

Rezumat

**Asupra tezei de doctorat cu titlul,
"Cercetări termice și fluidodinamice ale tuburilor de tip Bayonet"**
elaborată de către domul ing. Tiberiu Stanciu

1. Importanța temei

Lucrarea de doctorat "*Cercetări termice și fluidodinamice ale tuburilor de tip Bayonet*", se înscrie în preocupările cercetătorilor privind îmbunătățirea performanțelor termo-gazodinamice ale schimbatoarelor de căldură, care compun o mare parte din aparatele din industrie, în industria autovehiculelor, a utilajelor de forță, a climatizării, instalații fixe și mobile, etc. Mărirea eficienței acestor aparate se obține prin intensificarea transferului de căldură și reducerea pierderilor de presiune pe traseul fluidelor. Se urmărește pe lângă îmbunătățirea performanțelor termo-hidrodinamice și reducerea gabaritului, micșorarea cheltuielilor de investiții și exploatare.

2. Conținutul tezei.

Teza este structurată în șase capitole, anexe și bibliografia, cu o extindere de 125 pagini, 64 figuri, citându-se 122 titluri din literatura de specialitate, foarte multe recente, 9 deja publicate.

Teza are la bază activitatea de peste 10 ani de cercetare a autorului în cadrul Facultății de Mecanică, Universitatea Politehnica din Timișoara.

În capitolul 1 autorul tratează *Stadiul actual al cercetărilor în domeniul schimbătoarelor de căldură cu tuburi Bayonet*. Fiind un element constructiv de schimbător de căldură mai puțin cunoscut, autorul începe cu descrierea acestui

tip de tub (fig. 1.1). Fluidul care circulă în interiorul țevii descrie două drumuri; un drum printr-o țevă centrală și unul exterior acestei țevi, printr-un canal inelar, realizând un schimbător de căldură în contracurent. Astfel se mărește viteza de circulație a fluidului din spațiul inelar, la același debit, față de o circulația printr-o țevă dreaptă. Al doilea fluid circulă perpendicular pe țeava exterioară. Se continuă cu un scurt istoric al schimbătoarelor de căldură cu țevi tip Bayonet și se prezintă avantajele acestor aparate cum ar fi: pierderile de presiune ce se efectuează într-o singură secțiune, permit lungimi foarte mari și nu se mai pune problema dilatărilor datorită temperaturii, schimbătoarele de căldură realizate au construcții simple și sunt ușor de exploatat pentru că în cazul revizilor și reparațiilor se pot interveni ușor pe fiecare tub individual.

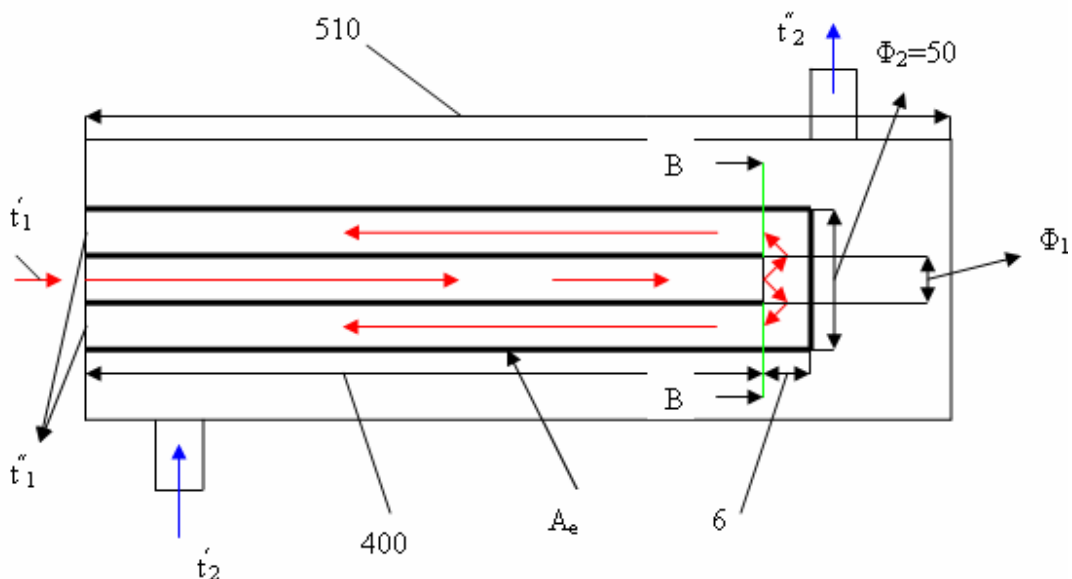


Fig. 1.1. Schimbătorul de căldură încercat

Aceste aparate au o răspândire destul de mare în lume; s-au folosit la cazanele cu mercur din centralele nucleare-electrice, la construcția recuperatoarelor, a supraîncălzitorului și pentru partea de economizor-vaporizator a cazanelor de abur cu sodiu lichid, etc. Extinderea pe 20 de pagini și cele 19 figuri prezentate în acest capitol dau o imagine perfectă privind schimbătoarele de căldură cu tuburi tip Bayonet. S-a realizat o clasificare a acestora schimbătoare de căldură.

