

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

Tentamen CT3420 - Gezondheidstechniek

Datum : 2 juli 2002
Tijd : 14.00 - 17.00

Er zijn 5 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.

Een A4-tje met eigen aantekeningen is **niet** toegestaan.

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. Verontreiniging en zelfreiniging
2. Waterchemie
3. Drinkwater
4. Riolering
5. Afvalwater

Algemene gegevens

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

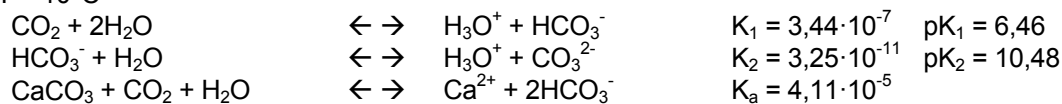
Element	Atoommassa	Element	Atoommassa
H	1	S	32
C	12	Cl	35.5
N	14	K	39
O	16	Ca	40
F	19	Mn	55
Na	23	Fe	56
Mg	24	As	75
Al	27	Pb	207
P	31		

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

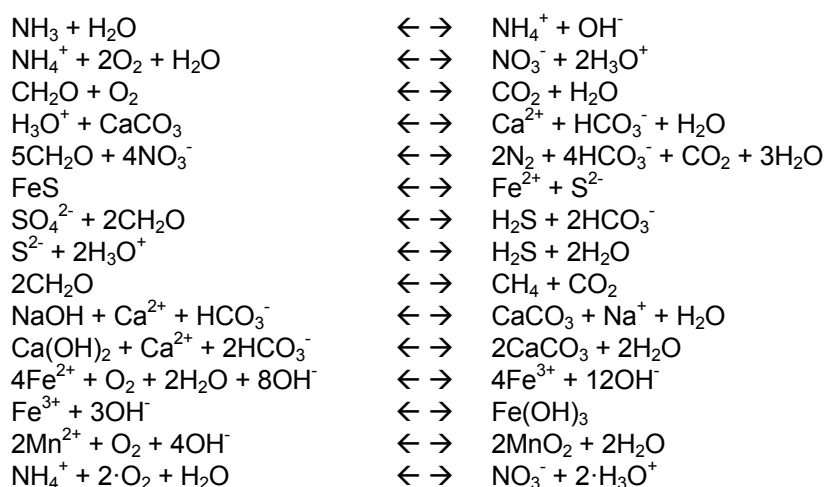
Temperatuur [°C]	Dynamische viscositeit [10^{-3} Pa·s]	Kinematische viscositeit [10^{-6} m ² /s]
0	1,79	1,79
5	1,52	1,52
10	1,31	1,31
15	1,15	1,15
20	1,01	1,01
25	0,90	0,90
30	0,80	0,80

Relevante formules waterchemie:

bij T = 10°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	1,350	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

1. Verontreiniging en zelfreiniging

In Nederland zijn 2 verschillende typen bekkens gerealiseerd bij de Biesbosch en de Berenplaat (zie afb. 1). In tabel 5 worden enige gegevens van beide bekkens gegeven (N.B. in werkelijkheid zijn er 3 bekkens bij de Biesbosch, maar voor deze vraag kijken we alleen naar het 1^e bekken).

Tabel 5 – Gegevens van bekkens van de Biesbosch en Berenplaat.

Bekken	Biesbosch	Berenplaat
Diepte [m]	25	6
Oppervlakte [m ²]	3287000	1370000



Afb. 1 – Bekken van de Biesbosch (linker foto) en bekkens van de Berenplaat (rechter foto)

Door beide bekkens stroomt jaarlijks 200 miljoen m³ oppervlaktewater dat 10¹⁵ bacteriën per l bevat. De afbraakcoëfficiënt van bacteriën in beide bekkens bedraagt 0.3 d⁻¹.

- 1.1 Bereken de bacteriereductie van beide systemen
- 1.2 Welke theoretische functies kunnen bekkens vervullen?
- 1.3 Welke functies worden bij beide ontwerpen het beste gerealiseerd?
- 1.4 Welke praktische overwegingen hebben geleid tot verschillende keuzes bij beide ontwerpen?

