



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ Ι

4^ο Εξάμηνο Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών
ΕΜΠ

ΜΑΘΗΜΑ

ΚΥΚΛΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕ ΑΤΜΟ

ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ

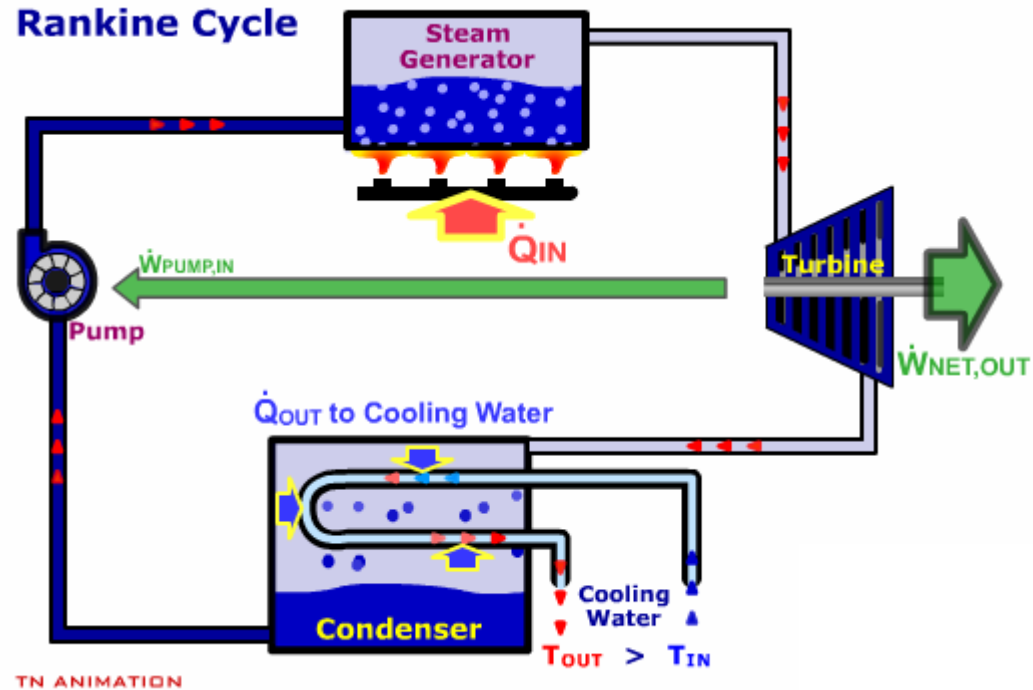
ΚΟΡΩΝΑΚΗ ΕΙΡΗΝΗ

ΛΕΚΤΟΡΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ

ΚΥΚΛΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕ ΑΤΜΟ

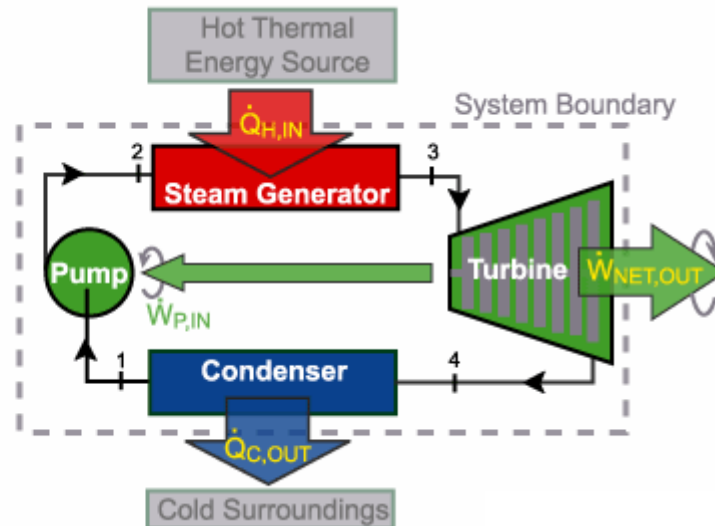
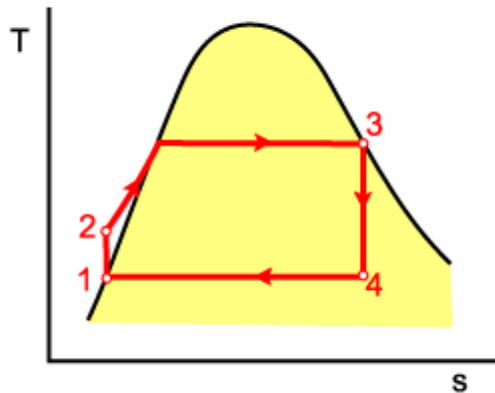


