

De onstabiele pomp

1. Inleiding

Discussies in de afgelopen periode in commissies en werkgroepen hebben mij geleerd, dat er over de verklaring van het verschijnsel onstabiele pompen verschillende lezingen in omloop zijn. Deze verklaringen hebben desondanks iets gemeenschappelijks, ze zijn namelijk allemaal vaag en laten de essentie onbesproken. De conclusie 'er is behoefte aan een kort verhaal waarin klaarheid wordt gebracht in deze zaak' is de directe reden voor het schrijven van dit artikelje.



ING. C. J. VAN DER WOLF
VEWIN

2. Het begrip stabiliteit

Bij stabiele pompen gaat het over stabiliteit en over pompen. Het is dus zinvol eerst naar het begrip stabiliteit te kijken. Het zou namelijk best kunnen zijn dat een deel van de hiervoor gesignaleerde onduidelijkheid voortkomt uit problemen met het begrip stabiliteit.

Daar het principe als zodanig bij iedereen bekend is, wil ik er beschrijvend op ingaan. Wanneer is nu iets stabiel?

Met de beantwoording van deze vraag zal niemand moeite hebben, want vrijwel iedereen zal iets antwoorden in de trant van 'Een voorwerp is stabiel wanneer het na een verstoring zonder ingrijpen van buitenaf weer terugkeert in de oorspronkelijke toestand'.

Voorwaarde is natuurlijk wel dat er, voordat de verstoring optrad, sprake was van een evenwichtstoestand. Zowel bij het evenwicht als bij de verstoring spelen krachten een rol.

In het hierna volgende beperk ik mij echter wel tot krachten uit de mechanica. Het verhaal klopt namelijk ook voor een groot gedeelte wanneer gedacht wordt aan krachten (invloeden) uit de psychologie, maar dit terzijde.

Bij de voorwaarde 'evenwicht' doet zich het merkwaardige feit voor, dat men vaak alleen maar denkt aan de situatie waarbij het lichaam stilstaat (ten opzichte van de aarde).

Toch is dit laatste een speciaal geval van alle situaties waarbij sprake is van evenwicht.

Er is namelijk altijd sprake van evenwicht wanneer de snelheid constant is.

Bij het gebruik van het woord 'snelheid' doet zich een probleem voor, dat zich niet voordoet in de Engelse taal. Zoals onge-

twijfeld bekend is, is snelheid een vectoriale grootte. Dat wil zeggen snelheid heeft grootte en richting. In het Engels wordt dit aangegeven met 'velocity'. Daarnaast wordt de term 'snelheid' ook vaak gebruikt voor het aangeven van alleen de grootte (de scalair). Het Engels kent daarvoor de term 'speed'.

Met behulp van de tweede wet van Newton ($F = m \cdot a$) is gemakkelijk in te zien dat er dan en slechts dan sprake is van evenwicht wanneer de velocity constant is.

Het zal nu ook duidelijk zijn waarom de situatie, dat het lichaam stilstaat, wordt aangeduid als een speciaal geval waarin evenwicht voorkomt. Het is namelijk de situatie waarin de constante gelijk is aan nul.

Om het begrip stabiliteit nader toe te lichten maak ik in gedachten gebruik van een voorwerp met een constante velocity, een constante die echter ongelijk is aan nul. Het voorwerp dat ik daarvoor neem is de auto. Daar ik uitga van een auto met een constante velocity is er sprake van een evenwichtssituatie. Dit geldt zowel ten aanzien van de grootte als ten aanzien van de richting. Dit betekent dat beide aspecten verstoord kunnen worden en dat in beide gevallen sprake kan zijn van stabiliteit, resp. onstabieliteit.

Hoewel u het zich mogelijk niet bewust bent, is uw auto ten opzichte van het ene aspect wel en ten opzichte van het andere aspect niet stabiel.

