

# CTB24200 - Hydrologie

Augustus 2012  
Augustus 2011  
Juni 2011

Juni 2010  
Januari 2010



**Tentamenbundel Civiele Techniek  
Het Gezelschap "Practische Studie"**

**EEN REPRODUCERENDE  
LEERSTIJL  
IS SCHADELIJK VOOR  
DE ACADEMISCHE  
VORMING**



**Technische Universiteit Delft, faculteit Civiele  
Techniek en Geowetenschappen  
Afdeling Watermanagement**

***Sectie Waterhuishouding***

**Tentamen CT 1310**

**09.00 – 12.00 uur**

**24 augustus 2006**

Het tentamen bestaat uit 3 opgaven, achter elke opgave staat vermeld hoe zwaar deze meetelt.

Een zelfgemaakt A4 formuleblad mag worden gebruikt.

**SVP elke vraag op een nieuw blad voorzien van naam en studienr. beginnen**

**Opgave 1 (30%)**

Grondwater onder de duinen.

Een duinenrij is 1 km breed. De zeewaterstand staat op gemiddeld zeeniveau. Midden in de duinenrij staat de grondwaterstand het hoogst en bereikt een peil van 1,5 m boven gemiddeld zeeniveau.

- a) Op welke diepte onder gemiddeld zeeniveau ligt ongeveer het grensvlak tussen het zoete en zoute water in het midden van de duinenrij?
- b) Wat is de stijghoogte in een peilbuis die de opening heeft precies boven het grensvlak tussen zoet en zout water in het midden van de duinenrij?
- c) We boren nu een diepere peilbuis met een filter net onder het grensvlak. We pompen er wat water uit en we wachten tot het waterpeil stabiliseert. Tot hoe hoog stijgt het water dan in de peilbuis?
- d) Bereken de hydrostatische drukken die onder in de twee peilbuizen optreden. Kun je hiermee de formule van Badon Ghijben-Herzberg afleiden? Hoe verhoudt die zich tot het antwoord van vraag a)?

## Opgave 2 (35%)

In een rivier zijn over een aantal jaren extreme afvoeren gemeten. Deze staan in bijgevoegde tabel. Op basis van de extreme waarde verdeling volgens Gumbel type I moet hieruit de jaarlijkse extreme afvoer worden geschat met een onderschrijdingskans van 99%

| Datum      | Q<br>in m <sup>3</sup> /s |
|------------|---------------------------|
| 24-2-1969  | 648                       |
| 2-3-1969   | 686                       |
| 9-3-1969   | 560                       |
| 29-3-1969  | 684                       |
| 15-4-1969  | 224                       |
| 6-1-1970   | 774                       |
| 23-2-1971  | 752                       |
| 3-1-1972   | 422                       |
| 8-1-1972   | 598                       |
| 27-3-1972  | 690                       |
| 23-1-1973  | 428                       |
| 14-3-1973  | 621                       |
| 24-9-1973  | 512                       |
| 2-1-1974   | 534                       |
| 15-3-1974  | 562                       |
| 20-3-1974  | 766                       |
| 24-3-1974  | 326                       |
| 15-4-1974  | 686                       |
| 20-4-1974  | 714                       |
| 21-5-1975  | 538                       |
| 14-11-1975 | 862                       |
| 15-12-1975 | 638                       |
| 1-1-1976   | 950                       |

- Wat is voor jaarextremen de relatie tussen de onderschrijdingskans  $P(x < X)$  en de herhalingstijd  $T$ . Wat is dan de herhalingstijd bij bovengenoemde onderschrijdingskans van 99%
- Als men een reeks van in totaal  $N$  extremen heeft hoe kan hieruit dan een overschrijdingskans of onderschrijdingskans per extreem worden bepaald ?
- Stel een tabel samen waaruit de onderschrijdingskans en overschrijdingskans blijkt van de jaarlijkse maxima over de waargenomen jaren  
Maak kolommen als in onderstaande tabel:

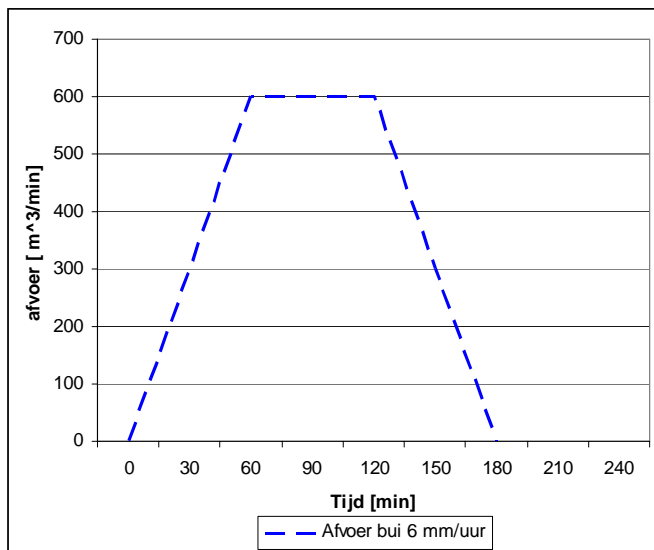
| Rangorde<br>no | Extreme<br>Afvoer | $P(x > X)$ | $P(x < X)$ | Reduced<br>variate $y$ |
|----------------|-------------------|------------|------------|------------------------|
|                |                   |            |            |                        |
|                |                   |            |            |                        |
| etc            | etc               | etc        | etc        | etc                    |

- d) Hoe bepaalt men de "reduced variate "  $y$  voor een Gumbel type I verdeling, vul deze waarden aan in de tabel
- e) Gebruik het grafiek papier om de extreme afvoer te schatten met een onderschrijdingskans van 99%. Geef aan hoe u aan deze waarde komt.

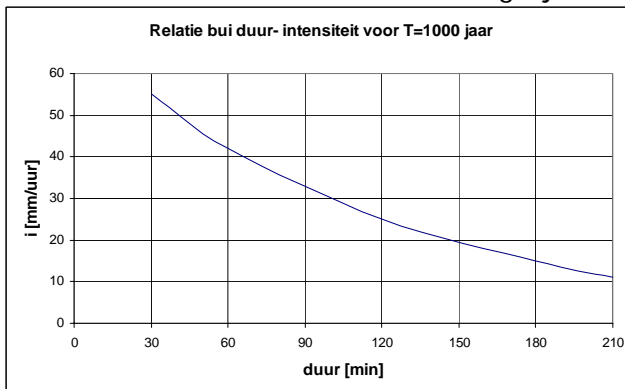
### Opgave 3 (35%)

Aan jou, als deskundige wordt door een gemeente diverse vragen gesteld over de afvoer, als gevolg van neerslag. Zij willen graag weten hoe lang het onder andere duurt voordat een bui van een bepaalde grootte is afgestroomd, onder meer voor het dimensioneren van regen-afvoer stelsels. Om al hun vragen te kunnen beantwoorden, moet je onderstaande vragen beantwoorden.

Uitgaande van een uniform stedelijk stroomgebied van  $20 \text{ km}^2$ , waarbij wordt aangenomen dat de rationele methode kan worden toegepast als relatie tussen neerslag en afvoer. Verder is er al vastgesteld dat de maximale looptijd van het meest stroomopwaartse gedeelte tot aan de uitstroomopening 120 minuten bedraagt. Voor een bui van 6 mm in 60 minuten, is de afvoergolf bij benadering bepaald en ziet er als volgt uit:



Voor het betreffende gebied geldt de hieronder geschetste relatie tussen de duur en intensiteit van buien voor een herhalingsstijd van 1000 jaar.



- a. Verklaar waarom het 180 minuten duurt voordat de gehele bui van 6 mm die in 60 minuten valt is afgestroomd. Wat is ander term voor de "*maximale looptijd van het meest stroomopwaartse gedeelte tot aan de uitstroomopening*"?
- b. Construeer een afvoergolf indien de eerste bui van 6 mm in een uur direct wordt gevolgd door een tweede bui van 6 mm in een uur.  
Wat wordt dan het maximale debiet?
- c. Wat wordt het maximale debiet als er direct een derde bui volgt van 6 mm/uur?
- d. Bereken voor een bui van 6 mm/uur hoeveel millimeter er feitelijk tot afstroming komt. Wat is dan afvoer coëfficiënt "*C*" in de formule ( $Q = C * i * A$ ) voor de rationele methode?
- e. Hoe lang moet een bui duren, in relatie tot de looptijd om de maximale afvoer te genereren?
- f. Welke intensiteit zal op basis van de gegeven bui duur- intensiteit de maatgevende (=maximale) afvoer genereren?
- g. Bereken deze maatgevende (=maximale) afvoer in [ $m^3/min$ ]

**Technische Universiteit Delft, faculteit Civiele  
Techniek en Geowetenschappen  
Afdeling Watermanagement  
*Sectie Waterhuishouding***

Tentamen CT 1310

09.00 – 12.00 uur

24 augustus 2006

Uitwerkingen

Opgave 1

a)  $h_s = 40 \cdot h_f = 40 \cdot 1.5 \text{ m} = 60 \text{ m}$

b) deze peilbuis heeft zoet water dus is de stijghoogte ook 1.5 meter boven gemiddeld zeeniveau

c) deze peilbuis heeft zout water dus is de stijghoogte tot gemiddeld zeeniveau

d)  $60 \cdot 1025 \cdot 9.81 \text{ N/m}^2 = 61.5 \cdot 1000 \cdot 9.81 \text{ N/m}^2 = 603315 \text{ N/m}^2$   
afleiding Badon Ghijben-Herzberg:

$$h_s \cdot \rho_{(zout)} = (h_f + h_s) \cdot \rho_{(zoet)}$$

hier volgt uit:  $h_s = \frac{\rho_{zoet}}{\rho_{zout} - \rho_{zoet}} \cdot h_f$

$$h_s = \frac{1000}{1025 - 1000} \cdot h_f = 40 \cdot h_f$$

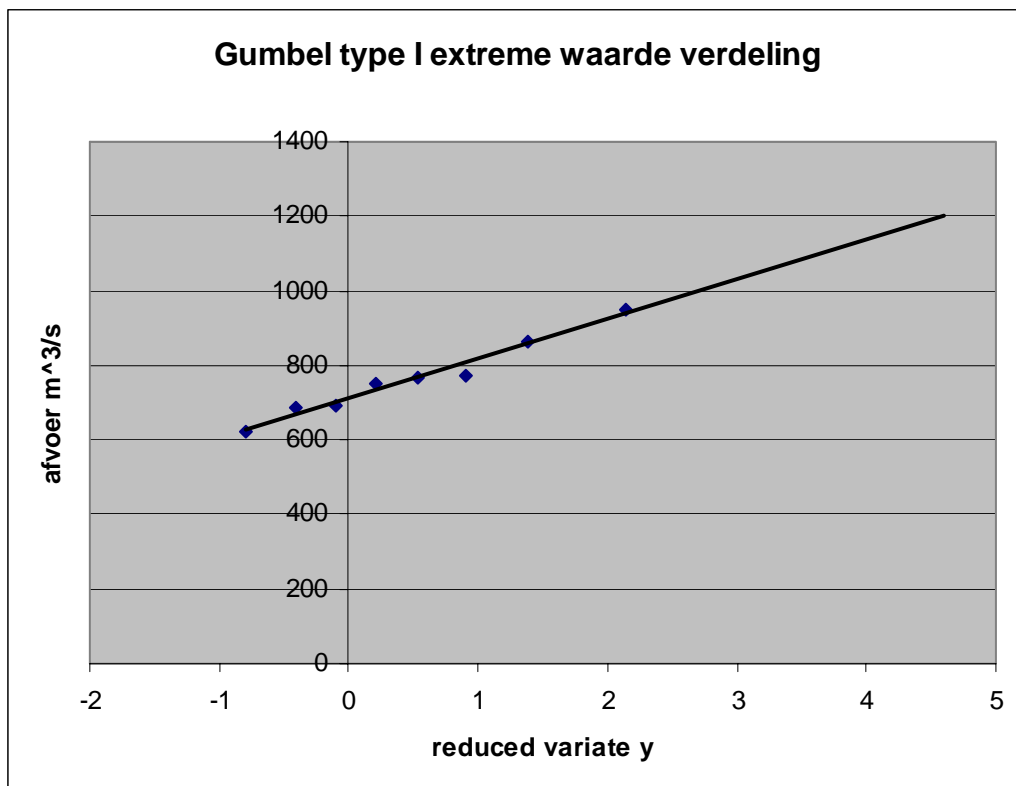
## Opgave 2

- a)  $1/(1-\text{onderderschrijdingskans}) = 1/(1-0.99)=100$  jaar  
 b) Met de plottingpositie bijvoorbeeld  $m/(N+1)$  of  $(m-0.25)/(N+1)$ , waarbij  $m$  het rangorde nummer is van de naar grootte gerangschikte extremen. Afhankelijk of de rangschikking oplopend of aflopend is dit de onder- of over-schrijdingskans.

