

Dit werkblad heeft betrekking op de berekeningsmethode in verband met waterslag.

In artikel 1.4 van NEN 1006 (AVWI 2002) wordt hieromtrent het volgende gesteld:

Een leidingwaterinstallatie moet zo zijn uitgevoerd dat:

- d. *de levering van leidingwater bij derden niet nadelig wordt beïnvloed;*
- e. *geluidhinder wordt vermeden;*
- g. *een langdurig en ongestoord gebruik moet kunnen worden verwacht.*

1. Waterslag algemeen

Waterslag is een drukopbouw ten gevolge van een in zeer korte tijd optredende snelheidsverandering van de volumestroom, bij voorbeeld bij het sluiten van een kraan. Waterslag kan in leidingwaterinstallaties op verschillende plaatsen en onder verschillende omstandigheden voorkomen.

Waterslag in leidingwaterinstallaties kan schade veroorzaken aan leidingen en toestellen en de oorzaak zijn van geluidsoverlast.

Uit onderzoek (zie ISSO/VNI-richtlijn 30-3 "Waterslag in tapwaterinstallaties") kan worden geconcludeerd dat geen hinder is te verwachten als de drukopbouw niet groter is dan de door het waterleidingbedrijf geleverde druk. Bij voorkeur moet worden voorkomen dat er onderdruk ontstaat. In dat geval is de kans aanwezig dat de zogenaamde dampdruk wordt onderschreden waardoor imploderende dampbelletjes (cavitatie) ontstaan, welke ook de oorzaak zijn van geluidsoverlast. De snelheid waarmee de drukwisseling optreedt is bepalend voor het geluidsniveau.

2. Bepaling van de drukopbouw

Op grond van de navolgende berekeningen kan worden bepaald of hinder tengevolge van waterslag is te verwachten en bijzondere voorzieningen nodig zijn om die hinder te beperken (zie WB 1.4 E).

$$\Delta p = \Delta p_{\max} \times \frac{t_l}{t_s}$$

$$\Delta p_{\max} = \rho \times c \times \Delta v \times 10^{-6}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho \times \left(\frac{1}{k} + \frac{d_i}{\delta \times E} \right)}}$$

$$\Delta v = \frac{q_v}{A} \times 10^{-1}$$

$$t_l = \frac{2 \times L}{c}$$

In bovenstaande en volgende formules geldt voor:

- Δp = optredende drukopbouw in MPa
 Δp_{\max} = volledige drukopbouw (Joukowsky druk) in MPa
 t_l = looptijd van de drukgolf in s
 t_s = sluittijd van de kraan in s
 ρ = massadichtheid van water in kg/m³
 (≈1000 = temperatuurafhankelijk)
 c = voortplantingsnelheid van de drukgolf in m/s
 Δv = (verandering van de) stroomsnelheid in de leiding in m/s
 k = compressiemodulus van water (0,22 x 10¹⁰ Pa)
 d_i = inwendige middellijn van de leiding in m
 δ = wanddikte van de leiding in m
 E = elasticiteitsmodulus van het leidingmateriaal in Pa
 q_v = volumestroom in l/s
 A = inwendige oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de leiding in dm²
 L = lengte van de aansluitleiding tussen de kraan en de leiding waarvan wordt afgetakt in m

Opmerking

De optredende drukopbouw Δp kan nooit hoger worden dan Δp_{\max} . Wanneer de sluittijd (t_s) van de kraan korter of gelijk aan de looptijd (t_l) van de drukgolf, vindt een volledige drukopbouw plaats.