Laat ik eerst eens naar het onstabiele aspect kijken. Uw auto — en niet alleen de uwe — is namelijk ten aanzien van de richting onstabiel. Wanneer u een bepaalde constante richting wenst te rijden dient u voortdurend te corrigeren. Elke verstoring, veroorzaakt door bijv. variatie in zijwind of een onregelmatigheid van het wegdek, geeft aanleiding tot een afwijking van de oorspronkelijke richting, er treedt echter geen 'automatisch' herstel op.

Deze situatie voldoet dus niet aan de definitie van stabiliteit en is daardoor gekenmerkt als onstabiel. Het evenwicht dat er voor de verstoring was, was dus een labiel evenwicht. Hiermee is dus tevens duidelijk dat een labiel evenwicht altijd samenhangt met onstabieliteit. U wist uit ervaring natuurlijk al wel dat u tijdens het rijden steeds moet corrigeren om de richting constant te houden. Mogelijk bent u zich nu pas bewust geworden waarom u dit moet doen. U weet nu hoe het zit met de richting van de snelheid maar hoe zit het nu met de grootte van de snelheid. Mogelijk hebt u zich al gerealiseerd dat u datgene wat u met het stuur moet doen, namelijk corrigeren, niet met het gaspedaal hoeft te doen. Dit komt omdat de grootte van de snelheid zonder ingrijpen van buitenaf

gecorrigeerd wordt, met andere woorden er is dus sprake van stabiliteit.

In het voorgaande is gesteld dat er sprake is van stabiliteit indien de toestand zich, zonder ingrijpen van buitenaf herstelt. Dat is nu ten aanzien van de grootte van de snelheid ook het geval. Gaat u maar na. U hebt met behulp van uw gaspedaal een bepaalde grootte van de snelheid geselecteerd. Stel nu dat door een verstoring van buitenaf de snelheid toeneemt. Door deze snelheidstoename neemt de weerstand toe met als gevolg een vertraging. Hierdoor neemt de snelheid weer af. Naarmate de snelheid afneemt, neemt ook de vertraging af en zal de snelheidsvermindering ook weer kleiner worden. Als alleen dit aspect zou werken zou na een oneindig lange tijd de oorspronkelijke snelheid weer bereikt worden. Doordat er nog andere zaken meedoen zal het in de praktijk iets minder lang duren. Het omgekeerde kan zich natuurlijk ook voordoen, namelijk door een verstoring van buitenaf neemt de snelheid af. Hierdoor neemt de weerstand af en ontstaat er een versnelling waardoor de snelheid toeneemt. Ook hier geldt weer hetzelfde uitdempende effect als hiervoor al is aangegeven.

Uit het voorgaande blijkt duidelijk dat er altijd moet worden uitgegaan van een evenwichtssituatie. En uit de mechanica weet u dat dat alleen kan als er sprake is van twee 'soorten' krachten, namelijk krachten die door het 'voorwerp' op de omgeving worden uitgeoefend en krachten die door de omgeving op het 'voorwerp' worden uitgeoefend.

Bij uw auto waren dat de (uitwendige) weerstand en de (inwendige) 'voorstuwings'-kracht.

Het lijkt nu tijd te worden over te stappen naar de pompen, want daar was het tenslotte om begonnen.

In het voorgaande is reeds geconcludeerd dat het bij stabiliteit altijd om twee zaken gaat, hetgeen betekent dat er behalve de pomp nog iets anders moet zijn. De 'omgeving' van de pomp is in de meeste gevallen de leiding.

Voor de stabiliteitsbeschouwing zal dus gekeken moeten worden naar de combinatie van pomp en leiding. Dit wordt nadrukkelijk gesteld, daar over dit punt nogal wat misverstand bestaat.

