorbezinking over- of onderbelast? Verklaar uw antwoord.
- 4.2 Controleer de dimensionering van de zandvanger; waarom zal het bezonken materiaal weinig organische stof bevatten?
- 4.3 Bereken de slibbelasting in het actief-slibgedeelte.
- 4.4 Verklaar de daling van het gehalte aan Kjeldahl-N (van 50 naar 4 mg/L); waarom is nitraat in het effluent zo hoog (20 mg/L); hoe zou het nitraat kunnen worden gereduceerd?
- 4.5 Wat is de minimale verblijftijd van het afvalwater in de totale RWZI?
- 4.6 Het fosfaatgehalte voldoet nog niet aan de lozingseis (1 mgP/L); hoe zou dit wel kunnen worden bereikt?
- 4.7 Het verse slib wordt ingedikd en daarna in gistingstanks behandeld; geef een schatting van de inhoud van deze gistingstanks.

Naam:
Studienummer:

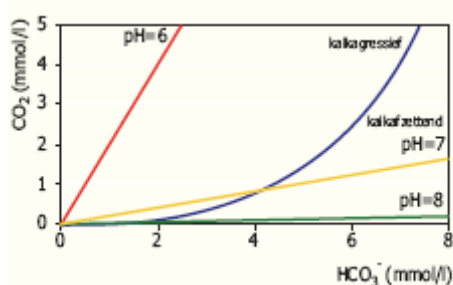
Tillmans-curve



Antwoorden

1. Waterkwaliteit/chemie

- 1.1 Het ruwe water van een pompstation heft de volgende samenstelling:
Ca= 80mg/l, Mg= 2,4 mg/l, Na= 23 mg/l, HCO₃= 244 mg/l, Cl= 35mg/l,
CO₂= 176 mg/l. Bereken de SO₄-concentratie
(antwoord: ionenbalans kationen 5,2 meq/l, anionen 5,0, dus ontbreekt 0,2 meq/l=
9,6 mg/l).
- 1.2 Bereken de pH
(antwoord: $\text{pH} = 6,46 - \log(\text{CO}_2/\text{HCO}_3) = 6,46$)



- 1.3 Teken het punt in de Tillmanscurve; is het water agressief of kalkafzettend?
(antwoord agressief)
- 1.4 Bereken de pHs en de SI
(antwoord: $\text{pH}_s = \text{pK}_2 - \text{pK}_s - \log(\text{Ca} \cdot \text{HCO}_3) = 7,23$
 $\text{SI} = \text{pH} - \text{pH}_s = -0,77$)
- 1.5 Men wil het ruwe water in kalk-koolzuurevenwicht brengen door het te beluchten.
Geef in de Tillmanscurve aan hoe de watersamenstelling verandert.
(antwoord: verticale lijn naar beneden)
- 1.6 Bereken hoeveel CO₂ er verwijderd moet worden om het evenwicht te bereiken?
(antwoord: $\text{pH} = \text{pH}_s = 7,23$. Dus $\log(\text{CO}_2/\text{HCO}_3) = 6,46 - 7,23 = -0,77$. CO₂ wordt dus
0,68 mmol/l, dus 83% verwijdering)
- 1.7 Als alternatief overweegt men om het water in kalk-koolzuurevenwicht te brengen
door het filtreren over marmer.
Geef in de Tillmanscurve aan hoe de watersamenstelling verandert.
(antwoord: lijn naar beneden onder helling 1:2)
- 1.8 Beschrijf globaal wat de verschillen zijn in watersamenstelling bij het evenwicht in
vergelijking tot het alternatief met beluchting.
(antwoord: Ca wordt hoger, HCO₃ 2 keer hoger, pH lager, CO₂ hoger)
- 1.9 Beschrijf de betekenis van de begrippen TOC, DOC, NOM en AOC
(antwoord: TOC = Total Organic Carbon, DOC= Dissolved Organic Carbon, NOM=
Natural Organic Matter, AOC= Assimilable Organic Carbon)
- 1.10 Geef de orde van grootte van de concentratie in Rijnwater van NOM, AOC en
geneesmiddelen.
(antwoord: mg/l, ug/l, ng/l)

2. Drinkwaterzuivering

- 2.1 Een grondwaterpompstation bestaat uit versproeiing, droogfiltratie, torenbeluchting
en natfiltratie. Geef aan om wat voor soort grondwater het hier zal gaan en welke
componenten in de verschillende zuiveringsstappen worden verwijderd.
(antwoord; diep anaeroob grondwater, versproeiing voor inbreng O₂ en verwijdering
CO₂, droogfiltratie voor NH₄, Fe, Mn, torenbeluchting voor CO₂, natfiltratie polijsten)

