

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

Tentamen CT3011 – Inleiding watermanagement

Datum : 21 januari 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. Licht ook de Juist of Onjuist vragen toe.

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.

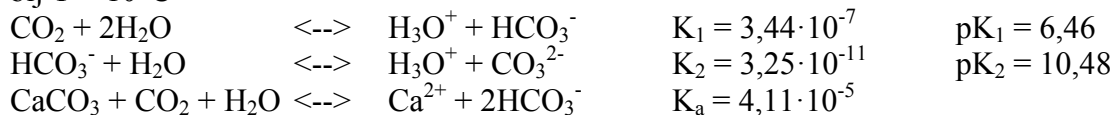
Element	Atoommassa	Element	Atoommassa
H	1	S	32
C	12	Cl	35,5
N	14	K	39
O	16	Ca	40
F	19	Mn	55
Na	23	Fe	56
Mg	24	As	75
Al	27	Pb	207
P	31		

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 Wanneer en waar werd de eerste waterleiding in Nederland aangelegd? Werd het water gezuiverd?
- 1.2 Hoe vindt besmetting met legionella plaats en hoe zou je dit kunnen voorkomen?
- 1.3 Chloor doodt bacteriën. In Nederland wordt chloor niet toegepast, waarom niet en hoe worden bacteriën wel gedood?
- 1.4 Noem enkele oplossingen om in droge gebieden toch voldoende drinkwater te verkrijgen.

### **Vraag 2**

#### *Waterkwaliteit/microbiologie*

- 2.1 Noem de drie groepen micro-organismen die besmettelijke ziekten kunnen overdragen via drinkwater.
- 2.2 Wat zijn indicatororganismen?
- 2.3 Voor Cryptosporidium geldt een norm van minder dan 1 per 30 m<sup>3</sup>. In de Rijn komt een concentratie voor van 100 per l. Bereken de benodigde Decimale Eliminatie Capaciteit van de zuivering en geef aan op welke wijze deze bereikt kan worden.

### **Vraag 3**

#### *Waterkwaliteit/chemie*

- 3.1 Noem 3 chemische stoffen in drinkwater die schadelijk kunnen zijn voor de gezondheid.
- 3.2 Bereken de verzadigingsconcentratie van koolzuur in water in contact met de lucht onder atmosferische omstandigheden bij een temperatuur van 10°C.
- 3.3 Een bronwaterfabrikant stopt 4,4 g CO<sub>2</sub> in 1 liter water. Een deel van het CO<sub>2</sub> zal dissociëren tot HCO<sub>3</sub>. Bereken de evenwichtsconcentratie aan CO<sub>2</sub> na de dissociatie.

### **Vraag 4**

#### *Grondwater*

- 4.1 Wat is het grootste voordeel van grondwater t.o.v. oppervlaktewater?
- 4.2 Door welke zuiveringsstap wordt beluchting opgevolgd? Wat is het doel van deze stap? Welke stoffen worden verwijderd?
- 4.3 Bij welke soort grondwater is actief koolfiltratie noodzakelijk en wat wordt er door deze zuiveringsstap verwijderd?

### **Vraag 5**

#### *Oppervlaktewater*

- 5.1 Noem 2 zuiveringsprocessen die vaak toegepast worden bij de zuivering van oppervlakte water. Wat is het doel van deze processen en waar in de zuiveringstrein worden ze geplaatst?
- 5.2 Als er bovenstrooms van een inname punt voor de zuivering een calamiteit plaats vindt waarbij schadelijke stoffen in het water komen, kan een waterleidingbedrijf dan nog schoon drinkwater aan zijn klanten leveren?
- 5.3 Geef aan of u de voorkeur geeft aan oppervlaktewater i.v.t. grondwater als bron voor de drinkwater voorziening. Gebruik daarbij de aspecten hygiënische betrouwbaarheid, kosten, bestrijdingsmiddelen, verdroging en leveringszekerheid.

## Vraag 6

### Waterverbruik

- 6.1 Leg uit wat “het niet in rekening gebrachte verbruik” is.
- 6.2 Gegeven is waterverbruik van Tabel 5. Bereken het benodigde volume van de reinwaterkelder voor volledige buffering en geef de ontwerpcapaciteit van de zuivering en van de distributiepompen.