3. De p-q_v-karakteristiek van de pomp

Door mij wordt bekend verondersteld, dat een pomp een apparaat is waarmee energie aan een medium (vloeistof of gas) wordt toegevoegd. Deze energietoename wordt merkbaar doordat bijv. de druk in het (stromende) medium vergroot is. In het verleden werd deze druktoename weergegeven in de Q-H kromme; tegenwoordig

wordt dit weergegeven in de p - q_v -karakteristiek.

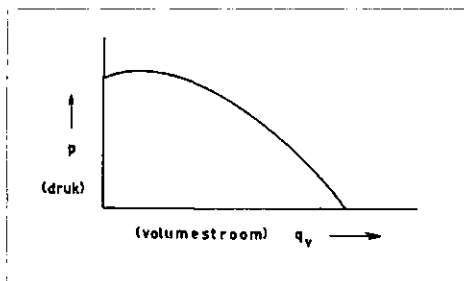
Deze p - q_v -karakteristiek kan bevatten:

- een stijgend gedeelte (dp/dq_v is positief);
- een horizontaal gedeelte (dp/dq_v is nul).
- een dalend gedeelte (dp/dq_v is negatief).

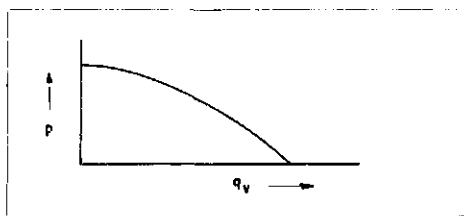
Vele p - q_v -karakteristieken bevatten alleen een dalend gedeelte; persoonlijk heb ik daar mijn twijfels over, maar ik ben dan ook geen pompdeskundige. In het hierna volgende ga ik er van uit dat dat correct is, dat wil zeggen dat dat geldt voor vele en niet voor alle pompkarakteristieken. Daar het horizontale gedeelte slechts in één punt kan optreden, is het mogelijk twee wezenlijk verschillende gevallen te onderscheiden.

Namelijk de p - q_v -karakteristiek begint stijgend, zie afb. 1 of de p - q_v -karakteristiek begint dalend, zie afb. 2.

Afb. 1.



Afb. 2.



Met betrekking tot de algemene vorm zij nog opgemerkt dat voor een bepaalde pomp bij één bepaalde rotatiefrequentie één bepaalde p - q_v -karakteristiek behoort.

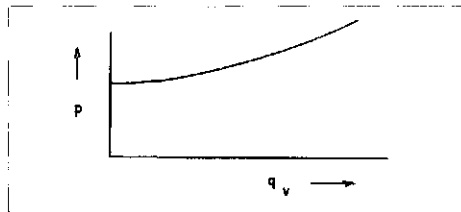
4. De p - q_v -karakteristiek van de leiding

Het is natuurlijk mogelijk om naast de p - q_v -karakteristiek voor de energie'gever' ook de p - q_v -karakteristiek van de energie'vrager' te geven.

Het zal duidelijk zijn dat de leiding en dan met name de weerstand die het medium in de leiding ondervindt, de oorzaak is van het feit dat er energie aan het medium moet worden toegevoegd.

De grootte hiervan wordt weergegeven met behulp van de leidingkarakteristiek.

Afb. 3 geeft de algemene vorm.



Afb. 3.

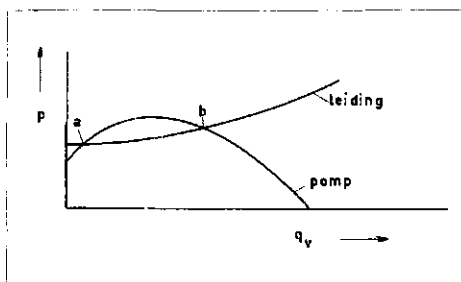
Ook hier zij opgemerkt dat voor één bepaalde leiding één bepaalde karakteristiek geldt. U dient zich echter wel te realiseren dat een verandering van de stand van een willekeurige afsluiter in de leiding, uiteraard achter de pomp, reeds een wijziging van de leiding betekent. Een dergelijke verandering betekent ook een verandering van de leidingkarakteristiek.

