

# Startfrequentie van 2 bij toerbeurt draaiende rioolwaterpompen

## 1. Inleiding

In de praktijk blijkt men veelvuldig te lage waarden voor de startfrequentie te hebben aangehouden als basis voor het bemeten van rioolwaterpompstations, hetgeen leidde tot storingen in de werking en tot onnodige bouw- en reparatiekosten; één reden is klaarblijkelijk geweest dat men te vaak als uitgangspunt de hoogst optredende startfrequentie kiest en de variërende startfrequenties op verschillende tijdstippen over het hoofd ziet.

Uit een oogpunt van pomptechniek zou men



ING. W. J. BAERTS  
Eekels pompen bv, Amsterdam

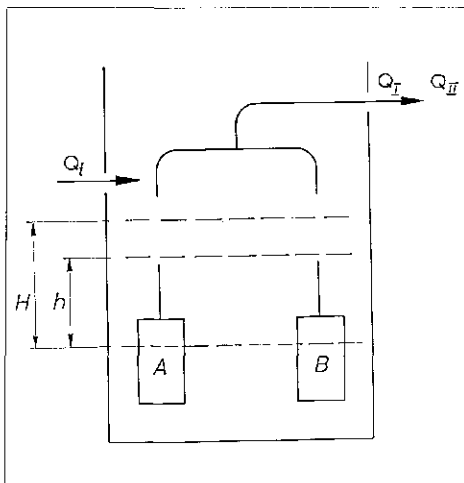


ING. F. A. SCHUURMANS  
Eekels pompen bv, Amsterdam

een zo hoog mogelijke startfrequentie kunnen toepassen omdat men daarmee de volgende voordelen bereikt:

- het bezinken van vaste stoffen op de bodem van de pompkelder wordt verminderd;
- de vorming van drijfslagen wordt vermeden;
- afvoerleidingen met terugslagkleppen verstopen minder snel doordat het vuil steeds weer in beweging gebracht wordt;
- de toevoer naar de zuiveringsinstallatie is gelijkmatiger;
- lagere bouwkosten bij hoge startfrequenties.

Afb. 1 - Pompstation met twee onderwaterpompen.



De grens van het aantal starts wordt bepaald door de pompen en door de automatische elektrische apparatuur. Deze is heden ten dage zo betrouwbaar dat zelfs zeer hoge startfrequenties geen bezwaar vormen.

Wanneer de put- of kelderinhoud zodanig bemeten wordt dat men passende startfrequenties bereikt, worden extra bouw- en reparatiekosten bespaard en verkrijgt men een optimaal functioneren van het gemaal.

In dit artikel wordt de theorie van de startfrequenties bij toerbeurt schakeling van 2 pompen behandeld, omdat de kennis van deze materie noodzakelijk is voor het bepalen van de best passende schakelfrequentie.

## 2. Principe van toerbeurtbedrijf met 2 pompen

Afb. 1 toont het principe van een pompstation met 2 gelijke klokpompen. De toerbeurtcyclus verloopt aldus: Wanneer het water stijgt tot het eerste startniveau start pomp A. Als de afvoer ( $Q_I$ ) per tijdseenheid groter is dan de toevoer ( $Q_t$ ) daalt het waterniveau tot het stopniveau en de pomp stopt. Het water begint weer te stijgen en zodra het eerste startniveau bereikt wordt start pomp B in plaats van pomp A, m.a.w. de pompen draaien om de beurt.

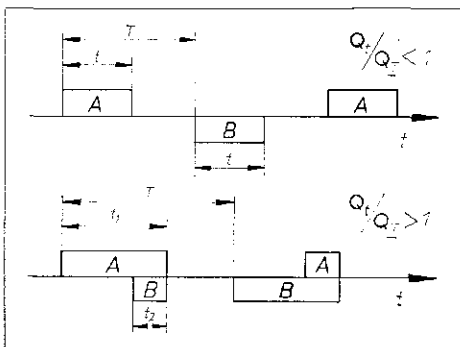
Is de toevoer  $Q_t$  groter dan de afvoercapaciteit van 1 pomp ( $Q_I$ ) dan stijgt het water tot het tweede startniveau en de tweede pomp start ook.