c)

| Rangorde no m | Extreme Jaar Afvoer | $P(x>X)$ | $P(x<X)$ | T   | y      |
|---------------|---------------------|----------|----------|-----|--------|
| 1             | 950                 | 0,111    | 0,889    | 1,1 | 2,14   |
| 2             | 862                 | 0,222    | 0,778    | 1,3 | 1,382  |
| 3             | 774                 | 0,333    | 0,667    | 1,5 | 0,904  |
| 4             | 766                 | 0,444    | 0,556    | 1,8 | 0,533  |
| 5             | 752                 | 0,556    | 0,444    | 2,3 | 0,208  |
| 6             | 690                 | 0,667    | 0,333    | 3   | -0,095 |
| 7             | 686                 | 0,778    | 0,222    | 4,5 | -0,409 |
| 8             | 621                 | 0,889    | 0,111    | 9   | -0,788 |

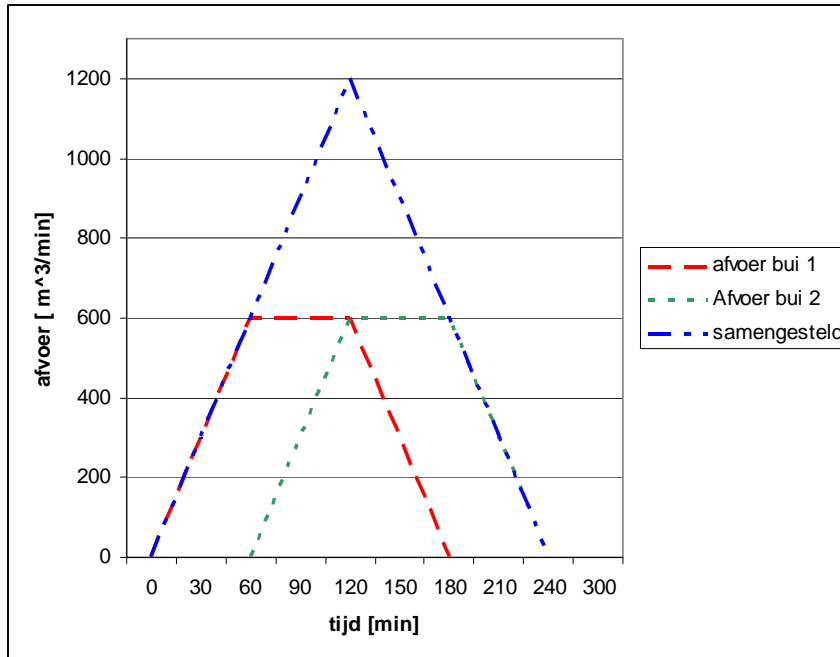
- d)  $-\ln(-\ln(P(x<X)))$   
 e) Extrapoleren en aflezen bij  $y=4.6$  of  $T=100$  jaar of  $P(x<X)=99\%$  geeft extreme afvoer van ongeveer  $1200 \text{ m}^3/\text{sec}$





### Opgave 3

- 180 minuten ( looptijd is 120 minuten + 60 minuten voor de duur van de bui).  
De gezochte term is concentratietijd  $t_c$  (ofwel time of concentration).
- Maximale debiet is  $1200 \text{ m}^3/\text{min}$



- Ook  $1200 \text{ m}^3/\text{min}$ , immers de eerste bui is dan volledig afgestroomd
- Volume neerslag:  $6 \text{ mm} * 20 \text{ km}^2 = 6 * 10^{-3} [\text{m}] * 20 * 10^6 [\text{m}^2] = 120.000 [\text{m}^3]$   
Volume afgestroomd  $600 [\text{m}^3/\text{min}] * 120 [\text{min}] = 72.000 [\text{m}^3]$   
Afvoer coëfficiënt "C" =  $72.000/120.000 = 0.60$
- Even lang als de looptijd; concentratietijd
- Dit is de intensiteit bij buiduur gelijk aan de looptijd (=120 minuten),  $\rightarrow i = 25 \text{ mm/uur}$
- $Q = C * i * A = 0.60 * 25 [\text{mm/uur}] * 20 [\text{km}^2] = 0.6 * 25 * 10^{-3} [\text{m/uur}] * 20 * 10^6 [\text{m}^2] = 300.000 [\text{m}^3/\text{uur}] = 5.000 [\text{m}^3/\text{min}]$

## Examen CT1310 Juni 2007

Het examen heeft vier vragen. Maak elke vraag op een apart velletje. Veel succes.

1. Een riviertraject heeft een lengte  $\Delta x$  en een doorsnede  $A$ .
  - a. Teken in een Q-t diagram de typische hydrographs van de bovenstroomse hydrograph  $Q_{in}$  en de benedenstroomse hydrograph  $Q_{uit}$ .
  - b. Schrijf de formule voor de waterbalans van dit riviertraject.
  - c. Geef in de grafiek aan op welk moment de hoogste waterstand in het riviertraject optreedt, en leg uit waarom.
  - d. Bij de formule van Muskingum wordt verondersteld dat de berging in het riviertraject een functie is van zowel de instroom als de uitstroom. Schrijf deze formule op en maak gebruik van de bovengenoemde symbolen (voorzover mogelijk).
  - e. Benoem de symbolen in de formule van Muskingum en geef hun dimensies.
  - f. Combineer de Muskingum vergelijking met de waterbalans
  - g. Aan welke conditie moet worden voldaan om met deze formule de afvoer benedenstrooms te kunnen voorspellen op een tijdstap  $\Delta t$  later?

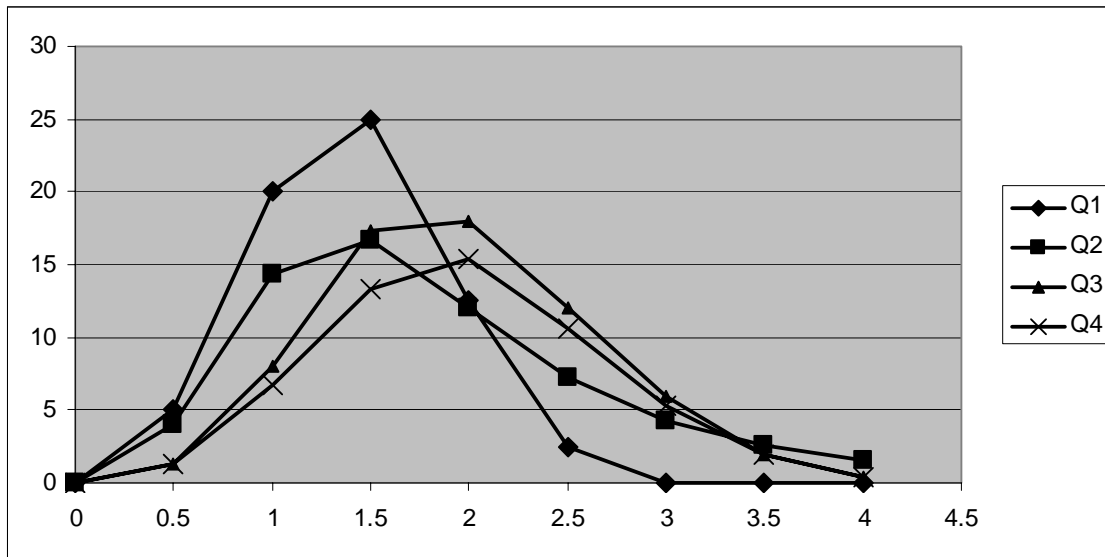
2. In een klein stroomgebied heeft men, voor de regenval-afvoer analyse, drie methodes toegepast:

- 1) het bergingsbeginsel met een verblijftijd  $K=1$  uur.
- 2) het looptijdbeginsel met een looptijd (concentratietijd) van  $t_c=1$  uur.
- 3) een half-uurs Unit Hydrograph voor 1mm afvoerbare neerslag, met de coëfficiënten: 0, 0.13, 0.4, 0.27, 0.13, 0.07 en 0, voor tijdstappen van een half uur.

De maatgevende regenval bestond uit een complexe bui met tijdstappen van een half uur van achtereenvolgens:

10, 30, 20 en 5 mm per half uur

- a) In de onderstaande grafiek staan vier berekende hydrographs: Q1, Q2, Q3 en Q4. De eenheid voor de verticale as is mm/half uur. Welke hydrograph is met welke methode bepaald en welke hydrograph hoort er niet bij?
- b) Wat moet bij alle correcte hydrographs hetzelfde zijn?

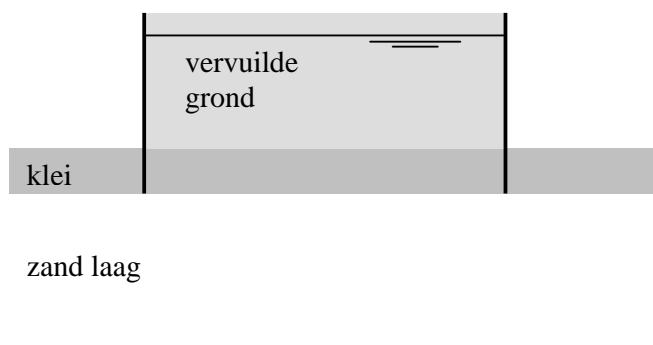


3. Een opslagdepot voor vervuilde grond heeft een kleilaag aan de onderkant en vrijwel ondoorlatende zijkanten (zie doorsnede in Figuur). De stijghoogte in de zandlaag onder de kleilaag is 20 meter. Om te zorgen dat er geen vervuilde water uit het opslagdepot lekt, wordt er constant water uit het opslagdepot gepompt zodat de grondwaterstand in het depot op 19 meter blijft.

Gegeven: De horizontale omvang van het opslagdepot is 40 bij 40 meter, de porositeit van de vervuilde grond is 0.3, de dikte van de kleilaag is 0.5 m, de doorlatendheid van de kleilaag is 1 mm/d en de porositeit van de klei is 0.1.

Gevraagd:

- Wat is het specifiek debiet door de kleilaag?
- Hoeveel water moet er per dag uit het opslagdepot gepompt worden om de grondwaterstand in het opslagdepot op 19 m te houden?
- Als de pomp 4 weken stuk is, hoeveel zal de grondwaterstand in het opslagdepot dan ongeveer stijgen?
- Leg uit of je antwoord onder c) aan de hoge of aan de lage kant is.



4. Van een natuurlijk reservoir gebouwd in een rivier, is voor een gemiddeld jaar en per maand, vanaf het begin van de natte tijd de instroming gegeven (zie onderstaande tabel). We nemen bij alle vragen aan dat aan het begin van de natte tijd het reservoir leeg is. De onttrekkingen die gevraagd worden zijn inclusief verdamping en lekverliezen. We rekenen alleen op basis van de nuttige berging.

|      | Instroming<br>Mm <sup>3</sup> /mnd |
|------|------------------------------------|
| Oct  | 20                                 |
| Nov  | 45                                 |
| Dec  | 70                                 |
| Jan  | 45                                 |
| Feb  | 20                                 |
| Mar  | 15                                 |
| Apr  | 10                                 |
| Mei  | 10                                 |
| Juni | 5                                  |
| Juli | 0                                  |
| Aug  | 0                                  |
| Sep  | 0                                  |

- a1) Zet in een grafiek de gesommeerde instroming vanaf het begin van de natte tijd uit tegen de tijd voor het gehele jaar.
- a2) Laat zien in een tabel en in een grafiek, op basis van de gegeven instroming, wat de maximale constante onttrekking kan zijn over een geheel jaar. Hoeveel is dit?
- a3) Laat zien hoe je dan bepaalt wat de minimale nuttige berging van het reservoir moet zijn. Hoeveel is dit?

Gebruik bijv. een tabel met de volgende kolommen:

|     | Instroming<br>Mm <sup>3</sup> /mnd | Sommatie<br>Instroming<br>Mm <sup>3</sup> /mnd | Overlaat<br>Mm <sup>3</sup> /mnd | Werkelijke<br>Onttrekking<br>Mm <sup>3</sup> /mnd | Sommatie<br>Onttrekking+<br>Overlaat<br>Mm <sup>3</sup> | Berging<br>Mm <sup>3</sup> |
|-----|------------------------------------|--|----------------------------------|---|---|----------------------------|
|     |                                    |  |                                  |   |   | 0                          |
| Oct | 20                                 |  |                                  |   |   |                            |
| etc | etc                                |  |                                  |   |   |                            |

We nemen nu aan dat gedurende de eerste vier maanden er geen onttrekking plaatsvindt.

- b1) Bepaal voor dit geval wat nu de maximale constante onttrekking kan zijn voor het resterende deel van het jaar. Hoeveel is dit?
- b2) Wat is nu de minimale nuttige berging om hieraan te kunnen voldoen?

Wederom nemen we aan dat gedurende de eerste vier maanden er geen onttrekking plaatsvindt en daarna maximaal 30 Mm<sup>3</sup>/maand. De nuttige berging is 100 Mm<sup>3</sup>.

