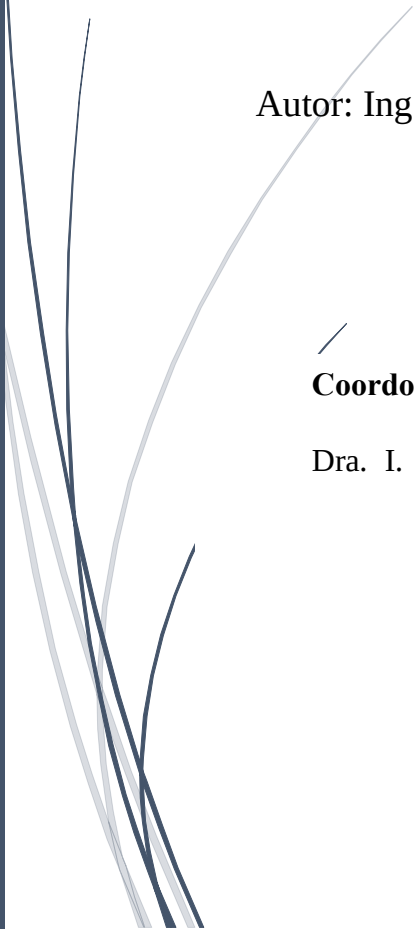


UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE
CONSTRUCȚII CIVILE
BUCUREȘTI
Facultatea de Construcții Servicii de Construcții
Centru de cercetare CAMBI

**REZUMAT
AL
TEZEI DOCTORALE**

**SOLUȚII AVANSATE DE RECUPERARE A ENERGIEI DIN
APELE UZATE PENTRU PROTECȚIA MEDIULUI**

Autor: Ing. AMJED MOHAMEED SAHIB AL BAIYATI



Coordonator teză:

Dra. I. NASTASE Profesor Conferențiar la Universitatea tehnică de construcții
civile, București, România

Cuprins

1	INTRODUCERE GENERALĂ.....	2
1.1	OBIECTIVELE TEZEI.....	3
2	Stadiul actual al tehnologiei.....	3
2.1	Sistemul schimbătorului de căldură orizontal	3
3	Tehnici de măsurare și instrumente utilizate	5
3.1	Măsurarea temperaturii apei.....	5
3.1.1	Termocupluri.....	5
3.1.2	Jurnalul de date ALMEMO	6
3.2	Măsurarea vitezei de curgere.....	6
3.2.1	Debitmetru Ultrasonic pentru lichide (PT900 portabil).....	6
3.2.2	Tehnologia de măsurare a vitezei cu imagini de particule (PIV).....	6
4	Cadru experimental.....	7
4.1	Prima campanie experimentală	7
4.1.1	Schimbător de căldură individual	8
4.2	A doua campanie experimentală	9
4.2.1	Schimbător de căldură dublu	11
4.3	A treia campanie experimentală.....	12
4.4	A patra campanie experimentală	14
5	Rezultatele experimentului	18
5.1	Prima campanie experimentală	18
5.2	A doua campanie experimentală	18
5.3	A treia campanie experimentală.....	19
5.3.1	Efectul schimbării temperaturii apei gri asupra randamentului.....	20
5.4	A patra campanie experimentală	20
5.5	Rezultate PIV	21
6	Model numeric	24
7	Concluzii	28
	Referințe.....	32

1 INTRODUCERE GENERALĂ

Uniunea Europeană a sugerat o strategie pentru a merge spre o economie cu emisii reduse de carbon până în 2050 [1]. Scopul strategiei este de a reduce emisiile de carbon cu 80% până în 2050, comparativ cu nivelurile din 1990. Foaia de parcurs menționează în plus că utilizarea energiei în clădiri este una dintre benzile cheie responsabile pentru emisiile de seră. Unul dintre principalii factori pentru atingerea acestui obiectiv este îmbunătățirea randamentului energetic, în special în gospodării, care reprezintă aproximativ 40% din cererea totală de energie [2]. Utilizând o mare proporție a cheltuielilor de energie în ansamblu. Se estimează că acest consum reprezintă 23% din consumul total din Regatul Unit [3] și 17 procente sunt înregistrate în Hong Kong[4]. O mare parte din consumul de energie este corelat cu operațiile de încălzire a apei în consumul de energie din gospodărie [5], adică spălat, electrocasnice care folosesc apă și gătit. 26 procente din utilizarea energiei locale din Regatul Unit sunt legate de activitățile de încălzire a apei [6]. Cea mai mare parte a energiei consumate pentru operațiunile casnice și / sau echipamentele de încălzire a apei se pierde [7].

Reducerea consumului de energie în scopul încălzirii apei este una dintre metodele de reducere a cererii de energie numai de către consumatori [8]. Sistemele care vizează atât energia regenerabilă [9] cât și energia din deșeuri reciclată [10] pot fi utilizate în acest scop ca apă uzată [11]. Cu toate acestea, utilizând unitățile de recuperare a căldurii din apa evacuată (DWHR), căldura transferată de apa reziduală este retrasă în mod general. [12]. Alte lucrări au vizat implementarea individuală, precum mașinile de spălat vase (Hoak et al. [13], Persson [14], Jeon g and Lee[15], Paepe et al. [16], Saker et al. [17], Persson and Roennelid [18], Bengtsson et al. [19][31], Lin et al. [20][25], Hauer and Fischer [21] mașinile de spălat (Stamminger[22], Persson [14] and Persson and Roennelid [18], Pakula and Saker et al. [17] și frizeriile (Sun et al. [23] sau evaluarea surselor de apă reziduală într-un experiment (Ramadan et al. [24]).

Când sistemul este montat cu orientare principală orizontală, performanța unui astfel de dispozitiv de recuperare a căldurii din apa evacuată este compromisă. Cercetătorii din China au demonstrat într-un bloc de apartamente eficiența sistemului orizontal de recuperare a căldurii din apa evacuată prin recuperarea energiei din scurgerile de duș de 5-15% [4]. În mod similar, experimentele din Irlanda pe un dispozitiv de recuperare a căldurii din apa evacuată cu serpentină au constatat că atunci când

dispozitivul de recuperare a căldurii din apa evacuată era în poziție orizontală, randamentul de 67 procente în plan vertical a scăzut la 17 procente [25]. Aceasta a crescut, de asemenea, perioada aproximativă de recuperare a investiției pentru unitate de la 3.7 la 15.1 ani. Experimente diferite au fost realizate pe schimbătoarele de căldură orizontale [4, 26]. Performanța unui astfel de sistem a fost evaluată de Wong et al. [4], demonstrând faptul că era slabă. Ca răspuns, pentru a satisface cerințele, McNabola and Shields[26] au încercat să modifice randamentul acestui sistem. *Toate aceste metode sunt clasice și au fost aplicate schimbătoarelor de căldură clasice, dar niciuna dintre ele nu a fost încă aplicată interfeței schimbătorului de căldură dublu pentru ape reziduale pe o țeavă de ape reziduale.*

Acestea sunt câteva dintre strategiile de îmbunătățire a schimbătoarelor de căldură, precum creșterea regiunii de transfer de căldură, creșterea turbulenței, reducerea grosimii stratului limită, crearea debitului secundar, ajustarea ratei debitului și examinarea declivităților de temperatură [27].

1.1 OBIECTIVELE TEZEI

1. Identificarea posibilității de utilizare a schimbătoarelor de căldură pentru a recupera căldura din apa reziduală;
2. Găsirea metodelor de a îmbunătăți transferul de căldură dintre apa reziduală și apa rece;
3. Dezvoltarea unui cadru experimental pentru a realiza măsurătorile temperaturilor, ratele debitului și profilele vitezei pentru a studia tiparele debitului pentru diferite geometrii;
4. Dezvoltarea unui model numeric pentru a realiza simulări pentru diferite geometrii ale schimbătorului de căldură;
5. Validarea modelului numeric utilizând rezultatele experimentale.

2 Stadiul actual al tehnologiei

2.1 Sistemul schimbătorului de căldură orizontal

Există multe studii efectuate pentru a îmbunătăți randamentul recuperării transferului de căldură al apei menajere în plan orizontal deoarece această metodă este ieftină și nu necesită o zonă mare și poate fi instalată la primul etaj prin intermediul căruia energia termică poate fi recuperată din cantitatea integrală de apă menajeră.

Pochwat et al. [6] a propus în studiu său o nouă construcție pentru a îmbunătăți randamentul transferului de căldură în plan orizontal și în contracurent. Experimentul constă într-o țeavă de apă gri (PVC) cu un diametru de 40 mm și țeava de apă din cupru cu un diametru de 12.7 mm care trece prin aceasta. Țeava de apă din cupru a fost poziționată la capătul inferior al țevii de apă gri pentru a îmbunătăți schimbul de căldură. În concluzie, este posibilă la nivel teoretic construirea sistemului de recuperare a căldurii din apa evacuată care să funcționeze la un nivel satisfăcător de randament în plan orizontal. De asemenea, rezultatele arată faptul că în funcție de varietatea factorilor externi, acest sistem poate fi viabil din punct de vedere economic. S-a demonstrat că acesta va reduce în mod considerabil consumul de energie și emisiile de dioxid de carbon prin implementarea acestei tehnologii la nivel național. Randamentul prototipului a fost de 23 procente. Efectul creșterii temperaturii apei evacuate la 65 °C și scăderea debitului de apă evacuată la 6 L / min s-a dovedit să crească ușor randamentul peste această valoare. Rata debitului de apă caldă s-a dovedit a fi un factor determinant esențial al performanței sistemului, cu rate de debit peste 10 l / min fiind semnificativ mai mic în ceea ce privește randamentul decât ratele debitului sub 10 l / min în general.

Wong et al. [8] a investigat în studiul său recuperarea căldurii din apa din duș în clădirile de locuințe (creștere mare în Hong Kong). Obiectivul primar al experimentului său a fost estimarea zonei de transfer minimă necesară pentru sarcina în cauză, întrucât reglementează costurile generale ale schimbătorului de căldură. Cadrul experimentului a fost calcularea lipsei de randament E a schimbătorului de căldură cu o singură trecere (contra debit) în plan orizontal, schimbătorul de căldură constând dintr-o țeavă de apă rece (PVC) cu lungimea de 1 m, diametrul 0.1 cu o țeavă de apă caldă (cupru) cu diametrul de 40 mm trecând prin aceasta. Țeava din cupru pentru apă caldă care simulează o pantă de scurgere este parțial umplută cu apă caldă. S-a reținut faptul că debitele de curgere gravitațională a apei pot fi definite prin principiile simple de curgere a fluidelor în cazul țevelor de evacuare parțial umplute în pantă. Utilizând metoda randament-numărul transferului de unități (ϵ -NTU), schimbul de energie termică este măsurat. Rezultatele arată că 4-15 procente din încălzirea apei de duș pentru o țeavă de evacuare cu diametrul de 50 mm pot fi recuperate printr-un schimbător de căldură cu o singură trecere de 1.5 m lungime. În climate calde și umede, recuperarea căldurii din scurgerile de duș în clădirile

rezidențiale înalte este dificilă. Sunt necesare construcții bune de schimbătoare de căldură cu o perioadă de amortizare a investiției justificată, pe lângă limitările de spațiu pentru instalații.

