



De noodzaak van dynamische karakteristieken voor terugslagkleppen

ARNO KRUISBRINK, WL Delft HYDRAULICS

Hoewel terugslagkleppen pompen moeten beschermen in noodsituaties, kunnen zij juist de oorzaak zijn van schade aan de pomp of leidingstelsel. Problemen als waterslag en slamming, die optreden als gevolg van de sluiting van terugslagkleppen, zijn veelal toe te schrijven aan een verkeerde keuze. Ondanks onderzoeksinspanningen en vele experimenten bestaan nog steeds geen normen waarin het dynamisch gedrag van terugslagkleppen is opgenomen.

Terugslagkleppen worden doorgaans aan de benedenstroomse zijde van pompen geïnstalleerd om stroming in één richting toe te laten en in omgekeerde richting te voorkomen. De ideale terugslagklep heeft geen weerstand in normale stromingsrichting en een oneindige weerstand in omgekeerde stromingsrichting. In de praktijk hebben terugslagkleppen echter wel een zekere weerstand in normale stromingsrichting en sluiten ze niet op het moment dat het debiet nul wordt, maar nadat er een zekere retourstroming is opgetreden. De mate van retourstroming is afhankelijk van het kleptype, de klepdiameter en configuratie (veersterkte, contragewicht) en de klepdia-

meter. De reductie van de retourstroming naar nul (klep is gesloten) gaat gepaard met drukstoten (waterslag) and 'slamming', waarbij het kleplichaam hard op de zitting terecht komt. Het feit dat sommige fabrikanten suggereren dat hun terugslagkleppen geen drukgolven induceren, omdat ze sluiten voordat er een retourstroming optreedt of omdat ze 'stil' sluiten, is misleidend.

Dynamische karakteristieken

In de tachtiger jaren is de 'dynamische karakteristiek' voor ongedempte terugslagkleppen geïntroduceerd³, die uit dynamische testen bepaald wordt (afbeelding 1). Enkele

jaren later verschijnt de dimensieloze vorm van deze karakteristiek¹, die schaling (naar andere diameters en klepconfiguraties) mogelijk maakt en het testen van schaalmodellen, wat in het bijzonder van belang is voor grote terugslagkleppen.

De (dimensieloze) dynamische karakteristiek is gedefinieerd als:

$$v_R = f \left(\frac{dv}{dt} \right); \quad \frac{v_R}{v_0} = f \left(\frac{D}{v_0^2} \frac{dv}{dt} \right)$$

waarin: v_R = de maximale retoursnelheid (juist voor sluiting), v_0 = de kritische snelheid (klep is juist volledig geopend), dv/dt = de initiële vloeistofvertraging (door het systeem opgelegd aan de terugslagklep), en D = de klepdiameter.

In afbeelding 2 zijn voorbeelden van dynamische karakteristieken gegeven. Sinds 1980 zijn van vele typen terugslagkleppen dynamische karakteristieken gemeten.

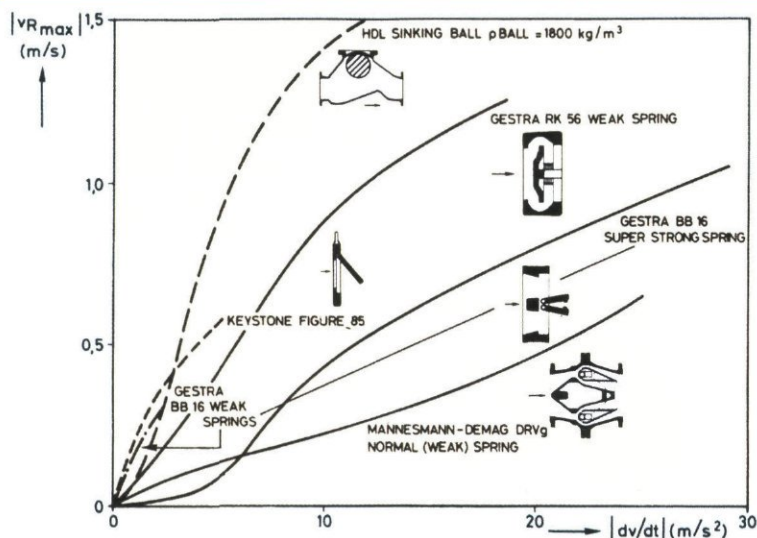
Gebruik

De (dimensieloze) dynamische karakteristiek kan gebruikt worden om de effecten van waterslag en de ankerkrachten, die geïnduceerd worden door de sluiting van terugslagkleppen, te voorspellen. Hiertoe dient de initiële vloeistofvertraging (ten gevolge van een stroomstoring of uitval van pomp) bekend te zijn, bijvoorbeeld met behulp van de starre kolom methode of een waterslagsimulatie met de computer. Wanneer de initiële vloeistofvertraging (dv/dt) eenmaal bekend is, kan de maximale retoursnelheid (v_R) afgelezen worden uit de dynamische karakteristiek. De resulterende drukstoten kunnen dan eenvoudig geschat worden uit de Joukowsky formule:

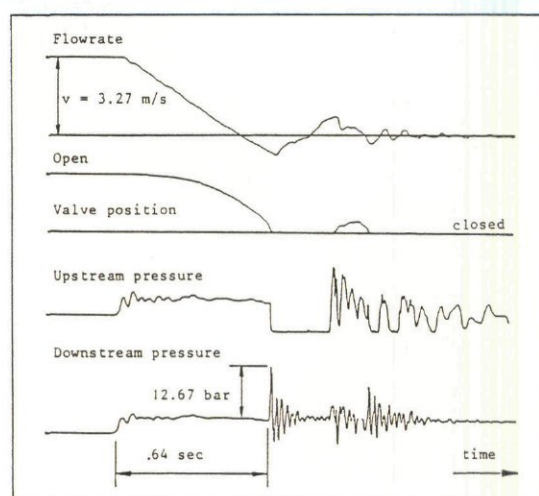
$$\Delta H = \pm \frac{c}{g} v_R \quad \vee \quad \Delta p = \pm \rho c v_R$$

waarin: ΔH = de drukverandering ten gevolge

Afb. 1: Testresultaten van 800 mm terugslagkleppen¹.



Afb. 2: Dynamische karakteristieken van diverse 200 mm terugslagkleppen⁴.



van klepsluiting, c = de voortplantingssnelheid van de drukgolven in de aangrenzende leidingen, ρ = de vloeistofdichtheid en g = de versnelling van de zwaartekracht. Het plus- en minteken zijn respectievelijk geldig aan de boven- en benedenstroomse zijde (merk op dat v_R negatief is).

De positieve drukverandering aan de benedenstroomse zijde mag hierbij de maximaal toelaatbare druk niet overschrijden (bepaald door de drukklasse). De negatieve drukverandering aan de bovenstroomse zijde kan resulteren in kolomscheiding (cavitatie), als deze groter is dan de aanvankelijke druk in het systeem. Het retourdebiet mag niet resulteren in een negatieve rotatie van de pomp.

Kritische systemen

Systemen waar een potentieel gevaar aanwezig is, zijn die met relatieve hoge opvoerhoogtes, lage traagheidsmomenten van de pompen en korte leidingen tussen de terugslagklep en energiebron (pomp of windketel). Deze combinatie kan leiden tot hoge vloeistofvertragingen, die een snelle responsie van de terugslag vragen, om de drukstoten binnen acceptabele limieten te houden. Desalniettemin hebben systeemontwerpers om economische redenen de neiging om de afmetingen van pompstations te minimaliseren en de goedkoopste terugslagklep uit te kiezen, met een potentieel risico van falende terugslagkleppen. Hoe groter de diameter en lager de drukklasse van het systeem, des te groter wordt de noodzaak van een gedegen klepkeuze.

Klepkeuze

De stationaire en dynamische karakteristieken geven informatie over de energieverlie-

zen (lange termijn) en waterslag (korte termijn). De karakteristieken zijn gecorreleerd in die zin dat een goed stationair gedrag (lage energieverliezen) in het algemeen samengaat met een slecht dynamisch gedrag (hoge drukgolven) en vice versa. Als zodanig bestaat er geen ideale terugslagklep.

Door beide karakteristieken in de klepkeuze te gebruiken kan de optimale terugslagklep voor een specifiek systeem verkregen worden, met minimale energieverliezen en acceptabele drukken ten gevolge van de sluiting. Dit kan tot wat hogere aanschafkosten leiden, maar is op de lange duur economischer en veiliger.

Verantwoordelijkheden en aansprakelijkheid

De systeemontwerper die verantwoordelijk is voor de specificatie van componenten heeft de plicht om te garanderen dat ze het meest geschikt en kosteneffectief zijn. Hij kan dit alleen doen als hij voorzien wordt van de juiste informatie. In dit verband dient de klepfabrikant de verantwoordelijk te aanvaarden om de ontwerper te voorzien van gegevens over de prestaties van zijn producten. De ontwerper die verantwoordelijk is voor het totale systeem dient ervoor te zorgen dat er waterslaganalyses worden uitgevoerd, die ook de 'worst case' scenario's betreffen, om zo een veilige bedrijfsvoering te kunnen garanderen⁵⁾.

Normen

In de weinige (Amerikaanse, Engelse, Duitse en Nederlandse) normen over terugslagkleppen worden de algemene eisen beschreven betreffende materialen, afmetingen en flenzen.