- c1) Maak een tabel waaruit de onttrekkingen per maand volgen.  
 c2) Wat is het verschil met de vorige vraag en hoe komt dit?

Gebruik bijv een (nieuwe) tabel met de volgende kolommen:

|     | Instroming<br>Mm <sup>3</sup> /mnd | Sommatie<br>Instroming<br>Mm <sup>3</sup> | Overlaat<br>Mm <sup>3</sup> /mnd | Werkelijke<br>Onttrekking<br>Mm <sup>3</sup> /mnd | Sommatie<br>Onttrekking+<br>Overlaat<br>Mm <sup>3</sup> | Berging<br>Mm <sup>3</sup> |
|-----|------------------------------------|---|----------------------------------|---|---|----------------------------|
|     |                                    |   |                                  |   |   | 0                          |
| Oct | 20                                 |   |                                  |   |   |                            |
| etc | etc                                |   |                                  |   |   |                            |

1b. 
$$\frac{dS}{dt} = \Delta x \frac{\Delta A}{\Delta t} = Q_{in} - Q_{uit}$$

1c. Waar de twee curves elkaar snijden is  $dA/dt=0$  en treedt de maximale waterstand op

1d. 
$$A\Delta x = K(xQ_{in} + (1-x)Q_{uit})$$

1e. K looptijd [T]

x factor [-]

A dwarsdoorsnede [ $L^2$ ]

$\Delta x$  trajectlengte [L]

$Q_{in}$ ,  $Q_{uit}$  instromend en uitstromend debiet [ $L^3/T$ ]

1f.

$$Q_{uit,2}(-0.5\Delta t - K(1-x)) = Q_{in,1}(-Kx - 0.5\Delta t) + Q_{in,2}(Kx - 0.5\Delta t) + Q_{it,1}(-K(1-x) + 0.5\Delta t)$$

1g. dan moet  $(Kx-0.5\Delta t)$  klein zijn tov de andere termen

2.a. Bergingsbeginsel Q2 want...

Looptijdbeginsel Q1 want....

UH Q3 want ...

fout Q4 want ....

2.b Het oppervlak onder de curves is het volume van de afvoergolf, dat hetzelfde moet zijn

3. Een opslagdepot voor vervuilde grond heeft een kleilaag aan de onderkant en vrijwel ondoorlatende zijkanten (zie doorsnede in Figuur). De stijghoogte in de zandlaag onder de kleilaag is 20 meter. Om te zorgen dat er geen vervuild water uit het opslagdepot lekt, wordt er constant water uit het opslagdepot gepompt zodat de grondwaterstand in het depot op 19 meter blijft.

Gegeven: De horizontale omvang van het opslagdepot is 40 bij 40 meter, de porositeit van de vervuilde grond is 0,3, de dikte van de kleilaag is 0,5 m, de doorlatendheid van de kleilaag is 1 mm/d en de porositeit van de klei is 0,1.

Gevraagd:

a) Wat is het specifiek debiet door de kleilaag?

$$qz = k_{klei} * \text{delh} / L = 0.001 * 1 / 0.5 = 0.002 \text{ m/d}$$

b) Hoeveel water moet er per dag uit het opslagdepot gepompt worden om de grondwaterstand in het opslagdepot op 19 m te houden?

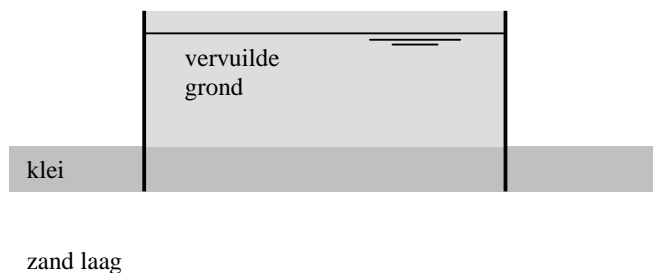
$$V = B * B * qz = 40 * 40 * 0.002 = 3.2 \text{ m}^3$$

c) Als de pomp 4 weken stuk is, hoeveel zal de grondwaterstand in het opslagdepot dan ongeveer stijgen?

$$\text{delh} = qz * \text{delt} / n_{zand} = 0.002 * 28 / 0.3 = 0.19 \text{ m}$$

d) Leg uit of je antwoord onder c) aan de hoge of aan de lage kant is.

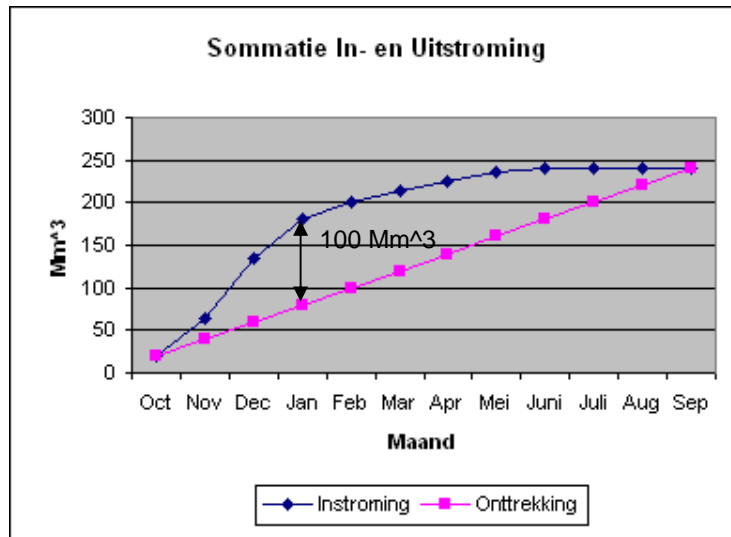
Aan de hoge kant, want als de stijghoogte in de vervuilde grond stijgt, neemt het specifiek debiet door de kleilaag af, terwijl de berekening met een constante  $qz$  gemaakt is



4. Uitwerking:

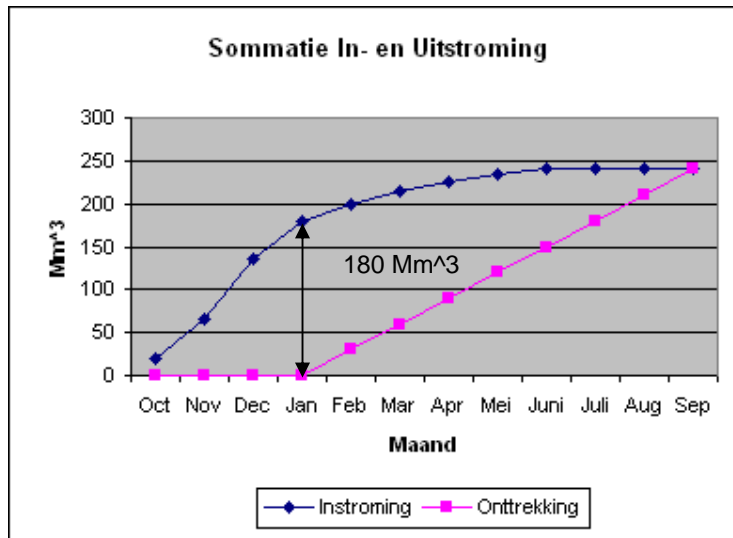
a) Maximaal constante onttrekking  $20\text{Mm}^3/\text{mnd}$  bij nuttige berging van minimaal  $100\text{Mm}^3$ .

| Instroming<br>$\text{Mm}^3/\text{mnd}$ | Sommatie<br>Instroming<br>$\text{Mm}^3$ | Overlaat<br>$\text{Mm}^3/\text{mnd}$ | Werkelijke<br>Onttrekking<br>$\text{Mm}^3/\text{mnd}$ | Sommatie<br>Onttrekking+<br>Overlaat<br>$\text{Mm}^3$ | Berging<br>$\text{Mm}^3$ |
|--|---|--------------------------------------|---|---|--------------------------|
|  |   |                                      |   |   | 0                        |
| 20                                     | 20                                      | 0                                    | 20  | 20  | 0                        |
| 45                                     | 65                                      | 0                                    | 20  | 40  | 25                       |
| 70                                     | 135                                     | 0                                    | 20  | 60  | 75                       |
| 45                                     | 180                                     | 0                                    | 20  | 80  | 100                      |
| 20                                     | 200                                     | 0                                    | 20  | 100   | 100                      |
| 15                                     | 215                                     | 0                                    | 20  | 120   | 95                       |
| 10                                     | 225                                     | 0                                    | 20  | 140   | 85                       |
| 10                                     | 235                                     | 0                                    | 20  | 160   | 75                       |
| 5                                      | 240                                     | 0                                    | 20  | 180   | 60                       |
| 0                                      | 240                                     | 0                                    | 20  | 200   | 40                       |
| 0                                      | 240                                     | 0                                    | 20  | 220   | 20                       |
| 0                                      | 240                                     | 0                                    | 20  | 240   | 0                        |



b) Maximaal constante onttrekking 30Mm<sup>3</sup> /mnd bij nuttige berging van minimaal 180Mm<sup>3</sup>

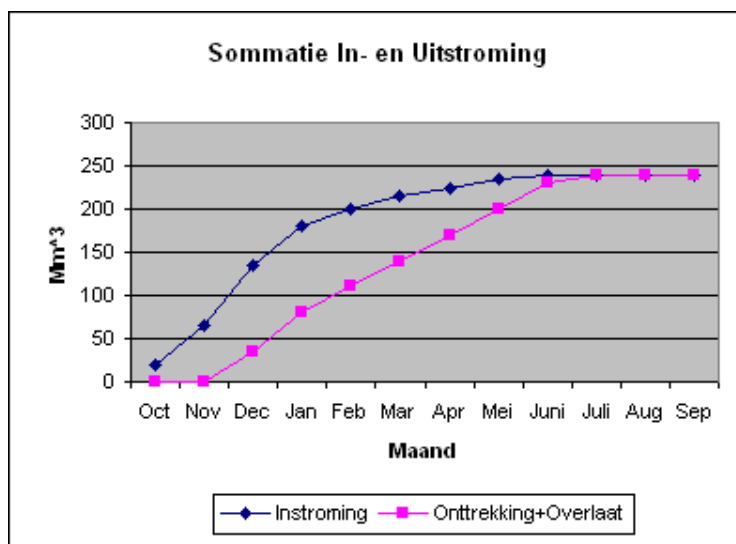
|      | Instroming<br>Mm <sup>3</sup> /mnd | Sommatie<br>Instroming<br>Mm <sup>3</sup> | Overlaat<br>Mm <sup>3</sup> /mnd | Werkelijke<br>Onttrekking<br>Mm <sup>3</sup> /mnd | Sommatie<br>Onttrekking+<br>Overlaat<br>Mm <sup>3</sup> | Berging<br>Mm <sup>3</sup> |
|------|------------------------------------|---|----------------------------------|---|---|----------------------------|
|      |                                    |   |                                  |   |   | 0                          |
| Oct  | 20                                 | 20  | 0                                | 0   | 0   | 20                         |
| Nov  | 45                                 | 65  | 0                                | 0   | 0   | 65                         |
| Dec  | 70                                 | 135                                       | 0                                | 0   | 0   | 135                        |
| Jan  | 45                                 | 180                                       | 0                                | 0   | 0   | 180                        |
| Feb  | 20                                 | 200                                       | 0                                | 30  | 30  | 170                        |
| Mar  | 15                                 | 215                                       | 0                                | 30  | 60  | 155                        |
| Apr  | 10                                 | 225                                       | 0                                | 30  | 90  | 135                        |
| Mei  | 10                                 | 235                                       | 0                                | 30  | 120   | 115                        |
| Juni | 5                                  | 240                                       | 0                                | 30  | 150   | 90                         |
| Juli | 0                                  | 240                                       | 0                                | 30  | 180   | 60                         |
| Aug  | 0                                  | 240                                       | 0                                | 30  | 210   | 30                         |
| Sep  | 0                                  | 240                                       | 0                                | 30  | 240   | 0                          |





c) De totale onttrekking is nu 160 Mm<sup>3</sup>, bij de vorige vraag was dat 240 Mm<sup>3</sup>.  
 Het verschil is dat er nu uitstroming over de overlaat plaatsvindt van in totaal 80 Mm<sup>3</sup>.  
 In Juli, Aug, Sept kan niet meer aan de volledige gewenste onttrekking van 30 Mm<sup>3</sup> /mnd worden voldaan.

|      | Instroming<br>Mm <sup>3</sup> /mnd | Sommatie<br>Instroming<br>Mm <sup>3</sup> | Overlaat<br>Mm <sup>3</sup> /mnd | Werkelijke<br>Onttrekking<br>Mm <sup>3</sup> /mnd | Sommatie<br>Onttrekking+<br>Overlaat<br>Mm <sup>3</sup> | Berging<br>Mm <sup>3</sup> |
|------|------------------------------------|---|----------------------------------|---|---|----------------------------|
|      |                                    |   |                                  |   |   | 0                          |
| Oct  | 20                                 | 20  | 0                                | 0   | 0   | 20                         |
| Nov  | 45                                 | 65  | 0                                | 0   | 0   | 65                         |
| Dec  | 70                                 | 135                                       | 35                               | 0   | 35  | 100                        |
| Jan  | 45                                 | 180                                       | 45                               | 0   | 80  | 100                        |
| Feb  | 20                                 | 200                                       | 0                                | 30  | 110   | 90                         |
| Mar  | 15                                 | 215                                       | 0                                | 30  | 140   | 75                         |
| Apr  | 10                                 | 225                                       | 0                                | 30  | 170   | 55                         |
| Mei  | 10                                 | 235                                       | 0                                | 30  | 200   | 35                         |
| Juni | 5                                  | 240                                       | 0                                | 30  | 230   | 10                         |
| Juli | 0                                  | 240                                       | 0                                | 10  | 240   | 0                          |
| Aug  | 0                                  | 240                                       | 0                                | 0   | 240   | 0                          |
| Sep  | 0                                  | 240                                       | 0                                | 0   | 240   | 0                          |



**Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele  
Techniek en Geowetenschappen  
Afdeling Watermanagement**

*Sectie Waterhuishouding*

**Herkansing CT 1310**

**09.00 – 12.00 uur**

**21 augustus 2008**

- \* Het tentamen bestaat uit 4 opgaven, alle 25%
- \* Een zelfgemaakt A4 formuleblad mag worden gebruikt.