Kamil et al.[28] analiza lor a fost o comparație între două unități prototip de recuperare pe bază de randament a căldurii din apa de evacuare în plan aproape orizontal. În ceea ce privește testul randamentului acestei unități, acest studiu a vizat prezentarea constatărilor proiectului. În această analiză, au existat două părți ale experimentului: un schimbător de căldură orizontal simplu (HE-0) și un nou schimbător de căldură (HE-1). Un corp orientat orizontal semnificativ realizat din plastic pentru a deplasa apa gri, parte din schimbătorul de căldură HE-0. Există o conductă din cupru poziționată paralel cu porțiunea interioară a corpului pentru a deplasa apa de încălzit în direcția opusă a apei reziduală. Prin pereții conductei, căldura stocată în cea din urmă este transferată. O astfel de construcție de sistemului elimină orice interacțiune între cele două medii de curgere. O limitare a soluției este randamentul relativ scăzut al schimbătorului de căldură care este verificat prin studiul menționat în acest experiment. Conceptul de operare al mărcii schimbătorului de căldură HE-1 actual este comparabil. Randamentul schimbătorului de căldură realizabil în acest caz, cu toate acestea, este semnificativ mai mare. Efectul a fost obținut prin introducerea deflectoarelor în corpul dispozitivelor, rezultând în creșterea timpului în sistemul de recuperare a căldurii din apa evacuată pentru păstrarea apei. S-a concluzionat prin acest studiu că schimbătorul de căldură este destinat special clădirilor rezidențiale cu consum scăzut de apă pentru duș. În anumite situații, prin separarea cursului ambelor medii în două sau mai multe schimbătoare de căldură, există posibilitatea de a îmbunătăți randamentul sistemului de recuperare a căldurii din apa pentru duș.

3 Tehnici de măsurare și instrumente utilizate

3.1 Măsurarea temperaturii apei

3.1.1 Termocupluri

Termocuplul utilizat în acest studiu este de tipul k 190-2 de la ALMEMO pentru a măsura temperatura apei și este tipul cel mai comun. Este posibilă schimbarea oricărui senzor, i.e. valorile de corecție ale senzorului pot fi stocate în

conector și toți acești conectori sunt utilizați pentru a conecta senzorul la jurnalul de date ALMEMO.

3.1.2 Jurnalul de date ALMEMO

În laboratorul CAMBI, există dispozitive ALMEMO utilizate în Exp.1 ALMEMO 2690-8 cu 4 porturi de conectare, iar Exp. 2, 3 și 4, utilizează ALMEMON 710 cu 10 porturi de conectare. Aceste dispozitive sunt utilizate pentru a citi și înregistra temperatura apei gri și apa rece proaspătă în acest studiu.

3.2 Măsurarea vitezei de curgere

3.2.1 Debitmetru Ultrasonic pentru lichide (PT900 portabil)

PT900 este un transmițător portabil pentru măsurarea produselor lichide. Acesta este utilizat pentru măsurarea vitezei de curgere a apei în experimente. Folosirea noii platforme electronice și construcția industrială simplificată îl fac ușor de instalat și utilizat. Sistemul include o tabletă care rulează un sistem Android [29].

L-am utilizat pentru a măsura viteza de curgere a apei în țevile din acest studiu, dispozitivul existând în laboratorul CAMBI al Colegiului de Inginerie a serviciilor.

3.2.2 Tehnologia de măsurare a vitezei cu imagini de particule (PIV)

Procesul de măsurare pentru mișcarea particulelor de apă gri se realizează în jurul țevii din cupru pentru apă rece, când laserul este îndreptat în partea superioară a țevii din cupru din mijloc, precum și atunci când laserul dintre aceste două țevi din cupru și camera este lângă aceste țevi pentru a capta imagini despre mișcarea moleculelor și în timpul acestor experimente pentru a înregistra citirile vitezei de curgere și a temperaturii.

Tehnica PIV permite concepția specifică a debitelor turbulente și determinarea cantitativă a vitezei atribuite în câmpul analizat [30-32].

Camera utilizată pentru a obține imagini este flowsense EO NIK-C, cu lentile Nikon cu o rază de focalizare de 50 mm și o deschidere de 1:1.2. Camera FlowSense EO poate capta imagini la 4.7 cadre per secundă cu o rezoluție maximă de 6576×4384 pixeli. Cu toate acestea, FlowSense EO VGA rapidă poate înregistra imagini de până la 260 cadre per secundă. Mai mult, noua FlowSense EO 4M-32 vă permite să captați imagini cu dublă expunere la o rată de 15 Hz, comparabilă cu rata de repetiție a

multor lasere de mare putere. Dimensiunea pixelilor variază de la 3.45 μm la 9.0 μm . Imaginile stocate în memoria internă a camerei sunt transferate la finalul fiecărei achiziție în computer. Pentru a ilumina particulele trasorului în debit (particulele sunt sfere cu diametrul de 10 μm) s-a utilizat un laser infraroșu Nano power, cu o putere de 4W care produce o lungime de undă de 795 nm[33]

4 Cadru experimental

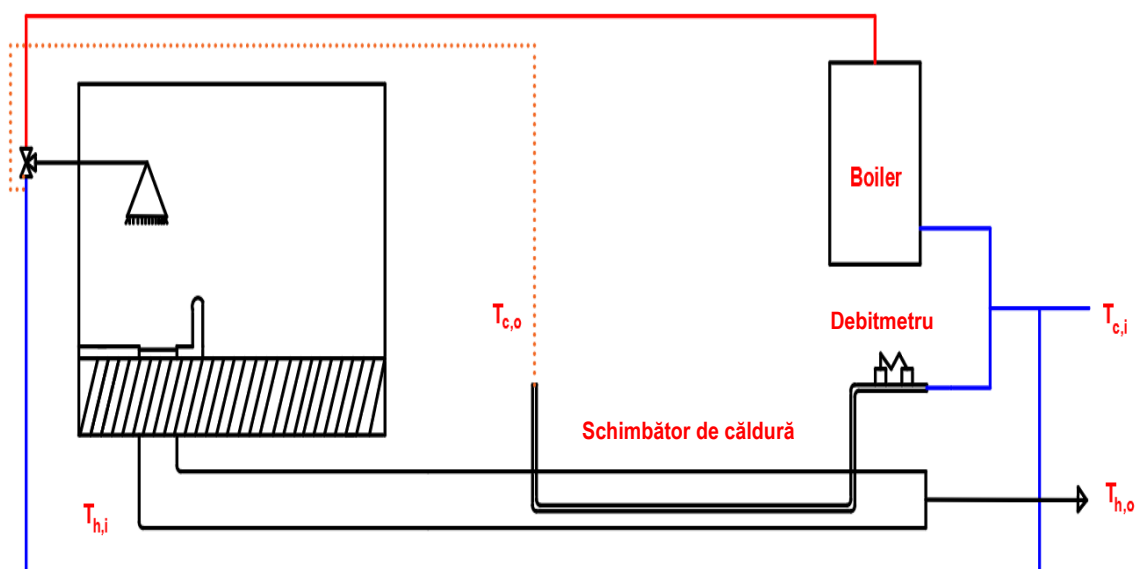
4.1 Prima campanie experimentală

Unitatea experimentală a fost construită pentru evaluarea randamentului ratei de transfer de căldură cu cinci viteze de curgere pentru apa rece conform imaginii 4.1. Unitatea experimentală constă într-o cadă conectată cu o țeavă PVC pentru a drena apa gri și țeava din cupru pentru apă rece care trece prin țeava PVC în partea inferioară și prevăzută cu o supapă pentru a controla viteza de curgere a apei reci, sursa apei reci din laborator rețeaua de apă. Diagrama schematică a unității experimentale este arătată în imaginea 4.2. Resursa apei calde din încălzitorul instalat în laborator.

Unitatea experimentală funcționează pe baza schimbului de căldură dintre apa gri caldă și apa rece. Robinetul de apă caldă este pornit la maximum și toarnă apă în cadă (debitul este constant). Rata temperaturii apei gri și apei reci este măsurată prin termocuplurile de tip k cu jurnalul de date (ALMEMO). Rata debitului apei reci este măsurată cu Debitmetrul Ultrasonic PT900, care este instalat pe țeava din cupru de apă rece. În momentul schimbării vitezei de curgere a apei calde de la (q_1 la q_5) măsoară temperatura pentru a constata efectul asupra randamentului, iar perioada de măsurare este de 10 minute pentru fiecare viteză de curgere.



Imaginea 4-1. Unitatea experimentală a Exp. 1.



Imaginea 4-2. Diagrama schematică pentru unitatea experimentală a Exp. 1.

4.1.1 Schimbător de căldură individual

Schimbătorul de căldură este țeava din cupru de apă rece cu diametrul de 10 mm, 1000 mm lungime și 0.7mm grosime, care trece prin țeava PVC de apă gri cu diametrul de 40 mm în plan orizontal și în contra-curent pentru transferul căldurii din apa gri caldă în apă rece conform imaginii (imaginea 4.3). diagrama simplificată a schimbătorului de căldură.



Imagina 4-3. Schimbătorul de căldură pentru unitatea experimentală a Exp.1.

4.2 A doua campanie experimentală

Unitatea experimentală a fost construită pentru dezvoltarea și evaluarea randamentului ratei de transfer de căldură pentru trei viteze de curgere ale apei gri cu cinci viteze de curgere ale apei rece, distribuind temperatura de-a lungul a două țevi din cupru de apă rece, așa cum se arată în imaginea 4.4. O diagramă schematică a unității experimentale este prezentată în imaginea 4.5.

Unitatea experimentală este constă în țeava de apă gri din Plexiglas și două țevi de apă rece din cupru care trec prin țeava de apă gri din Plexiglas în partea inferioară și este prevăzută cu o supapă pentru a controla viteza de curgere a apei reci, sursa apei reci din rețeaua de apă a laboratorului, două rezervoare de apă gri, o pompă cu trei viteze de curgere utilizate pentru transportul apei gri din rezervorul (1) rezervorul (2), printr-o țeavă din cupru conectată între ele cu un diametru de 40 mm și trei încălzitoare pentru încălzirea apei gri (un încălzitor în rezervorul 1 și două încălzitoare în rezervorul 2). Nivelul apei gri crește în rezervor (2) și iese în țeava de apă gri din Plexiglas și apoi se îndreaptă către rezervor (1) pe pantă.