Met betrekking tot hydraulische eisen bestaan voorschriften voor de energieverliezen in termen van een minimale stromingscapaciteit bij een gespecificeerd drukverlies of een maximaal toelaatbare energieverliescoëfficiënt. Verder worden in sommige normen lek-, openingsdruk- en duurzaamheidstesten voorgeschreven.

Alhoewel erkend wordt dat waterslag optreedt ten gevolge de sluiting van terugslagkleppen en zelfs waterslagvoorzieningen genoemd worden, zijn er geen voorschriften met betrekking tot het dynamisch gedrag. In 1988²⁾ is in dit verband een standaardprocedure voorgesteld, voor het dynamisch beproeven van terugslagkleppen.

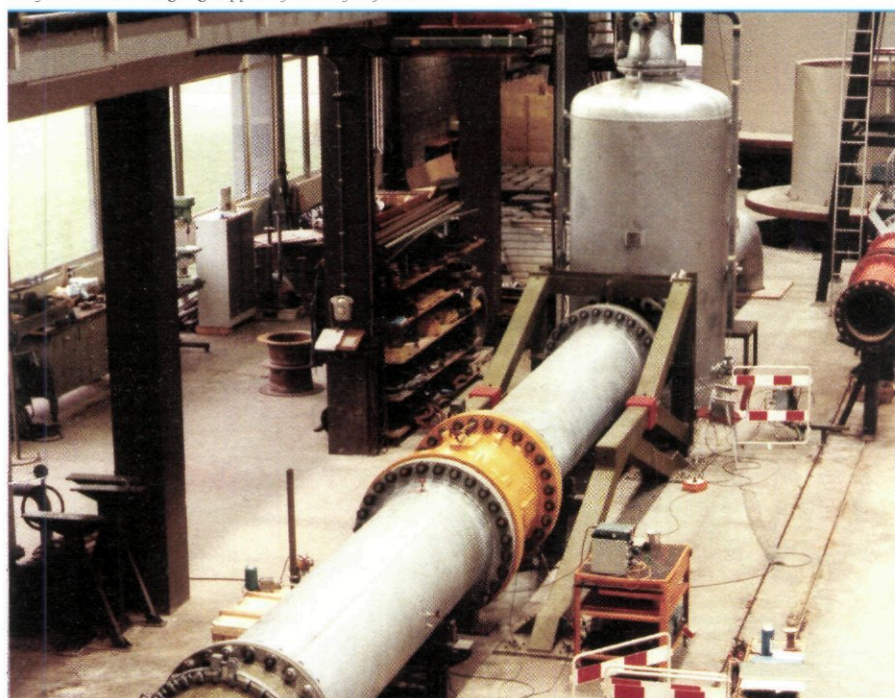
Slotopmerkingen

Dynamische karakteristieken zijn een uitstekend middel om het dynamisch gedrag van terugslagkleppen vast te leggen. De overtuiging bestaat dat deze karakteristieken opgenomen zouden moeten worden in de normen, als een standaard voor de vergelijking van terugslagkleppen. De karakteristieken kunnen gebruikt worden om de effecten van waterslag en slamming als gevolg van de sluiting van terugslagkleppen te kwantificeren en te beoordelen.

Dynamische karakteristieken zijn van nut voor ontwerpers in de klepkeuze en gebruikers van leidingsystemen om een veiliger bedrijfsvoering van leidingsystemen te garanderen.

De waterslagcomputerprogramma's van tegenwoordig zijn in staat om zowel het stationaire als het dynamische gedrag van terugslagkleppen nauwkeurig te simuleren. Als zodanig kunnen ze bijstaan in de keuze van de optimale terugslagklep. ☛

Testfaciliteit voor terugslagkleppen bij WLDelft Hydraulics.



LITERATUUR

- 1) Koetzier H., A. Kruisbrink en C. Lavooij (1986). Dynamic behaviour of large nonreturn valves. Proceedings of the 5th international conference on Pressure Surges. BHRA, Hannover.
- 2) Kruisbrink A. (1988). Check valve closure behaviour, experimental investigation and simulation in waterhammer computer programs. Proceedings of the 2nd international conference on Developments in Valves and Actuators for Fluid Control. BHRA, Bournemouth (GB).
- 3) Provoost G. (1982). The dynamic characteristic of nonreturn valves. Paper presented at the 11th symposium of the Section of Hydraulic Machinery, Equipment and Cavitation: 'Operating problems of pump stations and power plants'. IAHR, Amsterdam.
- 4) Provoost G. (1983). A critical analysis to determine dynamic characteristics of nonreturn valves. Proceedings of the 4th international conference on Pressure Surges. BHRA, Bath (GB).
- 5) Thorley A. (1989). Check valve closure under transient flow conditions: A state-of-the-art review. ASME Journal of Fluid Engineering nr. 111.