5. De combinatie van de p - q_v -karakteristiek voor pomp en leiding

Voor de stabiliteitsbeschouwing is het interessant te kijken naar die combinaties van pomp- en leidingkarakteristiek waarbij er twee snijpunten zijn tussen deze karakteristieken.

Onder punt 2 is reeds aangegeven dat bij stabiliteits steeds naar twee zaken moet worden gekeken, namelijk naar krachten die op de omgeving worden uitgeoefend en naar krachten die de omgeving uitoefent. Wel, dat is precies wat door de leiding- en de pompkarakteristiek wordt weergegeven.

Afb. 4.



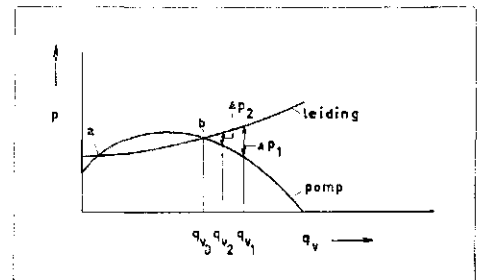
Stel dat de leiding- en pompkarakteristiek de vorm hebben zoals afgebeeld in afb. 4. U ziet, er is sprake van twee snijpunten, namelijk a en b.

In beide gevallen is er sprake van evenwicht. Gaat u maar na, voor beide geldt dat de door de leiding 'gevraagde' druk gelijk is aan de door de pomp 'geleverde' druk. Beide drukken hebben twee tegengestelde, evengrote, krachten tot gevolg. En de mechanica zegt, dat wanneer er twee even-grote tegengesteld gerichte krachten op een lichaam werken er sprake is van evenwicht. Toch is er een verschil; het evenwicht in

punt b is namelijk een stabiel en in punt a een labiel evenwicht.

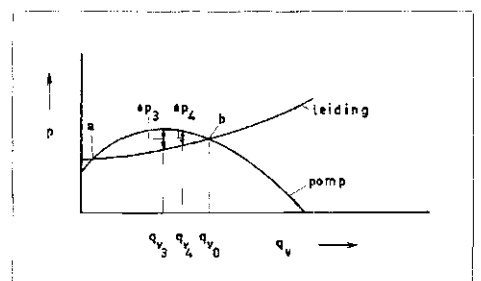
Om dat eerste duidelijk te maken ga ik uit van de situatie bij punt b, zie afb. 5.

Afb. 5.



Stel dus dat het water stroomt met een constante volumestroom q_{v0} . Ten gevolge van een verstoring — daar gaat het tenslotte bij stabiliteit altijd om — neemt de volumestroom toe tot q_{v1} . Bij q_{v1} is er geen evenwicht meer. De druk, en dus de kracht, veroorzaakt door de leiding is groter dan de druk, en dus ook hier de kracht, veroorzaakt door de pomp. Afb. 5 laat zien dat het drukverschil Δp_1 is. De mechanica zegt dat er ten gevolge van deze niet-evenwichtssituatie een negatieve versnelling optreedt. Met andere woorden de volumestroom neemt af. Op een bepaald moment zal ten gevolge van deze afname de volumestroom q_{v2} zijn. Bij deze q_{v2} is het drukverschil teruggelopen tot Δp_2 . Ten gevolge hiervan zal ook de negatieve versnelling verminderd zijn. De snelheidsvermindering is dus kleiner dan bij q_{v1} . Voor een punt tussen q_{v2} en q_{v0} geldt een overeenkomstige beschouwing als voor q_{v2} ten opzichte van q_{v1} enzovoort. Het zal duidelijk zijn dat een verstoring vanuit q_{v0} naar 'rechts' altijd een herstel — zonder ingrijpen van buitenaf — tot q_{v0} tot gevolg heeft. Met andere woorden het evenwicht bij q_{v0} is, gezien ten opzichte van een verstoring naar 'rechts', een stabiel evenwicht. Uiteraard moet ook een verstoring naar 'links' worden bekeken.