Capitolul 2 are ca obiectiv "*Calculul și compararea schimbătoarelor de căldură de tip Bayonet*". În acest capitol se prezintă calculul termic și fluidodinamic al schimbătoarelor de căldură în general și în special calculul aparatelor cu tuburi Bayonet; autorul reușește să obțină relații speciale de calcul. Se remarcă faptul că într-un tub de tip Bayonet se pot distinge practic două schimbătoare de căldură; un schimbător de căldură în contracurent cu suprafața de transfer termic suprafața țevii centrale unde numai o parte din energia termică a fluidului cald (în jur de 15% din toată energia) se cedează aceluiași fluid într-un circuit inelar. Al doilea schimbător este în curent încrucișat unde întreaga căldură a fluidului principal este transferată fluidului rece, dar nu la diferența de temperatură definită de intrarea și ieșirea fluidului cald ci la o altă diferență de temperatură. Aceste calcule reprezintă o contribuție teoretică, foarte importantă a autorului la o parte din studiul teoretic al tuburilor de tip Bayonet, nemai tratate în literatura de specialitate. Un subcapitol special este rezervat și generalizării rezultatelor experimentale, în care se descrie modul pentru determinarea experimentală a coeficientului de căldură inelar de la fluidul cald la perete. Pentru a determina coeficientul de convecție pe pereții exteriori a schimbătorului s-au efectuat simulări (prezentate în Cap.5) până s-a obținut temperatura măsurată la ieșirea din schimbătorul de căldură. Astfel se pot determina, pe baza cercetărilor experimentale coeficienții de transfer termic inelar de partea aerului cald.

În capitolul 3, "*Standul experimental și tuburile Bayonet utilizate la încercări*", se prezintă standul experimental (fig.3.1), componentele acestuia și modul de funcționare a standului și se prezintă cele 9 tuburi cercetate. Cele 16 figuri explicative din acest capitol ajută la descrierea amănunțită a standului și a tuburilor utilizate.



Fig.3.1 Vedere generală stand de probă

Autorul a proiectat și realizat un stand special, de tip aer-aer, pentru încercarea tuburilor Bayonet. Acest stand este dotat cu aparatură performantă și reproduce fidel modul de exploatare al schimbătoarelor de căldură. Standul se găsește în laboratorul de Utilaje termice, a Facultății de Mecanică, din cadrul Universității „Politehnica” din Timișoara. S-au utilizat pentru încercare 9 tuburi de tip Bayonet, din alama, de tip aer-aer. S-a ales alama pentru ușurința realizării acestor tuburi, cu grosimea de 1mmș la această grosime transferul de căldură prin conducție nu influențează transferul termic între cele două fluide și concluziile trase în urma încercărilor sunt valabile și pentru oțelurile inoxidabile. Cele 9 tuburi de tip Bayonet sunt realizate în patru forme constructive și anume; 6 bucați-lise, 2 bucați ruгоase exterior și unul cu inele sudate pentru a mări rugozitatea. Pe fiecare tub s-au făcut în jur de 10 de regimuri de încercări.

Aceste tuburi sunt schimbătoarele de căldură testate. Tubul s-a montat într-o incintă confecționată din oțel, de forma paralelipipedică, foarte bine izolată termic. Prin schimbătorul de căldură testat, de tip Bayonet, circulă aer cald, pe de o parte și aer rece perpendicular pe țeva. Vehicularea aerului cald și cel rece se efectuează cu ventilatoare de tip centrifugal; pentru aerul rece unul cu debitul

volumic de 500 m³/ora, acționat de un motor electric de 2,2 kW iar aerul cald cu un ventilator având debitul volumic de 400 m³/ora, acționat de un motor electric de 1,5 kW. Pentru determinarea debitelor de aer s-au folosit două diafragme. Debitul de aer a fost verificat și cu un aparat de măsură Fluke 922.

Temperaturile de intrare și de ieseire, atât pe partea aerului cald cât și pe partea aerului rece au fost măsurate cu termocupluri de tip „j”, verificata cu termometre etalonate de înaltă precizie.

