

Inleiding watermanagement

Drinkwatertransport en -distributie



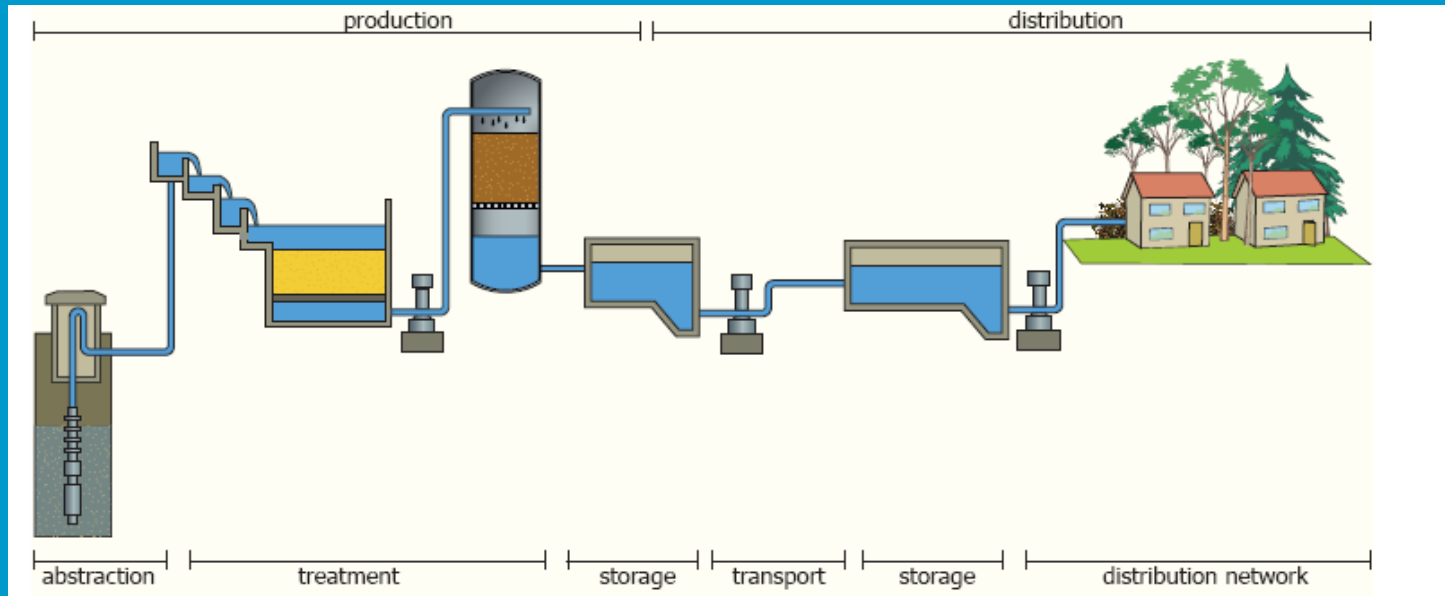
Prof. ir. Hans van Dijk



De Romeinse aquaducten

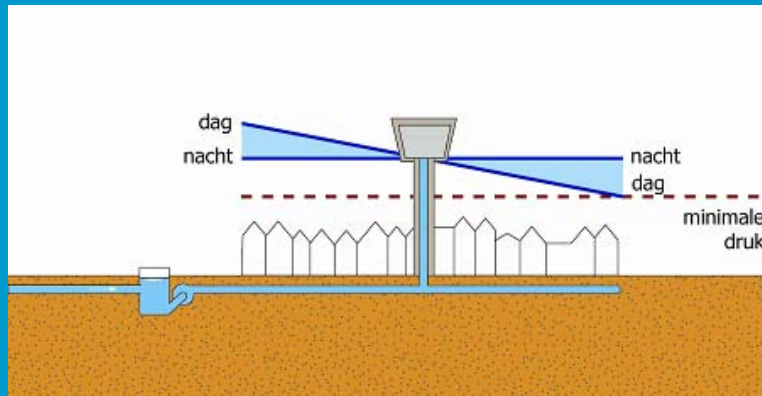
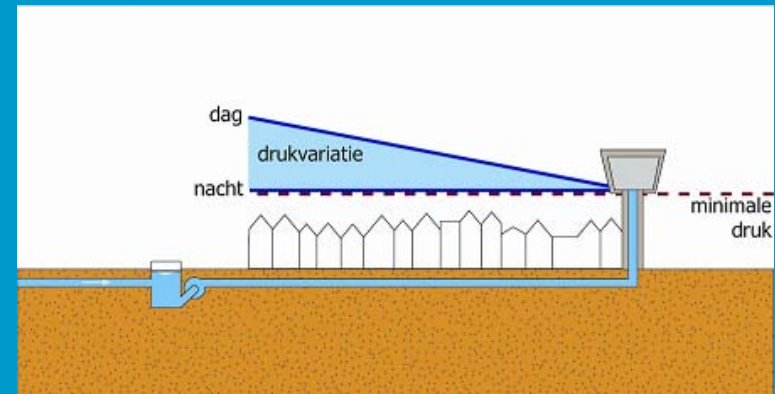
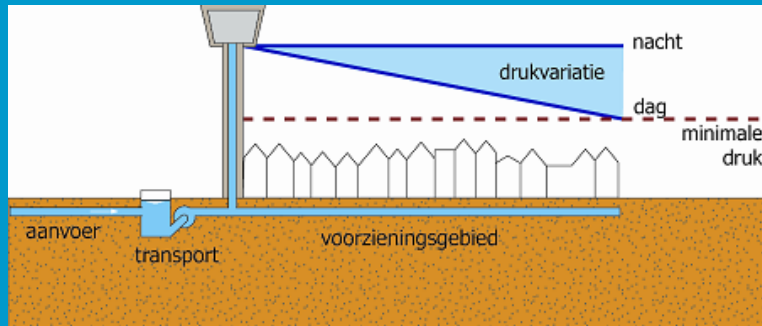


Drinkwater van tap tot bron



- Verbruik afnemers, sterk fluctuerend, in voorzieningsgebied
- Distributie levering aan meerdere afnemers, onder afleverdruk
- Opslag uitvlakking tussen productie / transport en distributie
- Transport gelijkmatige verplaatsing van water
- Productie winning en zuivering, gelijkmatig

