

STUDIUL FENOMENULUI DE CAVITAȚIE

5.1 Considerații teoretice

Cavitatia este un proces dinamic de formare, dezvoltare și implozie a unor bule sau cavitati umplute cu vapori și gaze, în masa unui lichid. Determinată de scăderea tranzitorie a presiunii locale sub anumite valori critice, cavitatia poate fi:

- vapoasă dacă presiunea scade sub nivelul presiunii vaporilor saturați ai lichidului corespunzătoare temperaturii acestuia;
- gazoasă, caracterizată prin difuzia gazului, din lichid în bula cavitațională și prin creșterea lentă a acesteia. În acest caz nu este obligatoriu ca presiunea locală să scadă până la valoarea presiunii de vaporizare a lichidului.

Apariția și dezvoltarea bulelor cavitaționale necesită prezența unor factori favorizanți, numiți germeni cavitaționali. Impuritățile aflate în lichid precum și microfisurile, creștăturile, imperfecțiunile de formă ale corpurilor solide care marginesc sau vin în contact cu fluidul în mișcare, favorizează reținerea unor volume microscopice de gaz nedizolvat în lichid care constituie nuclee sau germeni de cavitație.

Atunci când presiunea scade local și tranzitoriu atingând valori critice (ex. presiunea de vaporizare), nucleele sau germenii cavitaționali, având o suprafață liberă vor amorșa fenomenul de vaporizare. Datorită gazelor degajate din lichid și a evaporării lichidului înconjurător, nucleele cavitaționale se dezvoltă, devenind bule sau cavitati umplute cu un amestec de gaze dizolvate și/sau vapori de lichid. Aceste cavitati pot ajunge să cuprindă în interiorul lor chiar particulele solide care au adăpostit germenii cavitaționali.

Bulele cavitaționale, odată formate în zonele de presiune scăzute sunt preluate de către curentul de fluid și transportate în regiuni cu presiuni mai ridicate unde are loc condensarea bruscă a vaporilor din cavitati sau lichefierea bulelor de gaz care determină implozia bulelor, adică surparea bruscă a peretilor cavitatilor către interiorul acestora. Această „prabusire” are loc dinspre peretele supus la o presiune mai mare spre peretele opus, prezența unui perete solid în vecinătatea bulei conduce la surparea asimetrică a acesteia, cu apariția unui microjet care străbate cavitatea.

Impactul dintre peretele bulei cavitaționale și jetul lichid, având diametrul de ordinul 10-100 μm și viteza de ordinul sutelor de metri pe secundă, dă naștere la unde acustice și la emisii de lumină

care se produc în mijlocul bulei. De asemenea, undele de presiune care se produc sînt de ordinul 1000 MPa.

Valorile extrem de mari ale presiunii și vitezelor generate în lichidul înconjurător bulei în timpul imploziei, undele de soc emise în punctul final al colapsului precum și impactul microjeturilor lichide, care străbat interiorul bulei, asupra suprafețelor adiacente, atunci cînd bula evoluează în imediată vecinătate a acestora, constituie cauza principală a distrugerilor cavitaționale.

Distrugerea materialelor supuse fenomenului cavitațional poate avea loc fie într-o perioadă scurtă de timp, în cazul în care acțiunea factorilor distructivi este foarte intensă (cazul în care curgerea are caracter oscilant) sau pe o perioadă mai lungă de timp.

Fenomenul de cavitație poate apărea în aproape toate domeniile tehnicii în care intervine mișcarea fluidelor. Turbinele hidraulice și pompele centrifuge sînt cele mai expuse condițiilor de apariție a cavitației vaporoză ale cărei efecte de distrugere a paletelor turbinelor sau a rotoarelor pompelor, de producere de zgomote și vibrații respectiv de modificare a cîmpului hidrodinamic sînt cele mai intense. De aceea la proiectarea sistemelor hidraulice se caută soluții constructive pentru evitarea, pe cît posibil, a creerii condițiilor favorabile scaderii presiunii statice pînă la valoarea presiunii de vaporizare. Dacă acestea nu pot fi identificate atunci se recomandă utilizarea unor materiale rezistente la eroziunea cavitațională cum ar fi oțelurile inoxidabile pentru componentele expuse riscului de apariție a cavitației.