Tabel 5 – Waterverbruik uit een reinwaterkelder (totaal 2400 m<sup>3</sup>/d)

Periode	Uit (m <sup>3</sup> )	Periode	Uit (m <sup>3</sup> )
1	60	13	130
2	45	14	130
3	40	15	120
4	35	16	115
5	35	17	120
6	40	18	140
7	50	19	150
8	100	20	140
9	135	21	120
10	150	22	100
11	145	23	90
12	135	24	75

## Vraag 7

### Transport en distributie

- 7.1 Door een aanjager in het distributienet te plaatsen kan energie worden bespaard. Geef met twee tekeningen aan wat de drukzones zijn in een distributienet met en zonder aanjager. Maak duidelijk wat de energiebesparing is.
- 7.2 Schets in een grafiekje hoe de kosten van een leidingnet afhankelijk zijn van de leiding diameter. Maak duidelijk wat de meest economische diameter is.
- 7.3 Bereken het wrijvingsverlies voor een leiding van 25 km, met een diameter van 1500 mm en een wandruwheid van 1 mm. Het debiet door de leiding is 15000 m<sup>3</sup>/h.

## Deel II Waterbeheer

Het maximaal te behalen aantal punten per onderdeel staat aangegeven (totaal 100). Als u de buitenopdracht dit academisch jaar heeft ingeleverd, kunt u Vraag 4 overslaan. Het formuleblad is niet voor dit gedeelte bedoeld.

### Vraag 1

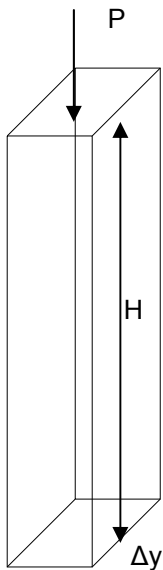
*Inleidende vragen*

- Welke overheid is in Nederland verantwoordelijk voor het onderhoud van dijken? (5 punten)
- Waarom hebben droogmakerijen een boezem? (5 punten)
- Voor twee rivieren met gelijke gemiddelde afvoer is de Hurst coëfficiënt,  $H$ , uitgerekend. Voor de eerste rivier geldt  $H=0,6$ ; voor de tweede  $H=0,7$ . Men wil een reservoir bouwen met een gegeven capaciteit. Men wil dat het te bouwen reservoir zo weinig mogelijk volledig vol of volledig leeg is (zoveel mogelijk actieve opslag). In welke rivier moet men het reservoir bouwen? Ga ervan uit dat alle overige relevante factoren gelijk zijn. (5 punten)
- Wat is de functie van huidmondjes op het blad van planten? (5 punten)
- Uit welke eeuw stammen de eerste Nederlandse droogmakerijen? (5 punten)

### Vraag 2

*Afleiding Boussinesq vergelijking*

Leidt de Boussinesq vergelijking af voor een 2D kolom.



$\Delta x$

- Voor het berekenen van grondwaterstroming wordt vaak de Dupuit aanname gebruikt. Op de basis hiervan kan men stellen dat de stroming door een aquifer in horizontale richting,  $q_x$  ( $m^2/dag$ ), gelijk is aan:

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

waarin  $K_s$  ( $m/dag$ ) de verzadigde doorlatendheid is,  $H$  de stijghoogte ( $m$ ).

Onder welke omstandigheden is de Dupuit aanname geldig? (5 punten)

- Leidt de Boussinesq vergelijking in 2D af:

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} = P + \frac{1}{2} K_s \left( \frac{\partial^2 H^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H^2}{\partial y^2} \right) \quad (2D \text{ Boussinesq})$$

door de continuïteitsvergelijking voor de hier afgebeelde kolom

( $\Delta x$  en  $\Delta y$  zeer klein) uit te werken. Maak hierbij gebruik van:

- Bovenstaande vergelijking voor de stroming  $q_x$  in x-richting;
- De corresponderende vergelijking voor de stroming  $q_y$  in de y-richting;
- Het feit dat de onderkant van de kolom ondoorlatend is;
- De draineerbare porositeit, oftewel de hoeveelheid water die vrijkomt per ontwaterd volume, gelijk is aan  $\mu$  ( $m^3/m^3$ );
- De bijdrage vanuit regenval gelijk is aan  $P$  ( $m/dag$ ).

### Vraag 3

Berekening maximale irrigatiebehoefte en dimensies aanvoerkanaal.

Een irrigatie gebied van 700 ha moet worden geïrrigeerd vanuit een put. U wordt gevraagd de gewasbehoefte, put dimensies, en de dimensies van het aanvoerkanaal uit te rekenen.