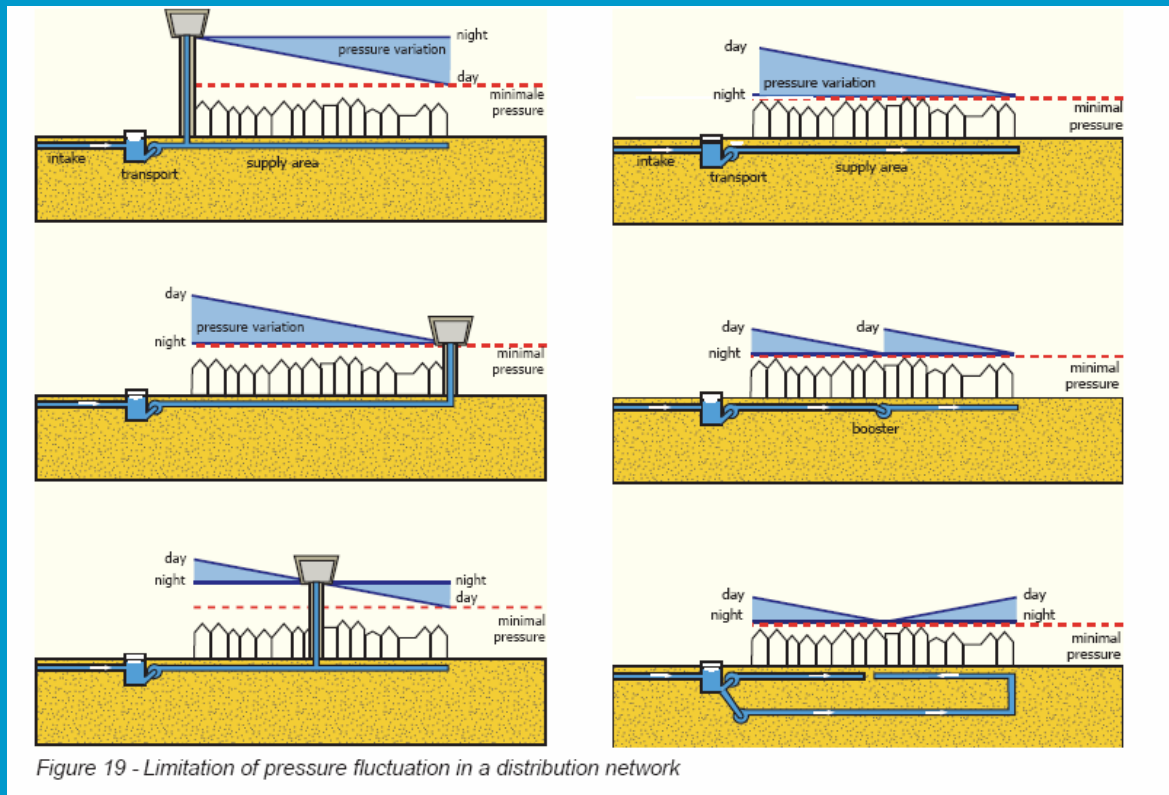
Druklijn in distributienet



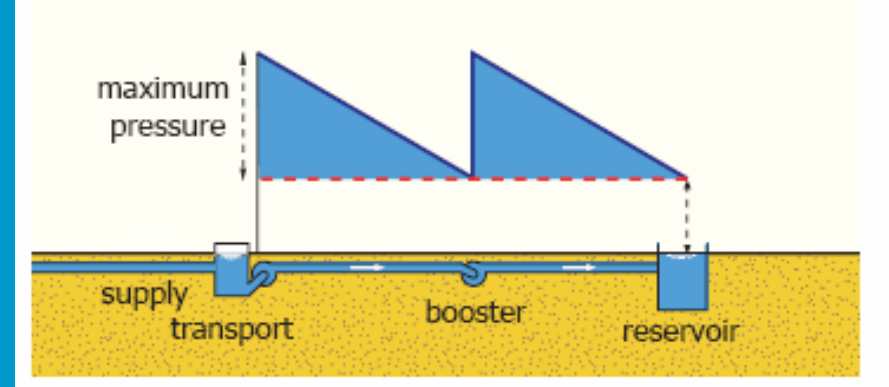
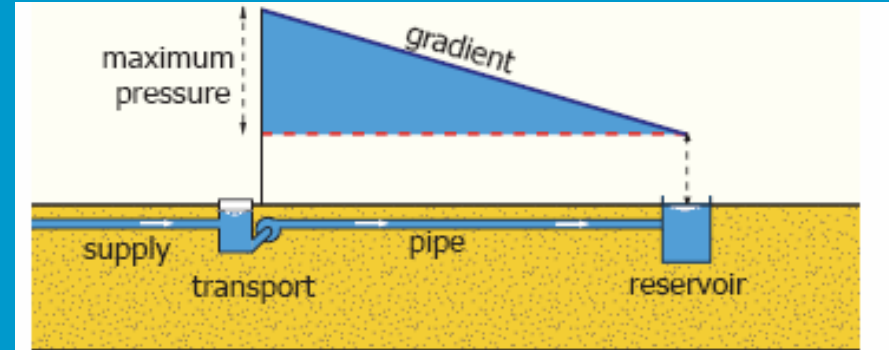
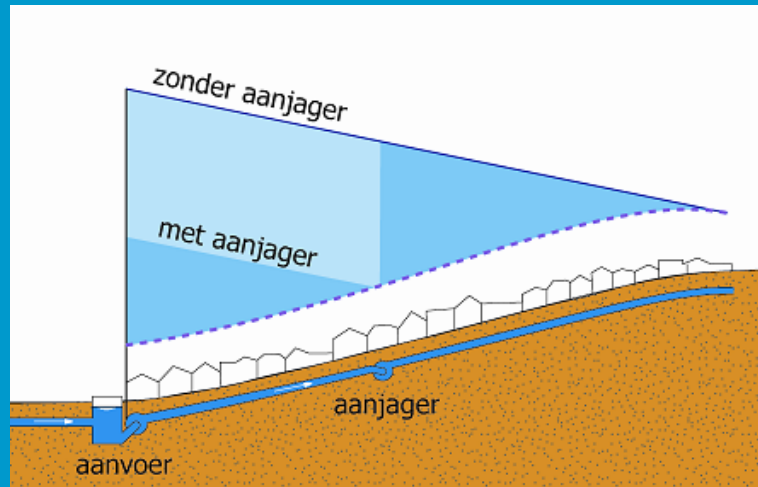
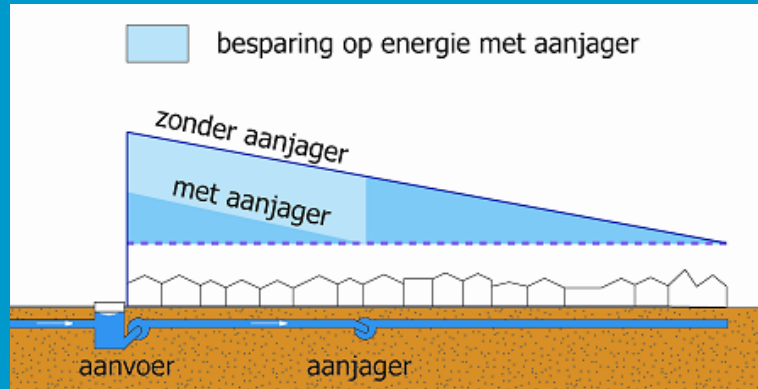
Watertorens hielden net op druk