Achiziția de date sa realizat, prin placa de achiziții ICP-CON, care este conectată la un calculator. Pentru mărirea preciziei masuratorilor fiecare aparat de măsură a fost etalonat și dublat cu un alt tip de aparat. Parametrii de pe standul de proba s-au prelucrat prin programul Lab View 6.1, iar valorile obținute s-au trecut în tabele.

În capitolul 4, *Cercetări experimentale privind performanțele schimbătoarelor de căldură, aer-aer, de tip Bayonet*, sunt prezentate cercetările experimentale. Încercările tuburilor Bayonet s-au realizat în următoarele condiții:

- durata testelor pentru fiecare tub a fost de 2-4 zile, și s-au realizat mai multe regimuri din care s-au reținut minim 8 regimuri staționare,
- cercetările experimentale s-au realizat în aproape un an de zile;
- aerul rece a fost vehiculat din incinta laboratorului iar aerul cald s-a evacuat în atmosfera exterioară, astfel s-a putut ține temperatura de intrare a aerului constantă ;

S-au prelucrat datele obținute prin încercări pe standul de probă și s-au obținut o serie de diagrame cum ar fi: variația fluxurilor de căldură în funcție de debitul de aer, a căderii de presiune în funcție de viteza aerului prin aparate, coeficientului global de transfer termic și a coeficientului de transfer termic interinelar în funcție de viteza aerului, etc. Din analiza diagramelor rezultă o serie de concluzii importante cum ar fi:

- fluxul de căldură de partea tubului inelat (ca și cel rugos) este mult mai mare decât de partea celor lise, dar și căderile de presiune pe aceste tuburi sunt foarte mar. Aceasta se explica prin creșterea turbulențelor, lucru care duce la

creșterea atât a transferului termic cât și a frecărilor dintre fluid și suprafața de transfer termic;

- tubul Bayonet $\Phi 19$ cu distanța $h=22\text{mm}$ are fluxul de căldură cel mai mic față de celelalte tuburi $\Phi 19$ și distanțe mai mici dar și căderea de presiune pe acest tub este cea mai mică față de celelalte tuburi $\Phi 19$, acest lucru se explică printr-o turbulență mult mai redusă a aerului, ea datorându-se distanței libere mai mari la ieșire din tubul central;

- același fenomen se observă și la tuburile cu $\Phi 30$ și $\Phi 40$. Fluxul de căldură este mai mare la tubul $\Phi 40$, ceea ce se explică prin faptul că acest tub crează un spațiu inelar mai mic și crește viteza de circulație a aerului deci și coeficientul de transfer termic;

- coeficienții globali de transfer termic pentru aceeași familie de schimbătoare de căldură încercate în condiții aproape identice, diferă puțin. Se remarcă faptul că la diametrul hidraulic mai mic, coeficientul global de transfer termic total este mai mare, ceea ce se explică prin creșterea turbulențelor odată cu scăderea diametrului echivalent;

- coeficienții de transfer termic inter-inelar variază aproape similar cu coeficienții globali de transfer termic total (global). Rezultatele privind coeficienții de transfer termic inter-inelar se pot aprecia atât calitativ cât și cantitativ iar diagramele pot fi utilizate riguros în proiectarea unor suprafețe similare dacă se înscriu în condițiile de temperatură și viteze pentru care s-au făcut încercările.