Als de totale afvoer van 2 pompen ( $Q_{II}$ ) groter is dan de toevoer  $Q_t$  zal het water dalen tot het stopniveau en beide pompen worden uitgeschakeld.

## 3. Startfrequentie-kurven

Afb. 2 geeft schematisch de inschakeltijden weer die volgen uit het bovenomschreven bedrijfsprincipe. Zoals uit de afbeelding blijkt, ontstaat een belangrijk verschil wanneer  $Q_t$  groter wordt dan  $Q_I$  en op grond daarvan wordt deze materie in twee gedeeltes behandeld, nl. voor  $Q_t/Q_I < 1$  en voor  $Q_t/Q_I > 1$ .

Afb. 2 - Inschakeltijden bij toerbeurt schakeling van twee pompen.



### 3.1. $Q_t/Q_I < 1$ .

De hoeveelheid water ( $V$  in  $m^3$ ) die per pomp- en pompcyclus in het pompstation stroomt is:

$$(a) V = Q_t \cdot T$$

Hierin is:

$Q_t$  = toevoer in  $m^3/u$ ;

$T$  = tijdsduur van de toevoer in uren.

Dit zelfde volume moet uit het pompstation worden verwijderd, zodat:

$$(b) V = Q_I \cdot t$$

waarbij:

$Q_I$  = pompcapaciteit in  $m^3/u$ ;

$t$  = inschakeltijd van de pomp in uren.

Uit (a) en (b) volgt:

$$(c) Q_t \cdot T = Q_I \cdot t \text{ en } t = \frac{Q_t \cdot T}{Q_I}$$

Bezien wij afb. 1 dan blijkt dat het volume  $V_h$  gevuld wordt tijdens de periode  $T - t$  zodat we kunnen schrijven:

$$V_h = Q_t (T - t) = Q_t \cdot T - Q_t \cdot t$$

Vullen we hier de waarde voor  $t$  uit formule (c) in, dan ontstaat:

$$V_h = Q_t \cdot T - Q_t \cdot \frac{Q_t \cdot T}{Q_I} = T \left( \frac{Q_t \cdot Q_I}{Q_I} - \frac{Q_t^2}{Q_I} \right)$$

$T$  hieruit opgelost geeft:

$$T = \frac{V_h \cdot Q_I}{Q_t \cdot Q_I - Q_t^2}$$

De startfrequentie  $Z_I$  per uur per pompstation is de omgekeerde waarde van  $T$ :

$$Z_I = \frac{Q_t \cdot Q_I - Q_t^2}{V_h \cdot Q_I}$$

Daar het pompstation met 2 pompen is uitgerust, die bij toerbeurt werken, wordt de startfrequentie per pomp:

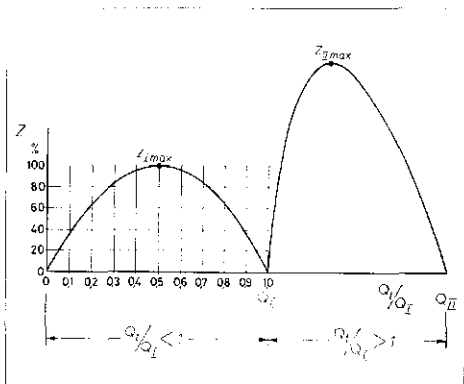
$$Z_I = \frac{Q_t \cdot Q_I - Q_t^2}{2V_h \cdot Q_I} \quad (1)$$

Volgens deze vergelijking ontstaat de grafiek in afb. 3, waarbij:

$$Q_t \text{ varieert tussen } 0 \text{ en } \frac{Q_t}{Q_I} < 1.$$

De hoogste startfrequentie  $Z_{I \max}$ , binnen de gestelde limieten, kunnen we berekenen door differentiatie van vergelijking (1):

$$\frac{d Z_I}{d Q_t} = \frac{Q_I - 2 Q_t}{2V_h \cdot Q_I}$$



Afb. 3 - Startfrequentiecurve voor toerbeurt-schakeling.

