

Sistem de recuperare a căldurii prin preîncălzirea apei de adaus

Într-o instalație de cogenerare cu motor pe gaz metan, în vederea preîncălzirii apei de adaus înainte de tratarea sub vid a acesteia, se prevede utilizarea a două sisteme de recuperare a căldurii, unul recuperează căldura evacuată prin sistemul de răcire a intercooler-ului treapta a II-a, iar al doilea, recuperează căldura evacuată de sistemul de climatizare a camerei electrice.

Observație:

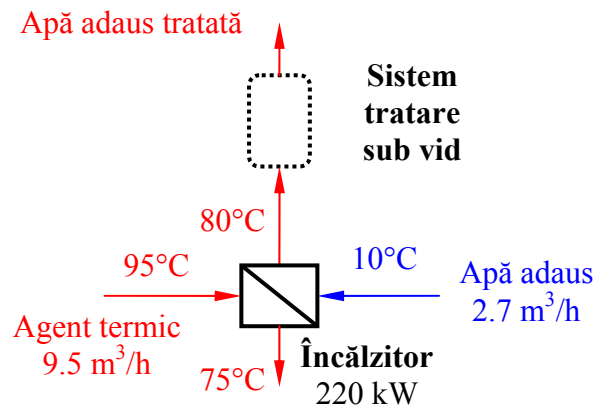
În această instalație, gazul metan (combustibilul) este comprimat în două trepte cu răcire intermediară (intercooler treapta I) și răcire finală (intercooler treapta a II-a).

Sistemul clasic de încălzire și tratare sub vid a apei de adaus

Sistemul de tratare sub vid a apei de adaus, are ca scop degazarea acesteia, respectiv eliminarea gazelor din apa de adaus, iar temperatura apei de adaus, la intrarea în sistemul de tratare sub vid, trebuie să fie corelată cu nivelul vidului din sistemul de tratare sub vid. În condițiile instalației considerate, temperatura apei de adaus, la intrarea în sistemul de tratare sub vid, este de cca. 80°C. Apa de adaus trebuie încălzită într-un încălzitor.

Temă: Să se determine presiunea la care se produce vaporizarea apei la temperatura de 80°C.

Schema sistemului de încălzire și tratare sub vid a apei de adaus, este prezentată în figura alăturată.



Schema sistemului de încălzire și tratare sub vid a apei de adaus

Considerând un debit volumic al apei de adaus $\dot{V}_{ad} = 2.7 \text{ m}^3/\text{h}$, echivalent cu un debit masic $\dot{m}_{ad} = 2.7 \text{ t/h} = 0.75 \text{ kg/s}$, se poate calcula puterea termică a încălzitorului (\dot{Q}_i), considerând variația de temperatură a apei de adaus, în încălzitor $\Delta t_{ad} = 80 - 10 = 70^\circ\text{C}$:

$$\dot{Q}_i = \dot{m}_{ad} \cdot c_w \cdot \Delta t_{ad}$$

Înlocuind valorile numerice se obține:

$$\dot{Q}_i = 0.75 \cdot 4.18 \cdot 70 = 219 \approx 220 \text{ kW}$$

Debitul de agent termic (\dot{m}_{at}) necesar pentru funcționarea încălzitorului este:

$$\dot{m}_{at} = \frac{\dot{Q}_i}{c_w \cdot \Delta t_{at}}$$

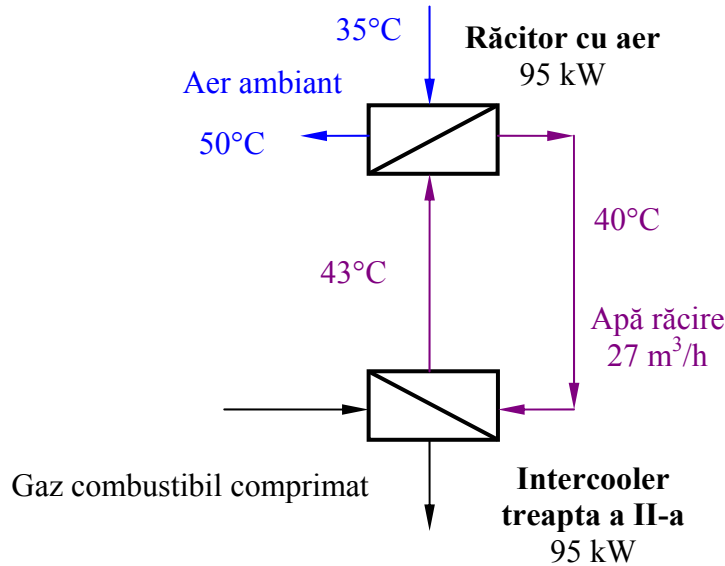
unde $\Delta t_{at} = 95^\circ\text{C} - 75^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C}$ este variația de temperatură a agentului termic utilizat pentru funcționarea încălzitorului.

Înlocuind valorile numerice se obține:

$$\dot{m}_{at} = \frac{220}{4.18 \cdot 20} = 2.63 \text{ kg/s} = 9473 \text{ kg/h} \approx 9500 \text{ kg/h} = 9.5 \text{ t/h} \quad (9.5 \text{ m}^3/\text{h})$$

Sistemul clasic de răcire a intercooler-ului treapta a II-a

Sistemul clasic de răcire a intercooler-ului treapta a II-a presupune evacuarea căldurii în aerul ambiant. Schema sistemului clasic de răcire a intercooler-ului este prezentată în figura alăturată.



Schema sistemului clasic de răcire a intercooler-ului treapta a II-a

Puterea termică evacuată de sistemul clasic de răcire (\dot{Q}_{ev}) se determină cu relația:

$$\dot{Q}_{ev} = \dot{m} \cdot c_w \cdot (t_i - t_e)$$

unde:

$\dot{m} = 27 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1000 \text{ kg}/\text{m}^3 = 27000 \text{ kg}/\text{h} = 7.5 \text{ kg}/\text{s}$ este debitul masic de apă răcire

$c_w = 4.186 \text{ kJ}/\text{kg}$ este căldura specifică a apei de răcire

$t_i = 43^\circ\text{C}$ este temperatura de intrare a apei de răcire în echipamentul răcit

$t_e = 40^\circ\text{C}$ este temperatura de ieșire a apei de răcire din echipamentul răcit

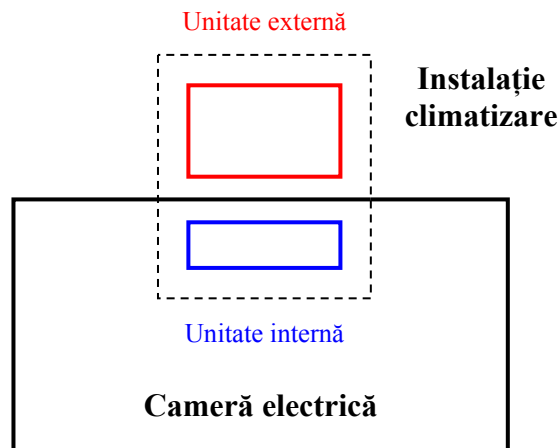
Înlocuind valorile numerice, pentru puterea termică evacuată de sistemul clasic de răcire, se obține:

$$\dot{Q}_{ev} = 7.5 \cdot 4.18 \cdot 3 = 94.05 \approx 95 \text{ kW}$$

Sistemul clasic de răcire a camerei electrice

Camera electrică reprezintă o incintă în care sunt amplasate principalele echipamente electrice ale instalației de cogenerare. Toate aceste echipamente degajă căldură, iar din acest motiv, camera electrică trebuie climatizată.

Schema sistemului clasic de răcire a camerei electrice, bazat pe echipamente de tip split, este prezentată în figura alăturată.



Schema sistemului clasic de răcire a camerei electrice

Puterea frigorifică a sistemului de climatizare este corelată cu puterea termică degajată de sistemele electrice din interiorul camerei.