Druklijn bij torens en pompen



Energiebesparing met boosters

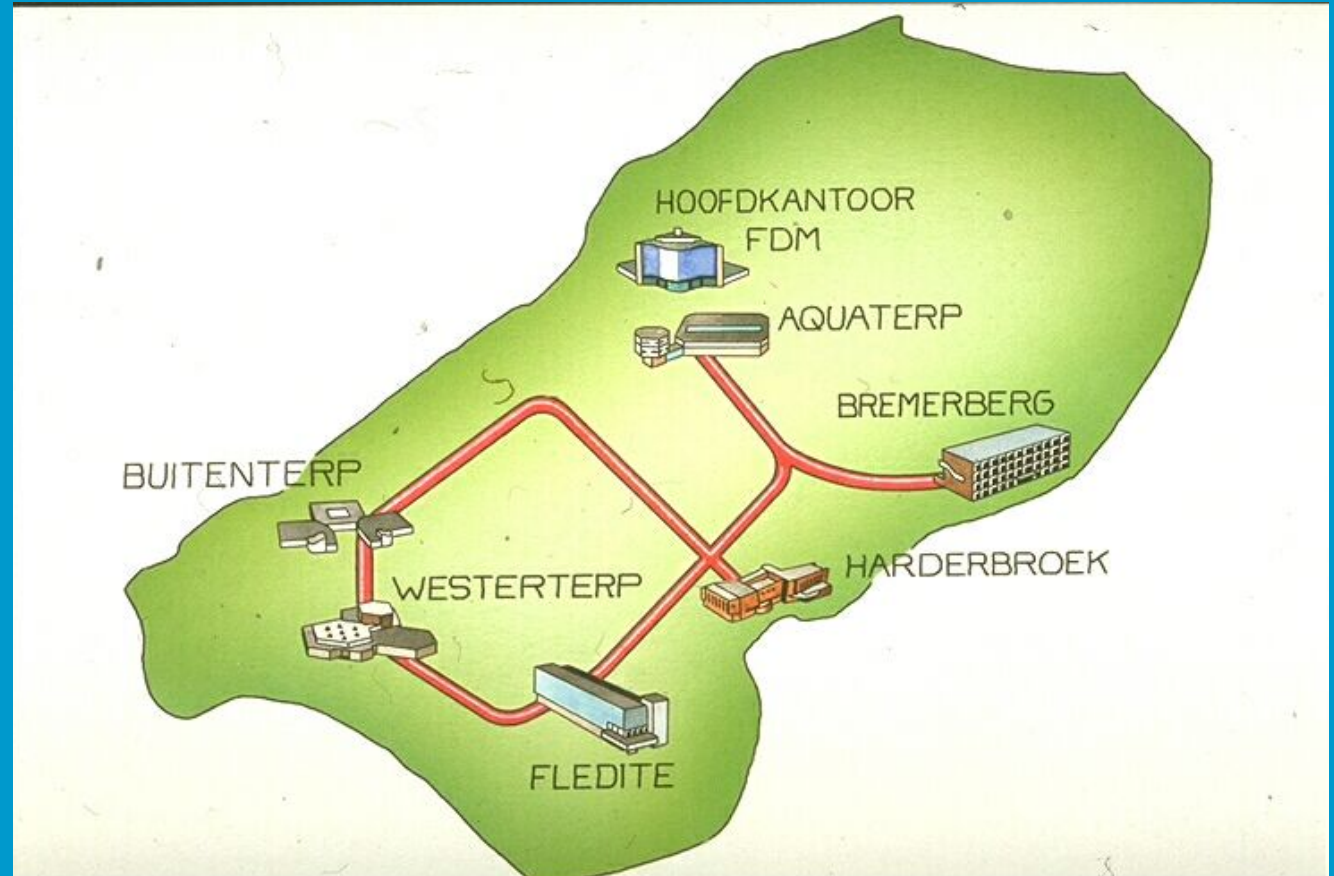


Opzet - Transport

Transport voor distributie

Watervoorziening
Flevoland

Transportnet
voor
Lelystad
en Almere



Transport - Hydraulica

Stromingsverliezen in leidingen :

wrijvingsverliezen

- eenparige stroming (weerstand aan de wand)

vertragingverliezen

- onvolledige terugwinning snelheidshoogte

Transport - Hydraulica

Wrijvingverliezen

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

Colebrook-White
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot 10 \log \left(\frac{k}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$$

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} > 4.000$$

waarin :

ΔH_w = weerstandverlies [m]

λ = weerstandscoefficiënt [-]

L = lengte van de leiding [m]

D = diameter van de leiding [m]

v = snelheid in de leiding [m/s]

g = gravitatie-constante = 9.81 [m/s²]

k = wandruwheid [mm]

Re = Reynolds getal

ν = kinematische viscositeit [m²/s]

Transport - Hydraulica

Wandruwheid

Materiaal soort	k-waarde (mm)
metselwerk	1,0 - 5,0
beton	0,5 - 2,0
kunststof	0,01 - 0,05

Door veroudering (corrosie, afzettingen, slijmvorming) kan wandruwheid sterk toenemen (tot k-waarden van 10 mm)

Stromingstype

Meestal hydraulisch ruw (2^e term in log-deel formule verwaarloosbaar)

Weerstandscoefficiënt

$\lambda = 0,01 - 0,04$ (veelal 0,02-0,03)

Veroudering kan resulteren in toename λ van 100% en meer

Transport - Hydraulica

Voorbeeld berekening wrijvingsverlies

- debiet = 10.000 m³/h = 2,78 m³/s
- transportafstand = 54 km = 54.000 m
- diameter buis = 1.500 mm = 1,5 m
- wandruwheid = 1,0 mm = 1,5 · 10⁻³ m