- a) Bereken de potentiële verdamping in  $\text{m}^3/\text{s}$  voor het gebied met behulp van Makkink (7 punten):

$$\lambda \cdot ET_0 = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} * [0.65 \cdot R_s] \quad \text{W/m}^2$$

waarbij:

$\lambda$  de verdampingswarmte voor water (2445 kJ/kg, neem aan dat de dichtheid van water  $1000 \text{ kg/m}^3$  is)

$ET_0$  potentiële verdamping [ $\text{kg/s} \cdot \text{m}^2$ ]

$\Delta$  helling dampspanningscurve [ $\text{kPa}/^\circ\text{C}$ ], neem hiervoor  $0.11 \text{ kPa}/^\circ\text{C}$

$\gamma$  psychrometrische constante [ $\text{kPa}/^\circ\text{C}$ ] (=  $0.067 \text{ kPa}/^\circ\text{C}$ )

$R_s$  inkomende zonnestraling [ $\text{W/m}^2$ ], neem hiervoor  $190 \text{ W/m}^2$ .

- b) De maximale gewasfactor is 1,0 en de irrigatie efficiëntie is 80%. Bereken de totale maximale (=maatgevende) waterbehoefte van het gebied. (Neem  $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$  aan als potentiële verdamping als u bij 3a niets heeft gevonden, 3 punten)
- c) Er wordt een grote put gegraven in een aquifer die op een ondoorlatende laag ligt. De stijghoogte van het grondwater rond de put wordt gegeven met de formule:

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

waarin  $r_0 = 3,0 \text{ m}$  de straal van de put,  $K_s = 80 \text{ m/dag}$  de verzadigde doorlatendheid (m/dag),  $Q$  de afvoer ( $\text{m}^3/\text{dag}$ ),  $H$  de stijghoogte van het grondwater (m) op afstand  $r$  (m), en  $H_0 = 3 \text{ m}$  de waterhoogte in de put. Wat is de stijghoogte van het grondwater op 15 m afstand van de put?

(Neem  $Q = 0.15 \text{ m}^3/\text{s}$  aan als waterbehoefte van het gebied als u bij 3b niets heeft gevonden, 5 punten)

- d) De put ligt op 500 m van het te irrigeren gebied en het hoogte verschil tussen het opgepompte water en de ingang van het gebied is 1 m. Ervan uitgaande dat u met dit hoogteverschil één gemiddeld verhang kunt realiseren, bereken de dimensies die het kanaal moet hebben m.b.v. de Manning formule:  $v = K \cdot R_h^{2/3} \cdot \sqrt{S_f}$

waarbij:

$v$  gemiddelde snelheid van het water in het profiel [ $\text{m/s}$ ]

$K$  Strickler's ruwheids constante [ $\text{m}^{1/3}/\text{s}$ ], neem deze als  $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

$R_h$  De hydraulische straal [ $\text{m}$ ]

$S_f$  Wrijvingverhang [-]

Gebruik een rechthoekig profiel met een breedte/diepte verhouding van 3:1.

Hint: Schrijf eerst de formule voor  $Q = v \cdot A$  als functie van alleen de diepte (of de breedte) door  $A$  en  $R_h$  als functie van alleen de diepte (of de breedte) te schrijven. (10 punten)

## Vraag 4

### *Buitenopdracht*

Deze opgave dient gemaakt te worden als er dit academisch jaar geen buitenopdracht is ingeleverd. De opgave mag gemaakt worden door iedereen. Het hoogste aantal punten zal gelden.

In de Delftse binnenstad ligt de straat "Rietveld". Het water in het kanaal langs het Rietveld staat hoog ten opzichte van straatniveau (zie foto)

- a) Wat betekent "DP" op de aangebrachte schalen in het kanaal? (4 punten)
- b) Is het Rietveld boezemland? (4 punten)
- c) Wie beheert het kanaal? (4 punten)



Aan het eind van het kanaal langs het Rietveld is een kunstwerk geplaatst (zie foto).