- 2.2 In het droogfilter blijkt de pH te dalen, verklaar waardoor dit veroorzaakt wordt.
(antwoord: zuurvorming tgv nitrificatie en ontijzering/ontmanganing)
- 2.3 Van het natfilter bedraagt de T_q 20 uur en de T_r 30 uur. Geef aan wat de nadelen hiervan zijn en wat voor verbeteringen U in het ontwerp en de bedrijfsvoering kunt voorstellen, incl. de voor- en nadelen
(antwoord: T_q is minder dan 24 uur en minder dan T_r , dus niet OK, verbeteringen door fijner zand te kiezen (erg praktisch), eventueel hoger bed (kan dit wel ivm bouwhoogte, eventueel dubbellaags, eventueel opwaarts filter, voorzuivering verbeteren)
- 2.4 Een beluchtingstoren heeft een rendement van 90% voor de zuurstofinbreng en 60% voor de verwijdering van CO_2 . Verklaar het verschil.
(antwoord: CO_2 heeft hogere k_d waarde)
- 2.5 Het gewenste rendement voor CO_2 is 90%. Geef een aantal mogelijkheden om het rendement van de bestaande toren te verhogen, inclusief voor en nadelen.
(antwoord: verhogen RQ, erg praktisch; ander contactmateriaal, helpt ook, meestroom veranderen in tegenstroom, prima, hogere toren, niet zo praktisch, lager debiet, niet zo praktisch)
- 2.6 Een rioolwaterzuiveringsinstallatie lost gezuiverd afvalwater ter hoogte van punt A een kanaal (zie figuur 2). De hoeveelheid afvalwater die geloosd wordt bedraagt $10 \text{ m}^3/\text{h}$. Het kanaal heeft een lengte van 10 km, een breedte van 6 m en een diepte van 1 m. Het kanaal stroomt uit in een meer met een diepte van 10 meter, een lengte van 10 km en een breedte van 100 m. De afvoer van het kanaal bedraagt $6 \text{ m}^3/\text{s}$ en het aantal E-coli's in het kanaal bedraagt $1 \cdot 10^{12}$ per liter. Door een niet goed functionerende zuivering bedraagt de concentratie aan E-coli's in het afvalwater $1 \cdot 10^{15}$ E-coli's per liter. De afbraakcoëfficiënt bedraagt $0,5 \text{ d}^{-1}$.
Bereken het aantal E-coli's dat in het water aanwezig is op punt A en punt B.
(antwoord: Bij punt A $8,77e^{12}/(10/3600+6) = 1,46e^{12}$
Van punt A naar punt B propstrooming dus $N_e = N_0 \cdot \exp(-k \cdot T)$
 $v = Q/A = 6/6 = 1 \text{ m/s}$
 $T = L/v = 10000/1 = 10000 \text{ sec} = 2,77 \text{ uur}$
 $N_e = 1,46e^{12} \cdot \exp(-0,5 \cdot 2,778) = 1,38e^{12}$)
- 2.7 Bereken het aantal E-coli's dat in het water aanwezig is op punt C.
(antwoord: bij punt C menging
Verblijftijd in meer = $1e^7/(6 \cdot 3600 \cdot 24) = 19,3$ dagen
 $N_e = 1,38e^{12}/(1+0,5 \cdot 19,3) = 1,30e^{11}$)
- 2.8 Welke basiseisen worden traditioneel gesteld aan de zuivering van oppervlaktewater en welke eisen zijn daar de laatste decennia bijgekomen?
(antwoord: selectieve inname, verwijdering troebeling, geur en smaakstoffen, desinfectie, erbij desinfectiebijproducten en BM)
- 2.9 Een oppervlaktewaterzuivering bestaat uit een bekken, vlokvorming, bezinking, snelfiltratie, UV-desinfectie, snelfiltratie, langzame zandfiltratie. Het bestrijdingsmiddel atrazine blijkt door de zuivering heen te lopen. Welke mogelijkheden ziet U om ontwerp en bedrijfsvoering te verbeteren?
Noem de voor en nadelen.
(antwoord: poederkool doseren voor vlokvorming, goede noodmaatregel, actief koolfilter bijbouwen, kost tijd, maar goede structurele oplossing, H_2O_2 doseren bij UV, nadeel effect op biologische stabiliteit, saneren bron.)
- 2.10 In een korrelreactor wordt het water 2 mmol/l onthard. De reactor heeft een oppervlak van 1 m^2 . Het debiet is $100 \text{ m}^3/\text{h}$. Bereken hoe hoog theoretisch de kalksteenlaag zou worden in 1 jaar tijd als de kalk zich niet via de korrels verwijderd zou worden (neem aan dat de dichtheid van kalksteen 2800 kg/m^3 is).
(antwoord: volume door reactor per jaar: $365 \cdot 24 \cdot 100 = 876000 \text{ m}^3$
Afgezette massa kalk per jaar = $876000 \cdot 0,2 = 175200 \text{ kg}$
Afgezette hoeveelheid per jaar = $175200/2800 = 62,56 \text{ m}^3$
Hoogte = $62,56/1,0 = 62,56 \text{ m}$)