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi D^2 / 4} = \frac{2,78}{3,14 \cdot 1,5^2 / 4} = \frac{2,78}{1,77} = 1,57 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{1,57 \cdot 1,5}{1,0 \cdot 10^{-6}} = 2,36 \cdot 10^6$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot 10 \log \left(\frac{k}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) = -2 \cdot 10 \log \left(\frac{0,001}{3,7 \cdot 1,5} + \frac{2,51}{2,36 \cdot 10^6 \sqrt{\lambda}} \right)$$

iteratief: $\lambda = 0,0180$ (zonder Re term: $\lambda = 0,0178$)

$$\Delta H_w = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,0180 \cdot \frac{54000}{1,5} \cdot \frac{1,57^2}{2 \cdot 9,81} = 81,4 \text{ m}$$

Transport - Hydraulica

Vertragingsverliezen

- bochten en knikken

$$\Delta H_v = \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = (A \cdot B) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

- vernauwing en verwijding

$$\Delta H_{v,u} = \xi_{\text{verwijding}} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$\xi_{\text{verwijding}} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$$

- in- en uittredevlies

$$\Delta H_{v,i} = \xi_{\text{intrede}} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$\xi_{\text{intrede}} = 0,5 \quad \text{na insnoering}$$

$$\Delta H_{v,u} = \xi_{\text{uittrede}} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$\xi_{\text{uittrede}} = 1,0$$

Transport - Hydraulica

Vertragsingsverliezen

- terugslagkleppen $\xi = 2,5$
- afsluiters $\xi = 0,2 - 0,5$

Berekening vertragsingsverliezen leidingsegment :

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

Praktijk ξ totaal = 1 - 4 (korte leidingen), 2 - 50 (lange leidingen)

Transport - Hydraulica

Voorbeeld berekening vertragingverlies

- debiet = 10.000 m³/h
- transportafstand = 54 km
- diameter buis = 1.500 mm
- aantal bochten = 30 ($\xi = 0,5$ gemidd. per bocht)
- aantal afsluiters = 10 ($\xi = 0,3$ gemidd. per afsluiter)
- terugslagklep = 1 ($\xi = 2,5$)
- in+uitstroming = 1 ($\xi = 1,5$ totaal)

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi D^2 / 4} = \frac{2,78}{3,14 \cdot 1,5^2 / 4} = \frac{2,78}{1,77} = 1,57 \text{ m/s}$$

$$\Delta H_v = (30 \times 0,5 + 10 \times 0,3 + 2,5 + 1,5) \cdot \frac{1,57^2}{2 \cdot 9,81} = 22 \cdot \frac{1,57^2}{2 \cdot 9,81} = 2,8 \text{ m}$$

Transport - Hydraulica

Totaal stromingsverliezen:

wrijvingsverlies

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

vertragsverliezen

$$\Delta H_v = \sum \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Bij lange leidingen ($L / D > 500$) zijn vertragsverliezen verwaarloosbaar

Bij korte leidingen ($L / D < 10$) zijn wrijvingsverliezen verwaarloosbaar

Totaal stromingverlies

$$\Delta H = c_w \cdot Q^2 + c_v \cdot Q^2$$

c_w afhankelijk van D , L , k en v

c_v afhankelijk van D en $\Sigma \xi$

Transport – Economische diameter

Aanlegkosten $K_{\text{aanleg}} = 500 \cdot D \cdot L$

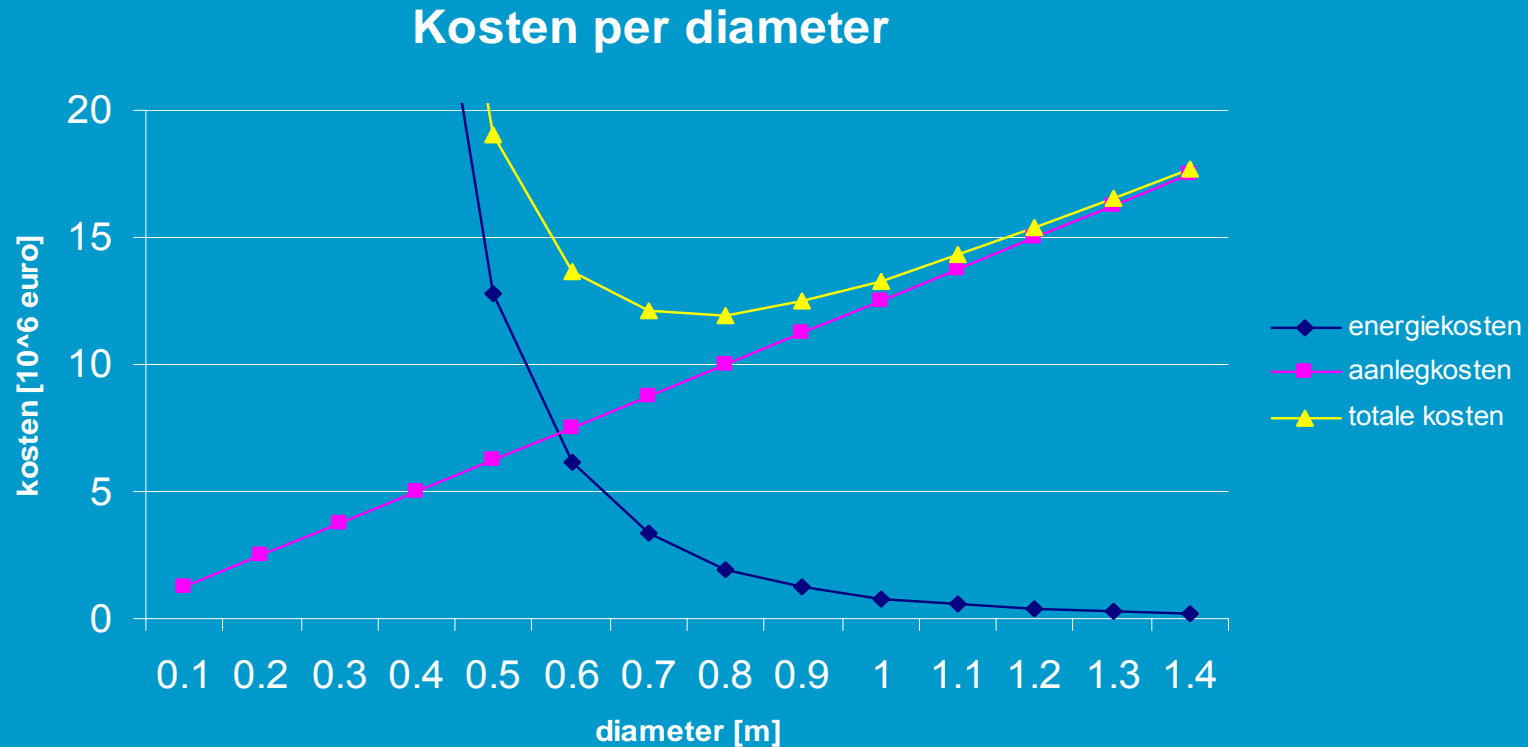
Energiekosten $P = QH\rho g/\eta, E = Pt$
 $H = \lambda L/Dv^2/2g = 0,02LQ^2/2gD^5$