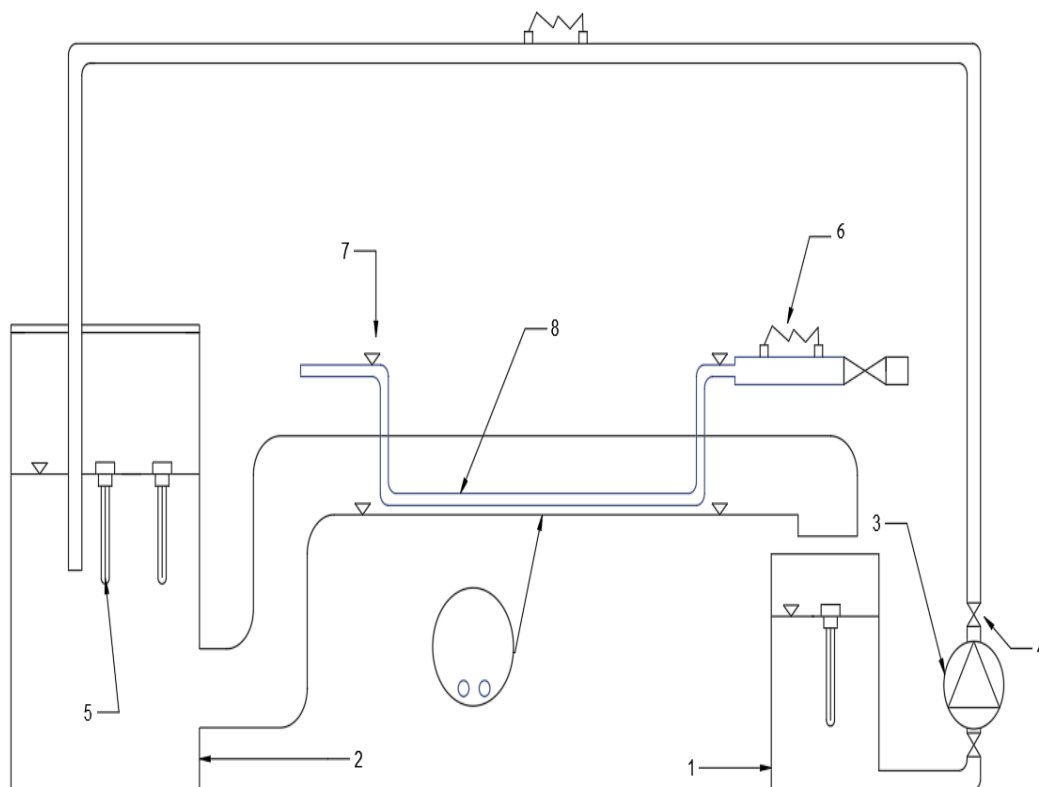
Unitatea experimentală funcționează pe baza schimbului de căldură dintre apa gri caldă și apa rece. Se determină vitezei necesare a apei reci prin supapă, precum prima viteză de curgere a apei reci q_1 cu prima viteză de curgere a apei gri Q_1 , durata măsurării este de 10 minute, apoi rămâne prima viteză de curgere q_1 a apei reci și se schimbă viteza de curgere a apei gri la a doua viteză de curgere Q_2 și se așteaptă cinci

minute, apoi se începe a doua măsurare și timp de 10 minute altele, realizând același proces pentru a trece la a treia viteză de curgere a apei gri Q3, după finalizarea acestor schimbări de trei viteze de curgere, viteza de curgere a apei reci la a doua q2, a treia viteză de curgere q3, q4 și q5, efectuează același proces cu prima viteză de curgere q1. În timpul diferitelor viteze de curgere, temperatura apei gri și a apei reci este calculată pentru a determina randamentul ratei de transfer de căldură.

Rata de temperatură a apei gri și a apei reci este măsurată prin termocupluri de tip k cu dispozitivul de înregistrare a datelor (ALMEMO 710). Debitul apei reci și al apei gri este măsurat de debitmetrul ultrasonic PT900, care este instalat pe țeava din cupru de apă rece și țeava din cupru conectată între rezervorul 1 și rezervorul 2.



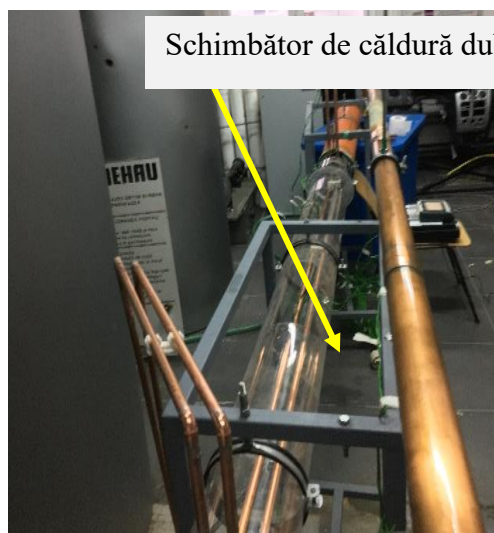
Imaginea 4-4. Unitate experimentală Exp. 2.



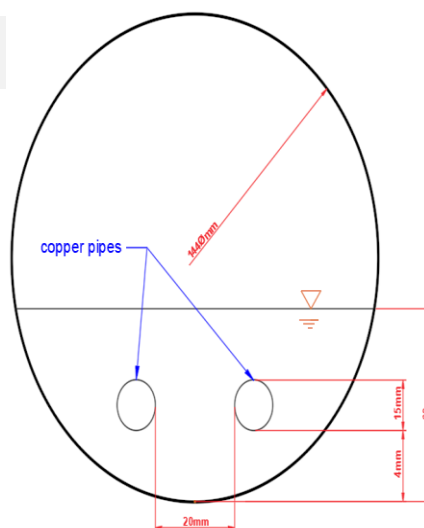
Imaginea 4-5. Diagrama schematică a unității experimentale a Exp. 2: (1- primul rezervor, 2- al doilea rezervor, 3-pompă apă gri, 4- supapă, 5- încălzitor, 6- debitmetru ultrasonic, 7- termocupluri, 8- țeavă dublă din cupru).

4.2.1 Schimbător de căldură dublu

Schimbătorul de căldură este format din două țevi de apă rece din cupru cu un diametru exterior de 15 mm și 1890 mm lungime 0,7 mm grosime, care trec printr-o țeavă de apă gri din Plexiglas cu un diametru exterior de 150 mm și grosime de 3 mm în plan orizontal și contra-curent pentru transferul căldurii de la apă gri caldă la apă rece (vezi imaginea 4.6).



a)



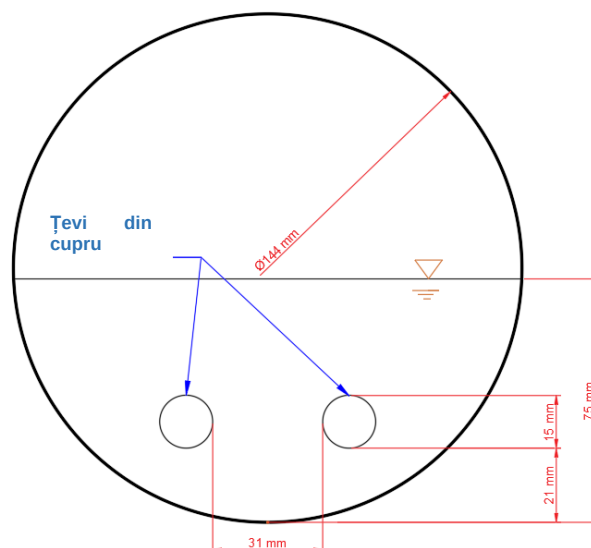
b)

Imaginea 4-6. Schimbător de căldură dublu pentru unitatea experimentală Exp. 2: a) schimbător de căldură dublu, b) secțiune transversală pentru țevi (schimbător de căldură).

4.3 A treia campanie experimentală

Unitatea experimentală a fost construită pentru dezvoltarea și evaluarea randamentului ratei de transfer de căldură pentru trei viteze de curgere ale apei gri cu trei viteze de curgere ale apei reci, distribuția temperaturii de-a lungul a două țevi din cupru de apă rece, comparativ cu experimentul din Exp. 4 (cu serpentină elicoidală), precum și efectul modificărilor temperaturii apei gri asupra randamentului ratei de transfer de căldură ((numai în acest Exp.)).

Această unitate experimentală este aceeași cu Exp. 2 anterior, dar diferența între distanțele dintre conductele din cupru de apă rece, care sunt în creștere în acest Exp. și nivelul acestor țevi din cupru de la baza țevii de apă gri este mai mare, pentru a evita contactul dintre serpentina elicoidală a Exp. 4 cu partea inferioară a țevii de apă gri și pentru comparație între țeava fără serpentină și țeava cu serpentină. Diagrama schematică a secțiunii transversale pentru țevi (a se vedea imaginea 4-7), acest experiment este aceeași metodologie ca experimentul Exp. 2.



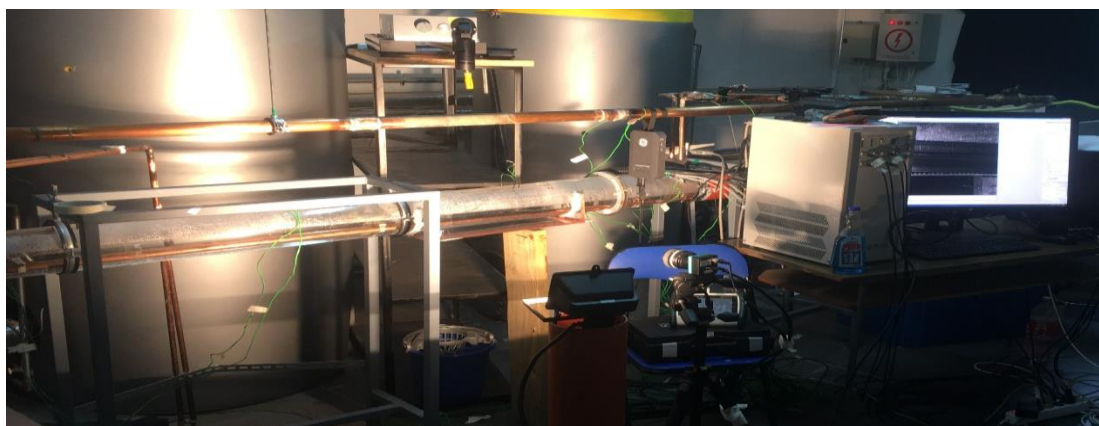
Imaginea 4-7. Diagrama schematică pentru noua distanță dintre țevile din cupru de apă rece și locația sa în țeava de apă gri.

Imaginea (4-8) este arătată în instalația tehnologiei PIV, tehnologia PIV a fost utilizată pentru a măsura vitezele de curgere ale apei gri în jurul țevii din cupru de apă rece.

În acest caz, au fost efectuate două experimente: primul; când laserul este orientat către centrul țevii din cupru de apă rece (pe țeavă), al doilea; când laserul este orientat între cele două țevi din cupru de apă rece. Am măsurat efectul vitezei de curgere ale apei reci și apei gri asupra transferului de căldură (randament), precum și tehnologia PIV.



(a)



(b)

Imagina 4-8. Procesul de măsurare pentru viteza de curgere a moleculelor de apă gri prin tehnologia PIV: a) Când laserul este orientat spre țevă din cupru de apă rece (pe țevă și între țevi), b) fotografia efectuând calibrarea pentru tehnica PIV înainte de măsurare.

4.4 A patra campanie experimentală

Acest experiment este același cu experimentul din Exp.3, diferența constând în adăugarea serpentine elicoidale în jurul conductelor din cupru de apă rece, pentru a îmbunătăți eficiența ratei de transfer de căldură și apoi a o compara cu conducta netedă (fără serpentina elicoidală) din Exp.3.

Tehnologia PIV a fost măsurată la fel în Exp.3, dar diferența constă în adăugarea unei alte măsurători a tehnologiei PIV atunci când camera era aproape de conducte, deoarece mișcarea particulelor din apa gri în jurul conductelor din cupru de apă rece nu este clară prima dată deci camera s-a deplasat aproape de tuburi și a efectuat a doua măsurare.

PROCEDURA DE FORMARE A SERPENTINELOR ELICOIDALE

După completarea pașilor de calculare a pieselor din cupru inelare:

- 1- Proiectarea planului plăcii din cupru cu grosime de 0.4 mm conform imaginii (4-9).
- 2- Această placă din cupru este tăiată în bucăți folosind foarfece manuale conform imaginii 4-10.
- 3- Localizarea acestor piese pe țevă și în funcție de diametrul țevii și lungimea răsucirii și (a se vedea imaginea 4-11).

4- Sudarea acestor piese între ele și cu țeava din cupru de apă rece folosind Sârmă pentru sudură/Miez de colofoniu staniu-plumb conform imaginii (4-12).

5- Aceste țevi sunt pigmentate cu culoare neagră pentru a efectua tehnica de măsurare PIV conform imaginii 4-13.