Deze is 0 indien  $Q_t = \frac{1}{2}Q_I$  en ingevuld in vergelijking (1) geeft dit:

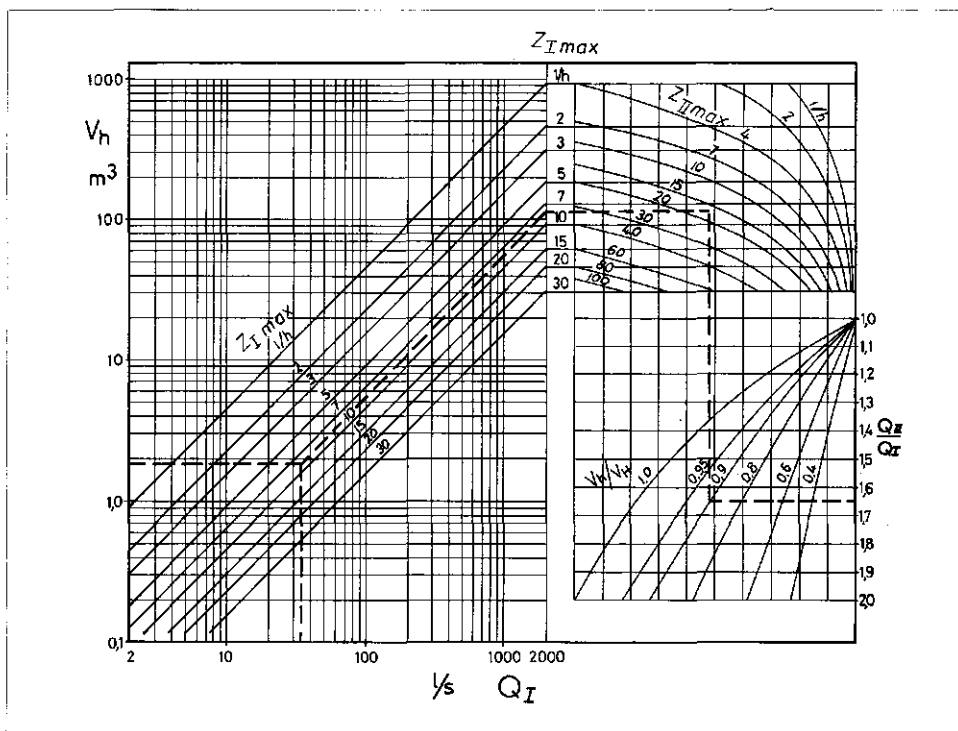
$$Z_{I \max.} = \frac{\frac{1}{2}Q_I \cdot Q_I - \frac{1}{4}Q_I^2}{2V_h \cdot Q_I} = \frac{Q_I}{8V_h} \quad (2)$$

waaruit het volume  $V_h$  opgelost kan worden:

$$V_h = \frac{Q_I}{8Z_{I \max.}} \quad (3)$$

Deze vergelijking wordt in grafiekvorm weergegeven in het linkergedeelte van het nomogram (afb. 4).

Afb. 4 - Startfrequentie nomogram voor toerbeurt-schakeling van twee pompen.



$Q_t$  = wateraanbod.  
 $Q_I$  = capaciteit per pomp voor  $Q_t/Q_I < 1$ .  
 $Q_{II}$  = capaciteit van de pompen voor  $Q_t/Q_I > 1$ .  
 $Z_{I \max.}$  = max. startfrequentie van de pomp (1/u) voor  $Q_t/Q_I < 1$ .

3.2.  $Q_{II}/Q_I > 1$ .

