

TU Delft  
Faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen  
Subfaculteit Civiele Techniek  
Sectie Gezondheidstechniek

Tentamen CT3420 - Gezondheidstechniek

Datum : 4 april 2007  
Tijd : 14.00 - 17.00

Er zijn 4 vragen die even zwaar zullen worden gewogen. 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.

Overzicht vragen

1. Grondwater
2. Oppervlaktewater
3. Riolering
4. Afvalwaterbehandeling

## Algemene gegevens

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

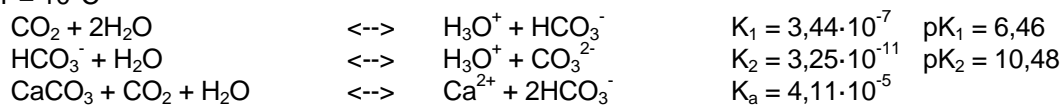
| Element | Atoommassa | Element | Atoommassa |
|---------|------------|---------|------------|
| H       | 1          | S       | 32         |
| C       | 12         | Cl      | 35.5       |
| N       | 14         | K       | 39         |
| O       | 16         | Ca      | 40         |
| F       | 19         | 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.

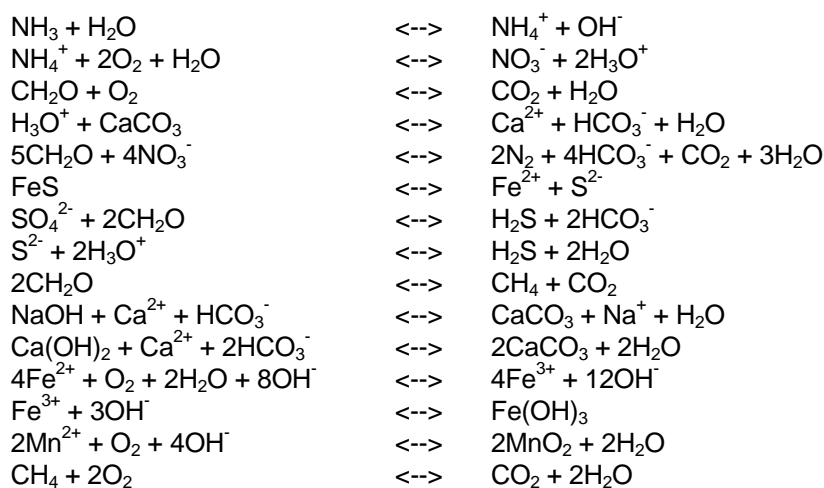
| Temperatuur [°C] | Dynamische viscositeit [ $10^{-3}$ Pa·s] | Kinematische viscositeit [ $10^{-6}$ m <sup>2</sup> /s] |
|------------------|--|---|
| 0                | 1,79                                     | 1,79  |
| 5                | 1,52                                     | 1,52  |
| 10               | 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:  $\frac{dc}{dt} = k_2 \cdot (c_s - c), \quad \frac{c_s - c}{c_s - c_0} = e^{-k_2 \cdot t}$



Toelaatbare oppervlaktebelasting zandvangens = 40 m/h

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 | 0,039 | 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                          |

## 1. Grondwater

Een pompstation met een capaciteit van 1 miljoen m<sup>3</sup> per jaar maakt gebruik van freatisch grondwater als bron voor het drinkwater. Het opgepompte water (zie tabel 1) voldoet niet aan de eisen zoals gesteld in het Waterleidingbesluit. Vandaar dat zuivering wordt toegepast. Het zuiveringsschema bestaat uit beluchting/ontgassing gevolgd door marmerfiltratie.

| Parameter                     | Eenheid | Ruwe water | Reine water |
|-------------------------------|---------|------------|-------------|
| Temperatuur                   | °C      | 10         | 10          |
| pH                            | -       | ?          | ?           |
| EGV                           | mS/m    | 9.3        | 14.3        |
| SI                            | -       | -3.4       | ?           |
| Troebelheid                   | NTU     | -          | < 0.1       |
| Na <sup>+</sup>               | mg/l    | 8.1        | 7.9         |
| Ca <sup>2+</sup>              | mg/l    | 8.6        | ?           |
| Mg <sup>2+</sup>              | mg/l    | 1.6        | 1.6         |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | mg/l    | 21         | ?           |
| O <sub>2</sub>                | mg/l    | 4.2        | 8           |
| CO <sub>2</sub>               | mg/l    | 33         | ?           |
| CH <sub>4</sub>               | mg/l    | 0.2        | 0.05        |
| H <sub>2</sub> S              | mg/l    | 0.1        | 0.05        |
| Fe <sup>2+</sup>              | mg/l    | 0.06       | 0.03        |
| Mn <sup>2+</sup>              | mg/l    | 0.02       | < 0.01      |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | mg/l    | 0.01       | < 0.01      |
| DOC                           | mg/l    | < 0.2      | < 0.2       |