Afb. 6.



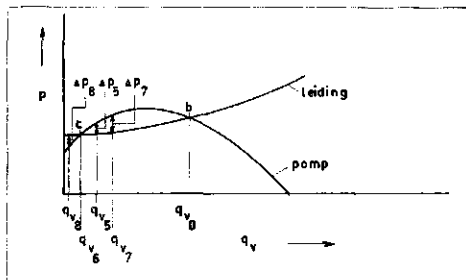
Ik doe dit met behulp van afb. 6. Ook hier ga ik weer uit van de evenwichtssituatie bij b waarvoor een volumestroom

q_{v0} geldt. Stel nu een verstoring waardoor situatie bij b waarvoor een volumestroom de volumestroom terugloopt tot q_{v3} . Gevolg is dat de door de pomp geleverde druk p_3 groter is dan de door de leiding gevraagde druk.

Het ontbreken van evenwicht zal nu een positieve versnelling tot gevolg hebben waardoor de waarde van de volumestroom zal toenemen. Ook hier kan weer via de stap q_{v4} en p_4 verklaard worden dat het herstel uitdempend geschiedt. Het blijkt nu dat er ook bij een verstoring naar 'links' uitgaande van q_{v0} 'automatisch' herstel optreedt. Terecht kan punt b dus worden aangemerkt als een punt met een stabiel evenwicht.

Voor punt a kan een analoog verhaal worden opgehangen. Dit gebeurt met behulp van afb. 7.

Afb. 7.



Ook hier ga ik weer uit van de evenwichts-situatie namelijk die welke geldt bij punt c. De volumestroom die hierbij hoort is q_{v6} . Stel dat door een verstoring de volumestroom toeneemt tot q_{v5} . Hierbij geldt dat de door de pomp geleverde druk p_5 groter is dan de door de leiding gevraagde druk. Gevolg hiervan is een positieve versnelling waardoor de volumestroom zal toenemen. Hierdoor wordt op een bepaald moment het punt q_{v7} bereikt waarvoor nog steeds dezelfde beschouwing geldt.

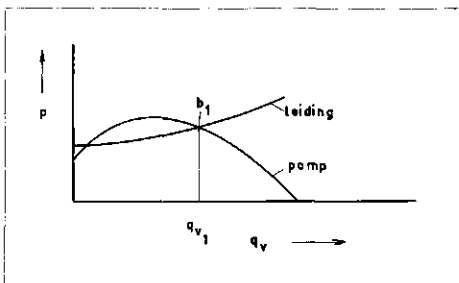
Wanneer niet wordt ingegrepen zal dit proces pas stoppen bij een volumestroom q_{v0} . De conclusie voor punt c bij een verstoring naar rechts is wel duidelijk. Bij een verstoring naar links, uitgaande weer een punt c, geldt eenzelfde conclusie. Kijkt u maar. Indien ten gevolge van een verstoring de volumestroom terugloopt van q_{v6} naar q_{v8} , dan geldt bij q_{v8} dat de leiding Δp_8 meer vraagt dan de pomp levert. Het gevolg is een negatieve versnelling waardoor de volumestroom afneemt. Wanneer niet wordt ingegrepen zal op een bepaald moment de volumestroom zelfs gelijk worden aan nul.

De conclusie is nu wel duidelijk: het evenwicht in c is een labiel evenwicht daar een verstoring naar 'links' of naar 'rechts' zich nooit uit zichzelf herstelt; ingrijpen van buitenaf is altijd noodzakelijk.

In het voorgaande is al betoogd dat het gaat over één pomp(karakteristiek) en één leiding(karakteristiek).

