

3: KAVITASJON

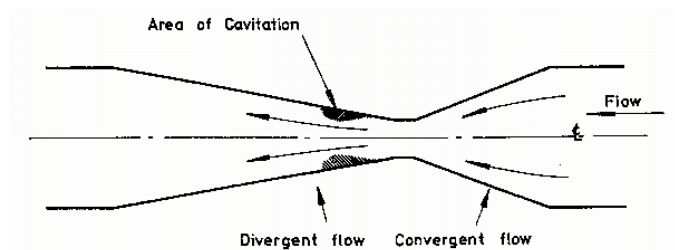


1 Hensikt

Å studere dampbobledannelse i en innsnevring i et rør hvor det strømmer vann, og sammenlikne resultatene med forutsigelser av kavitasjon fra Bernoullis ligning. Å finne et estimat for vannets damptrykk.

2 Apparatur

Figuren under viser et venturirør, utført i gjennomsiktig plastglass. Strømmen er først konvergerende og deretter divergerende. Oppstrøms og nedstrøms innsnevringen er koniske, med en mindre brå tverrsnittsendring nedstrøms enn oppstrøms.



Trykket i den vide delen oppstrøms, samt midt i innsnevringen, blir målt med manometre. Disse viser gaugetrykk i forhold til atmosfæretrykket, og står dessuten høyere enn røret, med forbindelse via vannfylte slanger. For å finne absolutt trykk i røret, må man derfor legge til både atmosfæretrykket og den statiske trykkdifferansen som skyldes nivåforskjellen.

Apparaturen lar oss observere kavitasjon både visuelt og auditivt – det oppstår spraking når dampboblene klapper sammen nedstrøms.

Volumstrømraten reguleres med rattet til høyre på bildet på forrige side. Den måles med et elektronisk instrument (ikke med på bildet) som gir raten direkte i liter/sekund.

3 Teori

Teorien for Bernoullis likning uten tapsledd er behandlet i en annen laboppgave. I denne oppgaven skal vi imidlertid inkludere tapsleddet h_L , som skal representere energitap mellom et tverrsnitt med indeks 1 (oppstrøms, godt til høyre for innsnevringen) og et tverrsnitt med indeks 2 (midt i innsnevringen). Dette mekaniske energitapet pr. vektenhet går over til varme. Siden strømmen i den aktuelle apparaturen er horisontal ($z_1 = z_2$), kommer energilikningen for en inkompressibel væske på følgende form:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$

Kontinuitetslikningen $Q_1 = Q_2$ gir:

$$V_2 = kV_1, \quad k = \frac{A_1}{A_2}$$

Tapshead blir tilnærmet proporsjonal med headbidraget fra kinetisk energi (se kapitlet om rørstrøm i læreboka):

$$h_L = k_1 \frac{V_2^2}{2g} = k_1 k^2 \frac{V_1^2}{2g}$$

Når uttrykkene for h_L og V_2 settes inn i energiligningen, kan den skrives som

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho g} = k_2 \frac{V_1^2}{2g}, \quad k_2 = k^2(1 + k_1) - 1$$

Men væskens damptrykk p_v er den laveste verdien p_2 kan ha, under forutsetning om termodynamisk likevekt. Damptrykket angis nesten alltid som absolutt trykk, så det er praktisk å bruke absolutt trykk for p_1 . Det gir sluttformen for våre formål av energilikningen, med oppstrøms trykk og hastighet henholdsvis p_1 og V_1 og trykk i innsnevringen lik det konstante p_v :

$$\frac{p_1}{\rho g} = k_2 \frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_v}{\rho g}$$

$$p_1 = (p_1)^{\text{avlest, gauge}} + p_{\text{atm}} + \rho g \tilde{h}$$

Størrelsene som inngår, i tillegg til dem som ble definert i oppgaven med Bernoullis likning, er:

p	absolutt statisk trykk
p_{atm}	atmosfæretrykk
p_v	damptrykk
$\tilde{h}$	trykkmålerens senterhøyde over røret
A	strømareal
k	arealforhold
k_1	tapskoeffisient (dimensjonsløs)

Hvis strømparametrene er slik at ligningen bare kan være oppfylt med et nedstrøms trykk p_2 lavere enn p_v , så betyr det at vi får kavitasjon: Det blir dannet dampbobler i strømmen, og Bernoullis ligning (som gjelder for enfase kontinuerlig strøm) er ikke lenger oppfylt forbi tverrsnittet hvor boblene dannes. Boblene kollapser igjen nedstrøms der hvor strømparametrene igjen blir konsistente med et trykk større enn p_v .