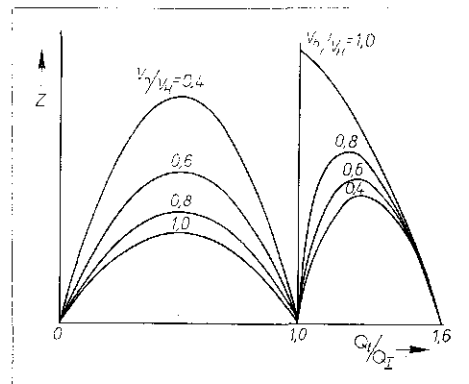
In dit gebied wordt de startfrequentie beïnvloed door 2 nieuwe factoren, t.w. de verhouding van de inhouden  $V_h/V_{II}$  en de totale afvoer  $Q_{II}$  van de pompen wanneer zij gelijktijdig werken, welke afvoer weer afhankelijk van de leidingweerstand is.  $V_{II}$  is het volume dat correspondeert met niveau H (zie afb. 1).

Op identieke wijze als eerder uiteengezet kunnen we de vergelijking voor de startfrequentie afleiden en vinden:

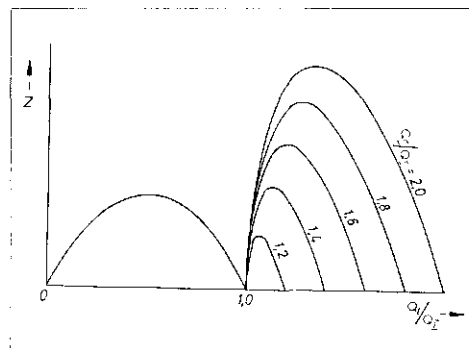
$$Z_{II} = \left( \frac{Q_I (V_{II} - V_h)}{Q_t^2 - Q_I \cdot Q_t} + \frac{Q_{II} \cdot V_{II}}{Q_t \cdot Q_{II} - Q_t^2} \right)^{-1} \quad (4)$$

Aangezien er geen korte mathematische vergelijking voor de hoogste startfrequentie kan worden vergrepen in dit geval is d.m.v. een computerprogramma een nomogram vervaardigd en opgenomen onder afb. 4. Een voorbeeld van het effect van de verhouding  $V_h/V_{II}$  op de startfrequentiecurve, bij konstante  $V_{II}$  en variërende  $V_h$  en een verhouding  $Q_{II}/Q_I = 1,6$ , is weergegeven in afb. 5.

Wij zien dat  $Z_{II \max.}$  gereduceerd kan worden door het eerste startniveau te verlagen; hierdoor zal  $Z_{I \max.}$  echter toenemen.



Afb. 5 - Startfrequentiecurven bij verschillende  $V_h/V_{II}$  waarden, wanneer  $V_{II}$  konstant is en  $Q_{II}/Q_I$  varieert tussen 0 en 1,6.



Afb. 6 - Startfrequentiecurven bij verschillende  $Q_t/Q_I$  waarden, wanneer  $V_{II}$  konstant is en  $V_h/V_{II} = 0,8$ .

Voorts leidt  $Z_{II \max.}$  tot een hogere toevoer  $Q_t$ .

Een voorbeeld van de invloed van de verhouding  $Q_{II}/Q_I$  op de startfrequentiecurve indien  $V_h/V_{II} = 0,8$  is weergegeven in afb. 6.

Hieruit is te zien dat  $Z_{II \max.}$  afneemt wanneer de leidingweerstand toeneemt.

4. Dimensionering van de pompput overeenkomstig de startfrequenties

Bij het bepalen van de inhouden  $V_h$  en  $V_{II}$  van de pompput wordt uitgegaan van de startfrequentie en de vraag rijst dan ook welk aantal inschakelingen toelaatbaar wordt geacht.

Beslissend voor de werking van de pompen en hun automatische startapparatuur is het aantal inschakelingen over een langere periode, bijv. 1 jaar, omdat voor korte periodes tijdelijk aanzienlijk hogere startfrequenties toegelaten worden.

