

Tentamen CT3420 – Civiele gezondheidstechniek

Datum : 1 april 2009
Tijd : 14.00 – 17.00

Het tentamen bestaat uit 3 delen, te weten drinkwater, riolering en behandeling van afvalwater. Elk deel telt voor 33 % 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 CT3420 – Civiele Gezondheidstechniek

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

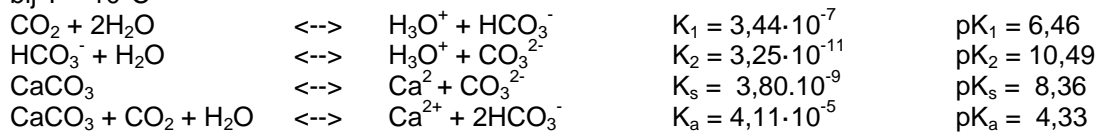
Element	Atoommassa	Element	Atoommassa
H	1	S	32
C	12	Cl	35,5
N	14	K	39
O	16	Ca	40
F	19	Mn	55
Na	23	Fe	56
Mg	24	As	75
Al	27	Pb	207
P	31		

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°C



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

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

Wet van Henry $c_s = k_d \cdot c_g$ (mol/m³)

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

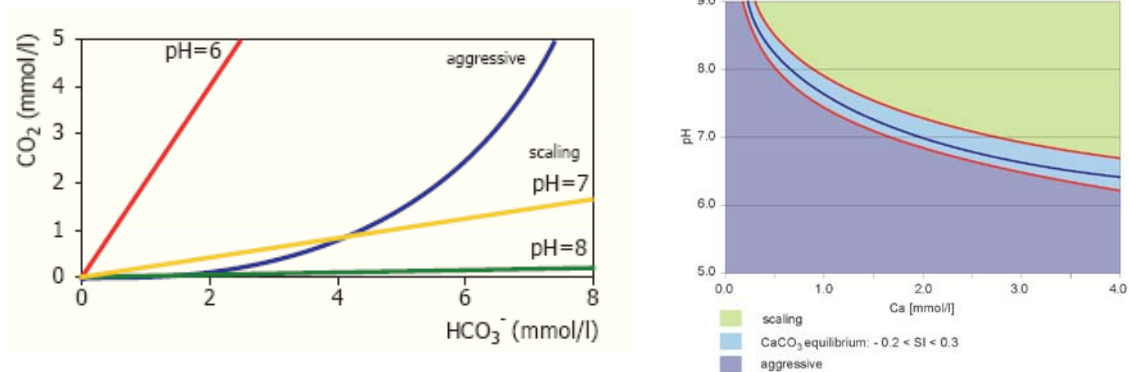
Relevante formules drinkwaterdistributiesystemen

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

$$\lambda = 0.02$$

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

Totale kosten transportleiding $K_{\text{totaal}} = 19,2 \cdot 16,7 \cdot Q^3 \cdot D^{-5} \cdot L + 500 \cdot D \cdot L$ (50 jaar)



Figuur 1. Tillmans-curven (links relatie CO₂-HCO₃⁻, rechts relatie Ca-pH)

Relevante formules beluchting/ontgassing

$$K_1 = 1 - e^{(-k_2 \cdot t)}$$

$$K_3 = \frac{1 - e^{(-k_2 \cdot t \cdot (1 + \frac{k_d}{RQ}))}}{1 + \frac{k_d}{RQ}}$$

$$K_5 = \frac{1}{1 + \frac{1}{k_2 \cdot t} + \frac{k_d}{RQ}}$$

$$K_2 = \frac{1}{1 + \frac{1}{k_2 \cdot t}}$$

$$K_4 = \frac{1 - e^{(-k_2 \cdot t \cdot (1 + \frac{k_d}{RQ}))}}{1 - \frac{k_d}{RQ} \cdot e^{(-k_2 \cdot t \cdot (1 + \frac{k_d}{RQ}))}}$$