Din cele arătate mai sus reiese că, în vederea estimării riscului de apariție a cavitației este de interes urmărirea evoluției presiunii statice în domeniul ocupat de fluidul în mișcare.

Pentru exemplificare se consideră curgerea unui fluid ideal, incompresibil printr-o strîngulare de tip Venturi, formată dintr-un tronson tronconic convergent continuată cu o porțiune cilindrică scurtă numită gaturire și, la ieșire, un tronson tronconic divergent (vezi Figura 5.1).

Considerînd două puncte M_1 și M_2 pe linia de curent care coincide cu axa conductei astfel încît M_1 aparține secțiunii drepte de intrare în strîngulare S_1 iar M_2 secțiunii minime din zona gaturirii S_2 , diferența dintre presiunile statice p_1 și p_2 dintre cele două puncte poate fi citită fie direct cu ajutorul unor tuburi piezometrice deschise, fie poate fi determinată cu ajutorul unui manometru diferențial.

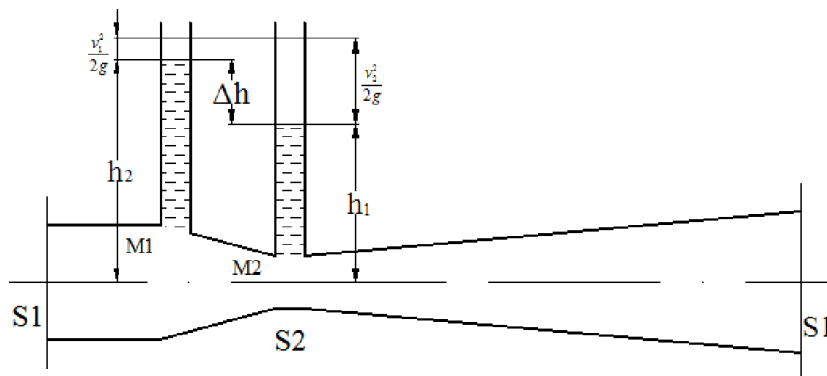


Figura 5.1 Curgerea printr-o strangulare de tip Venturi

Conform ecuatiei de continuitate scrisa intre sectiunea S_1 de arie A_1 si sectiunea S_2 de arie

A_2 :

$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 = Q \quad (5.1)$$

la miscarea fluidului intre cele doua sectiuni are loc o crestere a vitezei v_2 din punctul M_2 apartinind sectiunii S_2 precum si o scadere a presiunii statice p_2 din acelasi punct, conform relatiei lui Bernoulli scrisa intre punctele M_1 si M_2 , considerind axa de simetrie a tubului drept plan de referinta:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \quad (5.2)$$

Din relatiile de mai sus reiese ca diferenta dintre inaltimile piezometrice $\frac{p_1}{\gamma}$ si $\frac{p_2}{\gamma}$ aferente punctelor M_1 si M_2 (si implicit caderea de presiune intre cele doua puncte) este direct proportionala cu patratul debitului de fluid Q :

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = Q^2 \cdot \frac{1}{2gA_2} \left(1 - \frac{v_1^2}{v_2^2} \right) = mQ^2 \quad m > 1 \quad (5.3)$$

Figura 5.2 ofera o reprezentare calitativa a liniilor piezometrice pentru diferite debite. Se reaminteste ca liniile piezometrice sînt liniile care unesc extremitatile inaltimilor piezometrice aferente punctelor situate de-a lungul traseului parcurs de fluid (strangularii).