**SVP elke vraag op een nieuw blad beginnen voorzien van naam en studienr.**

Opgave 1: Water systemen en water balansen

Een kamerplant staat in een bloempot. De bloempot staat in een schotel. Als je de plant water geeft loopt er na een tijdje water in de schotel. Zodra er water in de schotel komt stop je met water geven, zodat de schotel niet overstroomt.

- a. Maak een schets van het systeem bestaande uit bloempot en schotel. Geef de parameters van de waterbalans aan in de schets, alsmede de systeemgrenzen van bloempot en schotel.
- b. Schrijf de waterbalans op van de bloempot, de schotel en van het totaalsysteem. Geef ook aan wat de dimensies zijn van de verschillende termen
- c. Hoe verandert deze waterbalans als wij over lange tijd de gemiddelden berekenen?
- d. Teken een typisch verloop over de tijd van de berging van de bloempot en van de schotel tussen twee watergiften. Teken ze onder elkaar.

## Opgave 2. Verdamping

De Penman formule voor open water is:

$$E_0 = \frac{\left\{ \frac{sR_N}{\rho\lambda} + \frac{c_p \rho_a (e_s - e_a)}{\rho\lambda r_a} \right\}}{s + \gamma}$$

waar  $c_p$  de specifieke warmte is in  $[\text{J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}]$ .

De formule voor de aerodynamische weerstand is:

$$r_a = \frac{245}{(0.54u_2 + 0.5)}$$

de formule voor  $s$  ( $s = de_s/dt$ ) is:

$$s = \frac{4100e_s}{(237 + t)^2}$$

- De teller van de Penman formule heeft twee termen. Welke fysisch proces wordt beschreven door de eerste term, en welk fysisch proces door de tweede term?
- In de formule voor de aerodynamische weerstand is het getal 0.54 dimensieloos. Wat zijn de dimensies van  $u_2$ ,  $r_a$  en de andere twee getallen?
- De formule voor  $s$  beschrijft de helling van de verzadigingsdampspanning-kromme. Wat zijn de dimensies of eenheden van de variabelen en de twee getallen in deze formule?
- Benoem nu alle variabelen in de Penman formule en geef hun dimensies of eenheden.
- Welk proces wordt door  $\gamma$  bepaald?

### Opgave 3.

In een stedelijk gebied met oppervlakte van  $36 \text{ km}^2$  gebruiken we het looptijdbeginsel voor de neerslag-afvoer relatie. De looptijd bedraagt 2 uur.

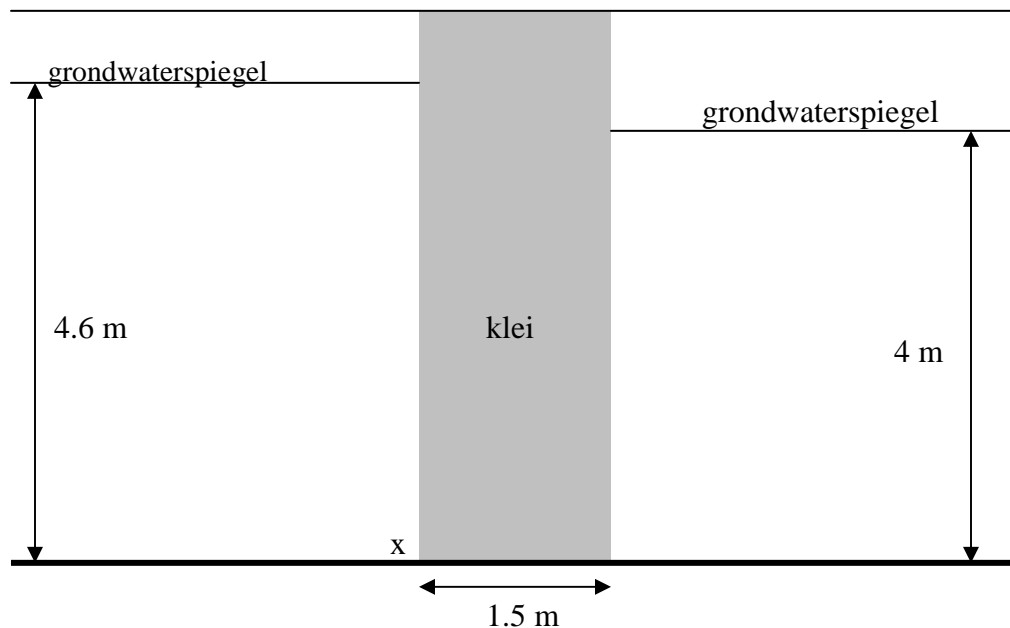
- a. Geef de algemene formule die gebruikt wordt om afvoer te bepalen mbv van het looptijdbeginsel. Benoem de parameters en geef de dimensies.
- b. Er is een afvoerbare neerslag van  $10 \text{ mm/ uur}$  gedurende 2 uur (dus totaal  $20 \text{ mm}$ ). Maak een grafiek met het verloop in de tijd van de bijdrage van de oppervlakte. Veronderstel een lineair verloop.
- c. Geef voor het geval van vraag b. ook het verloop in de tijd van de afvoer in  $\text{m}^3/\text{sec}$ .
- d. Toon aan, gebruik makend van uw antwoorden hierboven, dat de volledige afvoerbare neerslag inderdaad is afgevoerd.
- e. Maak nu een grafiek met het verloop in de tijd van de bijdrage van de oppervlakte bij een afvoerbare neerslag van alleen  $10 \text{ mm}$  in het eerste uur. Geef tevens het verloop in de tijd van de afvoer (in  $\text{m}^3/\text{s}$ )

#### Opgave 4

Om een gebied met vervuilde grond te isoleren heeft een aannemer een lange verticale geul gegraven en die gevuld met klei; de bodem van de geul ligt op een ondoorlatende laag. De geul is 40 meter lang, 1.5 meter breed en 5 meter diep. De geul is als het ware een verticale kleimuur; een verticale doorsnede is gegeven in de Figuur. De grondwaterstand aan de bovenstroomse zijde van de muur is 4.6 meter, en aan de benedenstroomse zijde 4 meter (gemeten t.o.v. de ondoorlatende basis).

Gegeven: doorlatendheid van de klei is 0.001 m/d, porositeit van de klei is 0.4.

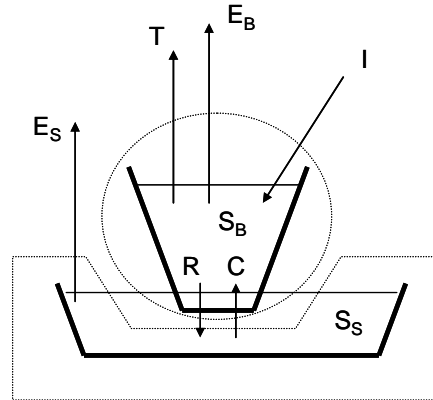
- Wat is de horizontale weerstand  $c$  van de kleimuur?
- Wat is het specifiek debiet door de kleimuur?
- Wat is, bij benadering, de totale hoeveelheid water die in een jaar door een sectie muur van 10 meter lengte stroomt?
- Wat is de drukhoogte, plaatshoogte, en stijghoogte aan de bovenstroomse zijde van de muur, net boven de ondoorlatende laag, gemeten t.o.v. de ondoorlatende basis? (punt  $x$  in de Figuur).
- Hoe lang duurt het voor een waterdeeltje om door de muur te stromen?



Opgave 1:

a)

|         |                       |           |
|---------|-----------------------|-----------|
| I=      | Irrigatie of Input    | $[L^3/T]$ |
| $E_B$ = | Verdamping bloempot   | $[L^3/T]$ |
| T=      | Transpiratie plant    | $[L^3/T]$ |
| $E_S$ = | Verdamping schotel    | $[L^3/T]$ |
| R=      | Recharge              | $[L^3/T]$ |
| C=      | Capillaire opstijging | $[L^3/T]$ |
| $S_B$ = | Berging bloempot      | $[L^3]$   |
| $S_S$ = | Berging schotel       | $[L^3]$   |



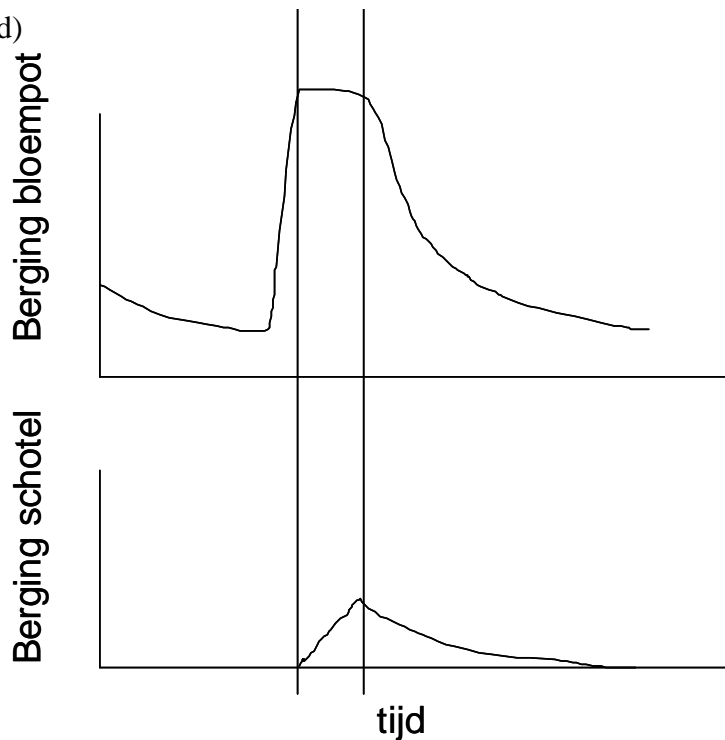
b) 
$$\frac{dS_B}{dt} = I - T - E_B - R + C$$

$$\frac{dS_S}{dt} = R - C - E_S$$

$$\frac{dS_B + dS_S}{dt} = I - T - E_B - E_S$$

c) Bergingstermen worden 0

d)



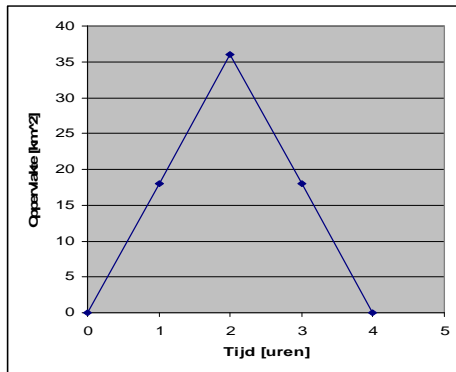
Opgave 2:

- a) Eerste term: Netto straling  
Tweede term: Temperatuur, vochtigheid, wind
- b)  $u_2 = [L/T]$ ,  $r_a = [T/L]$ ,  $0.5 = [L/T]$ ,  $245 [-]$
- c)  $e_s = [KPa]$ ,  $t = [^{\circ}C]$ ,  $4100 = [^{\circ}C]$ ,  $237 = [^{\circ}C]$
- d)  $R_N$  = netto straling [ $W/m^2$ ] of [ $J/s/m^2$ ]  
 $\rho$  = soortelijke dichtheid water [ $kg/m^3$ ]  
 $\rho_a$  = soortelijke dichtheid van lucht [ $kg/m^3$ ]  
 $\gamma$  = psychrometer constante [ $KPa/^{\circ}C$ ]  
 $\lambda$  = verdampingswarmte [ $J/kg$ ]  
 $c_p$  = soortelijke warmte van lucht [ $J/kg/^{\circ}C$ ]  
 $e_s$  = verzadigingsdampspanning [ $KPa$ ]  
 $e_a$  = actuele dampspanning [ $KPa$ ]  
 $r_a$  = aerodynamische weerstand [ $s/m$ ]  
 $s$  = helling van de dampspanningskromme [ $KPa/^{\circ}C$ ]  
 $E_0$  = open water verdamping [ $m/s$ ]
- e) Afkoeling door verdamping van water