Relevante formules filtratie

$$l_0 = \frac{H_0}{L} = 180 \cdot \frac{v}{g} \cdot \frac{(1 - p_0)^2}{p_0^3} \cdot \frac{v}{d_0^2}$$

$$H = 130 \cdot \frac{v^{0.8}}{g} \cdot \frac{(1 - p_e)^{1.8}}{p_e^3} \cdot \frac{v^{1.2}}{d^{1.8}} \cdot L_e$$

Relevante formules bezinking

$$v_s = \frac{1}{18} \cdot \frac{g}{\nu} \cdot \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \cdot d^2$$

$$Re = \frac{v_o \cdot R}{\nu}$$

$$c_p = \frac{v_o^2}{g \cdot R}$$

Relevante formules riolering:

Overlaatformule:

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

Waarin:

Q	debiet in m ³ /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 m ³ /s
A	oppervlakte van de natte doorsnede in m ²
g	zwaartekrachtversnelling in m/s ²

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 m ³ /s
L	lengte van de leiding
R_h	hydraulische straal in m
A	oppervlakte van de natte doorsnede in m ²

De hydraulische straal R_h is gedefinieerd als:

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

Waarin:

A	oppervlakte van de natte doorsnede in m ²
P	natte omtrek in m

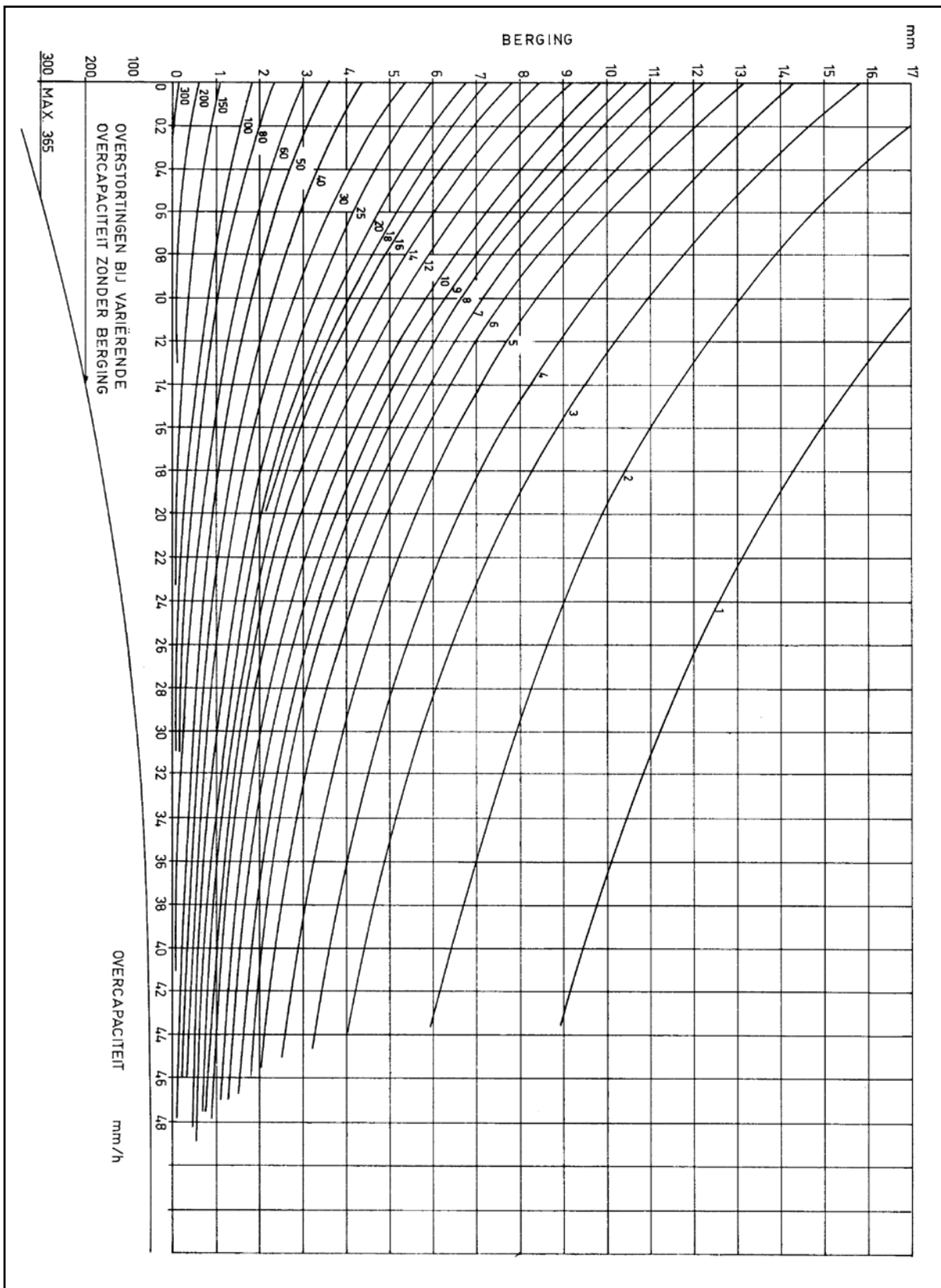
De Chezy coëfficiënt is gedefinieerd als:

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

Waarin:

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

Veldkampgrafiek



Figuur 2 - Veldkampgrafiek

Deel I Drinkwater

Vraag 1 Grondwater

De zuivering van PS Het Groene Hart (drinkwaterbedrijf Oasen) bestaat uit:
Versproeiing – droogfiltratie – torenbeluchting – ontharding - natfiltratie.

De samenstelling van het ruwe water is:

Ca^{2+} 100 mg/l, Mg^{2+} 12 mg/l, Na^+ 23 mg/l, Fe^{2+} 5,6 mg/l, NH_4^+ 5,1 mg/l
 HCO_3^- 306 mg/l, SO_4^{2-} 48 mg/l, Cl^- 35 mg/l, CO_2 44 mg/l

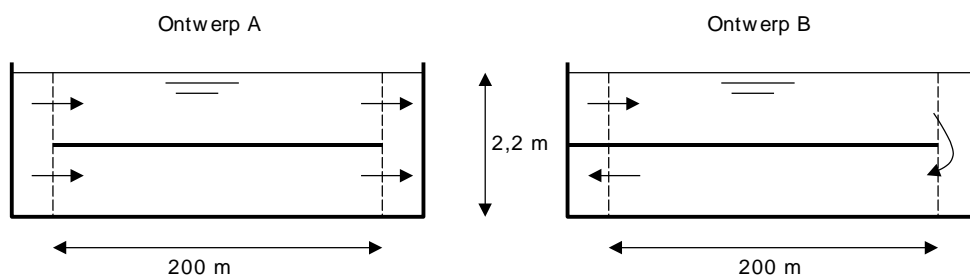
- 1.1. Beschrijf de functie van elk zuiveringsproces, geef (kwantitatief) aan hoe de samenstelling van het water per proces verandert en wat de samenstelling van het drinkwater zal zijn (neem aan dat bij de ontharding 2 mmol/l $\text{Ca}(\text{OH})_2$ wordt gedoseerd).
- 1.2. De torenbeluchting wordt in meestroom bedreven en kent de volgende specificaties: $k_2t = 10$, $\text{RQ} = 5$. Bereken het rendement voor CO_2 verwijdering?
- 1.3. Men wil het rendement voor CO_2 verhogen. Welke maatregelen overweegt u en welke voor- en nadelen hebben ze?
- 1.4. Is het rendement voor O_2 hoger, lager of gelijk aan dat voor CO_2 ?
- 1.5. De korrelreactor blijkt niet naar wens te functioneren; de hardheid na de reactor is 1,7 mmol/l in plaats van de gewenste 1,5 mmol/l. Wat voor maatregelen overweegt u en welke voor- en nadelen hebben ze?
- 1.6. Oasen overweegt om over te stappen van dosering $\text{Ca}(\text{OH})_2$ naar dosering van NaOH. Welke consequenties zal dit hebben voor de waterkwaliteit, de korrelproductie en de bedrijfsvoering?