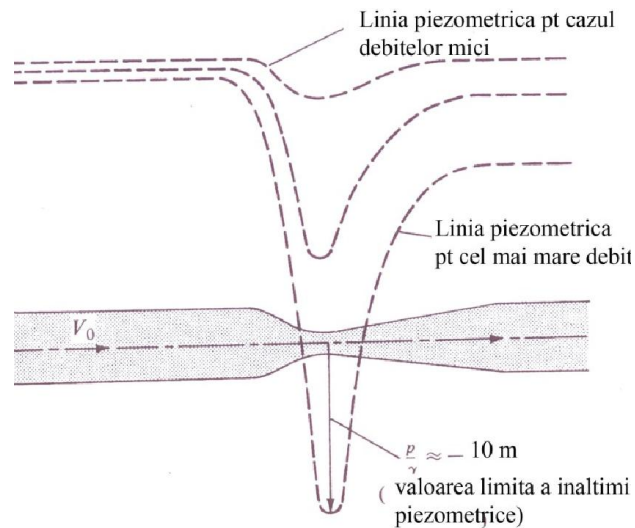


Figura 5.2 Linii piezometrice - tub Venturi

Pentru debite mici și medii, caderea de presiune între secțiunea de intrare și secțiunea minimă este relativ redusă, valoarea presiunii în secțiunea minimă rămânând superioară valorii presiunii de vaporizare, neexistând condiții favorabile apariției cavității.

Pentru debite mari, linia piezometrică coboară sub axa strangularii (considerată axa de referință $p=p_{atmosferic}$), indicând astfel o scădere a presiunii din zona gaturii la valori situate sub cele ale presiunii atmosferice. În această zonă presiunea statică poate cobori până la valoarea presiunii de vaporizare corespunzătoare temperaturii fluidului creând astfel condiția pentru amorsarea fenomenului de cavitație. Apariția cavităților pline cu vapori și gaze în zona gaturii împiedică coborirea presiunii în această zonă la valori mai mici decât presiunea de vaporizare. Această valoare limită a presiunii statice din zona gaturii nu poate fi depășită chiar dacă se mărește debitul de fluid care trece prin strangulare, dar în acest caz se extinde zona în care pot fi vizualizate bule cavitationale.

În vederea estimării riscului de apariție a cavității într-un curent de fluid s-a introdus numărul de cavitație σ :

$$\sigma = \frac{p_0 - p_{vaporizare}}{\frac{1}{2} \rho v^2} \quad (5.4)$$

Semnificația marimilor din această relație devine clară dacă ne referim la cazul strangularii tip Venturi discutat mai sus și la relația lui Bernoulli (5.2) și a consecinței acesteia (5.3). Astfel $p_0 = p_1$ reprezintă presiunea statică în amonte de strangulare (curent neperturbat), $p_{vaporizare} = p_2$ reprezintă valoarea minimă a presiunii statice ce poate fi atinsă în zona gaturii iar v = viteza în amonte de strangulare.

Probabilitatea de aparitie a cavitatiei in zona gituirii este cu atat mai mica cu cit σ ia valori mai mari. Daca cavitatia apare, marirea numarului de cavitatie prin cresterea corespunzatoare a presiunii statice p_0 sau prin reducerea vitezei v in amonte de strangulare va duce la disparitia fenomenului.

5.2 Obiectivele lucrarii

1. Punerea in evidenta a aparitiei fenomenului de cavitatie la curgerea printr-un traseu profilat de tip Venturi (format dintr-un ajutoraj convergent-o portiune cilindrica scurta numita gatuire –un tronson divergent la iesire).
2. Stabilirea conditiilor de aparitie a cavitatiei . Sesizarea diferentelor dintre degajarea aerului dizolvat in apa (cavitatia gazoasa) si formarea bulelor de cavitatie care contin vapori.
3. Stabilirea modului in care poate fi prevenita aparitia fenomenului.