6-Aceste țevi sunt conectate la experiment în locul țevelor netede. Diagrama schematică pentru distanța dintre țevele din cupru de apă rece cu serpentină elicoidală și locația acesteia în țeava de apă gri, a se vedea imaginea 4-14. Și toate aceste procese sunt realizate în Laborator.



Imaginea 4-9.Proiectarea planului pe placa din cupru.



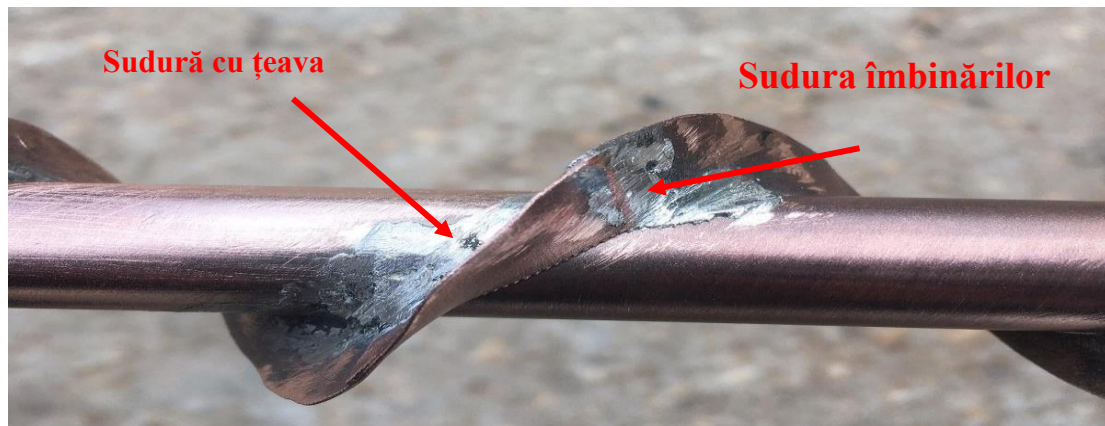
Imaginea 4-10.Tăierea plăcilor din cupru în bucăți.



Imaginea 4-11. Localizarea pieselor din cupru pe țeavă.



(a)

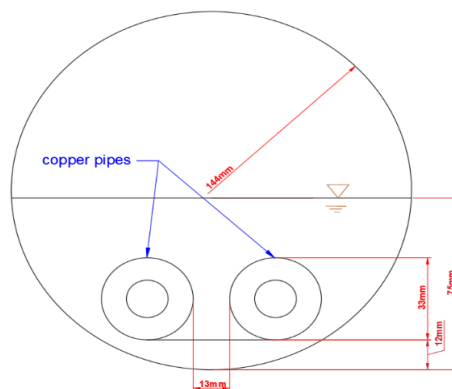


b)

Imaginea 4-12. Procesul de sudură pentru serpentina elicoidală, a) Realizarea procesului de sudură în atelierul laboratorului (CAMBI), b) Sudarea acestor piese între ele și cu țeava din cupru de apă rece.



Imaginea 4-13. Vopsirea acestor țevi în negru.

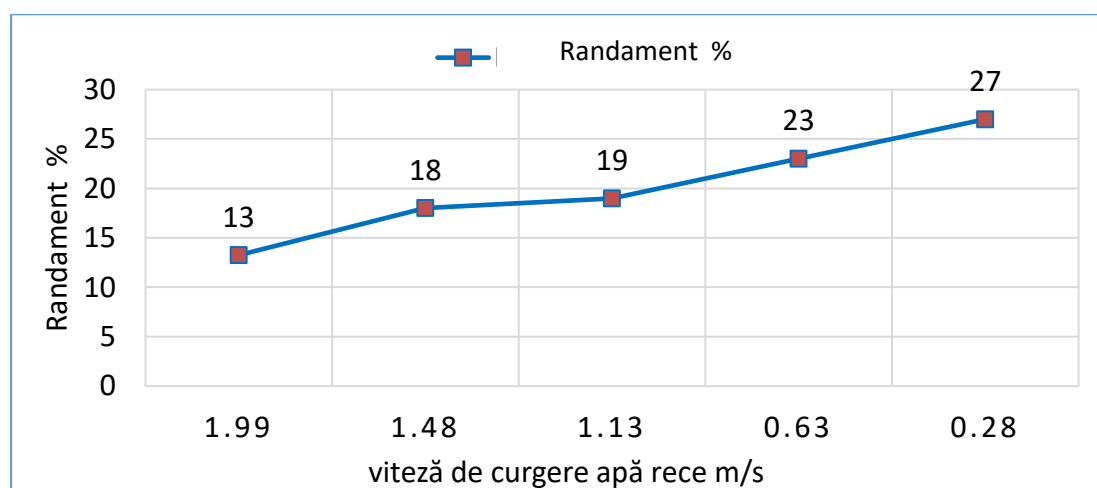


Imaginea 4-14. Diagrama schematică pentru distanța dintre țevile din cupru de apă rece cu serpentină elicoidală.

5 Rezultatele experimentului

5.1 Prima campanie experimentală

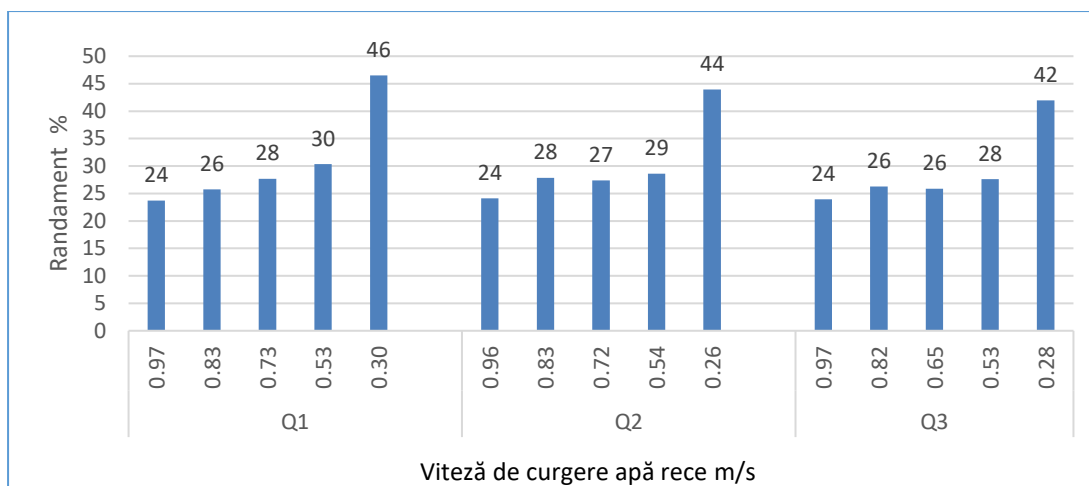
Rezultatele obținute în Exp.1 temperatura apei reci și apei gri la intrare și la ieșire și cinci viteze de curgere ale apei reci au fost în intervalul 0.28 la 1.99m/s. Precum și compararea randamentului cu modificările vitezei de curgere a apei reci pentru a afla impactul acesteia, randamentul a fost de 13% până la 24%, cu viteza maximă de curgere a apei reci la viteza minimă, a se vedea imaginea 5-1.



Imaginea 5-1.Relevanța dintre randament și viteza de curgere a apei reci în Exp.1.

5.2 A doua campanie experimentală

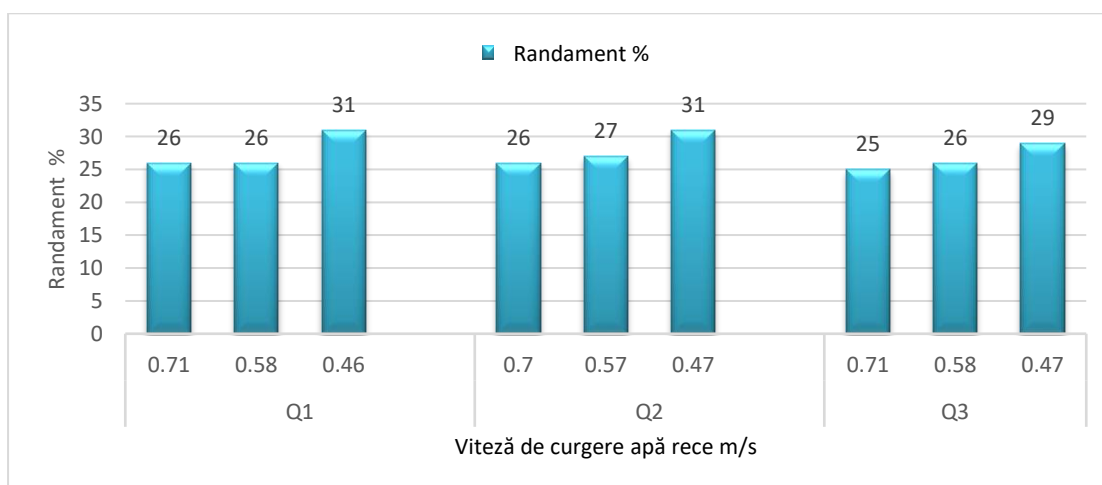
Rezultatele Exp.2, temperatura apei reci și a apei gri la intrare, cu cinci viteze de curgere ale apei reci, trei viteze ale apei gri, sunt 0,28, 0,27 și 0,23 m / s, precum și distribuția temperaturilor de-a lungul țevii de apă rece (schimbător de căldură dublu), crește spre ieșire, așa cum se arată în imaginile 5-2, 3-48, cea mai mare viteză de curgere a apei reci a fost de 0,97 m / s, cu cel mai mic randament de 24%, viteza cea mai mică de 0,26 m / s, cu cel mai mare randament a fost de 44%, Diferența de viteză de curgere a apei gri Q2, Q1 și Q3 nu a reprezentat o influență importantă asupra randamentului transferului de căldură.



Imaginea 5-2. Relația dintre randament și vitezele de curgere ale apei reci pentru vitezele de curgere ale apei gri.

5.3 A treia campanie experimentală

Rezultatele celui de-al treilea Exp. pentru țevi netede, temperatura apei reci și a apei gri la intrare și ieșire, cu trei viteze de curgere ale apei reci, atunci când laserul este amplasat între țevile de apă rece prin utilizarea tehnicilor PIV. Cele trei viteze de curgere ale apei gri, sunt 0,17, 0,16 și 0,14 m / s, iar distribuția temperaturilor de-a lungul țevii de apă rece (schimbător de căldură dublu), crește spre ieșire, Cea mai mare viteză de curgere a apei reci a fost de 0,71 m / s cu cel mai mic randament de 26%, viteza cea mai mică 0,46m / s, cu cel mai mare randament a fost 31%. Diferența de viteză a apei gri Q2, Q1 și Q3 nu a reprezentat o influență importantă asupra randamentului de transfer de căldură, a se vedea imaginea 5-3.