Solar Thermal Heat Engine

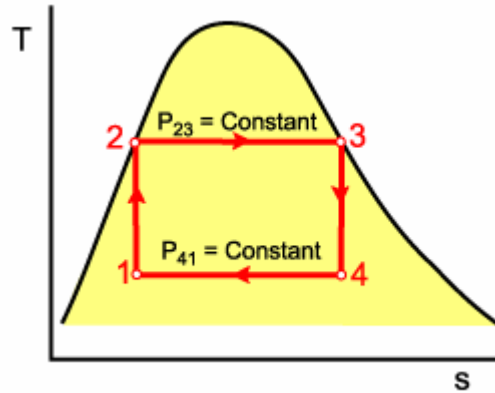


ΑΠΛΟΣ ΚΥΚΛΟΣ RANKINE

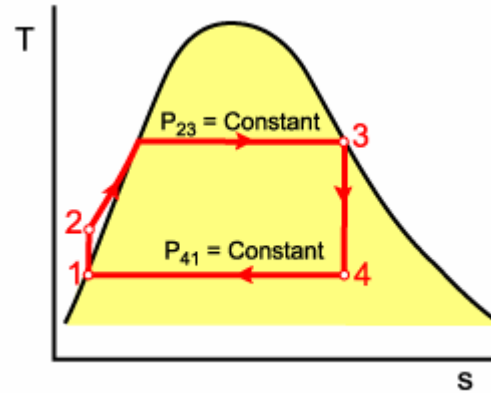
Simple Rankine Cycle



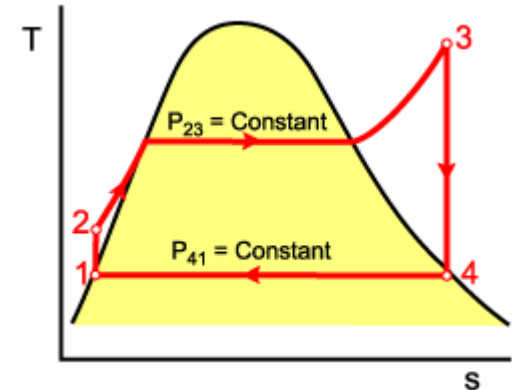
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΚΥΚΛΟ CARNOT