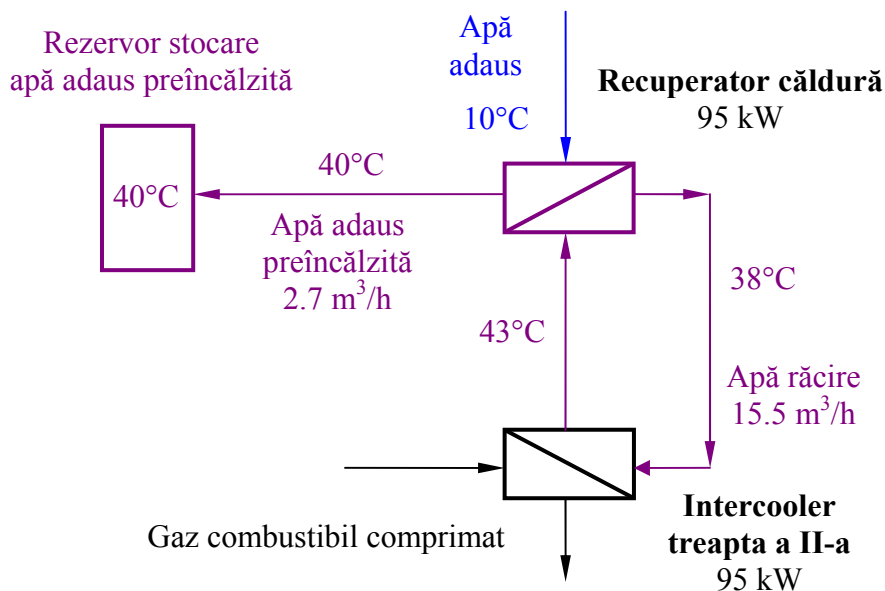
Recuperarea căldurii din sistemul de răcire al intercooler-ului treapta a II-a

Sistemul optimizat, de răcire a intercooler-ului, presupune utilizarea puterii termice a acestuia pentru preîncălzirea apei de adaus, înainte de introducerea acesteia în sistemul de tratare sub vid a apei de adaus.

Din punct de vedere tehnic, se propune recuperarea căldurii din sistemul de răcire a intercooler-ului treapta a II-a prin preîncălzirea apei de adaus, într-un schimbător de căldură apă de răcire – apă de adaus.

În vederea eficientizării energetice a sistemului de răcire a intercooler-ului treapta a II-a se propune modificarea regimului termic a apei de răcire a intercooler-ului de la (43...40)°C la (43...38)°C.

Schema sistemului de răcire a intercooler-ului treapta a II-a, cu recuperarea căldurii prin preîncălzirea apei de adaus, este prezentat în figura alăturată.



Schema sistemului de răcire a intercooler-ului treapta a II-a cu recuperarea căldurii prin preîncălzirea apei de adaus

Debitul masic de apă de răcire (\dot{m}'), corespunzător noului regim termic, poate fi determinat cu relația:

$$\dot{m}' = \frac{\dot{Q}_{ev}}{c_w \cdot \Delta t'}$$

unde $\Delta t' = 5^\circ\text{C}$ este diferența de temperatură pentru apa de răcire, corespunzătoare noului regim termic.

Înlocuind valorile numerice, pentru masic de apă de răcire, corespunzător noului regim termic, se obține:

$$\dot{m}' = \frac{90}{4.186 \cdot 5} = 4.3 \text{ kg/s} = 15480 \text{ kg/h} \approx 15.5 \text{ t/h} (\approx 15.5 \text{ m}^3/\text{h})$$

Debitul de apă de adaus (\dot{m}_{ad}) care poate fi preîncălzit în recuperatorul de căldură, se determină cu relația:

$$\dot{m}_{ad} = \frac{\dot{Q}_{ev}}{c_w \cdot \Delta t_{ad}}$$

unde $\Delta t_{ad} = 40^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = 30^\circ\text{C}$ este variația temperaturii apei de adaus în recuperatorul de căldură.