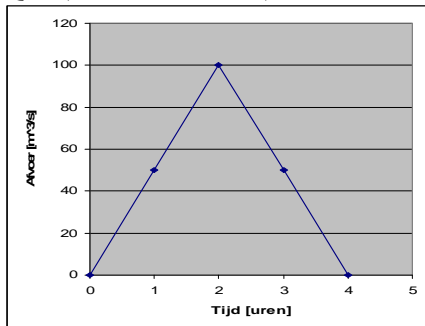
Opgave 3:

a)  $Q=CiA$ ,  $Q$ =afvoer [ $m^3/s$ ],  $C$ = reductiecoefficient of verliescoefficient [-],  $i$ =neerslag [ $m/s$ ],  $A$ =bijdragend oppervlak [ $m^2$ ], of  
 $Q_t=i_a*A_t$ ,  $Q_t$ =afvoer [ $m^3/s$ ],  $i_a$ =afvoerbare neerslag [ $m/s$ ],  $A_t$ =bijdragend oppervlak [ $m^2$ ]

b)



c) Maximale afvoer:  $Q_t=i_a*A_t$   
 $Q_t= (10*10^{-3}/3600)*36*10^6=100m^3/s$

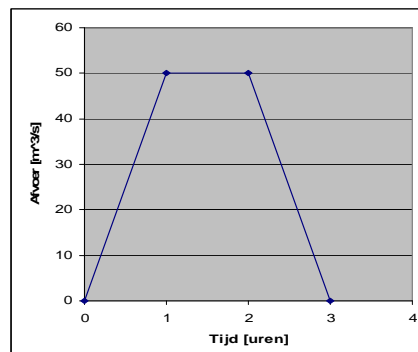
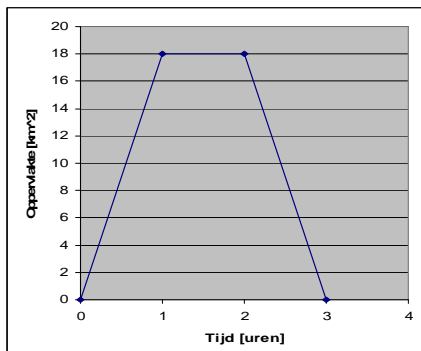


d)  $In=Uit$

$In$ =Afvoerbare neerslag=  $0.02*36000000=720000 m^3$

$Uit$ =Afvoer=Oppvl onder grafiek van antwoord c)=  $100*2*3600=720000 m^3$

e)





**Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele  
Techniek en Geowetenschappen  
Afdeling Watermanagement**

**Sectie Waterhuishouding**

**Tentamen CT 1310**

**09.00 – 12.00 uur**

**18 juni 2008**

- \* Het tentamen bestaat uit 4 opgaven, alle 25%
- \* Een zelfgemaakt A4 formuleblad mag worden gebruikt.

**SVP elke vraag op een nieuw blad beginnen voorzien van naam en studienr.**

**Opgave 1: Water systemen en water balansen**

Een toilet bestaat uit een toiletpot met berging  $S_p$  en een stortbak met berging  $S_s$ . De stortbak wordt gevuld met een instroom  $I_s$ . Als de stortbak vol is stopt de instroom middels een vlotterkraan. Als er doorgetrokken wordt, ontvangt de toiletpot een spoelstroom vanuit de stortbak  $I_f$ . De toiletpot ontvangt ook een instroom van de toiletgebruiker  $I_u$ . Naar de riolering stroomt een uitstroom  $O$ .

- a. Maak een schets van het systeem bestaande uit toiletpot en stortbak. Geef de parameters van de waterbalans aan in de schets, alsmede de systeemgrenzen van stortbak en toiletpot.
- b. Schrijf de waterbalans op van de stortbak, de toiletpot en van het totaalsysteem. Geef ook aan wat de dimensies zijn van de verschillende termen
- c. Hoe verandert deze waterbalans als wij over lange tijd de gemiddelden berekenen?
- d. Maak een schets van het karakteristieke verloop over de tijd van de berging in de stortbak  $S_s$  en van de spoelstroom  $I_f$ . Teken deze grafieken onder elkaar.

## Opgave 2. Verdamping

De netto uitgaande lange-golfstraling wordt beschreven met de volgende formule:

$$R_B = \sigma(273 + t_a)^4 \left( 0.47 - 0.21\sqrt{e_a} \right) \left( 0.2 + 0.8 \frac{n}{N} \right)$$

Hierin is  $\sigma$  de Stefan-Boltzmann constante.

- Wat is de eenheid waarin  $R_B$  kan worden uitgedrukt.
- Wat is de eenheid van de Stefan-Boltzmann constante? (0.47 and 0.2 zijn dimensieloos)
- Geef nu ook de dimensie of eenheid van alle andere parameters en getallen in deze vergelijking
- Waarom staat  $e_a$  in deze vergelijking? en wat is het effect ervan?
- Waarom staat  $n/N$  in deze vergelijking? en wat is het effect ervan?

### Opgave 3.

Een hydroloog besluit in het veld de porositeit en de doorlatendheid van de grond te meten met een grote emmer. De emmer heeft een hoogte van 50 cm en een diameter van 30 cm. Hij vult de emmer met 40 cm droog zand. Vervolgens meet hij hoeveel water er aan de emmer toegevoegd moet worden totdat het water precies tot aan de bovenkant van het zand staat; dit blijkt 10 liter te zijn.

- a. Wat is de porositeit van het zand?

Vervolgens slaat de hydroloog een aantal gaten in de bodem van de emmer en vult hem weer met 40 cm droog zand. Nu vult hij de emmer met water totdat het water precies aan de rand staat. Hij blijft water toevoegen zodat het water aan de rand blijft staan terwijl het water ook door de gaten uit de bodem loopt (we gaan ervan uit dat de gaten verder geen weerstand geven). Na een poosje ontstaat een stationaire situatie en meet de hydroloog dat er in 1 minuut 1 liter water onder uit de emmer loopt.

- b. Wat is de plaatshoogte, drukhoogte en stijghoogte aan de bovenkant van het zand?
- c. Wat is de plaatshoogte, drukhoogte en stijghoogte aan de onderkant van het zand?
- d. Wat is de doorlatendheid van het zand in meters/dag?
- e. Hoe lang is een waterdeeltje gemiddeld onderweg van de bovenkant van het zand naar de onderkant van het zand? Geef je antwoord in minuten.

Op tijdstip  $t_0$  stopt de hydroloog met het bijvullen van de emmer.

- f. Hoeveel water loopt er ongeveer nog uit de onderkant van de emmer na tijdstip  $t_0$ . Leg duidelijk uit hoe je aan je antwoord komt.

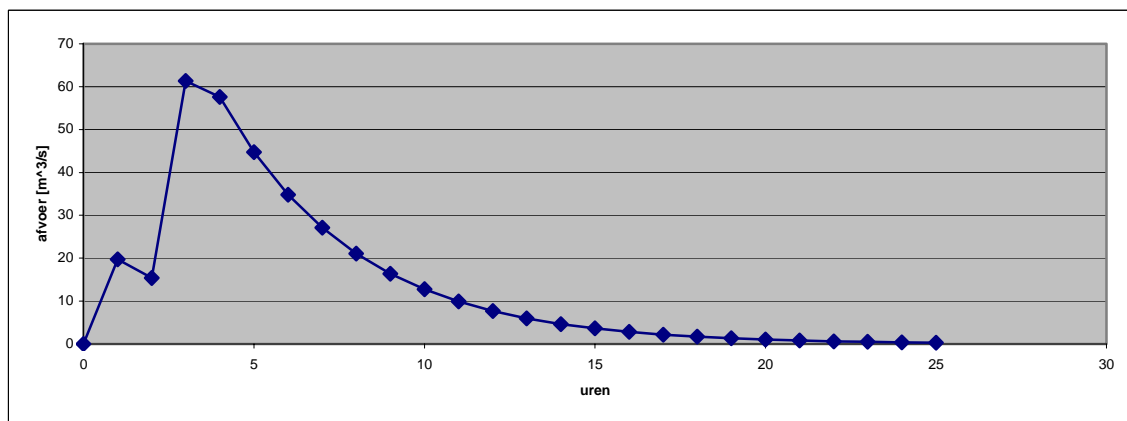
## Opgave 4.

### Neerslag – Afvoer relatie

In een stroomgebied van 32 km<sup>2</sup> wordt een complexe bui waargenomen van achtereenvolgens 14, 2, 29 en 9 [mm/uur]. Met behulp van het bergingsbeginsel wordt er een afvoerkromme gegenereerd. Er is met gelijke tijdstappen van een uur gerekend en over ieder uur wordt het afvoerverloop lineair verondersteld, waardoor geldt:

$$q_2 = \frac{k - \frac{1}{2} \Delta t}{k + \frac{1}{2} \Delta t} q_1 + \frac{\Delta t}{k + \frac{1}{2} \Delta t} i_a$$

De afvoerkromme en ordinaten van de afvoer zijn in de grafiek en tabel gegeven.

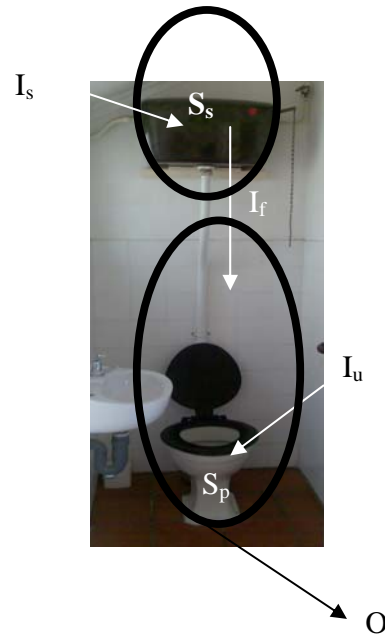


| afvoer volgens bergingsbeginsel per uur |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| uur                                     | 0    | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | etc |
| [m <sup>3</sup> /s]                     | 0,00 | 19,75 | 15,36 | 61,33 | 57,58 | 44,78 | 34,83 | 27,09 | 21,07 | 16,39 | 12,75 | etc |

- Verklaar waarom theoretisch gezien de ordinaten van de afvoer nooit nul worden.
- Gegeven wordt dat het afvoervolume in de limiet naar oneindig gelijk is aan  $1,28 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Wat is dan het verloop van de netto neerslagintensiteit als we een constante verliesintensiteit aannemen.
- Gebruik de gegevens en laat zien hoe de coëfficiënten van  $q_1$  en  $i_a$  bepaald kunnen worden. Wat zijn de waarden.
- Laat zien hoe de waarde van  $k$  die is gebruikt nu bepaald kan worden en wat is deze waarde. Wat is de eenheid.
- Bereken de berging op het moment van de hoogste afvoer

Opgave 1.

a)

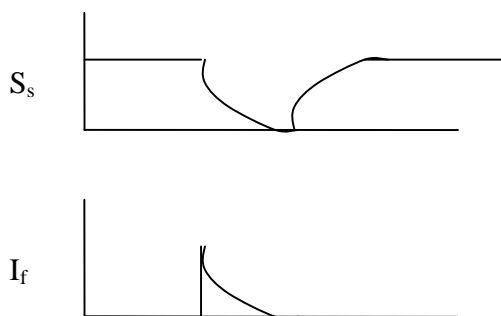


b)  $\frac{dS_s}{dt} = I_s - I_f$        $\frac{dS_p}{dt} = I_f + I_u - O$        $\frac{d(S_s + S_p)}{dt} = I_s + I_u - O$

I en O in  $[L^3/T]$  en S in  $[L^3]$

c)  $\frac{d(S_s + S_p)}{dt} = 0$       dus       $\bar{I}_s + \bar{I}_u = \bar{O}$

d)



Opgave 2.

- a)  $J/d/m^2$  of  $W/m^2$
- b)  $J/d/m^2/^\circ K^4$  of  $W/m^2/^\circ K^4$
- c)  $t_a$  in  $[^\circ C]$ ,  $e_a$  in  $[kPa]$ ,  $0,21$  in  $[1/\sqrt{kPa}]$ ,  $n$  in  $[T]$ ,  $N$  in  $[T]$

- d) veel vocht in de atmosfeer verhindert de lange golf uitstraling, is dus een broeikasgas effect
- e)  $n/N$  is een maat voor het aantal uren zonneshijn en dus ook de bewolgingsgraad. Bij veel bewolking een lagere waarde van  $n/N$  en minder uitgaande lange golfstraling

### Opgave 3

a)  $V_{\text{water}}/V_{\text{totaal}} = 0.01 / (0.4 * \pi * .15^2) = 0.35$

b) 0.4 m, 0.1 m, 0.5 m, gemeten ten opzichte van onderkant emmer

c) 0 m, 0 m, 0 m.

d)  $k = Q * \Delta h / (A * \Delta L) = 0.001 * 60 * 24 * 0.4 / (\pi * 0.15^2 * 0.5) = 16.3 \text{ m/d}$

e)  $v = k * \Delta h / (n * \Delta L) = 58.2 \text{ m/d}$   
 $t = 0.4 / v = 0.00687 \text{ dagen} = 9.9 \text{ minuten}$

f) Volume water dat uit het zand komt dient gecorrigeerd te worden voor het hangwater dat achterblijft. Dus “effectieve” porositeit is iets van 0.3 of 0.25.