- d) Wat is de functie van dit kunstwerk? (4 punten)
- e) Waarom staat er aan de andere kant van het Rietveld geen vergelijkbaar kunstwerk, maar kan de gracht wel worden afgesloten met een schot? (5 punten)
- f) Wie beheert beide kunstwerken? (4 punten)





## Deel I Gezondheidstechniek Antwoorden

### Vraag 1

#### *Drinkwater in Nederland en de wereld*

- 1.1 Wanneer en waar werd de eerste waterleiding in Nederland aangelegd? Werd het water gezuiverd?  
1853, van de duinen naar Amsterdam, zandfiltratie
- 1.2 Hoe vindt besmetting met legionella plaats en hoe zou je dit kunnen voorkomen?  
Via inademing, via de longen. Legionella groeit niet in heet water.
- 1.3 Chloor doodt bacteriën. In Nederland wordt chloor niet toegepast, waarom niet en hoe worden bacteriën wel gedood?  
Chloor vormt bijproducten die schadelijk kunnen zijn voor de gezondheid. Ozonisatie, UV, langzame zandfiltratie zijn zuiveringstappen voor desinfectie.
- 1.4 Noem enkele oplossingen om in droge gebieden toch voldoende drinkwater te verkrijgen?  
Hergebruik van afvalwater, ontzilten van zeewater.

### Vraag 2

#### *Waterkwaliteit/microbiologie*

- 2.1 Noem de drie groepen micro-organismen die besmettelijke ziekten kunnen overdragen via drinkwater.  
Bacterien, virussen, protozoa
- 2.2 Wat zijn indicatororganismen?  
Dit zijn organismen die van fecale oorsprong zijn, in grote getale in water voorkomen en karakteristiek zijn voor een grote groep pathogene micro-organismen. Bijvoorbeeld E-coli.
- 2.3 Voor Cryptosporidium geldt een norm van minder dan 1 per 30 m<sup>3</sup>. In de Rijn komt een concentratie voor van 100 per l. Bereken de benodigde Decimale Eliminatie Capaciteit van de zuivering en geef aan op welke wijze deze bereikt kan worden.  
DEC = log 3.000.000 = 6,4. Kan alleen met meerdere barrières, dus bekken, bezinking, filtratie, akf, lzf.

### Vraag 3

#### *Waterkwaliteit/chemie*

- 3.1 Noem 3 chemische stoffen in drinkwater die schadelijk kunnen zijn voor de gezondheid.  
Nitraat, koper, fluoride, arseen, cadmium, lood, nikkel.
- 3.2 Bereken de verzadigingsconcentratie van koolzuur in water in contact met de lucht onder atmosferische omstandigheden bij een temperatuur van 10°C.  
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 1.23 (zie tabel 3). Het molecuul gewicht MW van koolzuur bedraagt 44 g/mol, de gasconstante R bedraagt 8,3143 J/(mol·kg) en de temperatuur T bedraagt 283 °K.

Op zeeniveau bevat lucht ongeveer 0.034% koolzuur. De molaire fractie van koolzuur is dus 0.00034. De partiele druk van koolzuur is dan  $0.00034 \text{ bar}$  ofwel  $101325 \cdot 0.00034 = 34.45 \text{ Pa}$ .

Na invulling in bovenstaande vergelijking volgt een verzadigingsconcentratie van koolzuur van  $0.80 \text{ mg/l} = 0.02 \text{ mmol/l}$

- 3.3 Een bronwaterfabrikant stopt 4,4 g 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>. Bereken de evenwichtsconcentratie aan CO<sub>2</sub> na de dissociatie  
Ingebrachte hoeveelheid CO<sub>2</sub>  $4,4/44 = 0,1 \text{ mol}$ . Als x mol CO<sub>2</sub> dissocieert dan ontstaat hierbij x mol H<sup>+</sup>, x mol HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en 1-x mol CO<sub>2</sub>. Uit  $K_1 = x \cdot x / (0,1-x) = 4,5 \cdot 10^{-7}$  volgt dat  $x = 0,00021 \text{ mol/l}$  ofwel  $0,21 \text{ mmol/l}$ . 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:  $[CO_2] = 100 - 0,21 = 99,79 \text{ mmol/l}$

**Vraag 4***Grondwater*

- 4.1 Wat is het grootste voordeel van grondwater t.o.v. oppervlaktewater?  
Bacteriologische betrouwbaarheid.
- 4.2 Door welke zuiveringsstap wordt beluchting opgevolgd? Wat is het doel van deze stap? Welke stoffen worden verwijderd?  
Snelle zand filtratie, ijzer, mangaan, ammonium afvangen.
- 4.3 Bij welke soort grondwater is actief-koolfiltratie noodzakelijk en wat wordt er door deze zuiveringsstap verwijderd?  
Bij oevergrondwater, om bestrijdingsmiddelen te verwijderen.