Vraag 2 Oppervlaktewater

De voorzuivering van PS De Rijn bestaat uit:
Vlokvorming – bezinking - natfiltratie

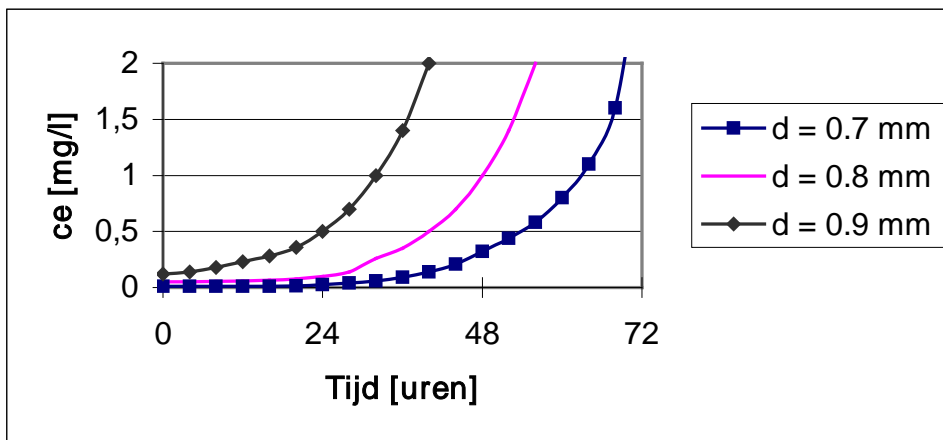
Het Rijn water heeft een troebelheid van 10-200 NTU en een zwevend stof gehalte van 5-50 mg/l.

- 2.1. De bezinktank heeft een lengte van 200 meter, een breedte van 10 meter en een diepte van 2,2 meter. Het debiet door de bezinktank bedraagt 10000 m^3/h . De temperatuur van het water bedraagt 10°C. De bezinktank moet zandkorreltjes ($\rho = 2600 \text{kg}/\text{m}^3$) tegenhouden met een diameter van 0.05 mm. Bereken de bezinksnelheid van de zanddeeltjes.
- 2.2. Controleer of deze bezinktank voldoet aan de eis met betrekking tot oppervlaktebelasting.
- 2.3. Om de stromingscondities te verbeteren dient de bezinktank aangepast te worden. Voor deze aanpassing zijn twee mogelijkheden met een tussenvloer bedacht (zie figuur 3). Motiveer welke van deze twee aanpassingen het hoogste rendement zal opleveren.

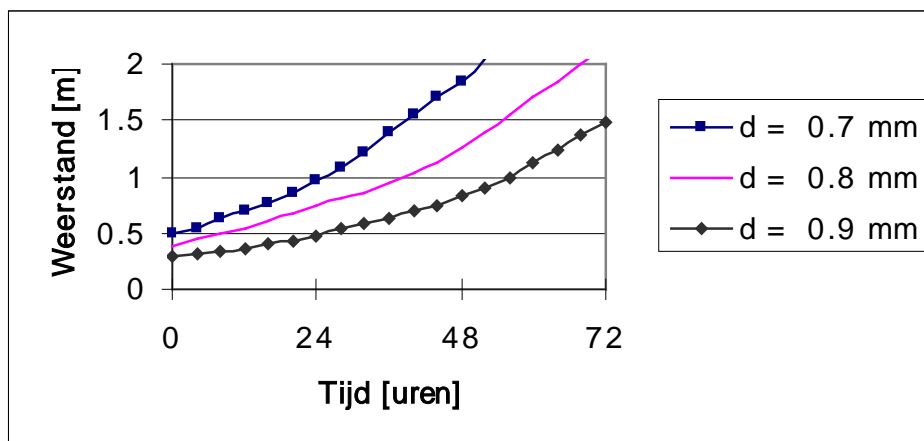


Figuur 3 – Bezinktankconfiguratie met tussenvloer.