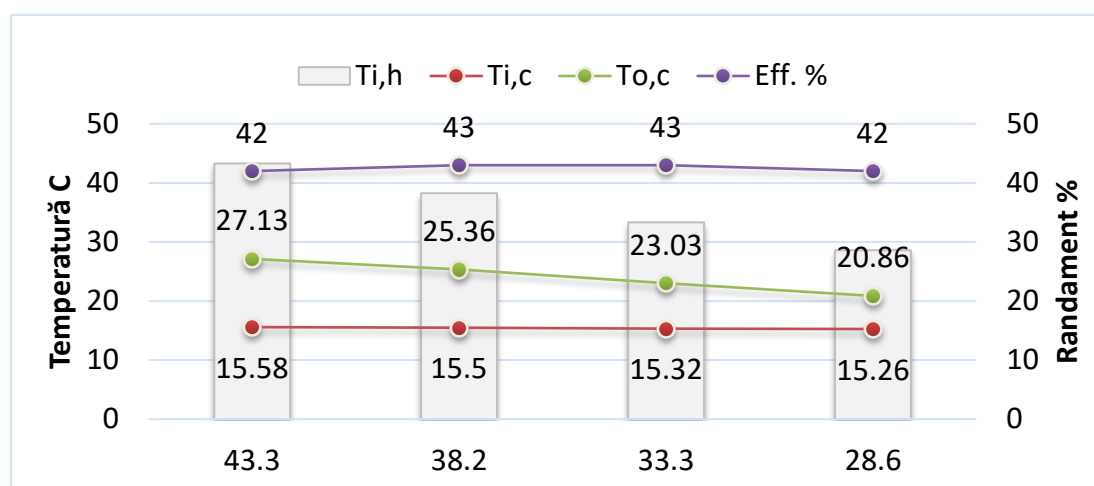


Imaginea 5-3. Relația dintre randament și vitezele de curgere ale apei reci pentru cele trei viteze de curgere ale apei gri, când laserul este amplasat între țevi.

5.3.1 Efectul schimbării temperaturii apei gri asupra randamentului

Rezultatele efectului schimbării temperaturii apei gri asupra randamentului ratei de transmitere a căldurii, cu parametri fiși ai vitezei de curgere a apei gri (0,16 m / s), viteza de curgere a apei reci a fost de 0,41 m / s și au existat patru temperaturi diferite ale apei gri (43- 38-33-28 C).

Prin aceste rezultate, observăm că schimbarea temperaturii nu a afectat randamentul atunci când creșterea temperaturii apei gri duce la creșterea temperaturii apei reci la ieșirea To, c, atunci când scăderea duce la reducerea temperaturii apei reci la ieșirea To, c, și, prin urmare, randamentul nu este afectat, a se vedea imaginea (5-4), dar este posibilă. Aceasta crește sau scade atunci când crește sau scade temperatura de intrare a apei reci. Acest experiment a fost făcut într-o atmosferă caldă, iar temperatura apei reci este mare în comparație cu experimentul anterior, care a sporit randamentul.

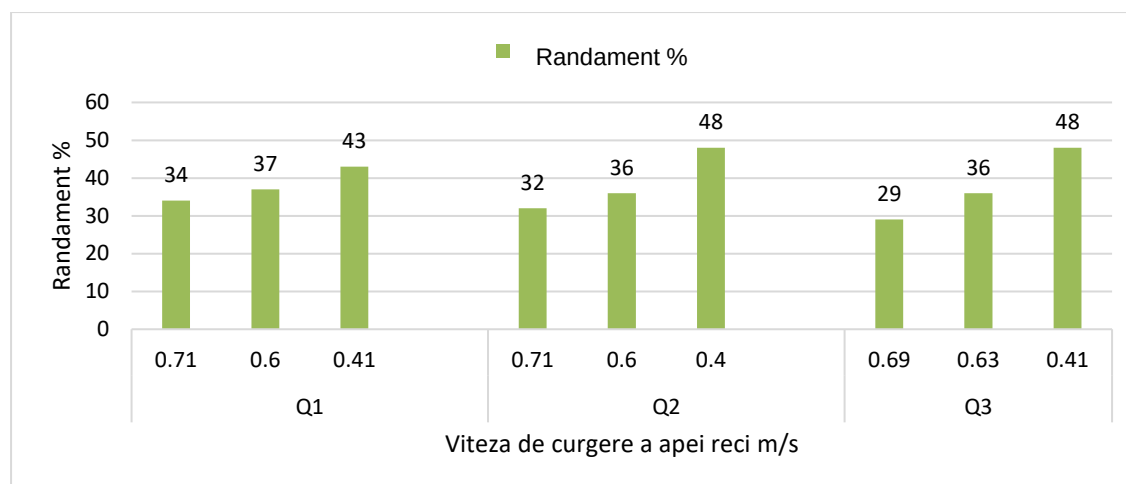


Imaginea 5-4. Efectul temperaturii apei gri asupra modificării randamentului.

5.4 A patra campanie experimentală

Rezultatele celui de-al patrulea Exp. Folosind serpentina elicoidală atunci când laserul este amplasat între țevile de apă rece prin utilizarea tehnicilor PIV. Temperatura apei reci și a apei gri la intrare, cu trei viteze de curgere ale apei reci, trei viteze de curgere ale apei gri, sunt de 0,17, 0,16 și 0,14 m / s, precum și distribuția temperaturilor de-a lungul țevii de apă rece (schimbător de căldură) , crește spre ieșire. Cea mai mare viteză de curgere a apei reci a fost de 0,71 m / s cu cel mai mic randament de 32%, viteza cea mai mică a fost de 0,46 m / s, cu cel mai mare

randament de 48%, Diferența de viteză a apei gri Q2, Q1 și Q3 nu a reprezentat o influență importantă asupra randamentului transferului de căldură, a se vedea imaginea 5-5.

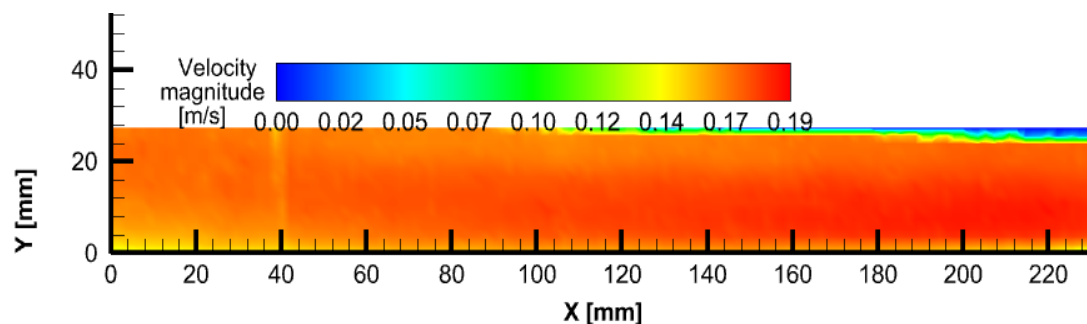


Imaginea 5-5. Relația dintre randament și vitezele de curgere ale apei calde pentru trei viteze de curgere ale apei gri, folosind serpentina elicoidală când laserul este amplasat între țevi.

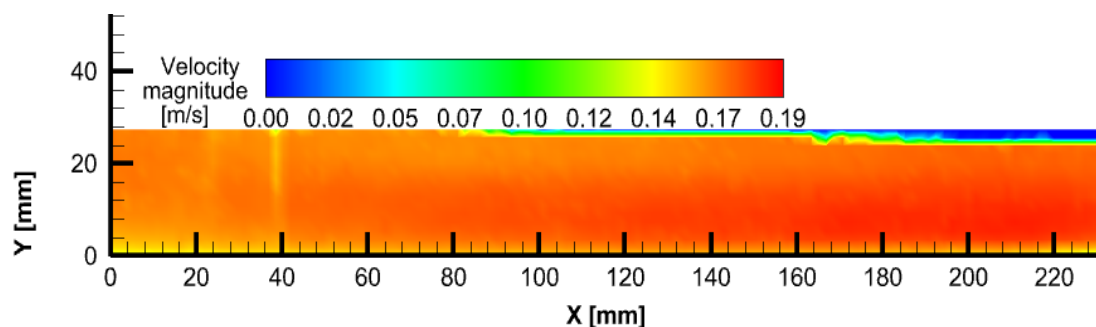
5.5 Rezultate PIV

Această parte a documentului a prezentat rezultatele obținute utilizând sistemul PIV.

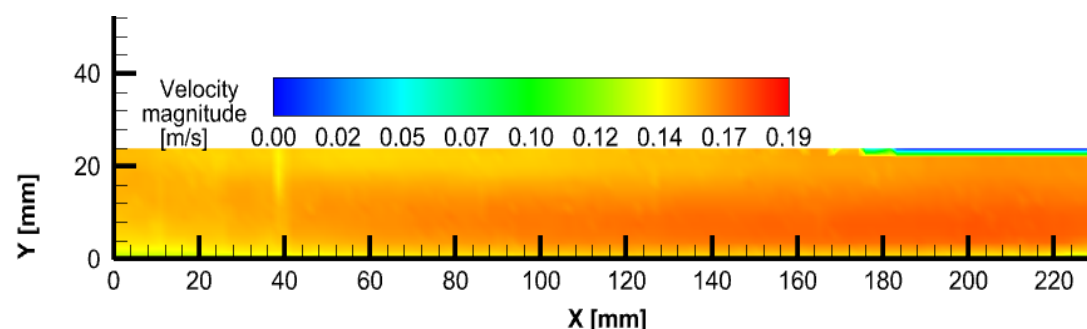
În imaginea (5-6) sunt prezentate hărțile de distribuție a vitezei obținute pe centrul țevii din cupru netede. Nivelul suprafeței libere scade cu un centimetru în cazul Q3 (imaginea 5-6 c), comparativ cu celelalte cazuri. De asemenea, harta culorilor arată că vitezele sunt mai mici în acest caz. Între Q1 și Q2, diferența culorii de pe hartă este foarte nesemnificativă, cu toate acestea, suprafața liberă este mai mare pentru Q2, comparativ cu Q1, datorită debitului mai mic.



a)



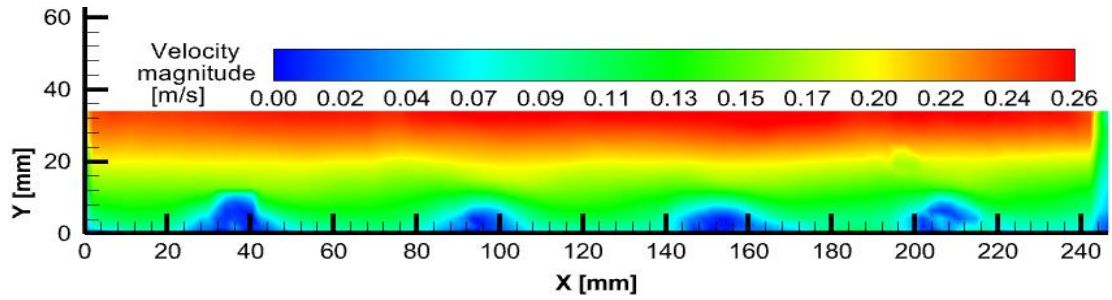
b)



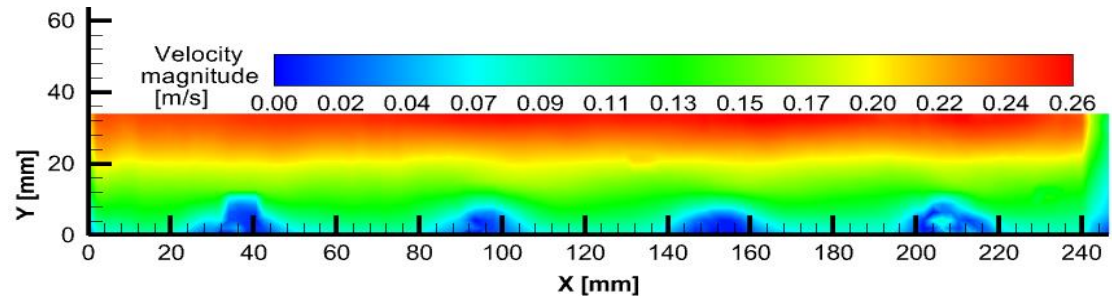
c)

Imaginea 5-6 Hărți de distribuție a vitezei de curgere înregistrate în țeava din cupru netedă pentru a) Q1, b) Q2, c) Q3.