Nu is met name de leiding(karakteristiek) nogal gemakkelijk te veranderen en dat is maar goed ook daar anders de verandering van de volumestroom een zeer moeilijke zaak zou zijn.

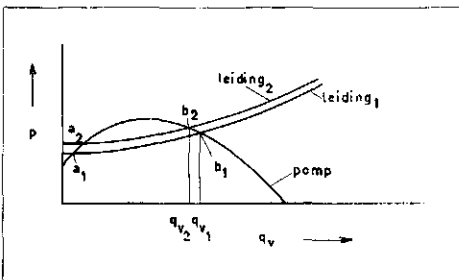
Afb. 8.



Stel de situatie zoals weergegeven in afb. 8 en stel bovendien dat de volumestroom gelijk is aan q_{v1} .

Wanneer u de volumestroom wilt verkleinen zult u bijv. de doorstroomopening met behulp van een vlinderklep iets verkleinen. Gevolg hiervan is dat u een andere leiding(karakteristiek) krijgt. Voor deze leiding geldt bijv. de karakteristiek 2, zie afb. 9.

Afb. 9.



U ziet — wat u uit de praktijk al wist — dat de volumestroom terugloopt van bijv. q_{v1} naar q_{v2} .

Terzijde zij opgemerkt dat dit niet zo'n erge beste oplossing is qua energieverbruik en dus ook qua kosten.

Hoewel u zich dat misschien niet gerealiseerd hebt, kunt u het benodigde vermogen direct aflezen uit de p- q_v -karakteristiek. Zoals bekend, is

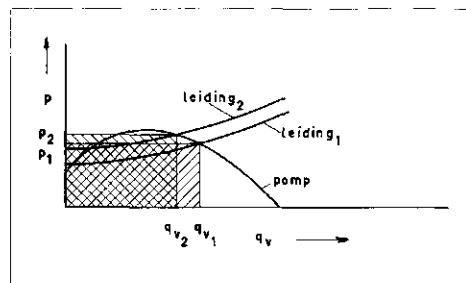
$$\text{vermogen} = \frac{\text{arbeid}}{\text{tijd}} = \frac{\text{kracht} \times \text{afstand}}{\text{tijd}}$$

Nu is kracht = druk x oppervlakte

$$\text{dus vermogen} = \frac{\text{druk} \times (\text{oppervlakte} \times \text{afstand})}{\text{tijd}}$$

Nu is het gedeelte tussen haakjes juist gelijk aan de volumestroom. Met andere woorden $P = p \times q$. De situatie uit afb. 9 is nog eens weergegeven in afb. 10. Ten aanzien van het energieverbruik betekent dat het volgende.

Afb. 10.

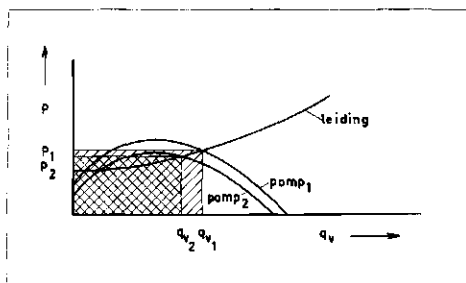


In de situatie bij q_{v1} is het benodigde vermogen weergegeven door de oppervlakte welke naar rechtsboven is gearceerd. In het geval q_{v2} is het benodigde vermogen weergegeven over de oppervlakte welke naar linksboven is gearceerd.

Het is duidelijk dat u ten dele minder en ten dele meer vermogen nodig hebt. Het hangt helemaal van de verandering en van de vorm van de karakteristieken af wat het eindresultaat zal zijn. Bij het gebruik van pompen met een variabele rotatiefrequentie is er wel een ondubbelzinnige conclusie mogelijk.

In afb. 11 is dezelfde beginsituatie weergegeven als in afb. 9.

Afb. 11.



