

STUDIUL UNEI POMPE DE CĂLDURĂ

1. Scopul lucrării

În lucrare se urmărește observarea funcționării unei pompe de căldură și a unui încălzitor electric. Citirea unui contor electric și transformarea energiei consumate într-un timp dat din kWh în J. Se cere determinarea capacității calorice a unui lichid (uleiul), eficiența ciclului masinii termice și a pompei de caldură.

2. Considerații teoretice

Analiza ciclului Carnot direct și invers ne arată că pe lângă posibilitatea transformării căldurii în lucru mecanic, fenomen care apare în motoarele termice, există și posibilitatea transferului căldurii de la un rezervor mai rece la unul mai cald. Această posibilitate se realizează practic prin cicluri termice inversate, în instalații frigorifice și în pompele de căldură, evident cu consum de energie.

În cazul ideal, al unui ciclu Carnot inversat agentul de lucru, un gaz perfect într-un corp de pompă, suferă succesiv următoarele transformări (vezi Fig. 1): i) 1-2: o destindere izotermă la temperatura rezervorului rece T_r în care

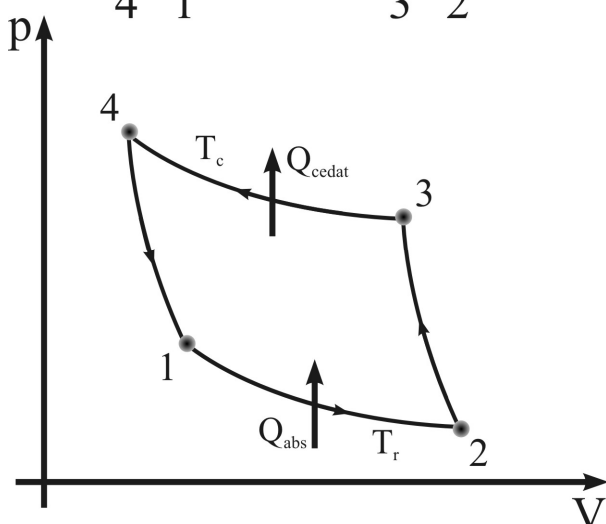
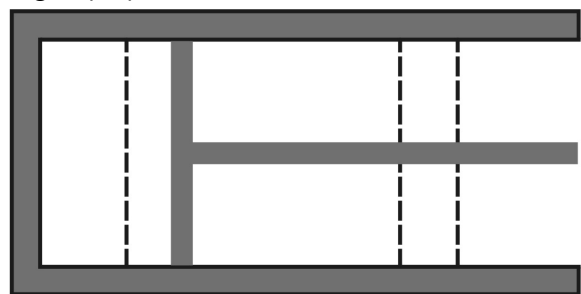


Figura 1.

se absoarbe o cantitate de căldură Q_{abs} ; ii) 2-3: o comprimare adiabatică în care agentul își ridică temperatura la valoarea T_c a rezervorului cald; iii) 3-4: o comprimare izotermă la temperatura T_c în care se cedează rezervorului cald o cantitate de căldură Q_{ced} ; iv) 4-1: o destindere adiabatică care încheie ciclul.

Între cantitățile de căldură absorbită și cedată și temperaturile rece și caldă, la care au loc transformările izoterme cvasistatice reversibile există o relație de proporționalitate directă:

$$\frac{Q_{abs}}{Q_{ced}} = \frac{T_r}{T_c}. \quad (1)$$

Din analiza ciclului Carnot inversat rezultă că, fără consum de lucru mecanic este imposibil să transferăm căldură de la un corp mai rece la unul mai cald. Lucrul