2. Waterchemie

In tabel 6 is van 5 watersoorten de waterkwaliteit gegeven. Het betreft de waterkwaliteit (in willekeurige volgorde) van regenwater, aerobisch grondwater, licht anaerobisch grondwater, diep anaerobisch grondwater en oppervlaktewater

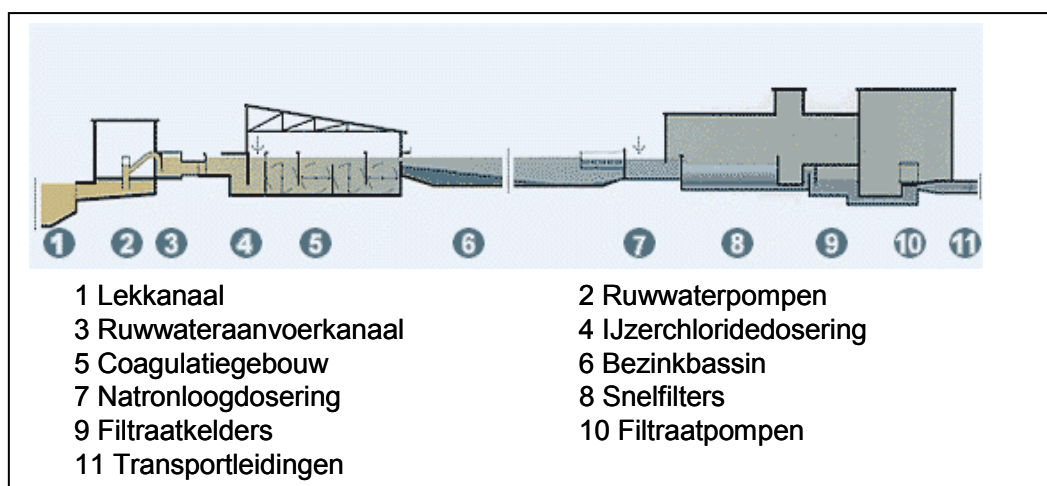
Tabel 6 – Waterkwaliteit van verschillende watersoorten

	Eenheid	Watersoort A	Watersoort B	Watersoort C	Watersoort D	Watersoort E
pH	-	6.5	5.6	7.9	6.1	7.0
Ca ²⁺	mg/l	140	1	70	7	70
Mg ²⁺	mg/l	14	0.1	7.0	0.7	7.0
Cl ⁻	mg/l	48	3	100	12	36
HCO ₃ ⁻	mg/l	420	3	210	21	210
NO ₃ ⁻	mg/l	< 0.1	< 0.1	10	10	10
O ₂	mg/l	0	10	10	5	0
CH ₄	mg/l	6	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
CO ₂	mg/l	?	?	?	?	?
Fe ²⁺	mg/l	8	< 0.02	< 0.02	< 0.02	2
NH ₄ ⁺	mg/l	4	< 0.04	1	< 0.04	1
Σ bestrijdingsmiddelen	µg/l	< 0.1	< 0.1	0.8	< 0.1	< 0.1
DOC	mg/l	8	< 1	4	2	4
E-coli	n/100ml	< 1	< 1	1000	< 1	< 1

- 2.1 Geef aan welke analyse bij welke watersoort hoort. Bereken uw antwoord
- 2.2 Geef aan welke bestanddelen wat voor probleem voor drinkwater kunnen opleveren.
- 2.3 Bereken de CO₂-concentratie van watersoort A. Ga er hierbij vanuit dat de temperatuur van het water 10°C bedraagt.
- 2.4 Bereken de hardheid van watersoort A.
- 2.5 In watersoort A is ammonium aanwezig. Bereken de nitraatconcentratie van het drinkwater wanneer al het ammonium in een snelfilter omgezet wordt.
- 2.6 In watersoort A is ijzer aanwezig. Bereken de pH van het drinkwater wanneer al het ijzer in een snelfilter (na beluchting) verwijderd wordt.

3. Drinkwater

Het Amsterdamse drinkwater heeft als bron de rivier de Lek. In Nieuwegein wordt het water aan de Lek onttrokken en voorgezuiverd waarna het naar de duinen bij Zandvoort getransporteerd wordt. Dit transport gebeurt via twee leidingsystemen, de WRK-I en de WRK-II. Het WRK-I leidingsysteem bestaat uit een enkelvoudige leiding met een diameter van 1500 mm. Het WRK-II leidingsysteem bestaat uit twee leidingen met elk een diameter van 1200 mm. In de duinen wordt het voorgezuiverde water geïnfiltrerd. Na een verblijftijd van enige maanden in de bodem wordt het water onttrokken en nagezuiverd tot drinkwater. Daarna wordt het drinkwater in Amsterdam gedistribueerd. De kwaliteit van het water op verschillende plaatsen in het gehele zuiveringsproces staat in tabel 7.