- 1.1 Bereken de pH van het ruwe water
- 1.2 Wat is de functie van marmerfiltratie? Is er nog andere techniek die voor dezelfde functie gebruikt kan worden?
- 1.3 In dit zuiveringsschema wordt geen natfiltratie toegepast. Wat is normaal de functie van natfiltratie bij een grondwaterzuivering en waarom wordt deze hier niet toegepast
- 1.4 Na beluchting is de CO<sub>2</sub>-concentratie 22 mg/l. Wat is na marmerfiltratie de pH bij evenwicht en hoeveel CaCO<sub>3</sub> (in kg per jaar) is hiervoor nodig?

Recent zijn in het aerobe grondwater verontreinigingen met bestrijdingsmiddelen aangetroffen. Daarom overweegt het waterleidingbedrijf om water van diepere beschermde grondlagen te onttrekken. Eerste putboringen geven de volgende waterkwaliteit aan: Fe<sup>2+</sup> = 1 mg/l, Mn<sup>2+</sup> = 0.4 mg/l, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> = 3 mg/l, Ca<sup>2+</sup> = 80 mg/l, Mg<sup>2+</sup> = 5 mg/l, CH<sub>4</sub> = 3 mg/l

- 1.5 Bereken de zuurstofconsumptie voor volledige omzetting van deze stoffen. Geef de globale zuiveringsopzet van dit nieuwe grondwaterpompstation.

## 2. Oppervlaktewaterzuivering

Het oostelijk gedeelte van Amsterdam wordt gevoed door drinkwater komend vanaf zuiveringslocatie Weesperkarspel. Het zuiveringsschema is als volgt:

- Inname van water
- Coagulatie en vlokvorming
- Waterleidingbekken
- Natfiltratie
- Ozonisatie
- Ontharding
- Actieve koolfiltratie
- Langzame zandfiltratie

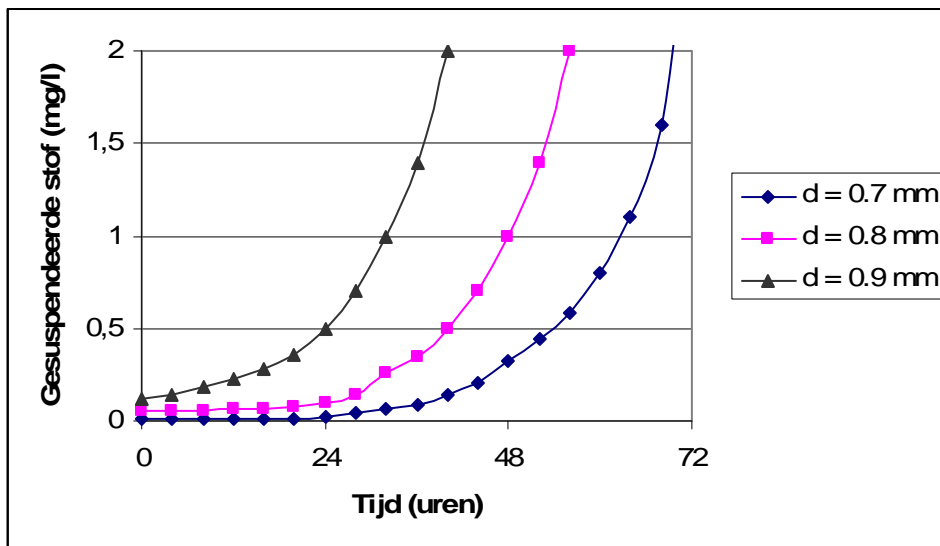
Van het bekken zijn de volgende gegevens bekend: Volume is 6.9 mln m<sup>3</sup>, oppervlak bekken is 130 ha (1.300.000 m<sup>2</sup>), toegestane peilvariatie is 0.5 meter. Het gemiddelde debiet van de zuivering bedraagt 3000 m<sup>3</sup>/h.