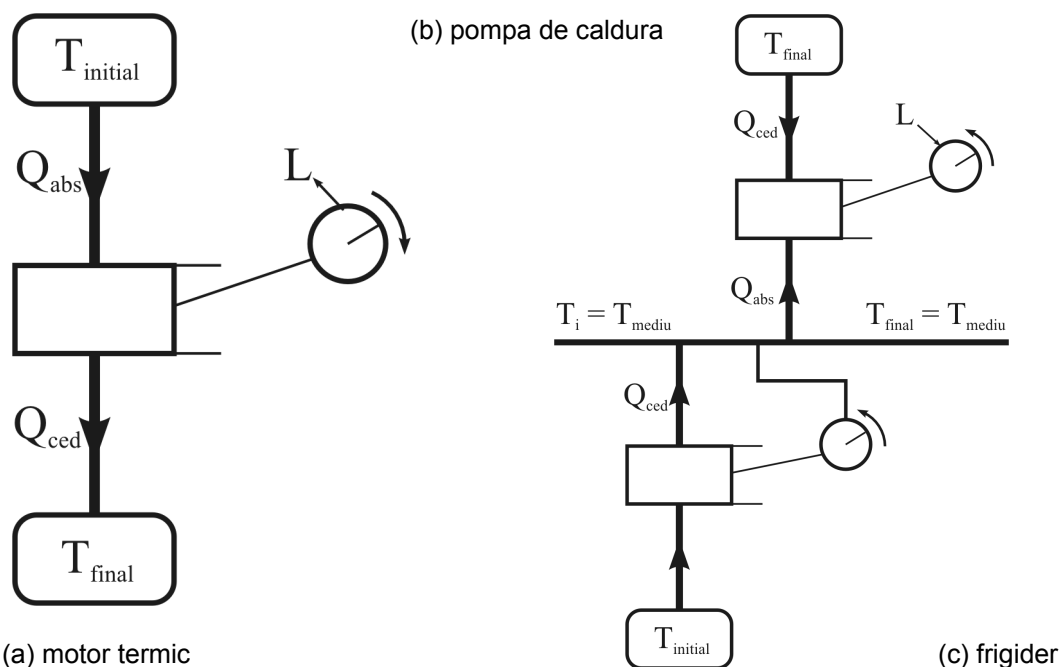


Figura 2

meccanic net cheltuit în ciclul Carnot inversat este:

$$L = Q_{ced} - Q_{abs} \quad (2)$$

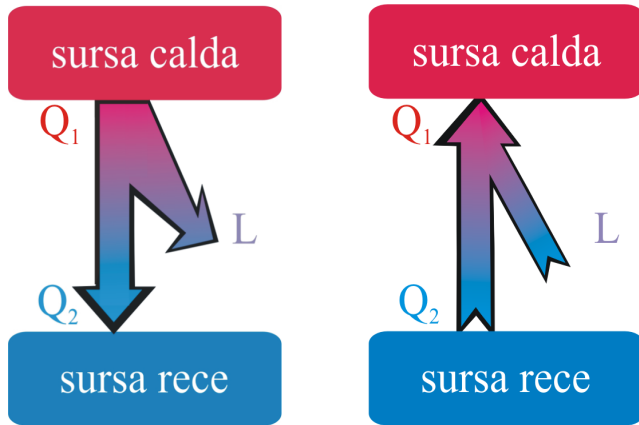
Frigiderele și pompele de căldură diferă între ele prin faptul că frigiderele întrețin într-o încălță o temperatură T_r mai coborâtă decăt temperatura T_c a mediului înconjurător, în timp ce pompele de căldură transferă unei încălțe aflată la o temperatură mai mare decăt cea a mediului înconjurător cantități de căldură suplimentare preluate de la surse mai reci. În Figura 2 se poate observa, principiul de funcționare, transferul de căldură, lucrul mecanic implicat și temperaturile rezervoarelor între care are loc transferul de căldură pentru motoarele termice (a), pompe de căldură (b) și frigidere (c).

Dacă în cazul motoarelor termice aprecierea eficacității acestora se face prin raportarea la randamentul ciclului Carnot direct:

$$\eta = \frac{L}{Q_{abs}} = \frac{Q_{abs} - Q_{ced}}{Q_{abs}} = \frac{T_c - T_r}{T_c}, \quad (3)$$

în cazul pompelor de căldură și frigiderele există un alt indicator numit **eficiență**.