Afb. 2 – Voorzuivering te Nieuwegein

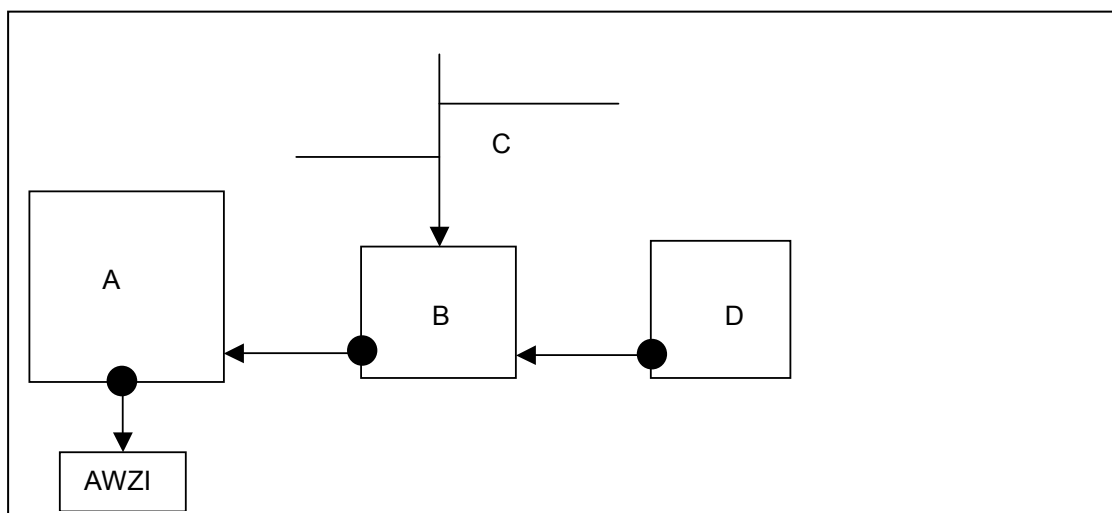
Tabel 7 – Waterkwaliteit op verschillende plaatsen in het proces

	Eenheid	Lekwater	Na voorzuivering
NH ₄ ⁺	mg/l	0.06	<0.01
Na ⁺	mg/l	40	42
Ca ²⁺	mg/l	81	81
Cl ⁻	mg/l	149	155
HCO ₃ ⁻	mg/l	157	154
SO ₄ ²⁻	mg/l	55	55
CO ₂	mg/l	4	8
pH	-	8.0	7.7
Troebelheid	FTU	10.4	0.2
Som bestrijdingsmiddelen	µg/l	0.7	0.7
Nikkel	µg/l	3.5	3.1
Cadmium	µg/l	0.18	0.06
E-coli	n/100ml	1000	< 1

- 3.1 Wat zijn de functies van de voorzuivering?
- 3.2 Waarom wordt oppervlaktewater gebruikt als bron voor het drinkwater van de stad Amsterdam en waarom wordt dit over meer dan 60 km getransporteerd?
- 3.3 Verklaar het verloop van de parameters in de analysestaat?
- 3.4 Noem voordelen en nadelen van beide transportsystemen.
- 3.5 Wat zijn de functies van de duinen bij Zandvoort?

4. Riolering

Deze opgave betreft het rioolstelsel van een kleine gemeente waar verschillende typen riolering voorkomen. Het afvoerschema van de riolering staat weergegeven in afb. 3. Een aantal verschillende bemalingsgebieden voert door middel van rioolgemalen af naar de AWZI. A, B en C zijn bestaande stelsels. In de toekomst wordt een nieuwe woonwijk gebouwd waarvoor men van een verbeterd gescheiden stelsel uitgaat (D). De kenmerken van het bestaande rioolstelsel en de uitgangspunten voor het nieuwe stelsel staan vermeld in tabel 8. De gemiddelde woningbezetting bedraagt 2,5 inwoner per woning.