Met behulp van een filtratiekolom ($L = 0,75\text{m}$) zijn proeven uitgevoerd om de korreldiameter van een nieuw te bouwen snelfiltratie installatie te bepalen. De resultaten van de proeven staan weergegeven in figuren 4 en 5.



Figuur 4 - Effluentkwaliteit als functie van de tijd voor verschillende korreldiameters.



Figuur 5 - Weerstandverloop als functie van de tijd voor verschillende korreldiameters.

- 2.4 Welke diameter kiest u wanneer voldaan moet worden aan de eis dat c_e kleiner dan $0,5\text{ mg/l}$ en weerstand kleiner dan 1 m is? Licht uw antwoord toe.
- 2.5 Indien de looptijd van het filter 36 uur moet te bedragen, hoe groot dient dan de bovenwaterstand te zijn voor een filter met een korreldiameter van $0,8\text{ mm}$ om negatieve drukken in het filterbed te voorkomen?
- 2.6 De schoonbed weerstand van het filter dat gevuld is met filtermateriaal met een korreldiameter van $0,9\text{ mm}$ bedraagt $0,5\text{ m}$. Bereken hoe groot de schoonbed weerstand is wanneer het filter gevuld is met filtermateriaal met een korreldiameter van $0,7\text{ mm}$.

Deel 2 Afvalwaterbehandeling

Vraag 3 Afvalwaterzuivering in Rotterdam

De zuivering Dokhaven te Rotterdam is de grootste zuivering van Waterschap Hollandse Delta en behandelt een vracht van 620.000 i.e.

De Q_{dwa} -gemiddeld = 120.000 m³/d

De Q_{rwa} -max = 19.000 m³/h.

Influent BZV = 350 mg/l

De zuivering bestaat uit (in volgorde van plaats):

- Grof rooster
- Beluchte zandvang
- Chemische P-verwijdering
- Biologische zuivering
- Nabezinking.
- Slibindikking en slibgisting

De biologische zuivering bestaat uit een zgn. A-B twee-trap systeem.

- 3.1 Beschrijf de werking van een AB systeem. Wat is het grote verschil met een gemengde 1-traps zuivering met het oog op slibbelasting, slibproductie, benodigde proces units en benodigd volume van de biologische reactor?
- 3.2 De gemiddelde hydraulische verblijftijd in de A-trap is 30 min. Bereken de gemiddelde slibbelasting bij een slibconcentratie van 2,5 g MLSS/l
- 3.3 Kun je in de A-trap nitrificatie verwachten?
- 3.4 De B-trap wordt uiterst laag belast met een gemiddelde slibbelasting van 0,01 kg BZV/kg MLSS.dag. Bereken de slibconcentratie in de B-trap indien de A-trap 80% BZV verwijdert en de hydraulische verblijftijd in de B-trap zo'n 5 dagen bedraagt.
- 3.5 Waarom is de BZV verwijdering zo hoog in de A-trap?
- 3.6 Verwacht u nitrificatie in de B-trap. Verklaar uw antwoord
- 3.7 Momenteel wordt een deel van het effluent gerecirculeerd naar de voorzuivering/rooster. Kan er op dit moment stikstofverwijdering plaatsvinden in de zuivering? Zo ja, op welke wijze gebeurt dat dan?
- 3.8 Het zuiveringsschap overweegt een nageschakelde denitrificatie om de totaal N te verlagen in het effluent. Er moet 1150 kg N/d worden verwijderd. Hoeveel kg methanol (CH₃OH) moet worden toegediend? Methanol heeft een CZV waarde van 1,5 g CZV/ g methanol

Vraag 4 Afvalwaterzuivering in Egypte

Een deel van de Alexandrie (Egypte) overweegt een rioolwaterzuiverings-installatie te bouwen met dezelfde omvang als Dokhaven (62.000 i.e). De BZV concentratie is echter 500 mg/l en de CZV/BZV ratio = 2:1.