Zoals al eerder gemeld hangt de startfrequentie af van het wateraanbod en in rioolwaterstations varieert dit over een groot gebied op verschillende tijdstippen. Theoretisch kan het aantal starts per jaar worden berekend d.m.v. de startfrequentiecurve, indien de toevoer vastligt als functie

van de tijd. In de praktijk heeft dit geen zin, omdat we terug moeten vallen op schattingen van de toevoer bij het ontwerpen van een pompstation. Gewoonlijk baseert men de afmetingen van de pomp op de hoogst mogelijke startfrequentie; al naar men gekozen heeft is dit  $Z_{I \max}$  of  $Z_{II \max}$ .

Bij de keuze is het echter raadzaam zich af te vragen hoe vaak de pieken in de startfrequenties optreden. Als het pompstation zo is gedimensioneerd dat de pompen nooit gelijktijdig in bedrijf zijn, heeft  $Z_{II \max}$  geen betekenis.

Het verdient aanbeveling om bij het maken van de keuze van de startfrequenties advies in te winnen bij de leveranciers van de pompen en automatische schakelapparatuur omdat verschillende fabrikanten ook verschillende waarden hanteren, o.a. op grond van constructieve verschillen in het materieel.

De waarde van  $Z_{II \max}$ , welke vrij zelden voorkomt, kan 1,5 - 2 maal de waarde  $Z_{I \max}$  zijn, of nog groter in zeer zeldzame gevallen, zoals eens per jaar bij een wolkbreuk.

#### *Eén pomp, of twee pompen in toerbeurt-schakeling?*

Wanneer het pompstation opgezet is voor toerbeurtbedrijf van 2 pompen en 1 pomp heeft voldoende capaciteit om de toevoer te verwerken dan is de hoogst mogelijke startfrequentie per pomp de helft van die voor een gemaal met 1 pomp. Aldus kan de inhoud van de pompput de helft kleiner gekozen worden dan voor 1 pomp zou gelden; het is soms voordeliger twee pompen voor toerbeurtbedrijf te plaatsen dan één pomp in een grotere put. Alvorens te besluiten 1 pomp te plaatsen dient men bovengenoemde suggestie te onderzoeken.

De volgende voordelen komen hier nog bij:

- het aantal bedrijfsuren per pomp is slechts de helft van de bedrijfstijd van 1 pomp, hetgeen een langere levensduur betekent;
- indien een pomp uitvalt of een onderhoudsbeurt krijgt, werkt de tweede pomp.

#### *De opbrengst van de pomp is groter dan tweemaal het hoogste wateraanbod*

Het komt voor dat pompen van te grote capaciteit gekozen moeten worden om voldoende snelheid in het leidingsysteem te houden teneinde verstopping tegen te gaan. Deze situatie kan zich voordoen bijv. bij de waterlozing van kleinere woonwijken. Als de pompopbrengst groter is dan tweemaal het grootste wateraanbod, valt  $Z_{I \max}$  geheel buiten beschouwing, zoals blijkt uit afb. 3, omdat we in het gebied belanden

$$\text{waar } Q_t < 0,5 \frac{Q_t}{Q_I}$$

Zijn we er zeker van dat de aanvoer in de toekomst niet zal toenemen, dan kan het volume  $V_h$  berekend worden aan de hand van vergelijking (1).

Wij kunnen ook nomogram afb. 4 gebruiken, waarbij we echter moeten bedenken dat er dan van  $Z_{I \max}$  uitgegaan wordt, hetgeen niet juist is. De gevonden waarde  $V_h$  moet dan ook evenredig met het gevonden percentage ( $Z$ ) op de ordinaat van afb. 3 vermindert worden.