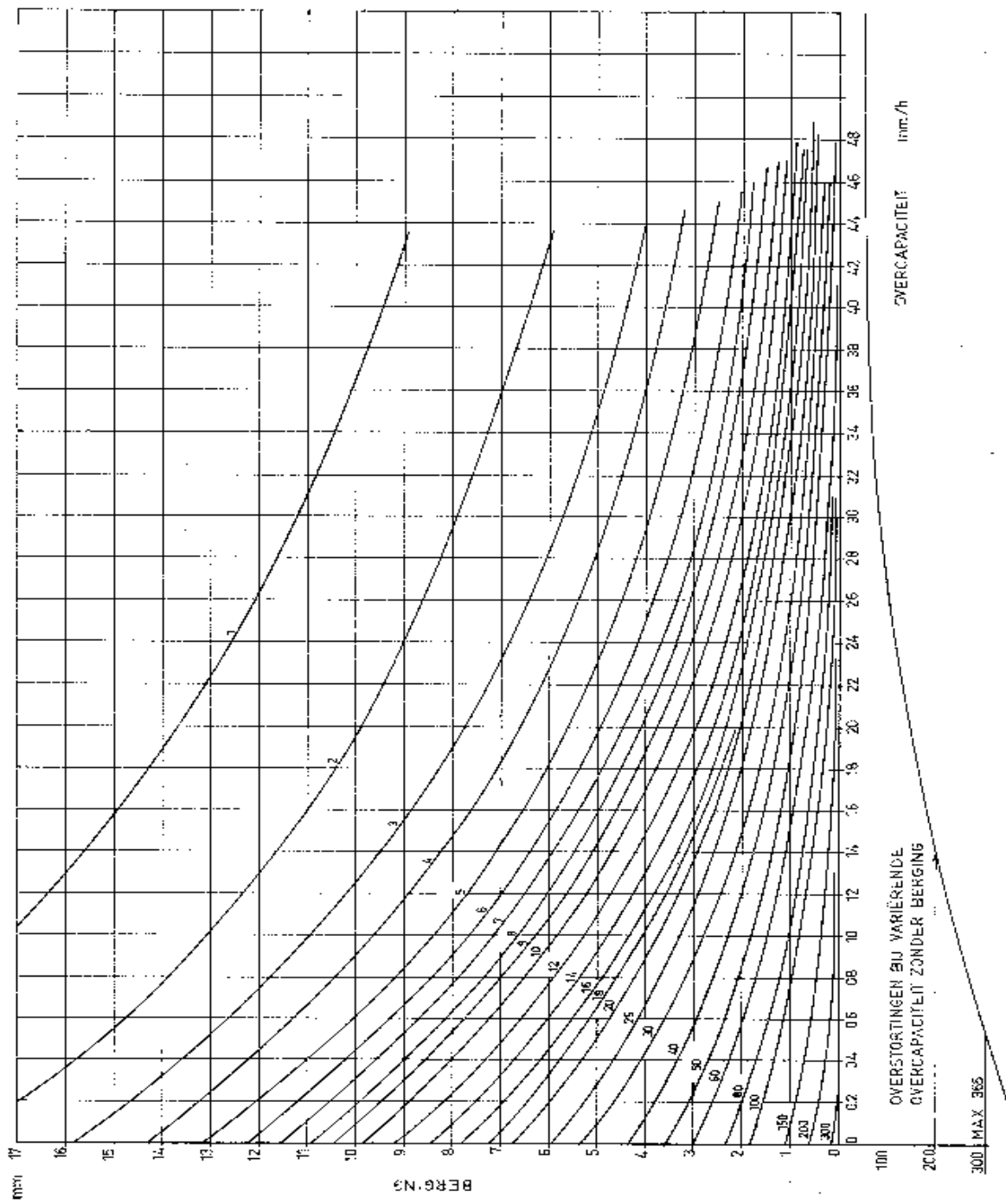


Afb. 3 – Afvoerschema riolering

Tabel 8 - Kenmerken van het bestaande rioolstelsel en de uitgangspunten voor het nieuwe stelsel