$V = 0.1 * A + 0.4 * n_{\text{gecorrigeerd}} * A = 0.1 * \pi * 0.15^2 + 0.4 * 0.25 * \pi * 0.15^2 = 0.014 \text{ m}^3 = 14 \text{ liter}$

### Opgave 4

- a)  $q_2$  blijft immer een fractie van  $q_1$
- b) bruto neerslag  $14+2+29+9 = 54 \text{ mm}$ .  
 netto neerslag  $1,28 * 10^6 \text{ m}^3 / 32000000 \text{ m}^2 = 0.04 \text{ m}$  of te wel 40 mm.  
 Bij een constante verliesintensiteit van 4mm/uur wordt dit  $10+0+25+5=40 \text{ mm}$
- c) Gebruik de formule voor twee opeenvolgende momenten.

Bijvoorbeeld:

$q_1(0)=0,$

$q_2(1)=19,75 \text{ [m}^3/\text{s]} * 3600 / 32000000 \text{ [m}^2] = 0,00222 \text{ [m]} = 2,22 \text{ [mm/uur]}$

$i_a = 10 \text{ mm/uur}$

$$\frac{\Delta t}{k + \frac{1}{2} \Delta t} = \frac{q_2}{i_a} = 0,222$$

Omdat de som van de coëfficiënten =1 volgt  $\frac{k - \frac{1}{2} \Delta t}{k + \frac{1}{2} \Delta t} = 0,778$

- d) zie c) met  $\Delta t = 1 \text{ uur}$  volgt  $k=4 \text{ uur}$
- e)  $s=kq: 4 * 61,33 * 3600 = 883 * 10^3 \text{ m}^3$

## **Afdeling Watermanagement**

### *Sectie Waterhuishouding*

**Herkansing CT 1310**

**09.00 – 12.00 uur**

**28 januari 2010**

### **ANTWOORDEN**

#### Opgave 1

Ten behoeve van de waterbalans in een stroomgebied in Nederland wil men de gemiddelde neerslagdiepte bepalen voor het hele gebied over een hydrologisch jaar. Dit gebeurt aan de hand van de neerslag van een 11 tal stations in het gebied.

Tevens wil men een schatting van de werkelijke verdamping over dezelfde periode.

- 1) Noem drie methoden om de gemiddelde neerslagdiepte te bepalen en beschrijf ieder van de methoden. Welke methode houdt het beste rekening met orografische effecten en leg uit waarom ?
- 2) Geef een redelijke schatting van de werkelijke verdamping en neerslag in Nederland in een gemiddeld hydrologisch jaar.
- 3) Schets de Budyko curve, inclusief de asymptoten. Zet langs de x-as en y-as wat ieder van de assen voorstelt. Zet tevens bij het snijpunt van de twee asymptoten de waarde op de x en y-as. Wat is de fysische betekenis van de twee asymptoten?
- 4) Teken in de grafiek het punt waar Nederland zich (ongeveer) bevindt en licht dit toe.
- 5) Noem vier atmosferische condities die de werkelijke verdamping beïnvloeden.

## Uitwerking opgave 1

Ten behoeve van de waterbalans in een stroomgebied in Nederland wil men de gemiddelde neerslagdiepte bepalen voor het hele gebied over een hydrologisch jaar. Dit gebeurt aan de hand van de neerslag van een 11 tal stations in het gebied.

Tevens wil men een schatting van de werkelijke verdamping over dezelfde periode.

- 1) Noem drie methoden om de gemiddelde neerslagdiepte te bepalen en beschrijf ieder van de methoden. Welke methode houdt het beste rekening met orografische effecten en leg uit waarom ?

-) *rekenkundig gemiddelde van alle stations binnen het stroomgebied*

-) *thiessenpolygonen, gevormd door de middelloodlijn te trekken op de lijnen die de stations verbinden. Per station ontstaat er dan een oppervlakte in de vorm van een polygoon waarvoor aangenomen wordt dat de in het station waargenomen neerslag representatief is. De verhouding van de oppervlakte van de polygoon (binnen het stroomgebied) tov van de totale oppervlakte van het stroomgebied is het gewicht van de bijdrage van de neerslag in het betreffende station.*

-) *isohyeten methode. Er worden lijnen getrokken van gelijke neerslag op basis van de gemeten waarden. De oppervlakten tussen twee isohyeten worden gemeten en vermenigvuldigd met de gemiddelde neerslag tussen de isohyeten. De som hiervan gedeeld door de totale oppervlakte geeft de gemiddelde neerslag diepte.*

-) *“inverse distance” methode. Er wordt een fijnmazig cellennet geprojecteerd op het stroomgebied. Per cel wordt een neerslag bepaald op basis van de som van de neerslag van alle omliggende stations, echter met een wegingsfactor die afhangt van de afstand tot het station.*

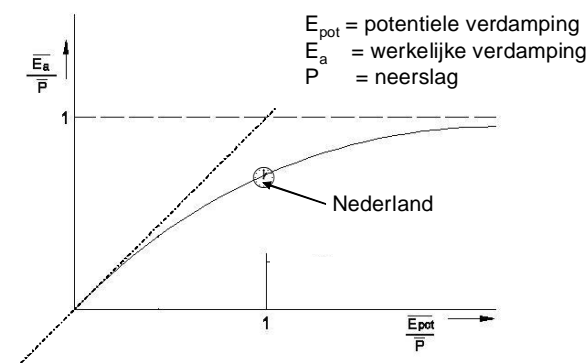
*Met de isohyeten methode kan men het beste rekening houden met orografische effecten door rekening te houden met de hoogtelijnen. **Mocht de Griging methode genoemd worden, dan is dit ook goed te rekenen.***

- 2) Geef een redelijke schatting van de werkelijke verdamping en neerslag in Nederland in een gemiddeld hydrologisch jaar.

*Gemiddelde jaarlijkse neerslag 750mm/jaar*

*Gemiddelde jaarlijkse werkelijke verdamping 450mm/jaar*

- 3) Schets de Budyko curve, inclusief de asymptoten. Zet langs de x-as en y-as wat ieder van de assen voorstelt. Zet tevens bij het snijpunt van de twee asymptoten de waarde op de x en y-as. Wat is de fysische betekenis van de twee asymptoten?





" $E_a/P = E_p/P$ " asymptoot: energie beperking  $E_a = E_p$ ; Er kan niet meer verdampen dan de beschikbare energie

" $E_a/P = 1$ " asymptoot: water beperking  $E_a = P$ ; Er kan niet meer verdampen dan de beschikbare hoeveelheid regenval.

- 4) Teken het punt in de grafiek waar Nederland zich (ongeveer) bevindt en licht toe.  
 $E_{pot} \approx 700 \text{ mm/jaar}$ ,  $E_a \approx 450 \text{ mm/jaar}$ ,  $P \approx 750 \text{ mm/jaar}$ :  $E_{pot}/P \approx 700/750 \approx 1$ ;  
 $E_a/P \approx 450/750 \approx 0.6$   
*Zie figuur vraag 3)*
- 5) Noem vier atmosferische condities die de werkelijke verdamping beïnvloeden.  
*Vochtigheid, Wind, Temperatuur, Straling*

## Opgave 2

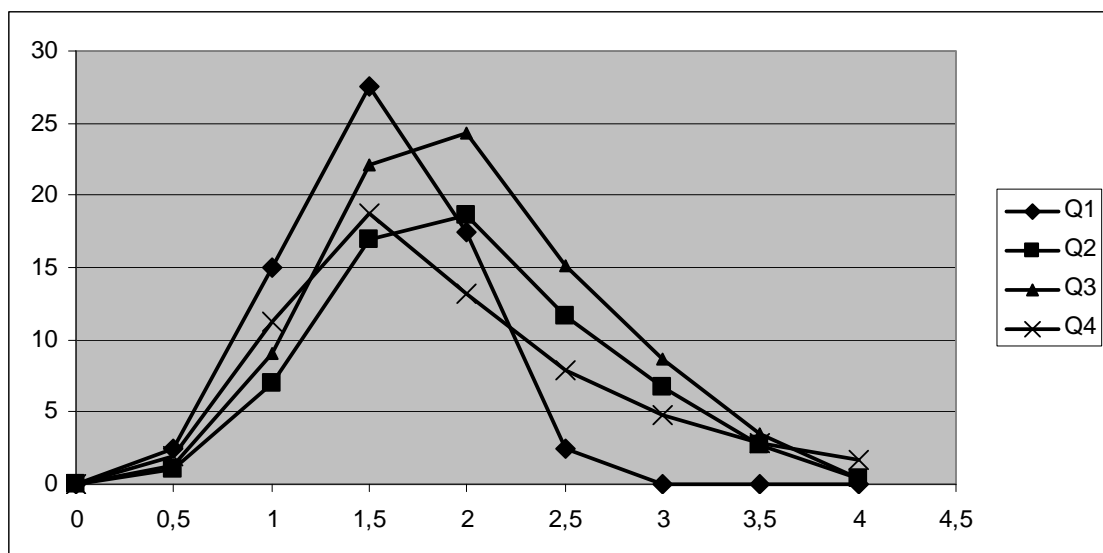
In een klein stroomgebied heeft men, voor de regenval-afvoer analyse, drie methodes toegepast:

- 1) het bergingsbeginsel met een verblijftijd  $K=1$  uur.
- 2) het looptijdbeginsel met een looptijd (concentratietijd) van  $t_c=1$  uur.
- 3) een half-uurs Unit Hydrograph voor 1mm afvoerbare neerslag, met de coëfficiënten: 0, 0.2, 0.4, 0.2, 0.13, 0.07 en 0, voor tijdstappen van een half uur.

De maatgevende regenval bestond uit een complexe bui met tijdstappen van een half uur van achtereenvolgens:

5, 25, 30 en 5 mm per half uur

- a) In de onderstaande grafiek staan vier berekende hydrographs: Q1, Q2, Q3 en Q4. De eenheid voor de verticale as is mm/half uur. Welke hydrograph is met welke methode bepaald en welke hydrograph hoort er niet bij? Verklaar uw antwoorden.
- b) Wat moet bij alle correcte hydrographs hetzelfde zijn?



## Uitwerking opgave 2

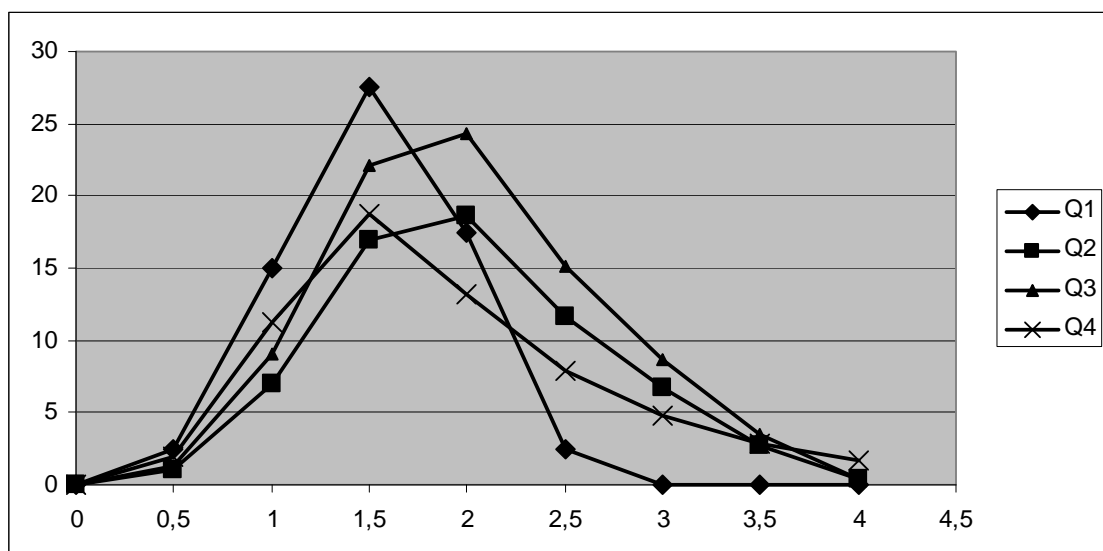
In een klein stroomgebied heeft men, voor de regenval-afvoer analyse, drie methodes toegepast:

- 1) het bergingsbeginsel met een verblijftijd  $K=1$  uur.
- 2) het looptijdbeginsel met een looptijd (concentratietijd) van  $t_c=1$  uur.
- 3) een half-uurs Unit Hydrograph voor 1mm afvoerbare neerslag, met de coëfficiënten: 0, 0.2, 0.4, 0.2, 0.13, 0.07 en 0, voor tijdstappen van een half uur.