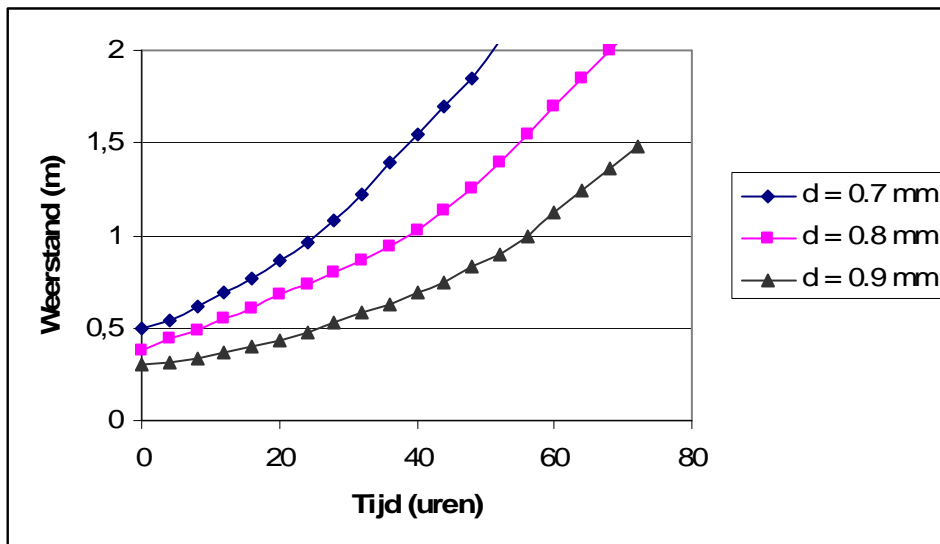
- 2.1 Wat zijn de verschillende functies die een bekken kan hebben. Toon met een berekening welke van deze functies op dit bekken van toepassing zijn.

In het bekken is een strekdam geplaatst (zie plaatje). Hierdoor is getracht de propstroming beter te benaderen. In het ruwe water zijn  $5 \cdot 10^9$  bacteriën per m<sup>3</sup> aanwezig. De afbraak/afstervingscoëfficiënt van deze bacteriën bedraagt  $0.2 \text{ d}^{-1}$ .

- 2.2 Beredeneer of de aanleg van de strekdam effectief is. Bereken hiervoor het aantal bacteriën aan het einde van het propstroom bekken en aan het einde van een volledige gemengde bekken met eenzelfde inhoud.
- 2.3 In dit zuiveringsschema wordt natfiltratie toegepast. Wat is normaal de functie van natfiltratie bij een oppervlaktewater en waarom wordt deze hier toegepast?
- 2.4 De zuivering is gebaseerd op het meervoudig barrière concept (multiple barrier approach). Geef aan welke barrières er zijn voor respectievelijk bacteriën en organische microverontreinigingen.
- 2.5 In totaal zijn er 24 natfilters. Het oppervlak van een enkel natfilter bedraagt 48 m<sup>2</sup>. De porositeit van het filterbed bedraagt 40%. Bereken de effectieve filtratiesnelheid.
- 2.6 Met behulp van een filtratiekolom ( $L = 0,75\text{m}$ ) zijn in het verleden proeven uitgevoerd om de korreldiameter van de natfiltratie te bepalen. De resultaten van de proeven staan weergegeven in afb. 1 en 2. Beredeneer welke diameter gekozen is wanneer voor gesuspendeerde stoffen een eis geldt van 0,5 mg/l en de maximale hydraulische weerstand in het filterbed kleiner dan 1 m moet zijn.



Afb. 1 – Effluentkwaliteit als functie van de tijd voor verschillende korreldiameters.



Afb. 2 – Weerstandverloop als functie van de tijd voor verschillende korreldiameters.

### Vraag 3 Riolering

Gegeven een gemengd rioelstelsel als weergegeven in afbeelding 3.

Equivalentte zandruwheid vlgs. Nikuradse:

$k_n = 2 \text{ mm}$

Buisprofiel:

rond

Neerslagintensiteit:

$60 \text{ l/(s.ha)}$

Aantal inwoners:

300

Afvoerend oppervlak streng 1-2:

4 ha

Afvoerend oppervlak streng 1-3:

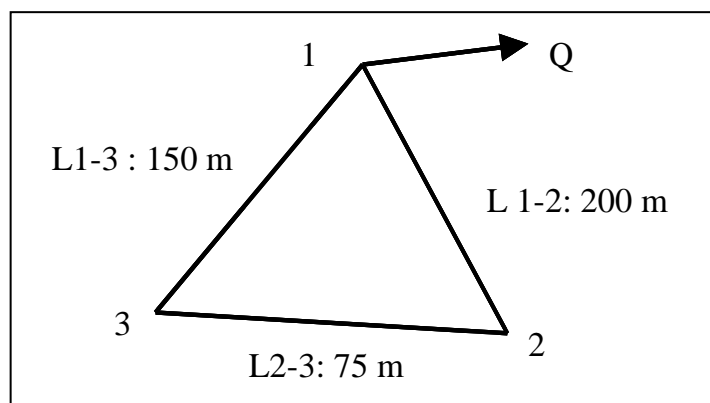
6 ha

Afvoerend oppervlak streng 2-3:

2 ha

Overlaat coëfficiënt

$1,4 \text{ m}^{0,5}/\text{s}$



Afb. 3 – Schematisatie gemengd rioelstelsel

#### Gevraagd:

- 3.1 Hoe groot is het debiet Q maximaal?
- 3.2 Hoe zou je het debiet Q verdelen over pompcapaciteit en capaciteit van een overstort ?
- 3.3 Bereken de verdeling van de debieten over de leidingen als gegeven is dat:  
streng 1-2 een diameter heeft van 600 mm  
streng 1-3 een diameter heeft van 700 mm  
streng 2-3 een diameter heeft van 300 mm  
(P.S. leg eerst uit hoe je het aanpakt, ga pas daarna rekenen)
- 3.4 Aannemende dat het debiet in streng 1-3  $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$  is en dat deze streng maatgevend is voor de wrijvingsverliezen, bepaal dan de noodzakelijke breedte van de overstortdrempel in put 1 als verder gegeven is dat het peil van het ontvangende oppervlaktewater  $0.0 \text{ m} +\text{NAP}$  is en het maaiveld overal  $1.0 \text{ m} +\text{NAP}$ . (diameters van de leidingen zijn identiek aan die gegeven in vraag 3.3).

#### 4. Afvalwaterbehandeling

##### Gegevens

In Winterswijk wordt het afvalwater van de gehele gemeente behandeld in een rwzi. De biologische capaciteit bedraagt 40.000 v.e. en de hydraulische capaciteit is 2.000 m<sup>3</sup>/h. De rwzi bestaat in grote lijnen uit de volgende onderdelen:

- een ontvangput, waarin enkele persleidingen, waardoor het afvalwater wordt aangevoerd, uitmonden;
- een fijnrooster met een spleetbreedte van 5 mm met een capaciteit van maximaal 2.000 m<sup>3</sup>/h;
- een vlakzandvanger, vierkant met afmetingen 8 m \* 8 m (breedte \* lengte), waarbij het afbezonden materiaal in een aparte unit gewassen wordt;
- een omloopcircuit met 3 puntbeluchters (Carroussel); inhoud 10.000 m<sup>3</sup>, waterdiepte 4 m;
- 2 nabezinktanks elk met een diameter van 40 m en een zijwaterdiepte van 2 m;
- 1 indikker met een diameter van 8 m en een zijwaterdiepte van 4 m, waarin het surpluslib wordt ingedikt.

Verdere gegevens:

- $Q_{\text{dwa-max}} = 500 \text{ m}^3/\text{h}$
- $Q_{\text{dag}} = 6.000 \text{ m}^3/\text{d}$
- BZV per v.e. = 54 g/d
- slibproductie per v.e. = 40 g ds/d
- slibgehalte = 4 kg/m<sup>3</sup>
- slibvolume-index (SVI) = 120 mL/g ds



## Vragen

- 4.1 Controleer aan de hand van de oppervlaktebelasting of de zandvanger juist is gedimensioneerd. Wat moet de waterdiepte minimaal zijn?
- 4.2 Wat is de gemiddelde verblijftijd van het afvalwater in de rwzi?
- 4.3 Wat is de slibbelasting van het actiefslibstelsel? Is het daarmee een hoog- of laagbelast systeem?
- 4.4 Bereken de gemiddelde BZV van het influent. Schat de BZV van het effluent.
- 4.5 Bereken het benodigde retourslibdebiet onder dwa-condities
- 4.6 Bereken de drogestofbelasting van de slibindikker.
- 4.7 Hoe vindt in de beluchtingstank nitrificatie en denitrificatie plaats?
- 4.8 Hoe kan ook biologische fosfaatverwijdering worden gerealiseerd?
- 4.9 Wat is de oppervlaktebelasting van de nabezinktanks?
- 4.10 Wat zou een dergelijke installatie kosten (aan investering)? 10, 20, 40, 80 M€?