- per jaar $K_{\text{energie}} = 16,7 \cdot Q^3 \cdot D^{-5} \cdot L$
- over 50 jaar $K_{\text{energie}} = 19,2 \cdot 16,7 \cdot Q^3 \cdot D^{-5} \cdot L$

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

Transport - Economische diameter

Uitwerking van meest economische diameter:



Transport – Economische snelheid

Totale kosten

$$K_{\text{totaal}} = 16,7 \cdot Q^3 \cdot D^{-5} \cdot L + 500 \cdot D \cdot L$$

Minimale kosten als afgeleide 0 is

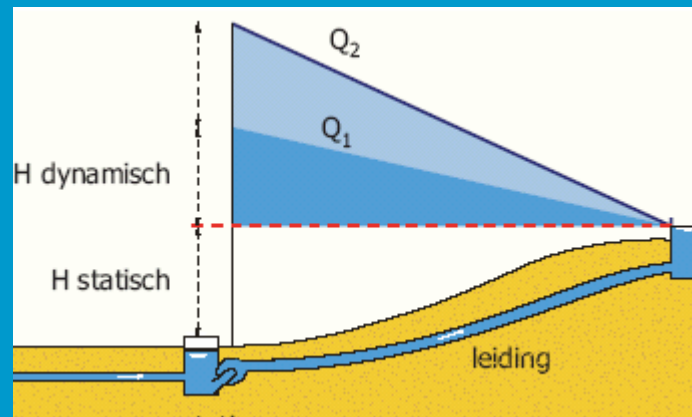
$$dK_{\text{totaal}}/dD = -5 \cdot 16,7 \cdot Q^3 \cdot D^{-6} \cdot L + 500 \cdot L = 0$$

$$D = 1,2 \cdot \sqrt{Q}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{\left(\frac{D}{1.2}\right)^2}{0.25 \cdot \pi \cdot D^2} = 0.88 \text{ m/s}$$

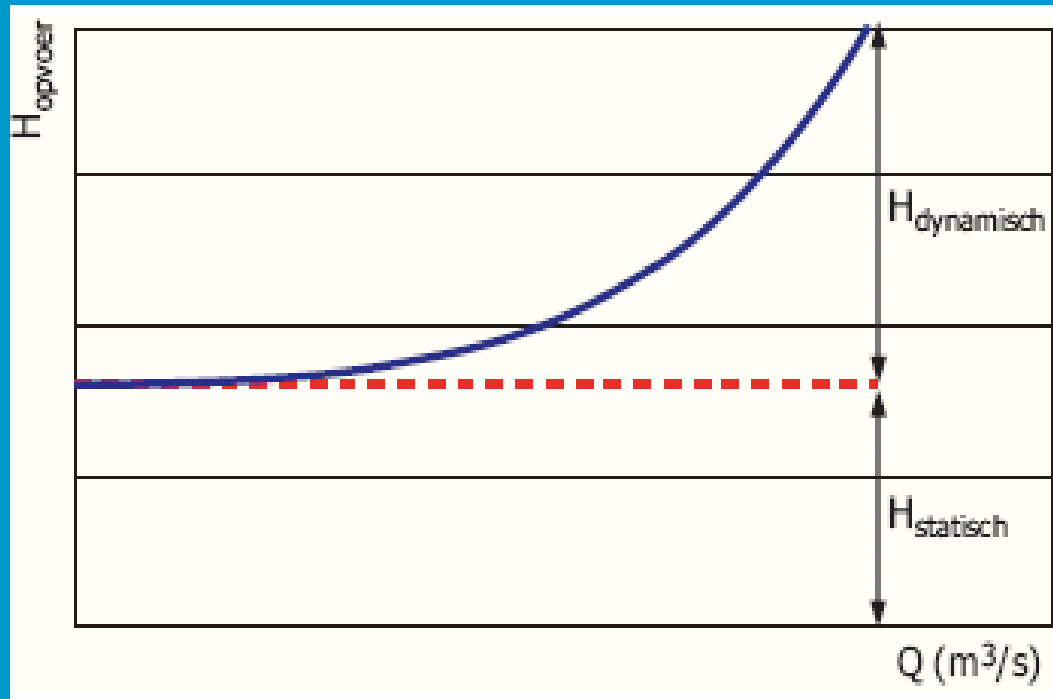
Flow (mln m ³ /y)	Flow (m ³ /s)	Velocity (m/s)	Diameter (mm)	Gradient (m/km)
1	0.032	0.88	210	3.7
2	0.063	0.88	300	2.6
5	0.158	0.88	480	1.6
10	0.32	0.88	680	1.2
20	0.63	0.88	960	0.8
50	1.58	0.88	1,510	0.5
100	3.2	0.88	2,140	0.4