De maatgevende regenval bestond uit een complexe bui met tijdstappen van een half uur van achtereenvolgens:

5, 25, 30 en 5 mm per half uur

- a) In de onderstaande grafiek staan vier berekende hydrographs: Q1, Q2, Q3 en Q4. De eenheid voor de verticale as is mm/half uur. Welke hydrograph is met welke methode bepaald en welke hydrograph hoort er niet bij? Verklaar uw antwoorden.
- Q1= Looptijdbeginsel, na 2 uur stopt de regen en met een looptijd van 1 uur is dan na 3 uur in totaal vanaf het begin van de bui de afvoer voorbij.*
- Q2= UH, na het eerste half uur is de afvoer  $0.2*5=1$  mm/half uur, na een uur  $0.4*5+0.2*25=7$ mm/half uur*
- Q4=Het bergingsbeginsel, na de regen verloopt de afvoer negatief exponentieel, maar komt niet bij nul uit,*
- Q3= Fout*
- b) Wat moet bij alle correcte hydrographs hetzelfde zijn?  
*In de limiet naar oneindig: de totale afvoer = oppervlakte onder de kromme moet gelijk zijn*



### Opgave 3

In de volgende vraag wordt gebruik gemaakt van de theorie van Muskingum om de voortplanting van een hoogwatergolf in een rivier te bepalen.

Voor een riviersectie van bepaalde lengte kan de waterbalans worden geschreven als:

$$\frac{(I_1 + I_2)\Delta t}{2} - \frac{(O_1 + O_2)\Delta t}{2} = S_2 - S_1$$

Muskingum maakt tevens gebruik van de volgende relatie als de drijvende kracht van de voortplanting van de hoogwatergolf:

$$S = k[xI + (1-x)O]$$

Voor het stuk rivier dat wordt beschouwd is afgeleid dat  $x=0.35$  en  $K=0.5$  [dag].

In onderstaande tabel is de instroom in de betreffende riviersectie gegeven voor zeven achtereenvolgende dagen en de uitstroom voor de eerste dag.

| [dag] | In [Mm <sup>3</sup> /dag] | Uit [Mm <sup>3</sup> /dag] | Berging [Mm <sup>3</sup> ] |
|-------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1     | 20                        | 20                         |                            |
| 2     | 20                        |                            |                            |
| 3     | 60                        |                            |                            |
| 4     | 362                       |                            |                            |
| 5     | 168                       |                            |                            |
| 6     | 81                        |                            |                            |
| 7     | 49                        |                            |                            |

Maak gebruik van de gegeven formules en gegevens om de volgende vragen te beantwoorden.

- 1) Beschrijf voor de waterbalansvergelijking alle termen en geef hun dimensie of mogelijke eenheid.
- 2) Wat is de berging in het riviertraject op dag 1.
- 3) Bewijs dat je genoeg formules en gegevens hebt om de uitstroom en de berging op dag(2) tot en met dag(7) te bepalen.
- 4) Maak de tabel compleet met de waarden van de uitstroom en berging op dag(2) tot en met dag(7).
- 5) Wat is de waarde van  $x$  als het riviersegment als een lineair reservoir te beschouwen is.

### Uitwerking opgave 3

- 1)  $I_1$  = Instroom op  $t=1$  [ $L^3/T$ ]  
 $I_2$  = Instroom op  $t=2$  [ $L^3/T$ ]  
 $O_1$  = Uitstroom op  $t=1$  [ $L^3/T$ ]  
 $O_2$  = Uitstroom op  $t=2$  [ $L^3/T$ ]  
 $S_1$  = Berging op  $t=1$  [ $L^3$ ]  
 $S_2$  = Berging op  $t=2$  [ $L^3$ ]  
 $\Delta t$  = tijdstap [ $T$ ]

$$2) S = k [xI + (1-x)O] = 0.5 * [0.35 * 20 + 0.65 * 20] = 10 \text{ Mm}^3$$

3) Er zijn twee formules met twee onbekenden ( $O_2$  en  $S_2$ ):

$$\frac{(I_1 + I_2)\Delta t}{2} - \frac{(O_1 + O_2)\Delta t}{2} = S_2 - S_1$$

$$S_2 - S_1 = k [xI_2 + (1-x)O_2] - k [xI_1 + (1-x)O_1]$$

Aan elkaar gelijk stellen levert:

$$O_2 (-0,5\Delta t - k - kx) = I_1 (-kx - 0,5\Delta t) + I_2 (kx - 0,5\Delta t) + O_1 (-k + kx + 0,5\Delta t)$$

$$O_2 = c_1 I_1 + c_2 I_2 + c_3 O_1 \quad [L^3 T^{-1}], \text{ met } \Delta t = 1 \text{ [dag]}, x = 0.35 \text{ en } K = 0.5 \text{ [dag]}$$

$$c_1 = \frac{\Delta t + 2kx}{\Delta t + 2k - 2kx} = 0,818$$

$$c_2 = \frac{\Delta t - 2kx}{\Delta t + 2k - 2kx} = 0,394$$

$$c_3 = \frac{-\Delta t + 2k - 2kx}{\Delta t + 2k - 2kx} = -0,212$$

4)

| [dag] | In<br>[Mm <sup>3</sup> /dag] | Uit<br>[Mm <sup>3</sup> /dag] | Berging<br>[Mm <sup>3</sup> ] |
|-------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1     | 20                           | 20                            | 10                            |
| 2     | 20                           | 20                            | 10                            |
| 3     | 60                           | 35                            | 22                            |
| 4     | 362                          | 184                           | 123                           |
| 5     | 168                          | 323                           | 134                           |
| 6     | 81                           | 100                           | 47                            |
| 7     | 49                           | 64                            | 30                            |

5)  $S=KO$  dus  $x=0$

#### Opgave 4

Een rechthoekig meer heeft een lengte  $L$  en breedte  $B$ . De bodem van het meer wordt gevormd door een kleilaag van 2 meter dikte, waaronder zich een zandpakket bevindt. De waterstand in het meer is +1 m, en het meer is 2 meter diep. Een verticale doorsnede is te zien in de figuur. Uit een waterbalans blijkt dat de totale instroming van grondwater door de kleilaag in het meer gelijk is aan  $Q$ . Neem aan dat de grondwaterstroming door de kleilaag gelijkmatig verdeeld is. De stijghoogte  $h_A$  in het zandpakket is gemeten in punt  $A$ , net onder de kleilaag. Alle waterstanden en stijghoogtes zijn gemeten t.o.v. NAP.  
Gegeven:  $L = 500$  m,  $B = 200$  m,  $Q = 250$  m<sup>3</sup>/d,  $h_A = +2.25$  m.

Vragen met uitwerkingen

a) Wat is het verticale specifiek debiet door de kleilaag?

$$q_z = Q / (L * B) = 250 / (200 * 500) = 0.0025 \text{ m/d}$$

b) Wat zijn de drukhoogte en plaatshoogte in punt  $A$ ?

$$p / (\rho * g) = 5.25 \text{ m}, z = -3 \text{ m}$$

c) Wat is de weerstand van de kleilaag?

$$c = \Delta h / q_z = 1.25 / 0.0025 = 500 \text{ d}$$

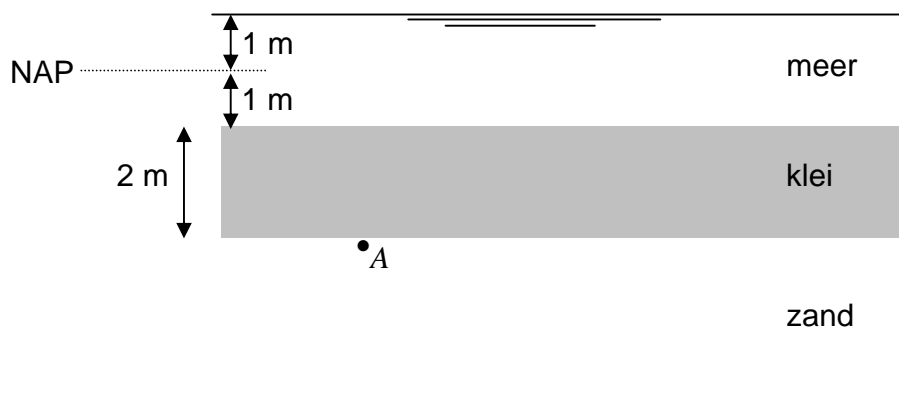
d) Wat is de verticale doorlatendheid van de kleilaag?

$$k_z = D / c = 2 / 500 = 0.004 \text{ m/d}$$

e) Hoe lang doet een waterdeeltje er over om van punt  $A$  door de kleilaag in het meer te stromen? (Schat zelf redelijke waarden voor parameters die niet gegeven zijn).

Schat porositeit  $n = 0.3$

$$v = q_z / n, \Delta t = D / v = D * n / q_z = 2 * 0.3 / 0.0025 = 240 \text{ d}$$



Dwarsdoorsnede door het meer, de onderliggende kleilaag en het zandpakket

## Afdeling Watermanagement

### Sectie Waterhuishouding

Tentamen CT 2310  
2010

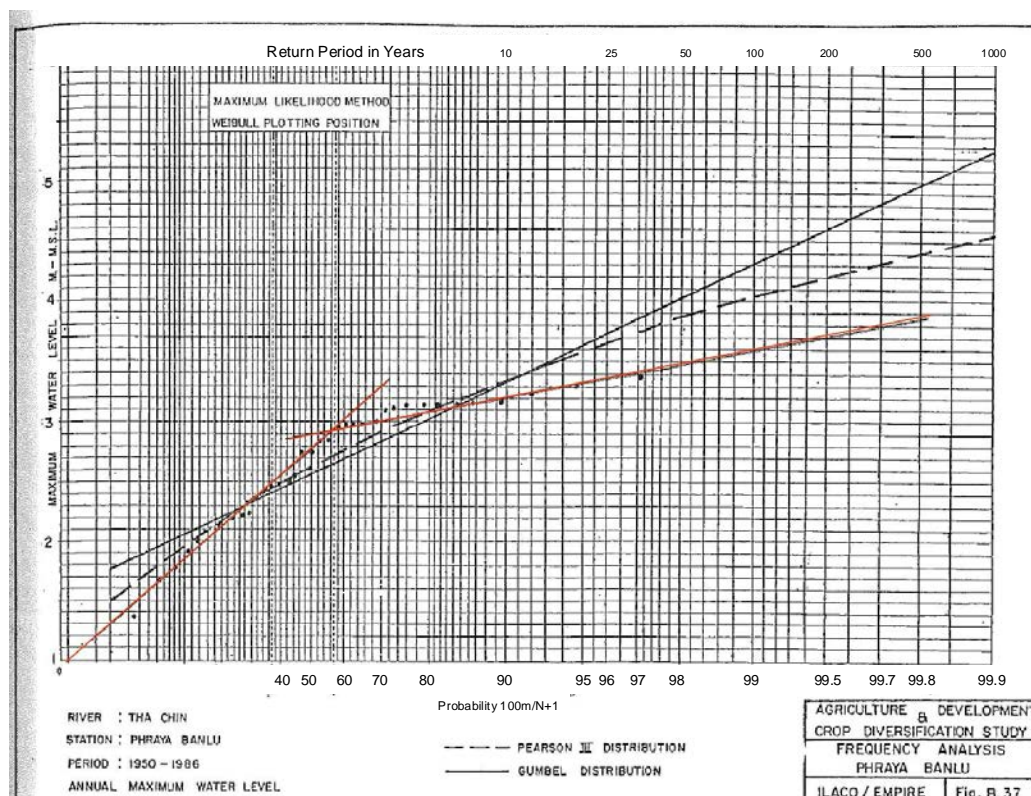
14.00 – 17.00 uur

25 juni

#### Opgave 1

In de figuur zien we een grafiek van de maximale jaarlijkse waterstanden die zijn opgetreden in Phraya Banlu in de Tha Chin rivier in Thailand. In de grafiek staan drie curves getrokken: een rechte, een kromme en een geknikte

- Hoeveel jaar gegevens zijn er gebruikt voor het maken van deze grafiek? Verklaar je antwoord.
- Wat kan de reden zijn voor de knik in de geknikte lijn?
- Als je op basis van deze grafiek de waterstand van eens in de 50 jaar zou moeten kiezen, welke waterstand zou je dan nemen? Verklaar je antwoord.
- Als beide oevers volledig bedijkt worden, hoe hoog moet de dijk dan ongeveer worden om een hoogwater van eens in de 50 jaar te keren? Verklaar je antwoord.