	A	B	C	D
situatie	bestaand	bestaand	bestaand	Toekomst
type stelsel	gemengd	gescheiden	drukriolering	verb. gescheiden
Woningen [-]	1000	20	50	800
afvoerend oppervlak [ha]	20	10 (80% van totaal opp.)	-	12
DWA woningen [l/inwoner/uur]	12	12	12	12
DWA bedrijven	-	1 l/s/ha bruto opp.	10 m ³ /uur	-
Pompcapaciteit [mm/uur]	0,7	-	-	0,3

- 4.1 Bepaal voor stelsels A en D de minimaal noodzakelijke stelselberging in m³, indien voor A een toelaatbare overstortingsfrequentie van 10 maal per jaar wordt aangehouden en voor D een frequentie van 30 maal per jaar.
- 4.2 Bepaal de pompcapaciteiten in m³/uur van de rioolgemalen in de bestaande situatie.
- 4.3 Bepaal de pompcapaciteiten in m³/uur van de rioolgemalen in de toekomstige situatie.
- 4.4 De AWZI heeft een hydraulische capaciteit die net voldoende is in de bestaande situatie. Door de uitbreiding met gebied D wordt deze maximale capaciteit overschreden. Vergroting van de capaciteit van de AWZI staat pas gepland na aanleg van gebied D. Noem drie mogelijkheden om de periode tot uitbreiding van de AWZI te overbruggen en beschrijf kort de negatieve gevolgen hiervan.



Afb.4 Veldkampgrafiek

5. Afvalwaterbehandeling

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

grofrooster – capaciteit max 4.000 m³/h
vijzelgemaal – 4 vijzels van elk 1.000 m³/h
gootzandvanger – 4 goten, elk 1,5m*17m*0,6 m (breedte*lengte*diepte)
fijnrooster – 4 stuks, elk 1.000 m³/h
voorbezinking – 2 ronde tanks 35m*2m (diameter*zijwaterdiepte)
beluchting – totaal volume 10.000 m³; slibgehalte 4 g/l
nabezinking – 2 ronde tanks 56m*2m (diameter*zijwaterdiepte)

Het dagdebiet bedraagt 18.000 m³/d, de maximale droogweeraanvoer is 1.000 m³/h en de maximale aanvoer (bij regen) is 4.000 m³/h

In tabel 9 worden enige waarden van karakteristieke parameters gegeven.

Tabel 9 – Waarden van karakteristieke parameters.

		Influent	Afloop voorbezinking	effluent
BZV	mg O ₂ /l	300	200	8
CZV	mg O ₂ /l	750	500	60
Kjeldahl-N	mg N/l	65	60	4
Nitraat	mg N/l	0	0	3
Totaal P	mg P/l	8	6	1

- 5.1 Is de voorbezinking over- of onderbelast? Verklaar uw antwoord
- 5.2 Een van de zandvangers dient uit bedrijf genomen te worden voor onderhoud (1 week); men kan kiezen tussen het bypassen van die unit of de capaciteit terugbrengen door de bijbehorende vijzel ook uit bedrijf te nemen; geef een keuze
- 5.3 Bereken de slibbelasting in het actief-slibgedeelte.
- 5.4 Verklaar de daling van het gehalte aan P-totaal (van 8 naar 1 mg/l)
- 5.5 Wat is de gemiddelde verblijftijd van het afvalwater in de totale RWZI

Antwoorden

1.1

De verblijftijd in het bekken van de Biesbosch bedraagt $(3287000 \cdot 25) / 200 \cdot 10^6 = 0.41$ jaar = 150 dagen

De verblijftijd in het bekken van de Berenplaat bedraagt $(1370000 \cdot 6) / 200 \cdot 10^6 = 0.041$ jaar = 15 dagen

Het bekken van de Biesbosch kan beschouwd worden als een volledig gemengd bekken. Het aantal bacterien dat het bekken verlaat, bedraagt:

$$N_e = \frac{N_0}{1+k \cdot T} = \frac{10^{15}}{1+0.3 \cdot 150} = 2.17 \cdot 10^{13}$$

De bacteriereductie bedraagt dus $1 - N_e/N_0 = 97.8\%$

Het bekken van de Berenplaat kan beschouwd worden als een propstroombekken. Het aantal bacterien dat het bekken verlaat, bedraagt

$$N_e = N_0 \cdot \exp(-k \cdot T) = 1 \cdot 10^{15} \cdot \exp(-0.3 \cdot 15) = 1.1 \cdot 10^{13}$$