Statische en dynamische opvoerhoogte

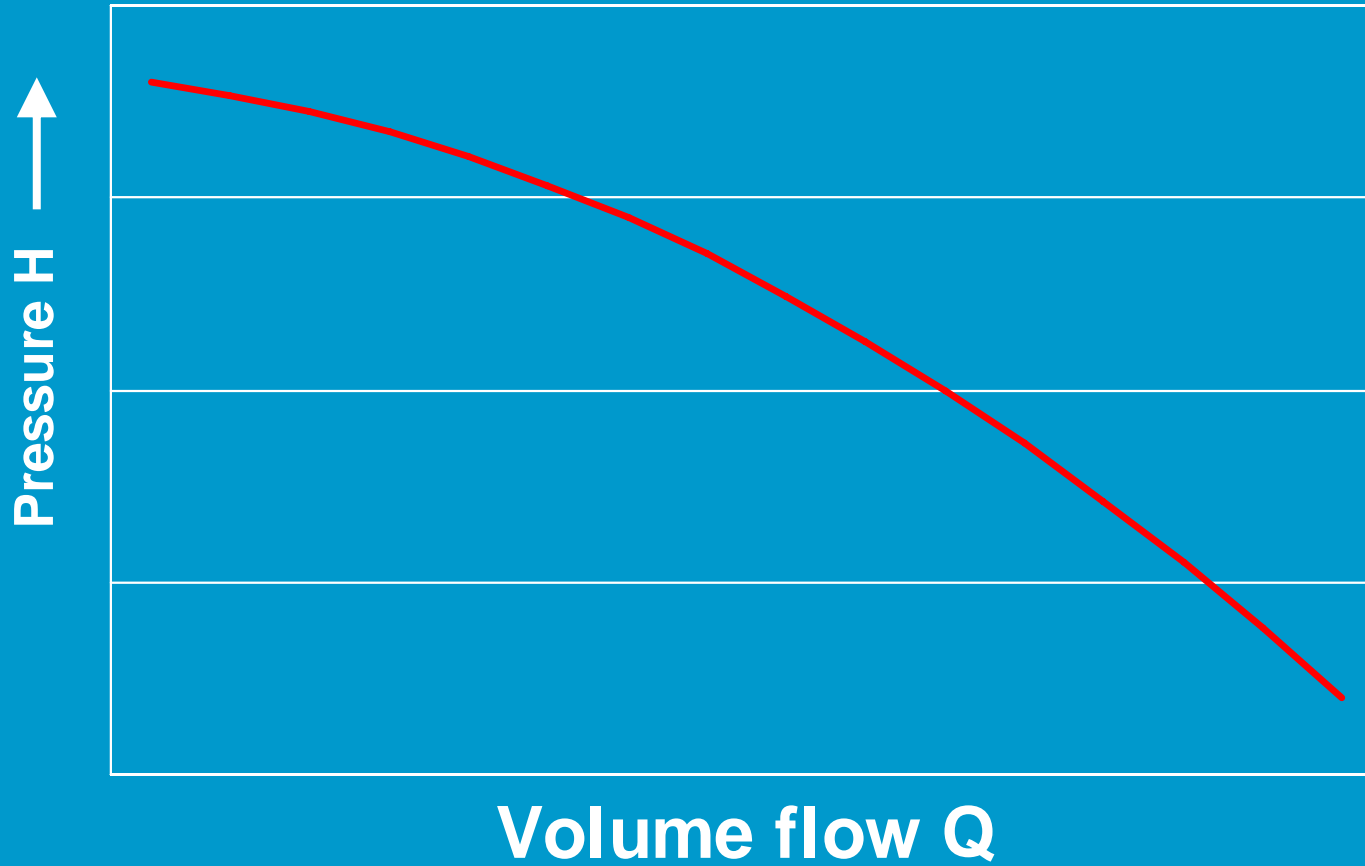


Leidingkarakteristiek

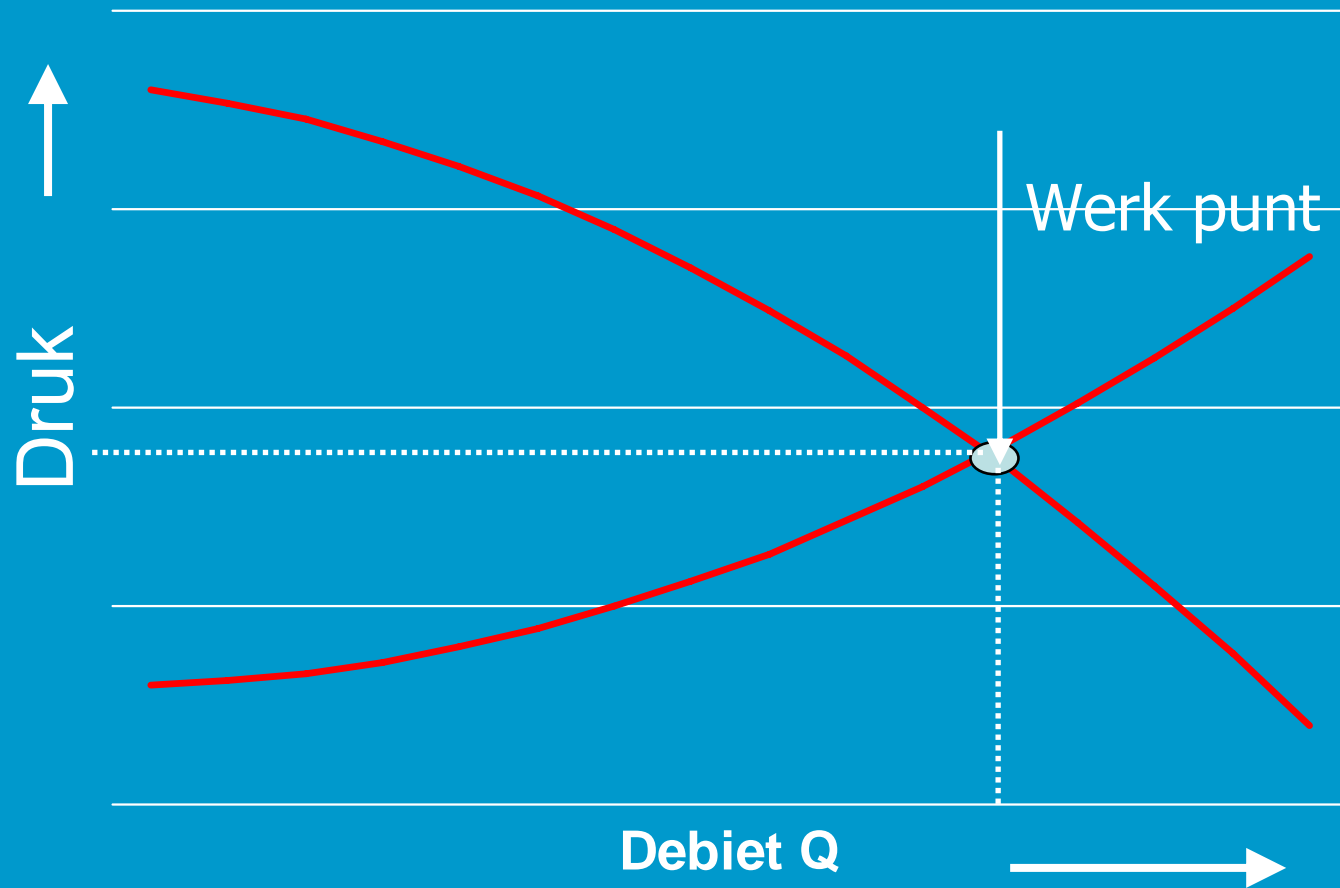
$$H = H_s + \Delta H_w + \Delta H_v = H_s + \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g} + (\sum \xi) \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g}$$
$$= H_s + c_1 \cdot Q^2 + c_2 \cdot Q^2$$