Antwoorden:

- a. Af te lezen uit de grafiek is dat de hoogste waarde optreedt met een onderschrijdingskans van ongeveer  $q=0.971$ , dus  $p=0.029$  en afgerond op hele jaren  $T=34$  jaar. Voor de plottingpositie van de hoogste waarde geldt  $p=1/(N+1)$  waarbij  $N$  = totaal aantal jaren, tevens geldt  $p=1/T = 1/(N+1)$ , oftewel  $N=T-1$ . Dus het gebruikte aantal jaren  $N$  is dan 33. (bij iets andere keuze van  $q$  en/of  $p$  zal de uitkomst van  $N$  hier van af kunnen wijken)
- b. Verandering van doorstromend profiel, doordat de rivier buiten zijn oevers treedt.
- c. Uit de grafiek valt bij de geknikte lijnen en  $T=50$  jaar een waterstand af te lezen van 3.4m
- d. Bij volledige bedijking kan de rivier niet meer buiten de oevers treden. Voor een extreme waarde  $T=50$  jaar moet het gedeelte van de geknikte lijn met lagere waterstanden worden geëxtrapolerd. Aflezen bij  $T=50$  jaar geeft een waterstand van ongeveer 5.5m



## Opgave 2

De Penman formule voor open waterverdamping is:

$$E_0 = \frac{\left\{ \frac{sR_N}{\rho\lambda} + \frac{c_p \rho_a (e_s - e_a)}{\rho\lambda r_a} \right\}}{s + \gamma}$$

De formule voor de verzadigingsdampspanning respectievelijk helling van de dampspanningscurve en aërodynamische weerstand zijn:

$$e_s = 0,61 \exp\left(\frac{17,3t}{237+t}\right) \quad s = \frac{4100e_s}{(237+t)^2} \quad r_a = \frac{245}{(0,54u_2 + 0,5)}$$

Waarin:

|           |   |                                  |
|-----------|---|----------------------------------|
| $R_N$     | netto straling op het aardoppervlak   | $[\text{Jd}^{-1}\text{m}^{-2}]$  |
| $\lambda$ | verdampingswarmte ( $\lambda = 2.45 \text{ MJ/kg}$ )  | $[\text{J/kg}]$                  |
| $s$       | helling van de dampspanningskromme  | $[\text{kPa}/^\circ\text{C}]$    |
| $c_p$     | soortelijke warmte van lucht bij constante druk ( $1004 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) | $[\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}]$ |
| $\rho_a$  | dichtheid van lucht ( $1.205 \text{ kg/m}^3$ )  | $[\text{ML}^{-3}]$               |
| $\rho$    | dichtheid van water ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )   | $[\text{ML}^{-3}]$               |
| $e_a$     | actuele dampspanning van de lucht op 2 m hoogte   | $[\text{kPa}]$                   |
| $e_s$     | verzadigingsdampspanning voor de luchttemperatuur op 2 m hoogte                             | $[\text{kPa}]$                   |
| $\gamma$  | psychrometerconstante ( $\gamma = 0.066 \text{ kPa}/^\circ\text{C}$ )                       | $[\text{kPa}/^\circ\text{C}]$    |
| $r_a$     | aërodynamische weerstand  | $[\text{TL}^{-1}]$               |
| $t$       | temperatuur   | $[\text{ }^\circ\text{C}]$       |
| $u_2$     | de windsnelheid op twee meter hoogte  | $[\text{LT}^{-1}]$               |

Voor de albedo van open water kan worden aangehouden  $r = 0.06$

- U moet een weerstation inrichten om de open water verdamping te bepalen. Eén van de sensoren registreert de relatieve vochtigheid. Noem nog drie andere parameters die gemeten moeten worden om met behulp van de Penman formule de open waterverdamping te kunnen bepalen.
- Geef de definitie van relatieve vochtigheid, gebruikmakend van bovenstaande symbolen.

Gedurende een bepaalde dag [24 uur] is een relatieve vochtigheid van 100% gemeten. Er is een gemiddelde verdamping van het open water bepaald van 1 [mm/d]. De gemiddelde temperatuur over de 24 uur was 10 °C

- Bereken de gemiddelde netto straling die is opgetreden in  $[\text{J/d/m}^2]$ . Hoeveel is dit in  $[\text{W/m}^2]$ ?
- Over dezelfde dag is er netto gemiddeld 10  $[\text{W/m}^2]$  aan lange golf straling uitgegaan. Laat in een berekening zien hoeveel de gemiddelde inkomende korte golf straling dan boven het open water moet zijn geweest.

Uiuwerking opgave 2

a. Temperatuur, windsnelheid, (netto) straling

b. 
$$h = \frac{e_a}{e_s}$$

c. Omdat  $h=100\%$  :  $e_s - e_a = 0$  en  $E_0 = \frac{\left\{ \frac{sR_N}{\rho\lambda} \right\}}{s + \gamma}$  :

$$e_s = 0,61 \exp\left(\frac{17,3 * 10}{237 + 10}\right) = 1,229 \text{ kPa} \quad s = \frac{4100e_s}{(237 + t)^2} = 0,0826 \text{ kPa}^\circ\text{C}$$

$$R_N = \frac{E_0(s + \gamma)\rho\lambda}{s} =$$

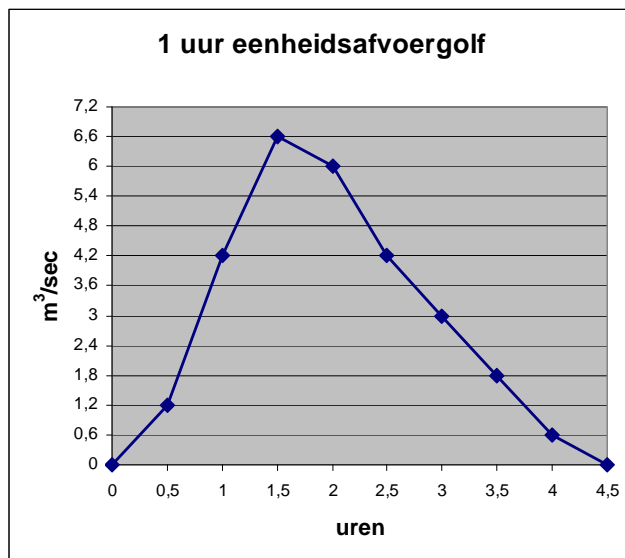
$$0,001 \text{ [m/d]} * (0,0826 \text{ [kPa}^\circ\text{C]} + 0,066 \text{ [kPa}^\circ\text{C]}) * 1000 \text{ [Kg/m}^3\text{]} * 2450000 \text{ [J/kg]} / 0,0826 \text{ [kPa}^\circ\text{C]} = 4407890 \text{ [J/d/m}^2\text{]} = 4407890 / 86400 = 51 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

d.  $R_N = R_C - rR_C - R_B = (1 - r)R_C - R_B$

$$R_C = (R_N + R_B) / (1 - r) = (51 + 10) / 0,94 = 65 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

### Opgave 3

Voor een stroomgebied heeft men de eenheidsafvoergolf afgeleid ten gevolge van een netto regenbui van 10mm met een duur van 1 uur. Men mag aannemen dat deze neerslag over het gehele gebied gelijkmatig is gevallen. De eenheidsafvoergolf als gevolg van deze bui is hieronder gegeven.



| Tijd (uren) | Afvoer m <sup>3</sup> /s |
|-------------|--------------------------|
| 0           | 0                        |
| 0,5         | 1,2                      |
| 1           | 4,2                      |
| 1,5         | 6,6                      |
| 2           | 6,0                      |
| 2,5         | 4,2                      |
| 3           | 3,0                      |
| 3,5         | 1,8                      |
| 4           | 0,6                      |
| 4,5         | 0                        |

- Bepaal uit deze gegevens het oppervlakte van het stroomgebied (in km<sup>2</sup>)
- Laat zien hoe je uit bovenstaande gegevens een eenheidsafvoergolf maakt ten gevolge van een netto regenbui van 10 mm met duur 0.5 uur (T=0.5uur).
- Wat zal er veranderen aan de eenheidsafvoergolf als er ontbossing en of verstedelijking plaatsvindt in het stroomgebied. Beschrijf minimaal drie effecten.

### Uitwerking opgave 3

- a) Het volume onder de eenheidsafvoergolf bedraagt:  
 $1800\text{sec} * (1,2+4,2+6,6+6,0+4,2+3,0+1,8+0,6) \text{ m}^3/\text{sec}=49680\text{m}^3$   
 Het neerslag volume is  $0,01\text{m} * \text{oppervlakte stroomgebied}$ .  
 Hieruit volgt:  $\text{oppervlakte stroomgebied} = 49680/0,01 = 4968000\text{m}^2=4,968 \text{ km}^2$

b)

| tijd uren | 1 uurs UH telkenmale 1 uur verschoven |     |     |     |     | S kromme | S kromme 0,5 uur verschoven | UH 5mm in T=0,5 uur | UH 10mm in T=0,5 uur |
|-----------|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|-----------------------------|---------------------|----------------------|
| 0         | 0                                     |     |     |     |     | 0        |                             | 0                   |                      |
| 0,5       | 1,2                                   |     |     |     |     | 1,2      | 0                           | 1,2                 | 2,4                  |
| 1         | 4,2                                   | 0   |     |     |     | 4,2      | 1,2                         | 3                   | 6                    |
| 1,5       | 6,6                                   | 1,2 |     |     |     | 7,8      | 4,2                         | 3,6                 | 7,2                  |
| 2         | 6                                     | 4,2 | 0   |     |     | 10,2     | 7,8                         | 2,4                 | 4,8                  |
| 2,5       | 4,2                                   | 6,6 | 1,2 |     |     | 12       | 10,2                        | 1,8                 | 3,6                  |
| 3         | 3                                     | 6   | 4,2 | 0   |     | 13,2     | 12                          | 1,2                 | 2,4                  |
| 3,5       | 1,8                                   | 4,2 | 6,6 | 1,2 |     | 13,8     | 13,2                        | 0,6                 | 1,2                  |
| 4         | 0,6                                   | 3   | 6   | 4,2 | 0   | 13,8     | 13,8                        | 0                   | 0                    |
| 4,5       | 0                                     | 1,8 | 4,2 | 6,6 | 1,2 | 13,8     | 13,8                        |                     |                      |
|           |                                       | 0,6 | 3   | 6   | 4,2 | 13,8     | 13,8                        |                     |                      |
|           |                                       | 0   | 1,8 | 4,2 | 6,6 | 12,6     | 13,8                        |                     |                      |
|           |                                       |     | 0,6 | 3   | 6   | 9,6      | 13,8                        |                     |                      |
|           |                                       |     | 0   | 1,8 | 4,2 | 6        | 13,8                        |                     |                      |
|           |                                       |     |     | 0,6 | 3   | 3,6      | 12,6                        |                     |                      |
|           |                                       |     |     | 0   | 1,8 | 1,8      | 9,6                         |                     |                      |
|           |                                       |     |     |     | 0,6 | 0,6      | 6                           |                     |                      |
|           |                                       |     |     |     | 0   | 0        | 3,6                         |                     |                      |
|           |                                       |     |     |     |     | 0        | 1,8                         |                     |                      |
|           |                                       |     |     |     |     | 0        | 0,6                         |                     |                      |
|           |                                       |     |     |     |     |          | 0                           |                     |                      |

- c)
- 1) kortere tijdbasis van de UH kromme vanwege afname van de looptijd
  - 2) steiler opgaand en recessie deel van de eenheidsafvoergolf
  - 3) bij dezelfde neerslag intensiteit en duur van een bui hogere piek (door gelijk volume en het effect van 2))
  - 4) komt sneller op gang na een bui

#### Opgave 4.

Voor het opwekken van energie wordt een reservoir aangelegd. Het reservoir staat op een kleilaag en is omringd door vrijwel ondoorlatende damwanden (zie doorsnede in Figuur). De stijghoogte in de zandlaag onder de kleilaag is -2 meter t.o.v. NAP en mag constant verondersteld worden. Tijdens opslag wordt de waterstand in het reservoir op +3 meter t.o.v. NAP gehouden.

Gegeven: De horizontale omvang van het opslagdepot is 200 bij 200 m<sup>2</sup>, de dikte van de kleilaag is 2 m, de doorlatendheid van de kleilaag is 1 mm/d en de porositeit van de klei is 0,4.

Gevraagd:

a) Wat is het specifiek debiet door de kleilaag?

antwoord:  $q_z = -\frac{\Delta h}{c} = -(3 - (-2)) / (2/0.001) = -2.5 \text{ mm/d}$

b) Hoeveel kubieke meter water lekt er per dag door de kleilaag uit het reservoir.

antwoord:  $Q = |q_z| * L * L = 0.0025 * 200 * 200 = 100 \text{ m}^3/\text{d}$

c) Stel dat het water in het reservoir vervuilt raakt. Hoe lang zal het duren voordat vervuild water de zandlaag bereikt?

antwoord:  $v_z = q_z / n = -0.0025 / 0.4 = -0.00625 \text{ m/d}$

$\Delta t = D / |v_z| = 2 / 0.00625 = 320 \text{ dagen.}$