Înlocuind valorile numerice, pentru debitul de apă de adaus, se obține:

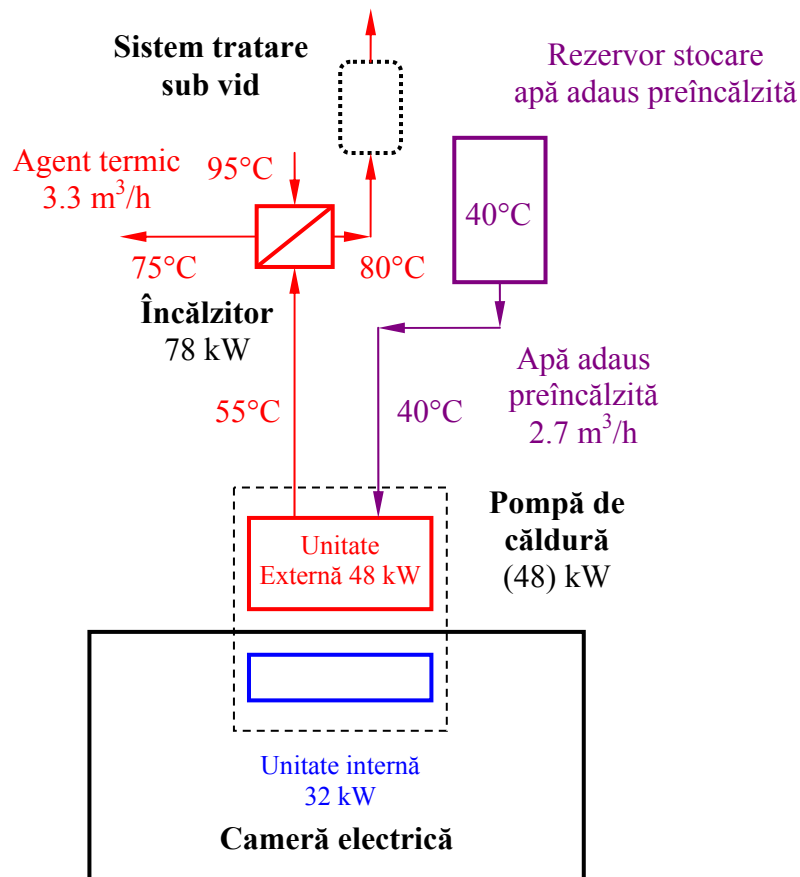
$$\dot{m}_{ad} = \frac{95}{4.18 \cdot 30} = 0.75 \text{ kg/s} = 2727 \text{ kg/h} \approx 2.7 \text{ t/h} \text{ (} 2.7 \text{ m}^3 \text{/h)}$$

Recuperarea căldurii din sistemul de răcire a camerei electrice

A doua optimizare a sistemului de preîncălzire a apei de adaus, propune recuperarea căldurii evacuate de sistemul de climatizare a camerei electrice. Căldura recuperată din acest sistem, se propune a fi utilizată pentru continuarea încălzirii apei de adaus, înainte de introducerea acesteia în sistemul de tratare sub vid a apei de adaus.

În vederea recuperării căldurii evacuate de sistemul de climatizare al camerei electrice, pentru o putere frigorifică de cca. 30 kW, se propune înlocuirea unei părți a sistemului clasic de climatizare a camerei electrice, cu o pompă de căldură aer-apă, care pe de-o parte să contribuie la climatizarea camerei electrice în aceleași condiții ca sistemul clasic de climatizare și pe de altă parte, să evacueze căldură în condensator (agent frigorific / apă adaus preîncălzită), contribuind la încălzirea suplimentară a apei de adaus, înainte de tratării sub vid a acesteia.

În figura alăturată este prezentată schema de recuperare a căldurii din sistemul de climatizare a camerei electrice.



Schema de recuperare a căldurii din sistemul de climatizare a camerei electrice

Sistemul de recuperare a căldurii din sistemul de climatizare, poate să preîncălzească apa de adaus, de la 40°C la 55°C, cu o variație de temperatură a apei de adaus $\Delta t_{aa} = 55 - 40 = 15^\circ\text{C}$.