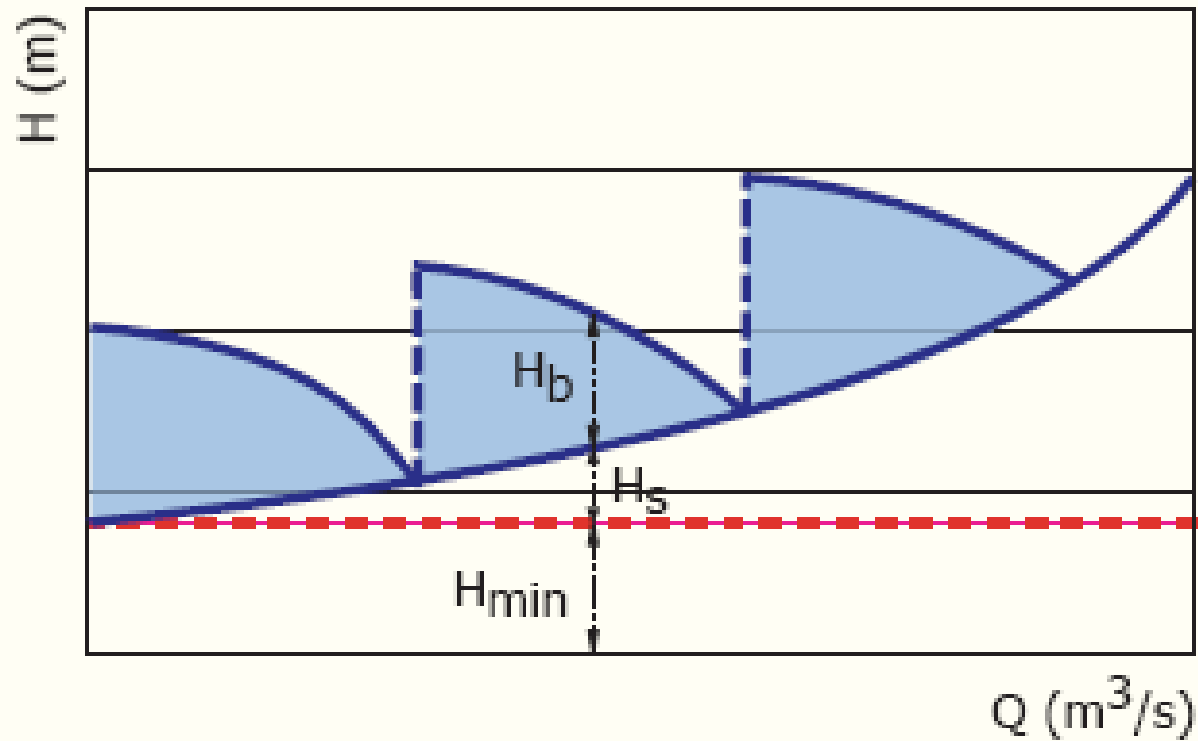
Q-H curve



Werkpunt



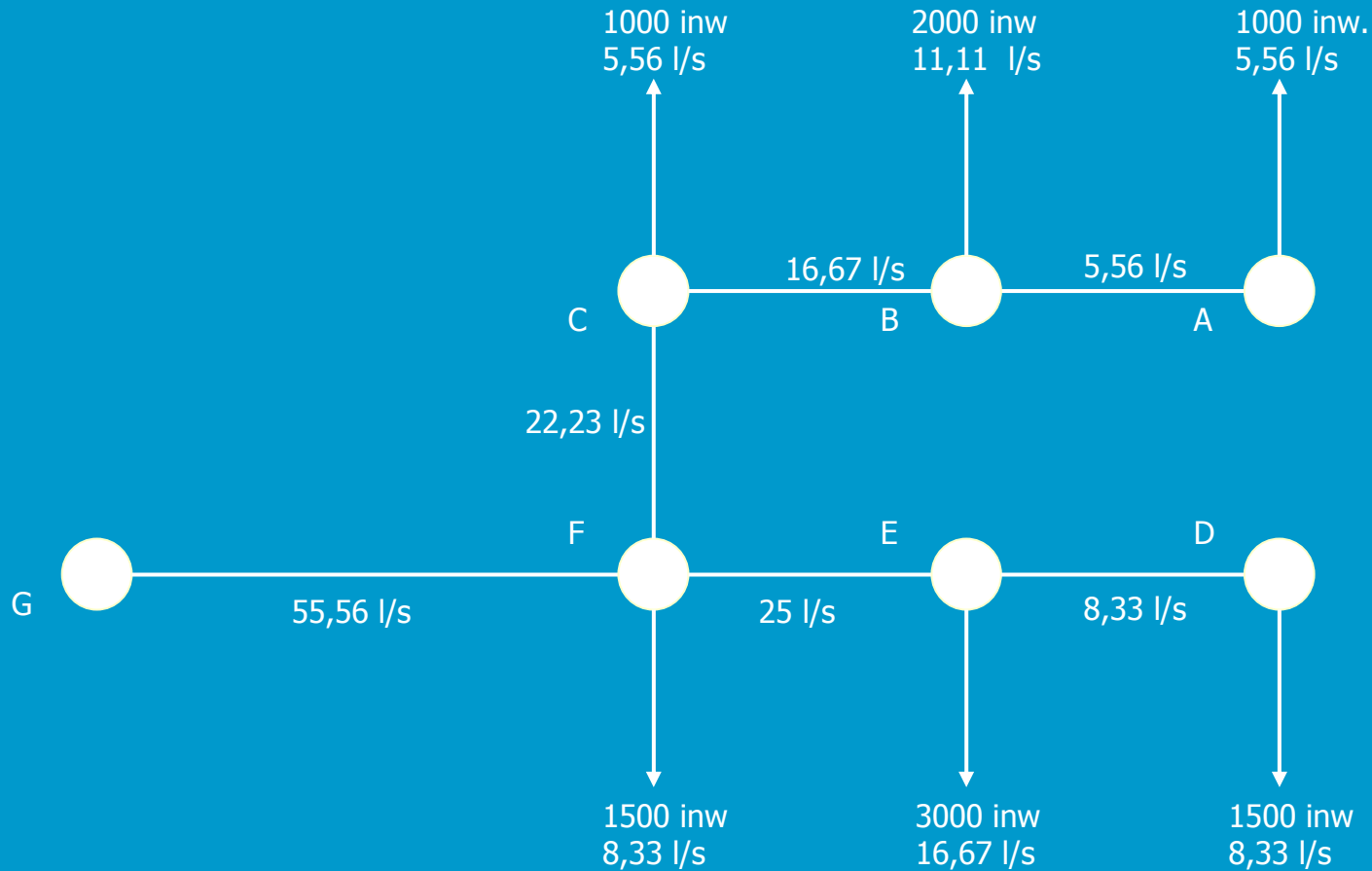
Pomp ontwerp



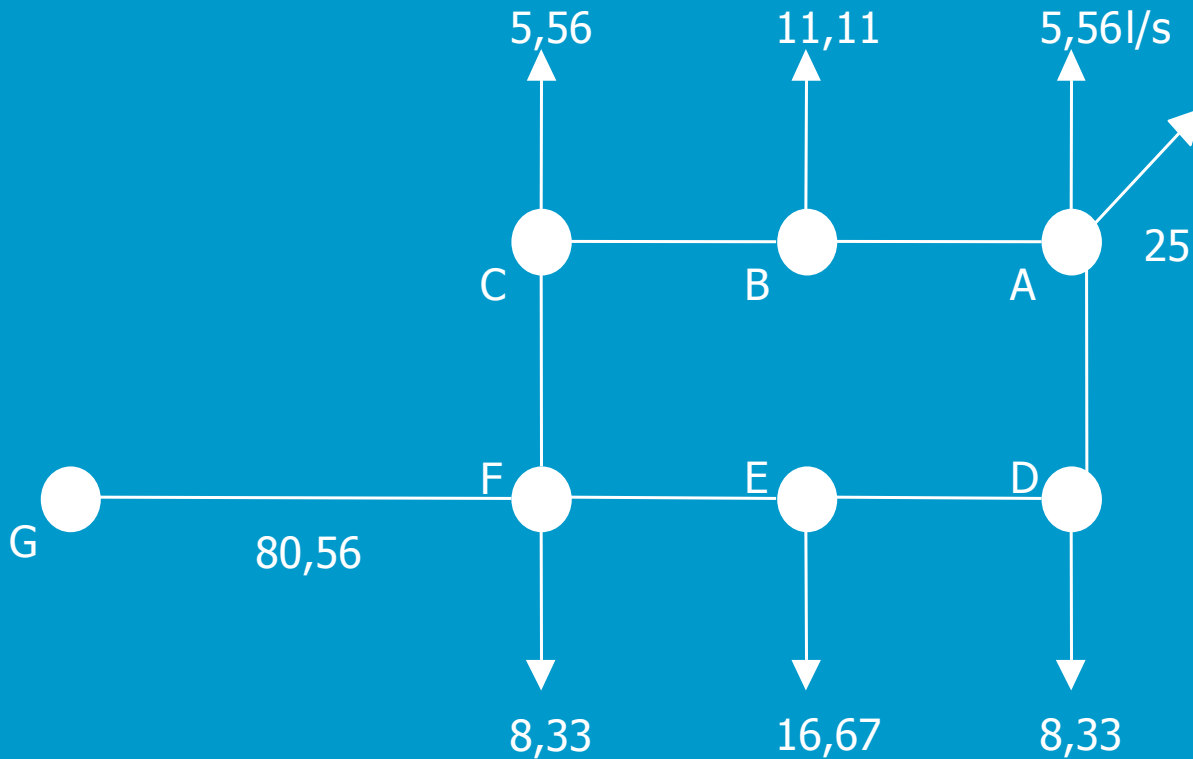
Pompstations