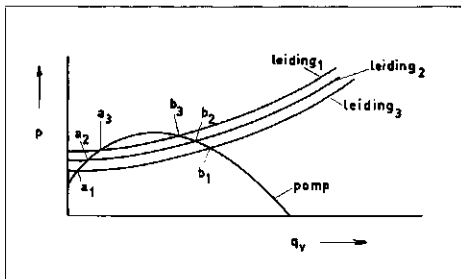
Nu wordt q_{v2} verkregen door als het ware een andere pomp te nemen. Met behulp van dezelfde arceringsvormen als in afb. 10 wordt nu ook voor beide gevallen het benodigde vermogen weergegeven. Dat een kleinere volumestroom minder vermogen eist is nu evident.

In het voorgaande is er wel stilzwijgend van uitgegaan dat het rendement van pomp en motor vrijwel niet verandert. Maar laat ik hiermee deze stap afronden en terugkeren naar het hoofdspoor. Tenslotte gaat het verhaal over stabiliteit en niet over energie.

Terug dus naar de situatie van afb. 9.

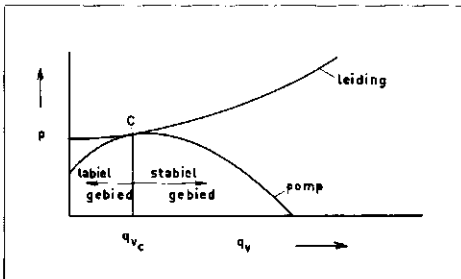
Bij de situatie zoals die dus ontstaat na het bijregelen van de vlinderklep, ontstaan weer twee evenwichtspunten namelijk a_2 en b_2 . Hierbij is a_2 weer een labiel punt en b_2 een stabiel punt. De verklaring verloopt volkomen analoog aan de verklaring voor de punten a_1 en b_1 . Uiteraard is door nog weer een andere stand van de vlinderklep nog weer een andere leidingkarakteristiek te creëren. Afb. 12 geeft een drietal leidingkarakteristieken weer.

Afb. 12.



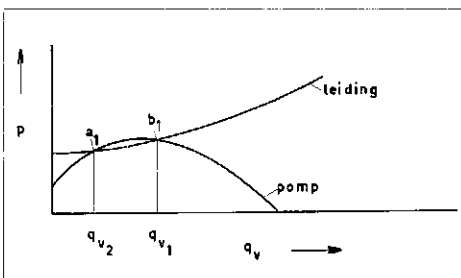
Aan de hand van afb. 12 zal het duidelijk zijn dat er geen sprake is van één stabiel en één labiel punt maar van een hele reeks van stabiele punten en een hele reeks van labiele punten. De overgang tussen beide gebieden is het raakpunt tussen beide karakteristieken (zie afb. 13).

Afb. 13.



U kunt nu ongetwijfeld zelf wel nagaan dat een verstoring vanuit de evenwichtsituatie c naar 'rechts' leidt tot herstel en dat een verstoring naar 'links' juist aanleiding geeft tot een verder weglopen van punt c . Hoewel met de conclusie uit afb. 13 het verhaal eigenlijk af is, is het toch gewenst

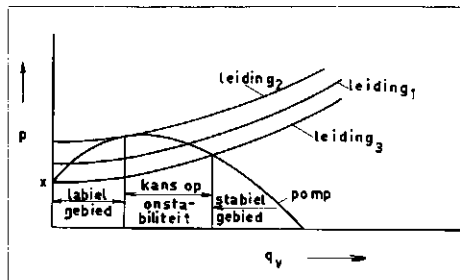
Afb. 14.



nog een aantal opmerkingen te plaatsen. Indien de situatie is zoals weergegeven in afb. 14 en er wordt gedraaid met een volumestroom q_{v1} dan is het mogelijk dat ten gevolge van een verstoring de waarde terecht komt beneden q_{v2} . Het is duidelijk dat er dan toch een onstabiliteit optreedt, hoewel de uitgangssituatie een stabiele was. De kans hierop is groter naarmate de waarde van de volumestroom dicht bij q_{v0} uit afb. 13 ligt.