5.3 Metode utilizate

1. Calitativ, aceasta evidentiere se va face prin vizualizarea bulelor cavitationale si detectarea zgomotului produs la implozia acestora.
2. Masurarea presiunii statice in zona gituirii si compararea acesteia cu valoarea presiunii de vaporizare a lichidului corespunzatoare temperaturii la care se fac masuratorile.
3. Cresterea presiunii statice a lichidului prin restrictionarea curgerii in aval de traseul profilat.

5.4 Descrierea aparaturii

Observarea fenomenului de cavitatie se va face cu ajutorul aparatului pentru demonstrarea aparitiei cavitatiei furnizat de firma Armfield (Figura 5.3 si Figgura 5.4) care va fi utilizat impreuna cu Unitatea Hidraulica furnizata de aceasi firma.



Figura 5.3 Modul pentru demonstrarea cavitatiei

In conformitate cu numerotarea din Figura 5.4, componentele aparatului pentru demonstrarea aparitiei cavitatiei sint:

1. manometru tip Bourdon (domeniu de masurare $0\div 2$ bar) conectat la priza de presiune din amonte de ajutorul convergent;
2. vacuometru tip Bourdon (domeniu de masurare $0\div 1$ bar vacuum, indicind 0 bar la presiunea atmosferica si -1 bar la 0 absolut) conectat la priza de presiune din zona gaturii.
3. manometru (domeniu de masurare $0\div 1$ bar) conectat la priza de presiune din amonte de ajutorul divergent
4. suport
5. supapa cu bila care permite cresterea presiunii statice din zona de testare. Pentru a evita deteriorarea manometrelor care ar putea fi provocate de cresterea presiunii pina la valori foarte ridicate, bila supapei este perforata.
6. racord tub flexibil iesire (evacuare)
7. zona de testare a aparitiei cavitatiei
8. racord tub flexibil de intrare (alimentare)
9. supapa cu diafragma cu posibilitatea reglarii fine a sectiunii de curgere si implicit a debitului prin zona de testare.

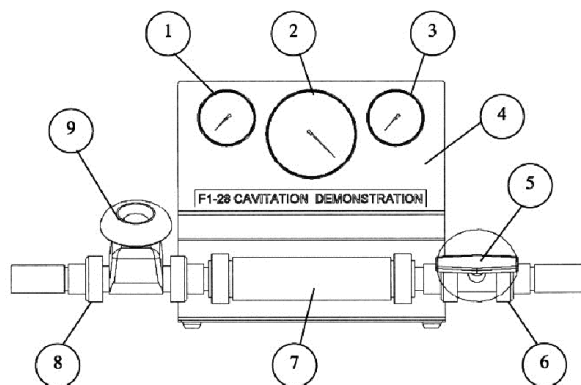


Figura 5.4 Componente modul pentru demonstrarea cavitatiei

Zona de testare 7 a aparatului consta dintr-un bloc cilindric transparent, prelucrat interior astfel incit sa asigure un traseu de curgere profilat, de forma unui tub Venturi, avind urmatoarele dimensiuni (vezi Figura 5.5):

Diametrul sectiunii de intrare in ajutorul convergent D	16 mm
Lungimea tronsonului convergent $L_{\text{convergent}}$	33 mm
Diametrul portiunii cilindrice intermediare (gaturie) d	4.5 mm
Lungimea portiunii cilindrice intermediare (gaturie) L_{gaturie}	20 mm
Diametrul sectiunii de iesire din ajutorul divergent D	16 mm
Lungimea tronsonului divergent $L_{\text{divergent}}$	55 mm