**Vraag 5***Oppervlaktewater*

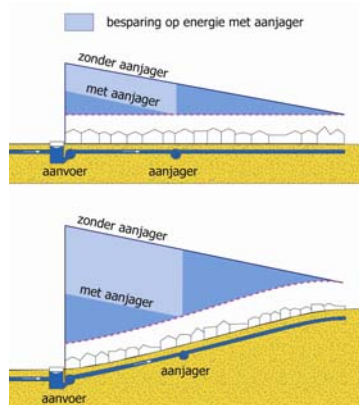
- 5.1 Noem 2 zuiveringsprocessen die vaak toegepast worden bij de zuivering van oppervlakte water. Wat is het doel van deze processen en waar in de zuiveringstrein worden ze geplaatst?  
Antwoord afhankelijk van de genoemde processen.
- 5.2 Als er bovenstrooms van een inname punt voor de zuivering een calamiteit plaats vindt waarbij schadelijke stoffen in het water komen, kan een waterleidingbedrijf dan nog schoon drinkwater aan zijn klanten leveren?  
Ja, de schadelijke stoffen komen in kleine hoeveelheden, gespreid bij het inname punt en hoeven geen probleem te geven. Als de concentraties te hoog zijn wordt er tijdelijk geen water ingenomen. Er is genoeg buffer om voor een bepaalde tijd toch schoondrinkwater te kunnen leveren.
- 5.3 Geef aan of U de voorkeur geeft aan oppervlaktewater i.v.t. grondwater als bron voor de drinkwater voorziening. Gebruik daarbij de aspecten hygiënische betrouwbaarheid, kosten, bestrijdingsmiddelen, verdroging en leveringszekerheid.  
Hygiënische betrouwbaarheid beter, kosten hoger, bestrijdingsmiddelen slechter, verdroging beter, leveringszekerheid kwetsbaar (op te lossen door bekken oid)

**Vraag 6***Waterverbruik*

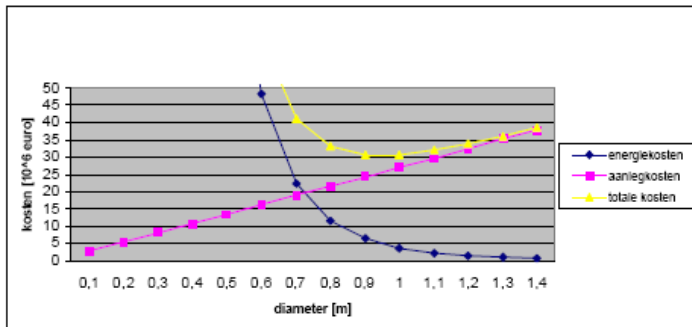
- 6.1 Leg uit wat het niet in rekening gebrachte verbruik is.  
Het niet in rekening gebrachte verbruik is het verschil tussen afgeleverd aan het net en het totaal van de afgerekende hoeveelheden. Dit is niet gelijk aan het lekverlies, omdat verbruik voor brandbestrijding en verbruik voor reiniging van het net geen lekverlies is.
- 6.2 Gegeven is waterverbruik van Tabel 5. Bereken het benodigde volume van de reinwaterkelder voor volledige buffering en geef de ontwerpcapaciteit van de zuivering en van de distributiepompen.  
430 m<sup>3</sup>, 100 m<sup>3</sup>/h, 150 m<sup>3</sup>/h.

**Vraag 7***Transport en distributie*

- 7.1 Door een aanjager in het distributienet te plaatsen kan energie worden bespaard. Geef met twee tekeningen aan wat de drukzones zijn in een distributienet met en zonder aanjager. Maak duidelijk wat de energiebesparing is.



7.2 Schets in een grafiekje hoe de kosten van een leidingnet afhankelijk zijn van de leiding diameter. Maak duidelijk wat de meest economische diameter is.



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

7.3 Bereken het wrijvingsverlies voor een leiding van 25 km, met een diameter van 1500 mm en een wandruwheid van 1 mm. Het debiet door de leiding is 15000 m<sup>3</sup>/h.  
 $V=2.36$  m/s  $\Delta H_w=94.5$

Deel II Waterbeheersing Antwoorden

Antwoorden niet beschikbaar.