Absoluut veilig wordt het ten opzichte van de stabiliteit pas als er slechts sprake is van één snijpunt tussen pomp- en leidingkarakteristiek (zie afb. 15).

Afb. 15.



Voor het grensgeval geldt dat het — tweede — snijpunt (x) van de leiding en pompkarakteristiek juist op de verticale as ligt, dit geldt voor leiding 3. De lager liggende karakteristieken hebben allen slechts één snijpunt met de pompkarakteristiek. Hiermee ben ik weer terug bij het begin van het verhaal.

Bij het begin van deze paragraaf heb ik namelijk gezegd, dat het interessant is, te kijken naar de combinatie van pomp- en leidingkarakteristieken, waarbij er twee snijpunten zijn. Het gebied van de volumestroom waarvoor dat geldt is dan nog weer te verdelen in een labielgebied en een stabielgebied met een kans op onstabiliteit. Het derde gebied, namelijk het stabiele gebied zonder kans op onstabiliteit is het minst interessante maar voor de bedrijfsvoering het gewenste gebied. Nadrukkelijk wordt nog eens opgemerkt, dat alleen over de combinatie van pomp en leiding een uitspraak kan worden gedaan ten aanzien van de stabiliteit. Er is sprake van een stabiele pomp-leidingcombinatie indien in elk punt van de leidingkarakteristiek dp/dq_v groter is dan dp/q_v in elk punt van de pompkarakteristiek.



Rapport 'Beheersing pH van zuivelafvalwater' verschenen

De Koninklijke Nederlandse Zuivelbond FNZ heeft een 26 pagina's tellend rapport over de beheersing pH van zuivelafvalwater uitgegeven. Aanleiding hiertoe was de hier en daar dreigende moeilijkheden met de waterbeheerders als gevolg van het niet altijd voldoen aan de in de lozingsvergunningen gestelde eisen.

De pH van zuivelafvalwater kan binnen korte tijd sterk variëren; het is geen uitzondering dat zich in het afvalwater van zuivel-fabrieken binnen een kwartier schommelingen van pH 3 tot 12 voordoen. Reden voor de zuivelfabrieken om meer aandacht aan dit probleem te schenken.

Het rapport is verkrijgbaar bij de FNZ, Van de Spiegelstraat 16, 2518 ET 's-Gravenhage.

Verschenen: Milieutechniek

'Milieutechniek', in principe geschreven voor MBO-opleidingen, zal ook bij mensen uit de praktijk van het milieubeheer goed zijn ontvangen. Het boek (omvang 432 pagina's) bevat nl. een grote hoeveelheid informatie over vele aspecten van de milieuzorg. Zo behandelt het o.a. luchtverontreiniging, geluidhinder, afvalwaterproductie, afvalwaterzuivering en drinkwaterbereiding. Daarnaast komen ook de verwijdering van vaste afvalstoffen en de bodemverontreiniging aan de orde. De technische gegevens die het boek bevat en de leerstof die opgenomen is, geven een volledig beeld van wat thans op dit terrein actueel is.

Uitvoerig komt ook de problematiek van de watervervuiling en de stand van zaken met betrekking tot de zuivering van afvalwater aan de orde.

De huidige waterzuiveringstechnieken en de onderdelen van de installaties worden uitgebreid beschreven. De benodigde dimensioneringsgrondslagen ontbreken niet en een grote hoeveelheid foto's geeft aan hoe de installaties er in de praktijk uitzien. Ook de problematiek rond de slibverwerking wordt, zij het wat minder uitgebreid, voor het voetlicht gehaald.

Milieutechniek werd geschreven door R. W. Reyngoud, J. Groot, C. Hoeksema en W. H. A. Pool. Wolters-Noordhoff is de uitgever.