Als indicatie voor de elasticiteitsmodulus E (bij een omgevings-temperatuur van 20 °C) gelden de volgende waarden:

staal/rvs	$E = 20 \times 10^{10}$ Pa
koper	$E = 12,4 \times 10^{10}$ Pa
pvc(-c) ((gechloreerde) Polyvinylchloride)	$E = 0,3 \times 10^{10}$ Pa
pb (Polybuteen)	$E = 0,04 \times 10^{10}$ Pa
pe (Polyetheen)	$E = 0,05 \times 10^{10}$ Pa
pp-r (Polypropreen Random Copolymeer)	$E = 0,08 \times 10^{10}$ Pa
pe/al (Polyetheenbuis met aluminium barrièrelaag)	$E = 0,1 \times 10^{10}$ Pa
pe-x (crosslinked Polyetheen)	$E = 0,06 \times 10^{10}$ Pa
gietijzer	$E = 10 \times 10^{10}$ Pa
ac (asbest-cement)	$E = 0,1 \times 10^{10}$ Pa

3. Voorbeelden

3.1 Voorbeeld 1

Een groot drinkwaterreservoir wordt gevuld door middel van een elektrisch bediende afsluiter.

De volumestroom $q_v = 5,64$ l/s en $t_s = 0,01$ s (10 ms).

De pvc vulleiding met $d_u = 75$ mm, $d_i = 69,2$ mm heeft een lengte van 50 m tot aan een verdeelleiding waarop wordt afgetakt.

De leveringsdruk van het waterleidingbedrijf bedraagt 250 kPa.

Uitwerking:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho \times \left(\frac{1}{k} + \frac{d_i}{\delta \times E} \right)}}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{1000 \times \left(\frac{1}{0,22 \times 10^{10}} + \frac{0,0692}{0,0029 \times 0,3 \times 10^{10}} \right)}} = 345 \text{ m/s}$$

$$t_i = \frac{2 \times L}{c} = \frac{2 \times 50}{345} = 0,29 \text{ s}$$

Doordat t_s (0,01 s) < t_i (0,29 s), vindt volledige drukopbouw plaats (Δp_{\max}).

$$\Delta v = \frac{q_v}{A} \times 10^{-1} = \frac{5,64}{\frac{\pi}{4} \times (0,692)^2} \times 10^{-1} = 1,5 \text{ m/s}$$

$$\Delta p_{\max} = \rho \times c \times \Delta v \times 10^{-6} = 1000 \times 345 \times 1,5 \times 10^{-6} = 0,52 \text{ MPa} = 520 \text{ kPa}$$

Omdat Δp (520 kPa) > leveringsdruk (250 kPa) is waterslag en cavitatie mogelijk.

Wordt gekozen voor een langzamer sluitende vulafsluiter, bijvoorbeeld met $t_s = 1$ s, dan wordt:

$$\Delta p = \Delta p_{\max} \times \frac{t_i}{t_s} = 520 \times \frac{0,29}{1} = 150 \text{ kPa}$$

Nu is Δp (150 kPa) < leveringsdruk (250 kPa) en is er geen waterslag te verwachten.

3.2 Voorbeeld 2

In een woning is een wasmachine door middel van een 1 m lange koperen leiding 13/15 aangesloten.

Verder is gegeven dat $q_v = 0,167$ l/s, $t_s = 0,005$ s (5 ms) en de leveringsdruk van het waterleidingbedrijf is 300 kPa.

Uitwerking:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho \times \left(\frac{1}{k} + \frac{d_i}{\delta \times E} \right)}}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{1000 \times \left(\frac{1}{0,22 \times 10^{10}} + \frac{0,013}{0,001 \times 12,4 \times 10^{10}} \right)}} = 1337 \text{ m/s}$$

$$t_l = \frac{2 \times L}{c} = \frac{2 \times 1}{1337} = 0,0015 \text{ s (1,5 ms)}$$

Doordat t_s (5 ms) > t_l (1,5 ms), vindt geen volledige drukopbouw plaats (Δp).

$$\Delta v = \frac{q_v}{A} \times 10^{-1} = \frac{0,167}{\frac{\pi}{4} \times (0,13)^2} \times 10^{-1} = 1,26 \text{ m/s}$$

$$\Delta p_{\max} = \rho \times c \times \Delta v \times 10^{-6} = 1000 \times 1337 \times 1,26 \times 10^{-6} = 1,68 \text{ MPa} = 1680 \text{ kPa}$$

$$\Delta p = \Delta p_{\max} \times \frac{t_l}{t_s} = 1680 \times \frac{1,5}{5} = 504 \text{ kPa}$$

Omdat Δp (504 kPa) > leveringsdruk (300 kPa) is er waterslag te verwachten.