Men relasjonen sier oss at så lenge det er kavitasjon til stede, vil oppstrøms trykkhead plottet mot oppstrøms headbidrag fra kinetisk energi gi en lineær kurvebit. Og når denne linja forlenges utafor kavitasjonsområdet til $V_1^2/2g = 0$, gir det en avskjæring på trykkaksen som tilsvarer $p_v/\rho g$. Det skulle derfor i prinsippet være mulig å bestemme vannets damptrykk på denne måten.¹

Aktuelle verdier:

ρ	=	998 kg/m ³	
g	=	9.80665 m/s ²	
A_1	=	158.75 mm ²	
A_2	=	38.1 mm ²	
$\tilde{h}$	=	0.1625 m	
k_1	$\approx$	0.1 – 0.2	(konisk innsnevring)
p_{atm}	$\approx$	101325 Pa	

Vi antar altså at unntatt ved svært kraftige lavtrykk eller høytrykk er det tilstrekkelig nøyaktig å approksimere atmosfæretrykket med normalverdien.

Utleddningen på forrige side gir mulighet for å sjekke mange av antagelsene og størrelsene som er involvert. Men vi skal nøye oss med å etterprøve eksperimentelt prediksjonen om et lineært kurvestykke, samt hvorvidt dettes forlengelse til trykkaksen kan bestemme vannets damptrykk.

4 Utførelse og målinger

Start pumpa. Åpne regulatorventilen til høyre på apparaturen helt for å få maksimal volumstrømrates gjennom apparaturen.² Legg merke til dannelsen av dampbobler i innsnevringen, som viser at vi har kavitasjon. Les av³ p_1 og p_2 (husk at målerne viser gaugetrykk), samt volumstrømraten Q .

Ved maksimal volumstrømrates kan man komme utafor det nøyaktige måleområdet for strømmåleren i apparatur 1 (anvist ved et blinkende symbol til høyre for avlesningen.) Senk i så fall p_1 i små trinn inntil det blinkende symbolet blir borte. For apparatur 1 skjer dette ved omtrent 2.0 bar.

Senk så p_1 videre i trinn på

- 0.10 bar (apparatur 1, start ved 2.0 bar)
- 0.05 bar (apparatur 2, start ved 1.25 – 1.3 bar)

inntil strømmen er helt avstengt igjen. (SLÅ DERETTER AV PUMPA STRAKS!) På hvert trinn skal gaugetrykkverdiene p_1 og p_2 samt volumstrømraten Q leses av. Merk dere trykkverdien p_1 hvor kavitasjonen (bobledannelsen) forsvinner visuelt. Før inn de avleste verdiene i tabellen neste side, trykkene i kolonnene hvor det står “barg” som angir gaugetrykk målt i bar.

Mål vanntemperaturen.⁴

¹ Men argumentasjonen er upålitelig. Hvis p_1 øker betraktelig over verdien som gir kavitasjon i minste tverrsnitt, kan kavitasjonspunktet (tverrsnitt 2) vandre oppstrøms for minste innsnevring, dvs. arealforholdet k forandrer seg.

² Dette er den eneste kranen eller ventilen som skal røres.

³ 1 bar = 10⁵ Pa. (p_2)^{avlest}, gauge blir negativ. På den ene apparaturen står minusfortegnet eksplisitt, på den andre står det i stedet “vacuum” og ikke noe fortegn.

⁴ Hvis termometer ikke finnes tilgjengelig, kan man anslå 25 °C. Temperaturen stiger i løpet av forsøket på grunn av friksjon og varmetilførsel fra pumpa.