Pentru pompele de căldură eficiența se definește ca raportul dintre cantitatea de căldură cedată încălței calde și lucrul mecanic cheltuit, deci pentru ciclul Carnot inversat eficiența este dată de:



motor termic

$$\eta = \frac{L}{Q_1}$$

frigider
pompa de
caldura

$$\varepsilon = \frac{Q_1}{Q_2}$$

Figura 3

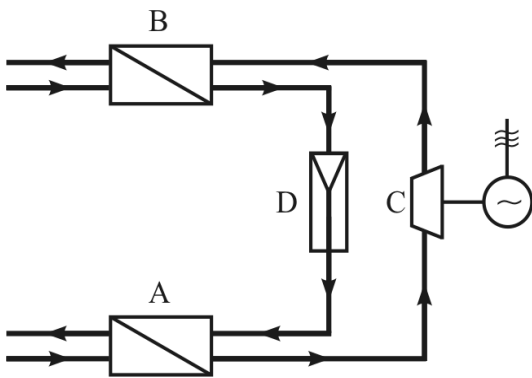


Figura 4

$$\varepsilon = \frac{Q_{ced}}{L} = \frac{Q_{ced}}{Q_{ced} - Q_{abs}} = \frac{1}{1 - \frac{Q_{abs}}{Q_{ced}}} = \frac{1}{1 - \frac{T_c}{T_r}} = \frac{T_c}{T_c - T_r} \quad (4)$$

Din această relație rezultă că eficiența este un număr supraunitar ce crește pe măsură ce temperaturile celor două rezervoare sunt mai apropiate.

În Figura 3 se poate urmări bilanțul energetic în cazul motoarelor termice și al pompelor de căldură. Pompele de căldură folosesc ca agent termic aerul sau în general vaporii. În principiu, o pompă de căldură se compune din două schimbătoare de căldură și un compresor.

În Figura 4, A și B reprezintă schimbătoarele de căldură ale incintei mașinii termice cu mediul ambiant, C este compresorul, D este ventilul de laminare (subțiere) a jetului de vaporii sau de turbinare pentru pompele de aer.

Ciclul principal, care stă la baza realizării practice a unei pompe de căldură, prezentat în Figura 5, constă din următoarele transformări succesive pe care le suferă agentul termic: i) 1-2:

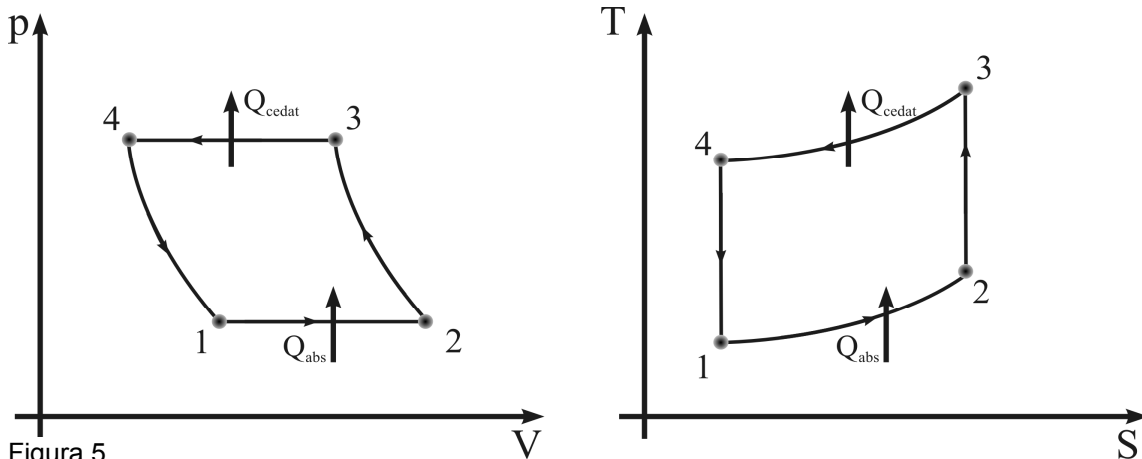


Figura 5

destindere însoțită de răcire și absorbție de căldură din mediu (schimbătorul de căldură A); ii) 2-3: o comprimare adiabatică unde agentul intră încălzit în schimbătorul B; iii) 3-4: o comprimare izobară pe durata căreia se cedează căldură incintei (schimbătorul B) și iv) 4-1: o destindere adiabatică. În cazul unui ciclu ideal (transformări cvasistatice) eficiența se stabilește a fi cea teoretică:

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{ced}}}{L} = \frac{Q_{\text{ced}}}{Q_{\text{ced}} - Q_{\text{abs}}} = \frac{mc_p(T_3 - T_4)}{mc_p(T_3 - T_4) - mc_p(T_2 - T_1)} = \frac{1}{1 - \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_4}}. \quad (5)$$

Deoarece pentru cele două transformări adiabatică avem relațiile:

$$\frac{T_2}{T_3} = \frac{T_1}{T_4} = \left(\frac{p_{\min}}{p_{\max}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \text{și} \quad \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_4} = \frac{T_1}{T_4} = \frac{T_2}{T_3} \quad (6)$$

atunci pentru eficiență obținem:

$$\varepsilon = \frac{1}{1 - \left(\frac{p_{\min}}{p_{\max}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} = \frac{T_4}{T_3 - T_1} = \frac{T_3}{T_3 - T_2}. \quad (7)$$

Din această relație rezultă că întotdeauna eficiența este mai mare decât unitatea. Eficiența ciclurilor reale este mai mică decât a celor ideale datorită: i) pierderilor din compresor și din sistemul de destindere; ii) transferul din schimbătoarele de căldură nu se face izobar, ci cu pierderi de presiune; iii) agentul termic nu este un gaz ideal și iv) la pompele de căldură cu aer, datorită capacității calorice reduse a aerului, se folosește un ciclu deschis.

În scopul conservării agentului termic, pompele de căldură cu vapori lucrează întotdeauna cu un ciclu închis. În acest caz vaporii aspirați la presiunea p_{\min} de compresor sunt apoi comprimați până la presiunea p_{\max} când se condensează în schimbătorul B (condensatorul) cedând căldura Q_{ced} . Trecând ventilul de laminare D, lichidul își reduce presiunea la p_{\min} ajungând în evaporatorul A, unde va absorbi o cantitate de căldură de la mediul rece. Datorită tranzițiilor de fază, condensare și vaporizare, capacitatea termică a agentului este mult sporită iar pompele de căldură cu vapori au un debit mult mai mic în comparație cu pompele de căldură cu aer.

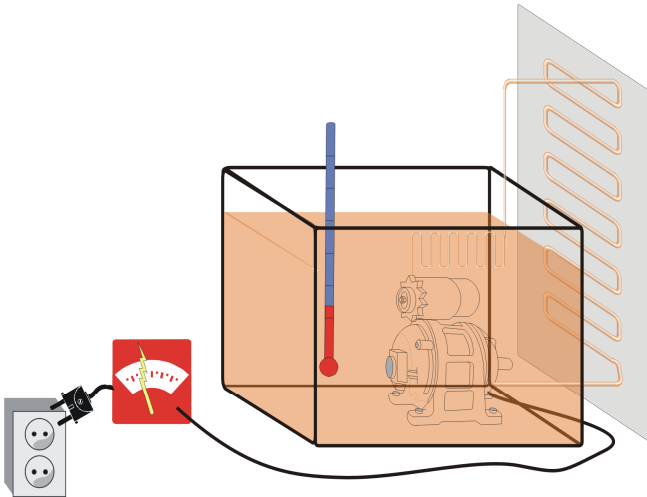
3. Aplicații

Sisteme de încălzire și răcire pe bază de pompe de căldură: frigidere, congelatoare, aparate de aer condiționat și invertoare de căldură. Agenții termici sunt de categoria freonilor (CH_2Cl_2 , CF_2Cl_2 , ...). Sursa rece o constituie de obicei apa unor râuri. Posibilitățile de lucru și locurile de utilizare vor avea în vedere o eficiență reală care este necesar să fie mult mai mare ca unitatea.