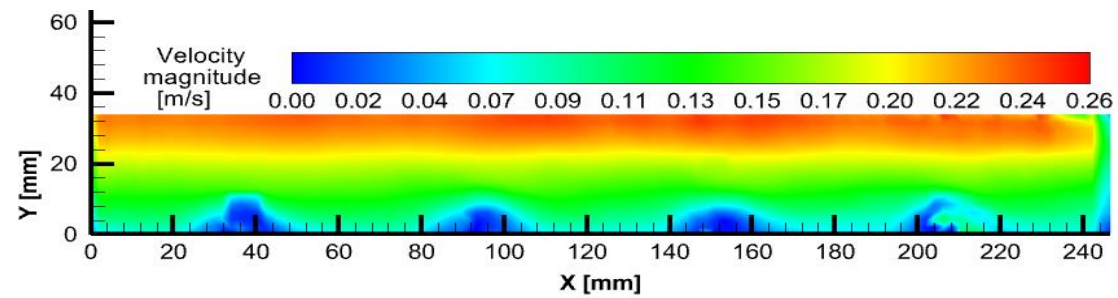
În comparație cu cazurile în care s-au utilizat țevi netede, cazul în care s-a utilizat serpentina elicoidală furnizează o distribuție a vitezei de curgere foarte neuniformă, viteza mai mare fiind înregistrată pe suprafața liberă superioară, în timp ce se obține o viteză mai mică în regiunea aripilor (serpentină). Înălțimile albastre din partea de jos a imaginilor reprezintă geometria aripilor. Observăm că viteza va scădea pe țevile elicoidale, în special în zona înconjurătoare a conductelor din cupru, viteza cea mai mică Q3 comparând cu Q2, Q1 așa cum se arată în imaginea 5-7.



a)



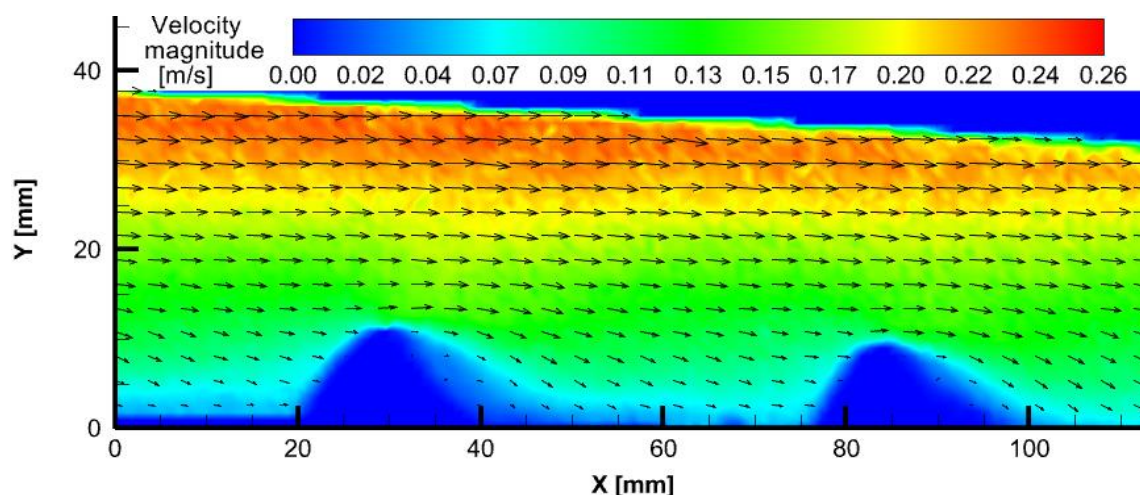
b)



c)

Imaginea 5-7. Hărți de distribuție a vitezei de curgere înregistrată în țeava din cupru cu serpentină elicoidală pentru a) Q1, b) Q2, c) Q3.

Imaginile (5-8) sunt reprezentate de distribuția hărții vectoriale, o remarcă importantă este cu privire la vârtejurile formate în spatele aripilor. În jumătatea superioară a hărții, viteza pe axa x este dominantă, astfel încât majoritatea acestor vectori sunt orientați către ieșire. Scăzând, celelalte două componente ale vitezei de curgere au o influență mai mare, ducând la zone de stagnare.



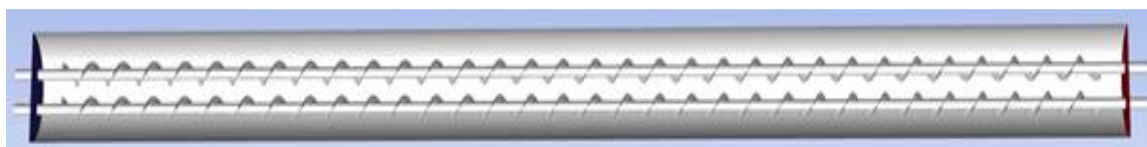
Imaginea 5-8. Harta de distribuție a vitezei de curgere focusată și distribuția vectorului în țeava din cupru cu serpentină elicoidală pentru Q2 a apei gri cu q2 a apei reci.

6 Model numeric

Geometriile au fost create în SolidWorks și apoi au fost importate în DesignModeler sub software Ansys Workbench 19.2. În imaginea 6-1 se poate vedea o geometrie regulată, iar în figura 6-1b este prezentată nouă geometrie elicoidală. În această etapă, geometria a fost pregătită pentru simularea numerică.



a)



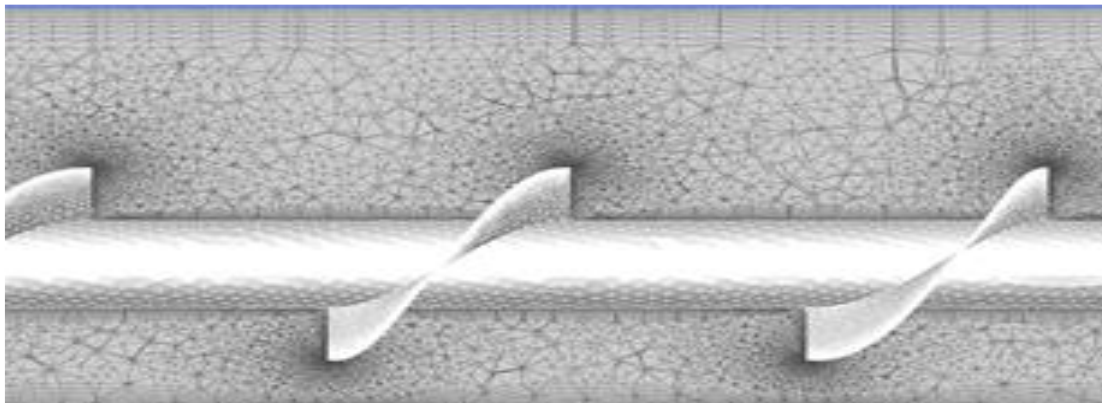
b)

Imaginea 6-1. Geometriile a) Geometrie normală pentru schimbătorul de căldură, b) Noua geometrie elicoidală pentru schimbătorul de căldură.

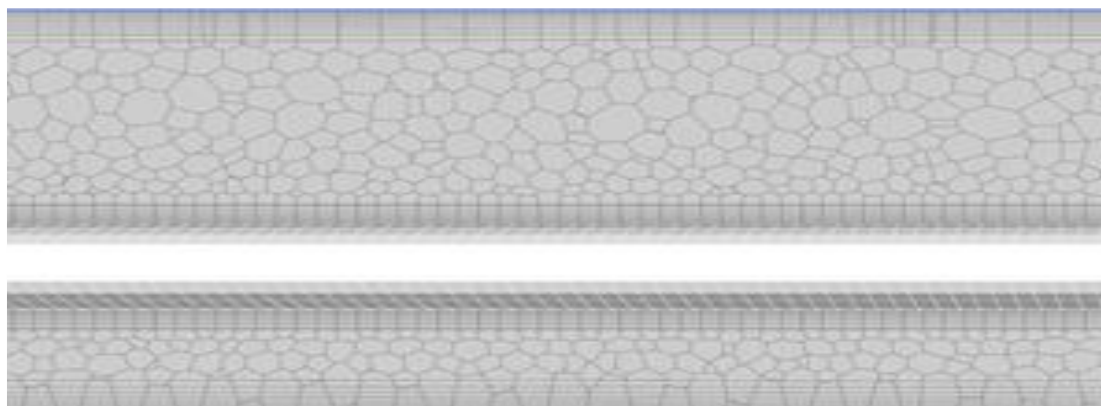
Grila numerică a fost creată pentru ambele cazuri studiate în rețeaua Ansys. Dat fiind faptul că geometria elicoidală este foarte complexă, în principal datorită grosimii foarte reduse a aripioarelor elicoidale (0,4 mm), numărul elementelor

necesare simulării numerice a fost de 102 milioane de elemente (a se vedea imaginea 6-2a). A fost efectuat un test de independență a ochiurilor pentru această geometrie (60, 102, 122 milioane de celule tetraedrice). Principala dificultate în crearea rețelei a fost legată, așa cum sa afirmat mai devreme din cauza grosimii foarte reduse a aripioarelor helicoidale. Deoarece aripa helicoidală provoacă perturbarea fluxului, a fost nevoie de crearea unei rețele foarte bune în jurul marginii ascuțite a aripioarei. De asemenea, a fost creat un strat limită de opt celule pe toți pereții din geometria studiată. Datorită geometriei lungi, acest lucru a cauzat creșterea numărului de celule. Am creat mai multe ochiuri cu un număr redus de celule, dar nu au fost potrivite pentru simularea numerică.

Grila numerică pentru geometria regulată a fost mult mai ușor de generat, deoarece nu are nicio complicație. Datorită simplității geometriei, a fost posibilă chiar crearea unei rețele poliedrică în acest caz (a se vedea imaginea 6-2b). În acest caz, a fost efectuat și un test de independență a rețelei care a relevat că grila numerică de 2,66 milioane de celule poliedrice era adecvată pentru acest caz (dintre 1,2, 1,8, 2,66, 3,8 milioane de celule poliedrice). De asemenea, a fost creat un strat limită de opt celule pe toți pereții din geometria studiată.



a)

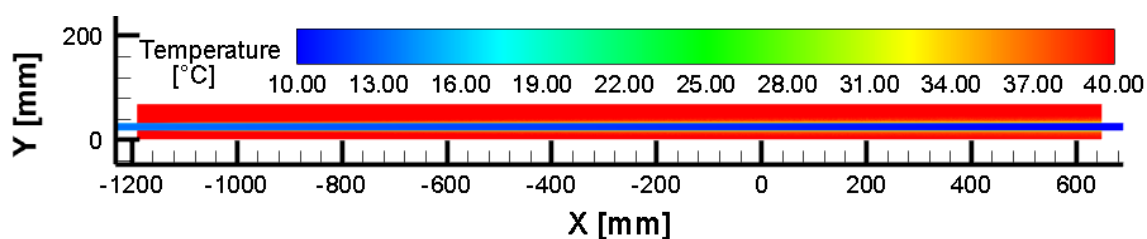


b)

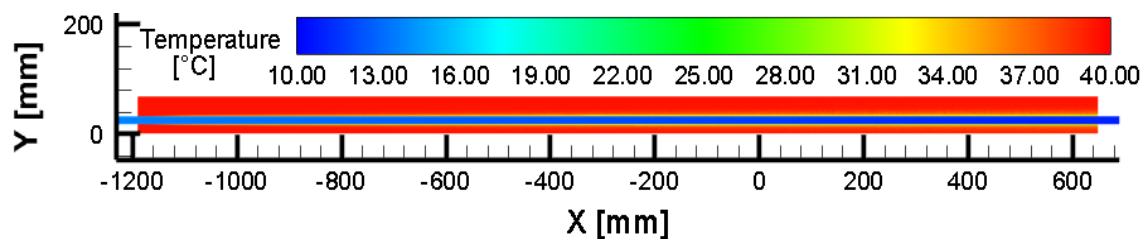
Imaginea 6-2. Detaliile rețelei; a) Detalii grilă numerică pentru cazul elicoidal, b) Detalii grilă numerică pentru cazul obișnuit.