De bacteriereductie bedraagt dus $1 - N_e/N_0 = 98.9\%$

1.2

Analyse, voorraad, zelfreiniging, afvlakking

1.3

analyse bij beide niet tot matig

voorraad wel bij Biesbosch bekken, niet bij Berenplaat bekken

zelfreiniging bij beide bekkens goed, zelfreiniging van de Berenplaat is beter
afvlakking beter bij Biesbosch bekken

1.4

RO/beschikbare grond, diep winbaar zandpakket bij BB, kleilaag op 25m diepte bij BB, hierdoor damwanden onmogelijk, hierdoor wel waterdichte constructie mogelijk en dus voorraadfunctie met opgezet peil). Bovendien voorraadfunctie nodig i.v.m. calamiteiten/zout Maas

2.1

Watersoort A = diep anaeroob grondwater, want er is geen zuurstof aanwezig en wel ijzer, methaan en ammonium

Watersoort B = regenwater, want alle zouten zijn in lage concentratie aanwezig

Watersoort C = oppervlaktewater, want er zijn E-colis en bestrijdingsmiddelen aanwezig

Watersoort D = aerob grondwater, omdat er zuurstof en nitraat aanwezig is en ijzer, methaan en ammonium onder de detectiegrens zijn

Watersoort E = licht anaeroob grondwater, want er is geen zuurstof aanwezig, wel nitraat en lage concentraties aan ijzer en ammonium

2.2

Watersoort	Bestanddeel	Afkomstig van	Probleem
Regenwater	Geen (event. CO ₂)	(zure) regen	(agressief)
Aerob grondwater	Geen (event. NO ₃ -)	overbemesting	(Blue babies)
Licht anaeroob grondwater	Fe ²⁺	pyriet	Afzettingen
Diep anaeroob grondwater	CH ₄ , Fe ²⁺	Reductie organische stof	bacteriegroei
Oppervlaktewater	Bacterien, bestrijdingsmiddelen	Lozingen	Gezondheid/ziekte

2.3

Gebruik de eerste dissociatieformule van koolzuur.

$$pH = 6.46 - \log \frac{[CO_2]}{[HCO_3^-]}$$

De concentratie HCO₃⁻ bedraagt 420/61 = 6.89 mmol/l. Na invulling van de pH en de HCO₃⁻ concentratie in bovenstaande vergelijking volgt dat de CO₂ concentratie 6.32 mmol/l bedraagt, ofwel 278 mg/l.

2.4

De hardheid is gedefinieerd als de som van de calcium en magnesiumionen,

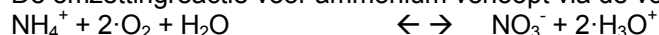
De calciumconcentratie bedraagt 140/40 = 3.5 mmol/l

De magnesiumconcentratie bedraagt 14/24 = 0.6 mmol/l

De totale hardheid bedraagt 4.1 mmol/l

2.5

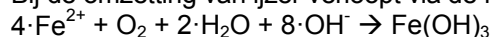
De omzettingreactie voor ammonium verloopt via de volgende reactie:



In het water is 4 mg/l ammonium aanwezig ofwel 4/18 = 0.22 mmol/l. Er zal dus ook 0.22 mmol/l nitraat ontstaan, ofwel 0.22*62 = 13.64 mg/l.

2.6

Bij de omzetting van ijzer verloopt via de reactie



Omzetting van 8 mg/l Fe²⁺ resulteert in een zuurstofverbruik van 1,14 mg/l. Daarnaast wordt OH⁻ weggenomen en wel een hoeveelheid van 0,29 mmol/l. Omdat er maar weinig OH⁻-ionen in water aanwezig zijn (in dit water 3.16·10⁻⁸ mmol/l), wordt HCO₃⁻ omgezet in OH⁻ en CO₂. In het water is nu dus 6.89-0.29=6.60 mmol/l HCO₃⁻ aanwezig en 6.32+0.29 = 6.61 mmol/l CO₂. De pH bedraagt nu 6.46-log(6.61/6.6) = 6.46

3.1

Voorkomen verstopping infiltratiepanden

Voldoen aan Infiltratie Besluit

Verwijderen van zwevende stof om aangroei in transportleidingen te voorkomen

3.2

Er is geen goed grondwater in de omgeving van Amsterdam aanwezig. Al het grondwater is brak. De zoetwaterbel in de duinen is te klein om zonder aanvulling gebruikt te worden.