Uit dit voorbeeld blijkt dat de afsluiter van de wasmachine te snel sluit.

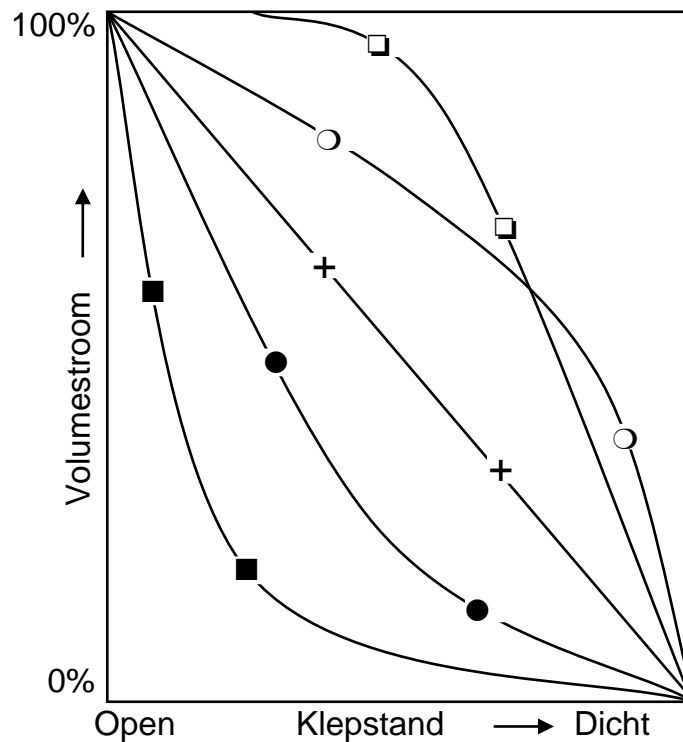
4. Typen afsluiters

Voor het bepalen van de sluittijd t_s moet rekening worden gehouden met de afsluiterkarakteristiek van de toegepaste afsluiter(s).

In figuur 1 zijn enkele klepkarakteristieken gegeven. De vorm en de zitting van de klep spelen een belangrijke rol bij het bepalen van de reële sluittijd.

Onder de reële sluittijd wordt verstaan: de tijd die nodig is om het gedeelte van de klepstand die een wezenlijke rol speelt in de snelheidsverandering van de vloeistofstroom, het eigenlijke afsluiten, uit te voeren.

Figuur 1 Klepcharacteristieken



Legenda:

- Exponentieel (parabolische klepvorm);
- Vierkantswortel;
- Gelijk percentage (parabolische klepvorm);
- Snel sluitend (kogelkranen, vlakke kleppen);
- + Lineair (v-klepvorm).

In tabel 1 is voor enkele in leidingwaterinstallaties toegepaste afsluiters een indicatie van de sluittijd gegeven.

Tabel 1 Indicatie van sluitijden in milliseconden (ms)

Afsluiter/kraan	Bediening	Sluittijd in ms
afsluiter in wasmachine en vaatwasmachine	elektromagneet	5 à 7
kraan met draaiknop en rubber klepbedekking	normaal/langzaam	200 à 400
kraan met draaiknop en keramische schijven	normaal/langzaam	100 à 200
éénhendel(meng)kraan met keramische schijven	langzaam snel	100 10 à 20

5. Aanbevelingen

De volgende maatregelen hebben een gunstig effect op het verminderen van de hinder ten gevolge van waterslag.

- het toepassen van afsluiters met een langere sluittijd;
- het beperken van de volumestroom;
- het verlagen van de stroomsnelheid in de aftakking;
- het realiseren van een korte aftakking;
- de middellijn van de leiding waarvan wordt afgetakt minstens één maat groter uitvoeren dan de middellijn van de aftakking;
- het toepassen van kunststof leidingen met een lage elasticiteitsmodulus ($E \leq 0,35 \times 10^{10} \text{ Pa}$).