Simulările numerice au fost efectuate în Ansys Fluent 19.2. Modelul de turbulență utilizat pentru simularea numerică a fost SST k- ω datorită capacității mari a acestui model de a simula cu exactitate fluxul atât în stratul limită, cât și în câmpul îndepărtat [34]. Numărul y^+ a avut valori sub 5 pe toate suprafețele peretelui din câmpul studiat, considerat acceptabil în momentul utilizării modelului de turbulență SST k- ω [35].

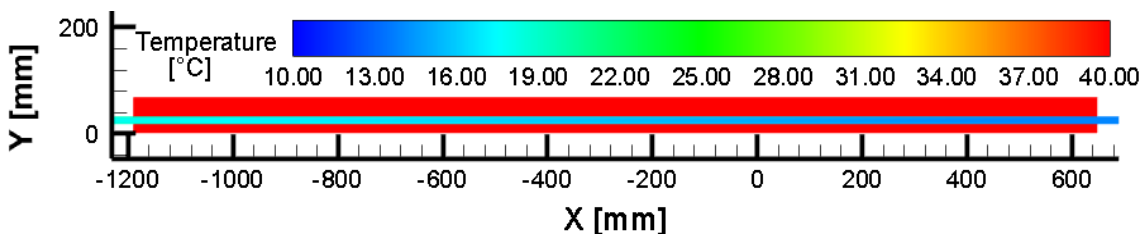
Distribuția temperaturii obținută pe conducta netedă din cupru și de-a lungul modelului numeric este prezentată în această imagine (6-3), temperatura este cea mai scăzută la intrare și scade la ieșire, temperatura apei reci crește la ieșire, datorită recuperării căldurii (transfer de căldură de la apă caldă gri la apă rece).



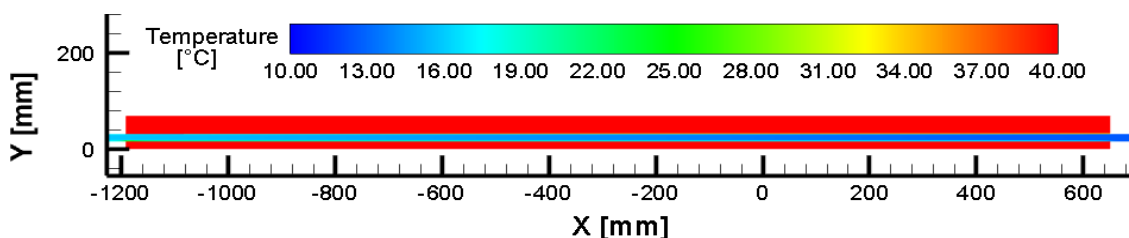
a)



b)



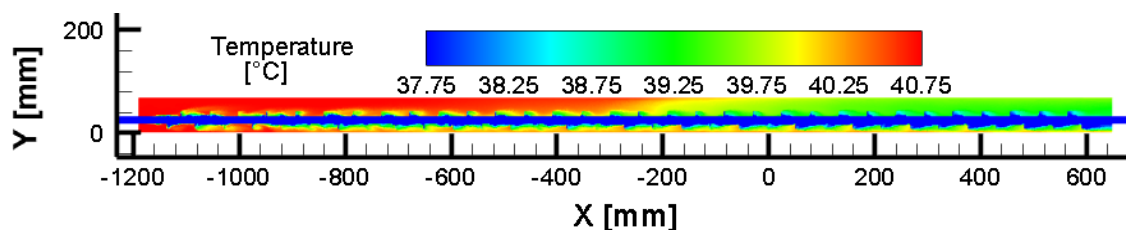
c)



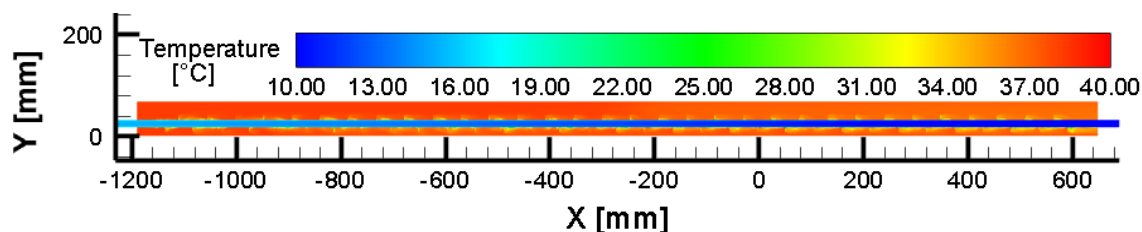
d)

Imaginea 6-3. Distribuția temperaturii pe conducta netedă de cupru și de-a lungul modelului numeric pentru a) Q1 atunci când laserul a fost amplasat între țevile din cupru, b) Q3 când laserul a fost amplasat între țevile din cupru. c) Q1 Când laserul este amplasat pe țeavă, d) Q3 Când laserul este amplasat pe țeavă.

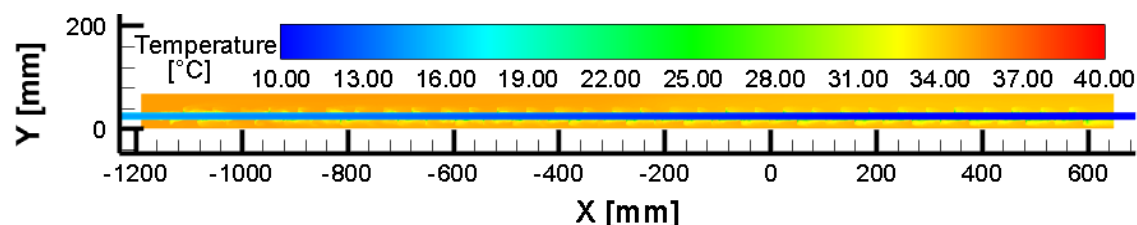
Distribuția temperaturii obținută pe țeava din cupru cu serpentină elicoidală și de-a lungul modelului numeric este prezentată în această imagine (6-4), temperatura este cea mai mare la intrare și scade la ieșire, temperatura apei reci crește la ieșire, datorită recuperării căldurii (transferul de căldură de la apă caldă gri la apă rece).



a)



b)



c)

Imaginea 6-4. Distribuția temperaturii pe țeava din cupru cu serpentină elicoidală și de-a lungul modelului numeric pentru a) Q1 când laserul a fost amplasat între țevile din cupru, b) Q3 când laserul a fost amplasat între țevile din cupru. c) Q1 Când laserul este amplasat pe țeavă, d) Q3 Când laserul este amplasat pe țeavă.

7 Concluzii

Prin primul Exp. din experiment, concluzionăm că modificarea vitezei apei reci afectează randamentul ratei de transfer de căldură, unde viteza maximă de curgere a fost de 1,99 m / s cu cel mai mic randament de 13%, iar viteza minimă de curgere a fost de 0,28 m / s cu cel mai mare randament de 27%. Prin urmare, atunci când viteza apei reci scade, duce la creșterea randamentului transferului de căldură (eficiență).

Distribuția temperaturii de-a lungul țevii de apă rece (schimbătorul de căldură) crește spre ieșire, cu toate vitezele de curgere ale apei reci. Aceste rezultate indică faptul că randamentul recuperării căldurii crește ori de câte ori crește lungimea țevii (Exp. 2, 3 și 4).

Modificarea vitezei apei reci afectează randamentul ratei de transfer a căldurii, unde viteza maximă dă cea mai mică eficiență, iar viteza minimă furnizează cel mai mare randament. Prin urmare, atunci când viteza apei reci scade, duce la creșterea randamentului transferului de căldură (eficiență). (În toate experimentele).

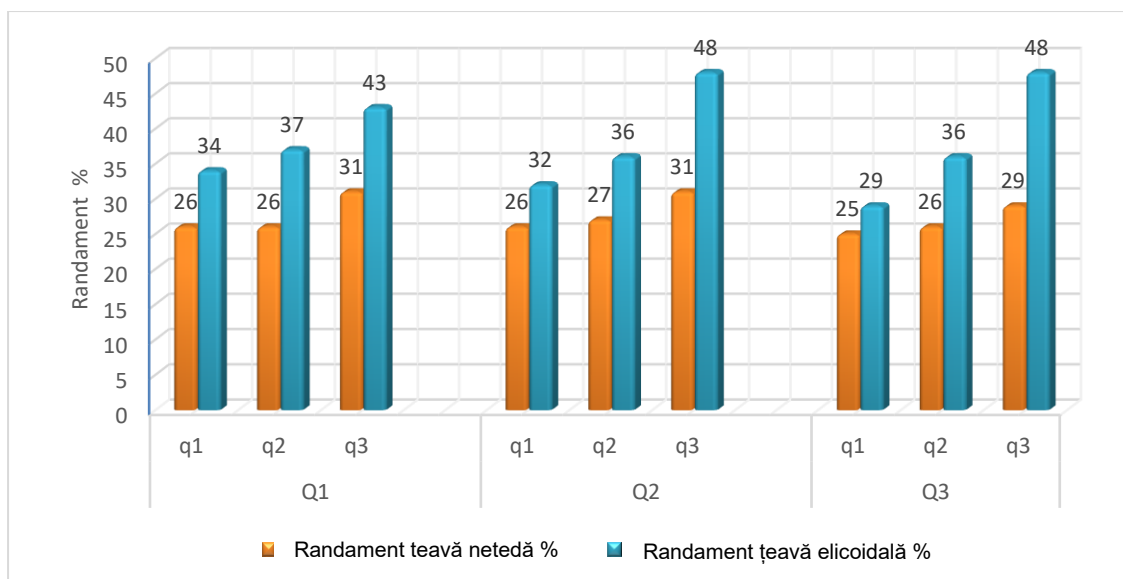
Diferența de viteză de curgere a apei gri, Q2, Q1 și Q3 nu a reprezentat o influență importantă asupra randamentului transferului de căldură, motivul pentru acest lucru fiind aparent simpla diferență a vitezei de intrare.

Există o diferență simplă în viteza de curgere a apei reci, principalul motiv pentru aceasta fiind oscilația fluxului de apă rece, care este legată la rețeaua clădirii laboratorului, unde atunci când se utilizează apa în altă parte ca utilizarea ciclului apei, care duce la reducerea viteza apei reci din experiment, apoi crește și revine la stabilitate.

Rezultatele experimentelor comparate între țevile netede (Exp. 3) și cu țevi elicoidale (Exp. 4), prezentate în tabelul 6, care arată rezultatele introducerii unei serpentine (țevă elicoidală) la schimbătorul de căldură, duce la o creșterea eficacității conductivității transferului de căldură, unde proporția a variat creșterea randamentului de 10-19% în comparație cu țevile netede a se vedea imaginea 6-5.