- 4.1 Wat is het ontwerp debiet (Q_{dwa} -gemiddeld) van deze zuivering?

Omwille van energieoverwegingen kiest de stad voor een anaerobe zuivering, type UASB als alternatief. De ontwerpgrondslagen bedragen:

- gemiddelde hydraulische verblijftijd (θ) = 10 hr,
- gemiddelde slibbelasting = 0,05 kg CZV/kg MLSS.dag

4.2 Bereken het benodigde volume van de UASB, uitgaand van een gemiddelde slibconcentratie van 40 kg MLSS/m³, een opstroomsnelheid (volumetrische oppervlaktebelasting) van 0,7 m/h en een hoogte van de reactor van 5 m.

Deel 3 Riolering

Vraag 5

- 5.1 Benoem de voor- en nadelen van een vertakt en van een vermaasd rioolstelsel.
- 5.2 Leg de methode van Cross uit, benoem hierbij elke stap die de methode omvat.
- 5.3 Een gemengd rioolstelsel heeft een inhoud beneden de laagste drempel van 700 m^3 en een pompovertcapaciteit van $90 \text{ m}^3/\text{h}$, het totale afvoerende verharde oppervlak is 12 hectare. In het stelsel zit 40 m^3 verloren berging. Bepaal de overstortingsfrequentie voor de beschreven situatie en voor de situatie dat er 25% van het afvoerende verharde oppervlak wordt afgekoppeld.

Deel I Drinkwater

Vraag 1 Grondwater

- 1.1 Versproeiing zorgt voor inbreng O_2 (orde 6 mg/l) en verwijdering CO_2 (orde 50%, dus 22 mg/l). Droogfiltratie verwijdert Fe nagenoeg volledig en zorgt voor omzetting van NH_4 in NO_3 (dus 0,3 mmol/l). Tevens daalt de pH door omzetting Fe en NH_4 , waardoor weer meer CO_2 ontstaat uit HCO_3 .
Torenbeluchting verwijdert het grootste deel van de CO_2 , waardoor de pH stijgt tot orde 7,5-8. Bij de ontharding wordt 2 mmol/l Ca verwijderd en 4 mmol/l HCO_3 , de pH stijgt tot 8-8.5
- 1.2
$$K_3 = \frac{1 - e^{(-k_2 \cdot t \cdot (1 + \frac{k_d}{RQ}))}}{1 + \frac{k_d}{RQ}}$$
 $k_2 t = 10$, $k_d/RQ = 1,23/5 = 0,25$, Invullen levert op $K_3 = 0,75$
- 1.3 Tegenstroom maken, rendement wordt dan vrijwel 100%. Andere opties zijn RQ verhogen, bedhoogte verhogen, debiet verlagen (niet praktisch)
- 1.4 Veel hoger vanwege invloed k_d/RQ
- 1.5 Meer chemicaliën doseren, korreldiameter verkleinen, bedhoogte verhogen, debiet verlagen (niet praktisch)
- 1.6 Veel meer Na in drinkwater, meer HCO_3 , minder oververzadiging, eenvoudiger bedrijfsvoering, duurder chemicalie

Vraag 2 Oppervlaktewater

2.1

$$v_s = \frac{1}{18} \cdot \frac{g}{v} \cdot \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \cdot d^2$$

Dus $v_s = 6$ m/h

2.2 $s_0 = 5$ m/h, voldoet dus.