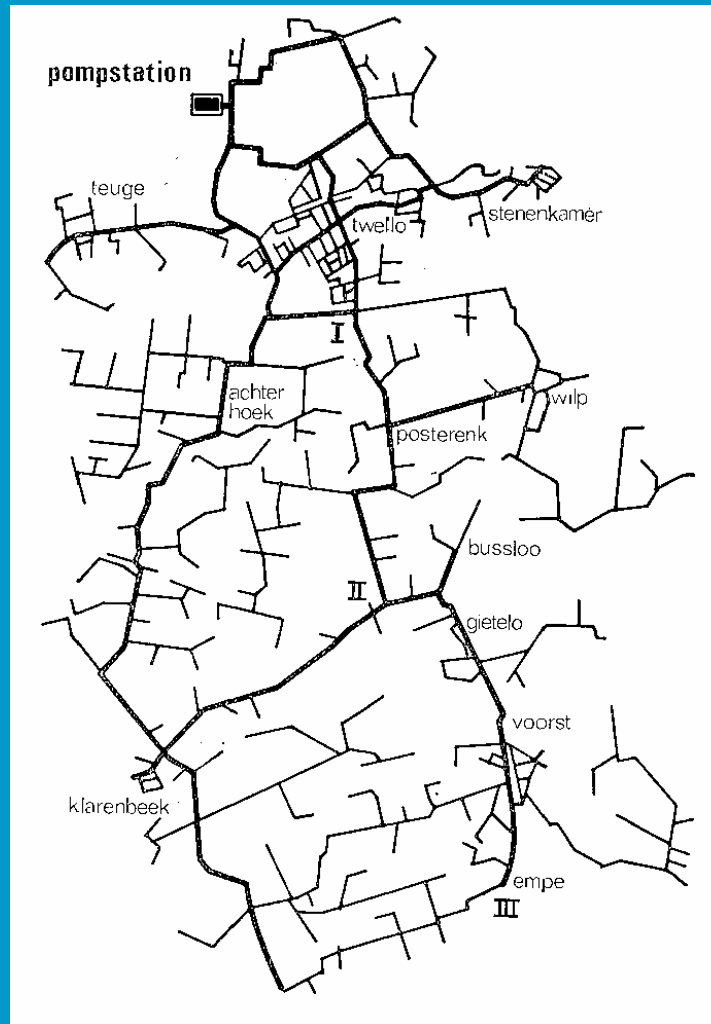
Vertakt net



Vermaasd net

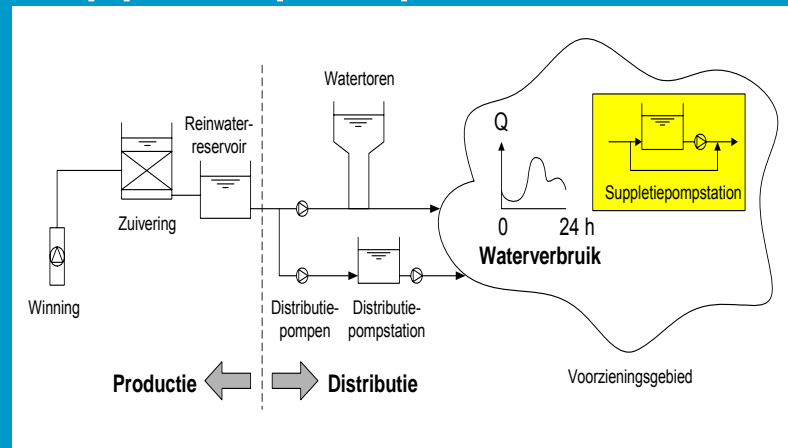


Praktijk net



Distributie

Suppletiepompstation



Distributiepompstation