Tabelul 7-1: Compararea randamentului ratei transferului de căldură al țevii netede și țevii cu serpentină.

VITEZĂ DE CURGERE APĂ GRI	VITEZĂ DE CURGERE APĂ RECE	ȚEAVĂ NETEDĂ	ȚEAVĂ ELICOIDALĂ
		Randament%	Randament%
Q1	q1	26	34
	q2	26	37
	q3	31	43
Q2	q1	26	32
	q2	27	36
	q3	31	48
Q3	q1	25	29
	q2	26	36
	q3	29	48

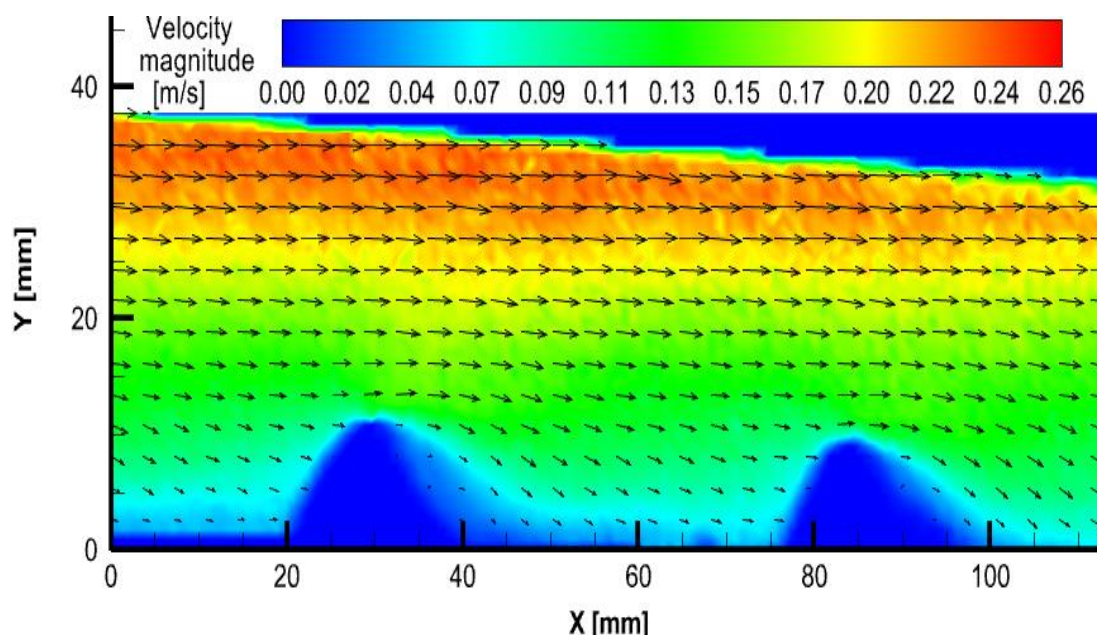


Imaginea 7-1. Comparația randamentului transferului de căldură între țeava netedă în al treilea Exp. și țeava elicoidală în al patrulea Exp. pentru sistemul de recuperare a căldurii.

Rezultatele tehnicii PIV sunt comparate în cazurile cu țevi netede, cazul țevilor cu serpentină elicoidală oferă o distribuție a vitezei foarte neuniformă, viteza mai mare fiind înregistrată pe suprafața liberă superioară, în timp ce o viteză mai mică se obține în regiunea aripilor (serpentină). Viteza de curgere va scădea în apropierea serpentinei din cauza impactului pe care îl are asupra vitezei apei gri, cea mai mică viteză la Q3 în comparație cu Q2, Q1.

Distribuția hărții vitezei de curgere pentru cazul în care debitul de apă gri este Q2 (valoarea debitului) și avem q1, q2, q3, pentru apa rece. Privind aceste rezultate din tehnica PIV se poate concluziona că temperaturii debitului apei reci nu are efect asupra distribuției vitezei apei gri.

Distribuția hărții vectoriale, o remarcă importantă se referă la vârtejurile formate în spatele aripilor. În jumătatea superioară a hărții, viteza de curgere pe axa x este dominantă, astfel încât majoritatea acestor vectori sunt direcționați către ieșire. Scăzând, celelalte două componente ale vitezei de curgere au o influență mai mare, ducând la zone de stagnare a se vedea imaginea (6-6).



Imaginea 7-2. Harta distribuției vitezei focusate și distribuția vectorială a țevii din cupru cu serpentine elicoidală pentru Q2 pentru apă gri cu q2 pentru apă rece

Distribuția temperaturii obținută între țevile netede din cupru și de-a lungul modelului numeric, **temperatura este cea mai mare la intrare și scade la ieșire datorită recuperării de căldură (transfer de căldură de la apa gri caldă la apa rece).**

Distribuția temperaturii obținută pe țevile netede din cupru și de-a lungul modelului numeric, **temperatura este cea mai mare la intrare și scade la ieșire, temperatura apei reci crește la ieșire, datorită recuperării de căldură (transfer de căldură de la apa gri caldă la apa rece).**

Rezultatele distribuției temperaturii în locațiile termocupleurilor au fost obținute prin simulare numerică și experiment, distribuția vitezei de curgere pe țevile din cupru și între acestea a fost obținută prin simulare numerică și experimentul tehnicii PIV, iar rezultatele experimentale sunt în concordanță cu simularea numerică.

Schimbătorul de căldură dublu împarte debitul în două țevi, reducând viteza de curgere și îmbunătățind randamentul transferului de căldură.

Această metodă este ușor de utilizat și are costuri reduse de implementare. Poate fi planificată și instalată în subsolul clădirilor cu mai multe etaje.

Referinte

1. Commission, E., *Energy roadmap 2050*. 2012: Publications Office of the European Union.
2. Wallin, J. and J. Claesson, *Investigating the efficiency of a vertical inline drain water heat recovery heat exchanger in a system boosted with a heat pump*. Energy and Buildings, 2014. **80**: p. 7-16.
3. Johnson, *Domestic Energy End Use and Sustainability* 2005, University of Cambridge The ImpEE Project.
4. Wong, L., K. Mui, and Y. Guan, *Shower water heat recovery in high-rise residential buildings of Hong Kong*. Applied Energy, 2010. **87**(2): p. 703-709.
5. Prado, R.T. and O.M. Gonçalves, *Water heating through electric shower and energy demand*. Energy and buildings, 1998. **29**(1): p. 77-82.
6. Change, U.D.o.E.a.C., *Household End Use Energy Consumption* (2009)
7. Meggers, F. and H. Leibundgut, *The potential of wastewater heat and exergy: Decentralized high-temperature recovery with a heat pump*. Energy and Buildings, 2011. **43**(4): p. 879-886.
8. Bertrand, A., et al., *Characterisation of domestic hot water end-uses for integrated urban thermal energy assessment and optimisation*. Applied Energy, 2017. **186**: p. 152-166.
9. Stec, A., A. Mazur, and D. Słyś. *Evaluating the financial efficiency of energy and water saving installations in passive house*. in *E3S Web of Conferences*. 2017. EDP Sciences.
10. Bertrand, A., R. Aggoune, and F. Maréchal, *In-building waste water heat recovery: An urban-scale method for the characterisation of water streams and the assessment of energy savings and costs*. Applied Energy, 2017. **192**: p. 110-125.
11. Spriet, J. and A. McNabola, *Decentralized drain water heat recovery: A probabilistic method for prediction of wastewater and heating system interaction*. Energy and Buildings, 2019. **183**: p. 684-696.
12. Akbarzadeh, P., et al., *A new approach to numerical investigation of GFX and power-pipe drain water heat recovery (DWHR) systems in buildings*. Heat Transfer Research, 2018. **49**(14).
13. Hoak, D.E., et al., *How energy efficient are modern dishwashers*. Florida Solar Energy Center. August, 2008.
14. Persson, T., *Dishwasher and washing machine heated by a hot water circulation loop*. Applied thermal engineering, 2007. **27**(1): p. 120-128.
15. Jeong, S.W. and D.H. Lee, *Drying performance of a dishwasher with internal air circulation*. Korean Journal of Chemical Engineering, 2014. **31**(9): p. 1518-1521.
16. De Paepe, M., et al., *Heat recovery system for dishwashers*. Applied Thermal Engineering, 2003. **23**(6): p. 743-756.
17. Saker, D., et al., *Assessing the benefits of domestic hot fill washing appliances*. Energy and Buildings, 2015. **93**: p. 282-294.
18. Persson, T. and M. Rönnelid, *Increasing solar gains by using hot water to heat dishwashers and washing machines*. Applied thermal engineering, 2007. **27**(2-3): p. 646-657.

19. Bengtsson, P., J. Berghel, and R. Renström, *A household dishwasher heated by a heat pump system using an energy storage unit with water as the heat source*. International Journal of Refrigeration, 2015. **49**: p. 19-27.
20. Lin, S., J. Broadbent, and R. McGlen, *Numerical study of heat pipe application in heat recovery systems*. Applied Thermal Engineering, 2005. **25**(1): p. 127-133.
21. Hauer, A. and F. Fischer, *Open adsorption system for an energy efficient dishwasher*. Chemie Ingenieur Technik, 2011. **83**(1-2): p. 61-66.
22. Pakula, C. and R. Stamminger, *Electricity and water consumption for laundry washing by washing machine worldwide*. Energy efficiency, 2010. **3**(4): p. 365-382.
23. Sun, F.T., et al. *Waste heat recovery systems of shampoo drain water from barbershops*. in *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Trans Tech Publ.
24. Ramadan, M. and M. Khaled, *Recovering heat from hot drain water—Experimental evaluation, parametric analysis and new calculation procedure*. Energy and Buildings, 2016. **128**: p. 575-582.
25. Shields, K., *Drain water heat recovery*. 2011, Trinity College Dublin.
26. McNabola, A. and K. Shields, *Efficient drain water heat recovery in horizontal domestic shower drains*. Energy and Buildings, 2013. **59**: p. 44-49.
27. Guo, Z.-Y., W.-Q. Tao, and R. Shah, *The field synergy (coordination) principle and its applications in enhancing single phase convective heat transfer*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2005. **48**(9): p. 1797-1807.
28. Pochwat, K., et al., *Comparison of two-prototype near-horizontal Drain Water Heat Recovery units on the basis of effectiveness*. Energy, 2019. **173**: p. 1196-1207.
29. Company, G.E., *Transport® PT900 Portable Ultrasonic Flow Meter for Liquids*. 2017.
30. Nastase, I. and A. Meslem, *Vortex dynamics and entrainment mechanisms in low Reynolds orifice jets*. Journal of visualization, 2008. **11**(4): p. 309-318.
31. Nastase, I., A. Meslem, and T. Bouwmans, *Vortical structures analysis in jet flows using a classical 2D-PIV system and time resolved visualization image processing*. Journal of Flow Visualization and Image Processing, 2008. **15**(4).
32. Nastase, I., et al., *Lobed grilles for high mixing ventilation—An experimental analysis in a full scale model room*. Building and Environment, 2011. **46**(3): p. 547-555.
33. dynamic, D., *Flowsense EO camera series 305*. p. 4.
34. Bode, F., et al., *Numerical prediction of wall shear rate in impinging cross-shaped jet at moderate Reynolds number*. Scientific Bulletin-University Politehnica of Bucharest, Series D: Mechanical Engineering, 2014. **76**(12): p. 8.
35. Bode, F., et al., *Flow and wall shear rate analysis for a cruciform jet impacting on a plate at short distance*. Progress in Computational Fluid Dynamics, An International Journal, 2020. **20**(3): p. 169-185.