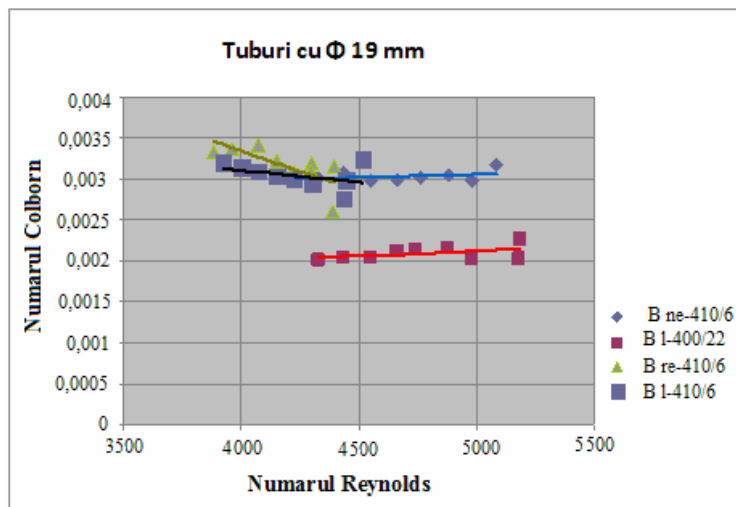


Fig 4.1. Variația criteriului Colburn pentru tuburile cu $\Phi 19$

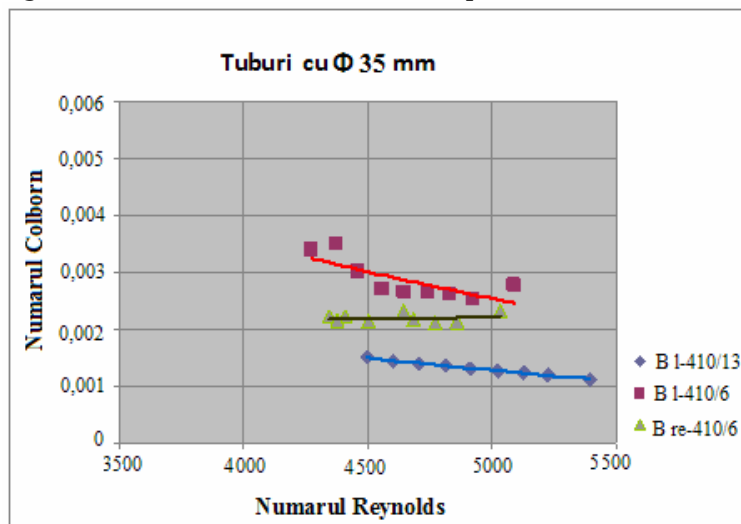


Fig 4.2. Variația criteriului Colburn pentru $\Phi 35$

S-au generalizat rezultatele experimentale prin reprezentarea variației criteriului Colburn (fig. 4.1 4.2) și a coeficientului de rezistență la frecare în funcție de Reynolds (fig. 4.3). Se constată că performanțele termice și fluidodinamice ale tuburilor sunt influențate puternic atât de rugozitate cât și de geometria de fabricație a tubului Bayonet. Toate aceste valori se prezintă în 18 diagrame, realizate pe familii de tuburi, astfel că se poate urmări și influența unor parametri constructivi asupra performanțelor termice și fluidodinamice. Tubul cu distanța la ieșire mai mică are Colburn cel mai mare, dar și coeficientul de frecare este mai mare, ceea ce se explică prin faptul că turbulența la ieșire în

acest caz este mai mare. La tuburile care au aceeași distanță de ieșire, ordinul de mărime a acestor criterii este asemănător. Diametrul țevii interioare determină diametrul hidraulic inter-inelar care modifică regimul termic și fluidodinamic ale țevii. Rezultă că se pot găsi soluții optime pentru atingerea unor performanțe termo-dinamice cerute.

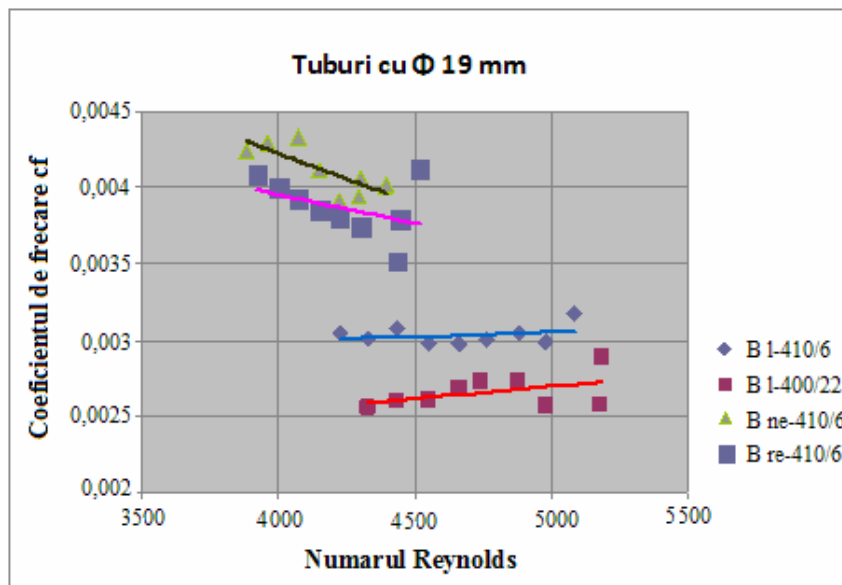


Fig.4.3. Variația coeficientului de rezistență la frecare, pentru tuburile cu $\Phi 19$

Rezultatele obținute, prin aceasta generalizare se pot aprecia atât calitativ cât și cantitativ iar diagramele pot fi utilizate riguros în proiectarea unor suprafețe similare fără a se ține cont de condițiile de încercare. Tot în acest capitol au fost prezentat și calculul erorilor.