#### **Samenvatting**

De bouwkosten en de werking van het pompstation hangen af van de keuze van de startfrequentie; daarom moet rekening gehouden worden met het fluctueren van de aanvoer op verschillende tijdstippen omdat de optredende startfrequenties weer van deze schommelingen afhankelijk zijn. Beslissend voor de keuze van pompen en schakelapparatuur is het aantal schakelingen over een langere tijd, bijv. één jaar. Tijdelijk laten zij aanzienlijk hogere startfrequenties toe dan gemiddeld. Indien het pompstation zodanig ontworpen is dat de capaciteit van 1 pomp niet altijd voldoende is, moet men een aanzienlijke vergroting van de startfrequentie aanvaarden, welke afhankelijk is van de leidingweerstand en de afstelling van de startniveaus.

#### *Voorbeeld*

$$Q_I = 33 \text{ l/s}$$

$$Q_{II} = 55 \text{ l/s}$$

Voor  $Z_{I \max}$  worden 8 schakelingen per uur gekozen.

Uit het nomogram volgt  $V_h = 1,8 \text{ m}^3$ .

Indien  $Q_t/Q_I > 1$  is:

$$\frac{Q_{II}}{Q_I} = \frac{55}{33} = 1,66$$

$V_h/V_{II}$  kiezen we op 0,9.

Hieruit volgt dat  $Z_{II \max} = 17$  schakelingen per uur.



## **Hydrologencongres in Budapest over Hergebruik van water**

De Hongaarse Hydrologische Vereniging wijdt haar derde congres over waterkwaliteit en -technologie aan 'Hergebruik van water voor de watervoorziening'. Het congres wordt gehouden van 9 - 13 oktober 1979 te Budapest. Congrestalen zijn Hongaars, Engels en Duits. Bijdragen voor dit congres moeten vóór 30 september a.s. worden aangemeld. Nadere inlichtingen: Magyar Hidrológiai Társaság, H-1372 Budapest, V., Kossuth L. tér 6-8. IV. 425. Telefon Nr.: 121-470, 113-250/224, 225. Telex: 22-5792 MTESZ.

### **Agenda**

19 - 22 september 1978, Amsterdam, RAI-congrescentrum, IAWPR-congres over beluchting.

19 t/m 23 september 1978, RAI-gebouw, Amsterdam: Aquatech '78. Inl.: Waalhaven ZZ 44, Rotterdam, tel. (010) 299655.

25 - 29 september 1978, Jönköping: 4th Int. trade fair for water conservancy, air pollution and noise abatement. Inl.: Elmia AB, Box 6066, S-550 06 Jönköping, Zweden.

2 - 6 oktober 1978, Kyoto, Japan, IWSA-congres.

4 t/m 8 oktober 1978, Utrecht, Jaarbeurs; Int. Keukentoonstelling IKM '78. Inl.: Intradex bv, Hoogstraat 111, Rotterdam, tel. (010) 130311.

10 - 13 oktober 1978, Utrecht: 4th European Electro-Optics Conference and Exhibition. Inl.: EEOA Secretariat c/o Arthur D. Little, 90 Champs Elysées, 75008 Paris.

30 okt. - 4 nov. '78, Utrecht; Machevo-Milieu '78. Inl.: Jaarbeurs, Utrecht, tel. (030) 914914, tst. 494.

7 en 8 november 1978, Londen: Symposium 'Industrial Applications of infrared technology'. Inl.: Sira Institute Ltd., South Hill Chislehurst, Kent BR27 5EH, England.

13 - 18 november 1978, Birmingham: Public Works & Municipal Services Congress & Exhibition. Inl.: Public Works Congress Council, 1 Queen Anne's Gate, London SW1H 9BT.

13 t/m 16 februari 1979, Singapore: Asia Aquatech en Asia Aquatech '79 Conference. Inlichtingen: Europort Tentoonstellingen b.v., Waalhaven ZZ 44, 3088 HJ Rotterdam, tel. (010) 299655.

9 - 11 mei 1979, Basel: zesde Arbeitstagung IAWR.

15 - 17 mei 1979, Dortmund: symposium 'Künstliche Grundwasseranreicherungen'. Inl.: Dr. Karlheinz Schmidt, Institut für Wasserversorgung GmbH, Schwetel-Geisicke, 5840 Dortmund.