Daarom wordt oppervlaktewater voorgezuiverd en naar de duinen van Zandvoort getransporteerd om daar geïnfiltrerd te worden. In de omgeving van Amsterdam en Zandvoort is het oppervlaktewater niet van voldoende kwaliteit en kwantiteit.

3.3

Ammoniumgehalte neemt af door nitrificatie in de snelfilters

Natriumgehalte stijgt omdat natronloog voor pH-correctie gedoseerd wordt

Chloride gehalte stijgt omdat ijzerchloride voor de vlokvorming wordt toegevoegd

Troebelheid daalt omdat deeltjes door vlokvorming, vlokverwijdering en snelfiltratie verwijderd worden

Nikkel- en cadmiumgehalte daalt doordat deze stoffen zich aan zwevende stof hechten die bij de vlokvorming, vlokverwijdering en snelfiltratie verwijderd worden

Bacterien worden bij de vlokvorming en vlokverwijdering maar vooral bij filtratie verwijderd de pH-daling door FeCl₃ wordt niet volledig gecompenseerd wordt door de NaOH dosering, dus vandaar daling pH, stijging CO₂ en daling HCO₃⁻ gehalte

3.4

Enkele transportbuis: voordeel: goedkoper in aanleg

Nadeel: geen levering indien buis kapot gaat, geen waterlevering als buis in onderhoud is

Dubbele transportbuis: voordeel: indien een buis kapot is toch levering, mogelijkheid om onderhoud te plegen omdat er verbindingen tussen de buis zijn
nadeel: duurder in aanleg

3.5

Voorraadvorming, desinfectie (verwijdering van virussen en bacterien), afvlakking van zoutconcentraties, verbetering kwaliteit

4.1

gebied A: poc = 0,7 mm/uur, o.f. = 10/jaar -> lees af in veldkampgrafiek: berging \approx 7 mm.
Vermenigvuldigen met aangesloten verhard oppervlak: 7 mm * 20 ha = 1400 m³ berging.
gebied D: poc = 0,3 mm/uur, o.f. = 30/jaar -> lees af in veldkampgrafiek: berging \approx 4,2 mm.
Vermenigvuldigen met aangesloten verhard oppervlak: 4,2 mm * 12 ha = 500 m³ berging.

4.2

Bestaande situatie, afvalwaterhoeveelheden DWA en RWA per gebied [m³/uur]:

	DWA	poc	Totaal
A	$1000 * 2,5 * 0,012 = 30$	$20 * 0,7 * 10 = 140$	170
B	$20 * 2,5 * 0,012 = 0,6$ $(10/0,8) * 3,6 = 45$	n.v.t.	45,6
C	$50 * 2,5 * 0,012 = 1,5$ 10	n.v.t.	11,5
Totaal			227,1

capaciteit B: 45,6 + 11,5 = 57,1 m³/uur;

capaciteit A: 227,1 m³/uur.

4.3

Toekomstige situatie, afvalwaterhoeveelheden DWA en RWA gebied D [m³/uur]:

	DWA	poc	Totaal
D	$800 * 2,5 * 0,012 = 24$	$0,3 * 12 * 10 = 36$	60

capaciteit D: 60 m³/uur;

capaciteit B: 57,1 + 60 = 117,1 m³/uur;

capaciteit A: 170 + 117,1 = 287,1 m³/uur.

4.4

1. niet of zeer beperkt vergroten van pompcapaciteit in A en beperkte afvoer van RWA vanuit D. Gevolg hiervan is een grotere vuiluitworp in A of D of beide. Omdat in D een verbeterd gescheiden stelsel is gepland heeft het in dat geval de voorkeur hier meer te laten overstorten (relatief schoon regenwater)

2. minder of geen verhard oppervlak aansluiten in D. Dit kan schadelijk zijn wanneer het verhard oppervlak vervuild is.

3. De AWZI tijdelijk overbelasten. Negatief effect hiervan is dat bij neerslag het zuiveringsrendement aanzienlijk kan teruglopen zodat het oppervlaktewater zwaarder wordt belast.