În capitolul 5, *Modelarea numerică a transferului de căldură și a curgerii prin schimbătoarele de căldură de tip Bayonet*, se prezintă modelarea numerică a curgerii și a transferului termic pentru tubul B 410/6, încercat în laborator, cu programul de modelare Ansys Fluent 13.0. Discretizarea domeniului de calcul s-a realizat cu metoda volumului finit folosindu-se modelul de gradul doi, QUICK pentru câmpul de viteză și câmpul de temperatură. În cazul energiei cinetice turbulente respectiv ratei de disipare turbulente s-a folosit schema de discretizare progresivă de gradul întâi. Pentru soluționarea problemei de cuplare a câmpurilor

de presiune și viteză s-a folosit metoda SIMPLE. Soluționarea ecuațiilor algebrice s-a folosit metoda TDMA (tridiagonal matrix algorithm) împreună cu metoda linie – după – linie. În urma analizei privind sensibilitatea grilei, s-a ales grila cu un număr de aproximativ 20000 de volume finite.

Se prezintă variația locală a coeficientului de convecție. Valori mai mari s-au obținut în zona de intrare în spațiul inelar după care urmează o apropiere asimptotică de valoarea constant în domeniul complet dezvoltat. S-a determinat valoarea coeficientului de convecție în zona complet dezvoltat și valoarea medie pe întregul perete. Pentru a determina coeficientul de convecție exterior s-au efectuat simulări până s-a obținut temperatura măsurată la ieșirea din schimbătorul de căldură și s-au interpretat rezultatele.

În capitolul 6 sunt trecute concluziile și contribuțiile originale ale autorului la rezolvarea temei propuse.

4. Contribuții personale.

Teza de doctorat *"Cercetări termice și fluidodinamice ale tuburilor de tip Bayonet"* reprezintă activitatea de peste 10 ani de cercetare a autorului în cadrul Facultății de Mecanică, Universitatea Politehnica din Timișoara. Lucrarea are la baza studiul teoretic și experimental ale tuburilor de tip Bayonet.

Literatura de specialitate fiind foarte săracă în informații privind performanțele acestor tipuri de tuburi, s-a reușit, în premiera, să se prezinte informații utile privind modul de transfer termic și curgere la ieșire din tubul central și la intrare în tubul inelar.

Printre contribuții originale menționăm:

- s-au proiectat și realizat, pentru încercare pe standul de probă, 9 schimbătoare de căldură de tip Bayonet. Pe fiecare aparat s-au făcut un număr mare de regimuri de încercări.

- s-a proiectat și realizat un stand, pentru încercarea schimbătoarelor de căldură, stand care simulează modul real de lucru al aparatelor încercate.

-simularea numerică s-a realizat pentru datele experimentale prezentate. Discretizarea domeniului de calcul s-a realizat cu metoda volumului finit folosindu-se modelul de gradul doi, QUICK pentru câmpul de viteză și câmpul de temperatură. În cazul energiei cinetice turbulente respectiv ratei de disipare turbulente s-a folosit schema de discretizare progresivă de gradul întâi. Pentru soluționarea problemei de cuplare a câmpurilor de presiune și viteză s-a folosit metoda SIMPLE. Soluționarea ecuațiilor algebrice s-a realizat cu metoda TDMA împreună cu metoda linie – după – linie. În urma analizei privind sensibilitatea grilei, s-a ales grila structurată cu un număr de aproximativ 20.000 de volume finite. Soluționarea ecuațiilor s-a realizat cu programul I Ansys Fluent v. 14

- este pentru prima dată când se face o cercetare termică și fluidodinamică pentru acest tip de schimbător de căldură, utilizând ca fluid de lucru aerul, în domeniul Reynolds cu valori mari.

- s-au determinat coeficienții de transfer termic și coeficienții de rezistență la frecare, este de menționat faptul că nu se cunosc în literatura de specialitate valorile acestor coeficienți pentru schimbătoarele de căldură de tip Bayonet.

- s-a realizat un număr foarte mare de diagrame care se pot utiliza direct în cercetarea și proiectarea schimbătoarelor de căldură de acest tip.

- s-a dotat laboratorul de "Utilaje termice" (sala 177 Fac. Mecanica, Timisoara) cu un stand echipat cu aparatură performantă.

- prin acest studiu se deschide calea spre o cercetare în vederea stabilirii soluțiilor constructive optime pentru aceste tuburi și posibilitatea utilizării la alte tipuri de schimbătoare de căldură cu tuburi Bayonet.