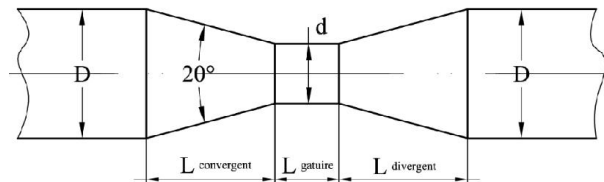


Figura 5.5 Forma geometrică a unui tub Venturi

5.5 Modul de desfășurare a lucrării

1. Se așază suportul aparatului pentru demonstrarea cavitatiei pe platforma superioară a unității hidraulice de bază
2. Se conectează tubul flexibil de la intrare la racordul de alimentare al unității de bază (după îndepărtarea prealabilă a cuplei rapide de culoare galbenă a acestuia) iar tubul flexibil de evacuare se poziționează astfel încât apa să curgă în rezervorul volumetric al unității de bază prin piesa de linistire, pentru a evita apariția unor perturbații.
3. Se deschide complet supapa cu bila 5 și se închide complet supapa cu diafragma 9
4. Se închide robinetul de control al unității de bază. Se porneste pompa ce echipază unitatea de bază și apoi se manevrează ușor robinetul de control pînă la deschiderea lui completă.
5. Se deschide ușor supapa cu diafragma 9 asigurîndu-se umplerea completă a secțiunii de testare și a tuburilor flexibile, fără a introduce aer în circuit.
6. Se continuă deschiderea pînă la supapei cu diafragma pînă la poziția complet deschisă a acesteia, asigurîndu-se astfel debitul maxim prin zona de testare. Detectați vizual și auditiv apariția fenomenului de cavitatie, observînd în ce tronson al zonei de testare sînt vizibile bulele cavitationale.
7. Se înregistrează temperatura apei.
8. Se închide fin supapa cu diafragma pînă ce cavitatiea nu mai poate fi detectată în zona de testare dar fără ca aceasta zonă să se golească.
9. Se înregistrează valorile presiunilor indicate de manometrele tip Bourdon.
10. Se determină debitul prin determinarea volumului de apă acumulat în timp în rezervorul etalonat al unității hidraulice de bază. Pentru aceasta se închide vana cu bila de la baza rezervorului etalonat și se măsoară timpul de acumulare a unui volum de apă stabilit (15-20l), citibil între două gradatii ale sticlei de nivel de pe partea frontală a unității de bază. Se notează volumul și timpul de acumulare.
11. Se trece apoi la deschiderea treptată a supapei cu diafragma astfel încât valorile presiunii indicate de manometrul 1 să crească cu cîte 0.1 bar/treapta. La fiecare treapta se reiau operațiile 9 și 10, urmărindu-se prezenta unor bule minuscule. Pentru a efectua citirea

indicatiilor vacuometrului e nevoie de un interval de timp de asteptare pina ce acul indicator isi schimba pozitia atunci cind se ating starile in care presiunea scade pina la valori apropiate de presiunea de vaporizare deoarece are loc trecerea apei in stare de vapori.

12. Se continua deschiderea trepatata a supapei cu diafragma 9 pina la atingerea debitului maxim, urmarindu-se daca presiunea indicata de vacuometru scade sub valoarea presiunii de vaporizare.
13. Se va trece la inchiderea trepatat a supapei 9, observind incetarea fenomenului de cavitatie odata ce presiunea in zona gituirii creste peste valoarea presiunii de vaporizare.
14. Se continua inchiderea pina ce apa curge incet prin zona de testare, fara ca aceasta sa se goleasca si fara sa se mai observe bule cavitationale.
15. Se inchide partial supapa cu bila perforata 5 si se repeta pasii 6-14.
16. Se inchide robinetul de control al unitatii de baza si se opreste pompa centrifuga.

5.6 Prelucrarea rezultatelor

La fiecare treapta a fiecarui set de masuratori, debitul Q se determina cu relatia

$$: Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \text{ iar viteza in zona gituirii cu relatia } v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} \text{ si se trec in tabelul cu rezultate.}$$

Valoarea presiunii de vaporizare se alege din anexe functie de temperatura apei.

Pentru fiecare set de masuratori se va trasa dependenta $p_2 = f(Q)$.

Tabel Masuratori si Rezultate

	ΔV [m ³]	Δt [s]	Q [m ³ /s]	v [m/s]	p_1 [bar]	p_2 [bar]	p_3 [bar]	Obs.
Supapa 5 complet	deschisa							
Supapa 5 partial	inchisa							