4. Metodica experimentală

4.1. Montajul experimental

Pompa de căldură care urmează a fi studiată a fost realizată folosind instalația de producere a frigului de la un frigider cu compresor (vezi Fig. 6). Evaporatorul a fost desfăcut și plasat în aer pe un stativ vertical, iar condensatorul a fost înlocuit cu o țevă de cupru în serpentină, introdusă într-un calorimetru. Compresorul, alimentat de la rețeaua de 220 V printr-un contor electric, consumă o energie electrică ΔE necesară pentru ca uleiul din calorimetru să primească o cantitate de căldură:



$$Q_{\text{ced}} = C\Delta T, \quad (8)$$

unde C este capacitatea calorică a uleiului și calorimetrului, iar $\Delta T = T_{\text{final}} - T_{\text{inițial}}$.

Figura 6

Pentru a determina capacitatea calorică a uleiului se folosește un încălzitor electric. Aceasta este dată de expresia:

$$C = \frac{I^2 R}{\Delta T_0} = \frac{\Delta E_0}{\Delta T_0}, \quad (9)$$

unde ΔE_0 este energia electrică consumată de încălzitorul electric în intervalul de timp t_0 . Eficiența globală se va calcula cu relația:

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{ced}}}{\Delta E} = \frac{C\Delta T}{\Delta E} = \frac{\Delta E_0}{\Delta T_0} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta E}. \quad (10)$$

4.2. Modul de lucru

1. Se verifică nivelul uleiului din calorimetru, se măsoară temperatura și se citește poziția contorului de energie.
2. Privind ceasul, se conectează la rețea compresorul pompei de căldură. După 8 minute se oprește compresorul și se citește temperatura și poziția contorului de energie.
3. Se scoate compresorul din priză și se citește temperatura uleiului și poziția contorului. Privind ceasul, se conectează la rețea încălzitorul electric (termoplonjonul). După 4 minute se citește temperatura și poziția contorului și se scoate încălzitorul electric din priză.

Studiul unei pompe de căldură

4. Din citirile de mai sus se determină energia ΔE_0 transformată total în căldură în încălzitor, energia ΔE consumată de motorul compresorului și creșterile de temperatură corespunzătoare.
5. Datele se trec în tabelul de mai jos.

Tabelul 1.

	Încălzitor electric			Pompa de căldură		
Citiri	contor [kWh]	temperatura [°C]	timp [s]	contor [kWh]	temperatura [°C]	timp [s]
Inițiale			0			0
Finale			4×60			8×60
Valori	$\Delta E_0 =$	$\Delta T_0 =$	$t_0 = 240$	$\Delta E =$	$\Delta T =$	$t = 480$
Puterea	$P_0 =$			$P =$		

4.3. Prelucrarea datelor

1. Se determină capacitatea calorică a uleiului:

$$C = \frac{\Delta E_0}{\Delta T_0}. \quad (11)$$

2. Se determină eficiența ε a pompei:

$$\varepsilon = \frac{\Delta E_0}{\Delta T_0} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta E} = C \cdot \frac{\Delta T}{\Delta E}. \quad (12)$$

3. Se determină Q cedat de pompă ($Q_{ced} = \varepsilon \Delta E$).
4. Se determină eficiența ciclului $\varepsilon_0 = \varepsilon / \eta$ (unde $\eta = 0,6$ este randamentul compresorului).
5. Se determină puterile electrice absorbite de la rețea de către încălzitorul electric, P_0 și de către compresor, P , cu ajutorul relațiilor:

$$P_0 = \frac{\Delta E_0}{t_0} \quad \text{și} \quad P = \frac{\Delta E}{t} \quad (13)$$

4.4 Calculul erorilor

Se face folosind relația:

$$\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} = \frac{\delta(\Delta T_0)}{\Delta T_0} + \frac{\delta(\Delta T)}{\Delta T} + \frac{\delta(\Delta E_0)}{\Delta E_0} + \frac{\delta(\Delta E)}{\Delta E} \quad (14)$$