2.3 In beide ontwerpen halveert s_0 , hetgeen een zeer positief effect heeft. In beide ontwerpen halveert R hetgeen een positief effect heeft op de turbulentie en de stabiliteit. Bij A blijft v_0 gelijk, terwijl deze bij B verdubbelt. Ontwerp A is dus beter, want de stroming wordt minder turbulent en tevens minder risico opwerveling slib.

2.4

	$d = 0,7$ mm	$d = 0,8$ mm	$d = 0,9$ mm
Tq [h]	52	40	24
Tr [h]	26	40	56

Keuze is korreldiameter van 0,8 mm

2.5 $D = H - L \rightarrow D = 0,25$ m

2.6 voor de schoonbedweerstand geldt
 $H_0 = 0.5 = \text{constante} / (0,9 \cdot 10^{-3})^2 \rightarrow \text{constante} = 4,05 \cdot 10^{-7}$

Voor $d = 0,7$ mm is de schoonbedweerstand nu
 $H_0 = 4,05 \cdot 10^{-7} / (0,7 \cdot 10^{-3})^2 = 0,83$ m

Deel 2 Afvalwaterbehandeling

Vraag 3 Afvalwaterzuivering in Rotterdam

Geen antwoorden ontvangen

Vraag 4 Afvalwaterzuivering in Egypte

Geen antwoorden ontvangen

Deel 3 Riolering

Vraag 5

- 5.1 Vertakt
Voordelen:
Verstopping is eenvoudig te detecteren, want zorgt snel voor problemen omdat er voor het water geen alternatieve route is.
Stroomrichting is eenvoudig voorspelbaar, wat een voordeel kan zijn bij detecteren van illegale lozingen
Nadelen:
Minder robuust: bij verstopping treedt snel wateroverlast op
Bij uitbreiding van het stelsel moet de capaciteit van de hoofdroute worden vergroot of een nieuwe hoofdroute worden aangelegd

Vermaasd
Voordelen:
Robuustheid: bij verstopping kan het water via andere route stromen
Flexibiliteit: uitbreiding van het stelsel gemakkelijker in te passen, doordat het water via diverse routes kan stromen
Nadelen:
Alleen toepasbaar in vlakke gebieden, waar de stroomrichting van het water niet bepaald wordt door terreinhelling
Verstopping is lastig te detecteren
Kans op dode punten in het stelsel, met lage stroomsnelheid, kans op ontstaan van zuurstofloosheid en stankoverlast

- 5.2 Uitgangspunt is een maas in een netwerk met bekende aanvoerdebieten (b.v. neerslag*afvoeren oppervlak)
Aanname: alle leidingen zijn gevuld; kies 1 positieve richting voor de stroomsnelheid
Basis: behoud van massa per knoop en voor de maas; behoud van energie over de maas:
 $Q_{in} = Q_{out}$; $\sum dH = 0$
1. Schat debiet per streng van de maas
2. Stel voor elke knoop een vergelijking op voor de ingaande en uitgaande debieten op basis van de massabalans: $Q_{in} = Q_{out}$
3. Schat een geschikte diameter voor elke streng, op basis van het geschatte debiet
4. Bereken het energieverlies over elke leiding en over de gehele maas
5. Als het energieverlies over de maas ongelijk is aan 0:
6. Bereken dQ en pas alle debieten aan met dQ
7. Bereken opnieuw $\sum dH$ over maas
8. Enz totdat $\sum dH$ (het gesommeerde energieverlies over de strengen van de maas) 0 nadert.

5.3	Onderdrempelberging:	700	m ³	5,83	mm
	Pompoevercapaciteit:	90	m ³ /h	0,75	mm/h
	Fv	12	ha		
	Verloren berging	40	m ³ /h		
	Beschikbare berging	660	m ³ /h	5,50	mm
	Overstortfrequentie aflezen uit Veldkampgrafiek:			14	/jaar

25% afkoppelen:
Fv 9 ha
Beschikbare berging 7,33 mm
Pompoevercapaciteit 1 mm/h
Overstortfrequentie aflezen uit Veldkampgrafiek: 6 a 7 /jaar