Puterea termică necesară pentru încălzirea apei de adaus de la 40°C la 55°C, reprezintă puterea termică a condensatorului pompei de căldură (\dot{Q}_k) și se determină cu relația:

$$\dot{Q}_k = \dot{m}_{ad} \cdot c_w \cdot \Delta t_{aa}$$

Înlocuind valorile numerice se obține:

$$\dot{Q}_k = 0.75 \cdot 4.18 \cdot 15 = 47 \approx 50 \text{ kW}$$

Considerând temperatura de condensare a agentului frigorific $t_k = (60...65)^\circ\text{C}$, se poate încălzi apa de adaus până la 55°C, cu o eficiență a pompei de căldură $\text{COP} = \dot{Q}_k / P \approx 3$, unde P este puterea compresorului pompei de căldură.

Dacă se consideră $\dot{Q}_k = 48 \text{ kW}$, cu $\text{COP} = 3$ (considerând ca efect util numai puterea termică a condensatorului), se obține $P = 48 / 3 = 16 \text{ kW}$, iar puterea frigorifică extrasă de pompa de căldură (\dot{Q}_0), se poate calcula cu relația:

$$\dot{Q}_0 = \dot{Q}_k - P = 48 - 16 = 32 \text{ kW}$$

O pompă de căldură cu aceste caracteristici și performanțe poate fi realizată cu R407C și compresorul ZH11M4E-TWD.

Eficiența reală a pompei de căldură (COP_r), se determină considerând ca efecte utile atât puterea frigorifică extrasă din camera electrică, cât și puterea termică a condensatorului, utilizată la încălzirea apei de adaus.

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_0 + \dot{Q}_k}{P}$$

Înlocuind valorile numerice se obține:

$$\text{COP} = \frac{32 + 48}{16} = 5$$

Sistemul de recuperare propus, permite reducerea puterii termice a încălzitorului înainte de intrarea apei de adaus în sistemul de tratare sub vid, cu cca. $48 \text{ kW} \approx 50 \text{ kW}$. În aceste condiții puterea termică a încălzitorului (\dot{Q}'_i), trebuie să mai realizeze încălzirea apei de adaus cu $\Delta t'_{ad} = 80^\circ\text{C} - 55^\circ\text{C} = 25^\circ\text{C}$ și devine:

$$\dot{Q}'_i = \dot{m}_{ad} \cdot c_w \cdot \Delta t'_{ad}$$

Înlocuind valorile numerice se obține:

$$\dot{Q}'_i = 0.75 \cdot 4.18 \cdot 25 = 78 \text{ kW}$$

Debitul de agent termic (\dot{m}'_{at}) necesar pentru funcționarea încălzitorului este:

$$\dot{m}'_{at} = \frac{\dot{Q}'_i}{c_w \cdot \Delta t_{at}}$$

Înlocuind valorile numerice se obține:

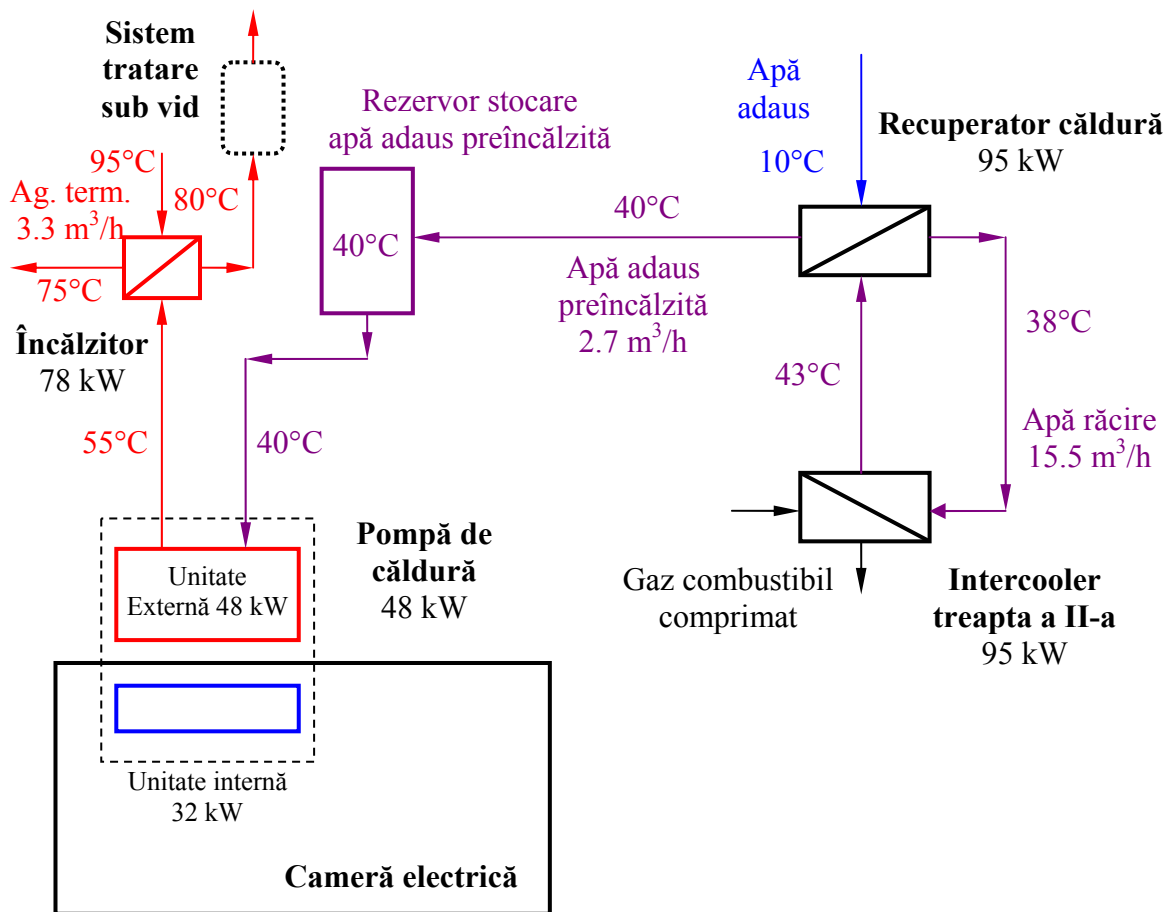
$$\dot{m}'_{at} = \frac{78}{4.18 \cdot 20} = 0.93 \text{ kg/s} = 3348 \text{ kg/h} = 3.3 \text{ t/h} \text{ (} 3.3 \text{ m}^3 \text{/h)}$$

Schema sistemului de recuperare a căldurii pt. preîncălzirea apei de adaus

Schema sistemului de recuperare a căldurii pentru preîncălzirea apei de adaus, se obține prin cuplarea celor două sisteme de recuperare a căldurii.

Cuplarea sistemului de recuperare a căldurii din sistemul de răcire a intercooler-ului treapta a II-a și a sistemului de recuperare a căldurii din slimatizarea camerei electrice, se realizează în rezervorul de stocare a apei de adaus preîncălzite. Acest rezervor este prevăzut în ambele sisteme de recuperare și va fi utilizat ca element de cuplare a celor două sisteme.

În figura alăturată este prezentată schema sistemului de preîncălzire a apei de adaus.



Schema sistemului de preîncălzire a apei de adaus prin recuperarea căldurii de răcire a intercooler-ului și prin recuperarea căldurii din climatizarea camerei electrice

Sistemul de preîncălzire a apei de adaus prezentat, asigură o primă treaptă de preîncălzire a apei de adaus (cu puterea termică de 95 kW) prin recuperare a căldurii din sistemul de răcire al intercooler-ului treapta a II-a, urmată de o a doua treaptă de preîncălzire (cu puterea termică de 48 kW) prin recuperarea căldurii evacuate de sistemul de climatizare a camerei electrice.

Prima treaptă de preîncălzire presupune înlocuirea schimbătorului de căldură pentru răcirea agentului de răcire al intercooler-ului, cu un schimbător între agentul de răcire și apa de adaus.

A doua treaptă de preîncălzire presupune înlocuirea unei părți a sistemului clasic de climatizare a camerei electrice, cu o pompă de căldură, care în loc să evacueze în aer căldura preluată din camera electrică, o utilizează pentru a continua încălzirea apei de adaus.

Cele două sisteme de recuperare a căldurii, au permis reducerea puterii termice necesare a încălzitorului apei de adaus, de la 220 kW, la 78 kW.