Carnot Cycle



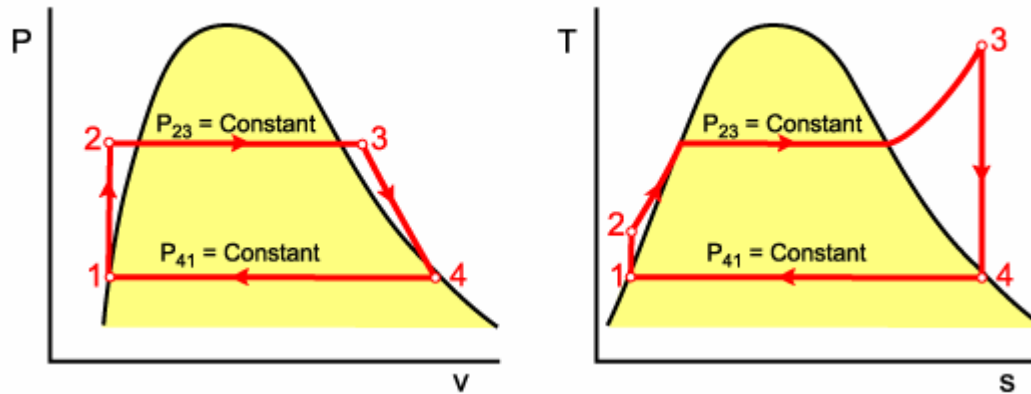
Simple Rankine Cycle



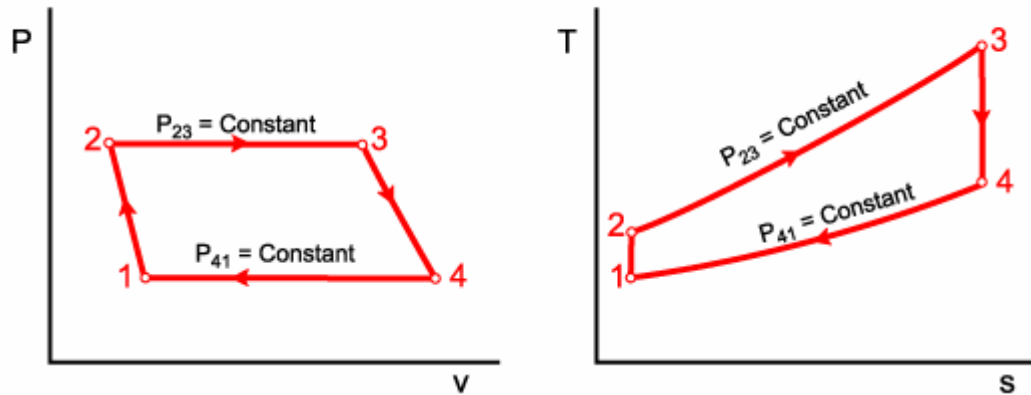
Rankine Cycle with Superheat

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΚΥΚΛΟ BRAYTON

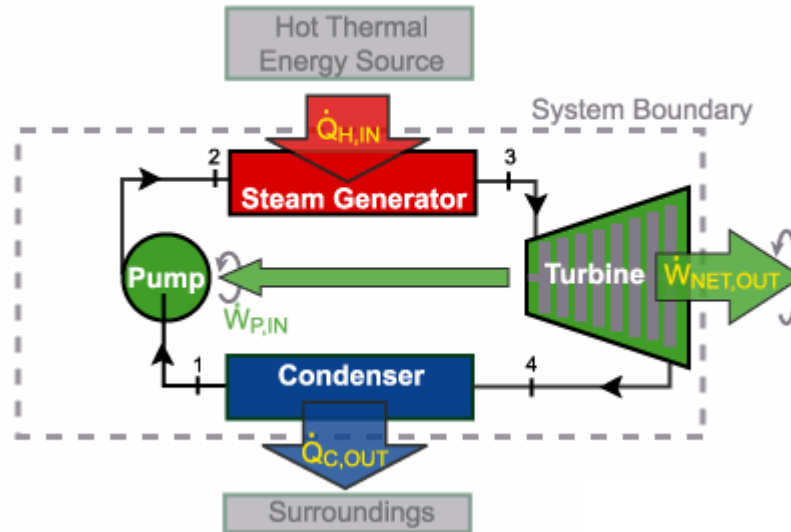
Rankine Cycle with Superheat



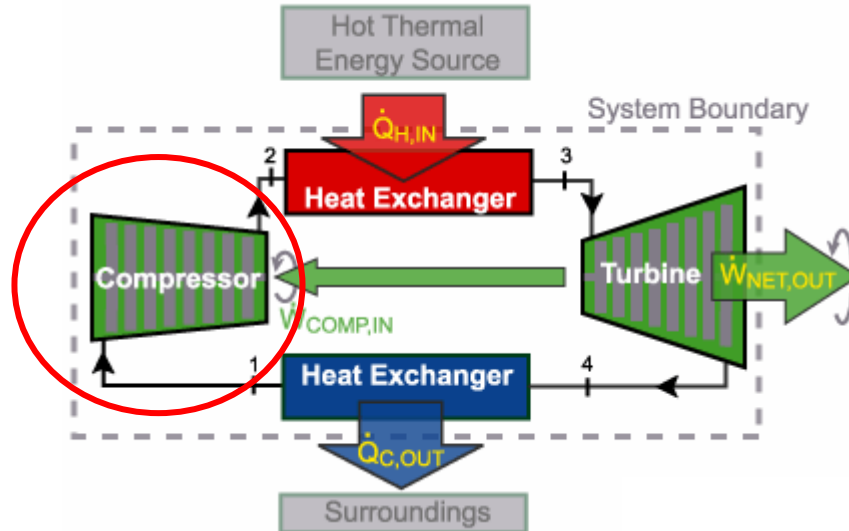
Simple Brayton Cycle



Components for Rankine Cycle

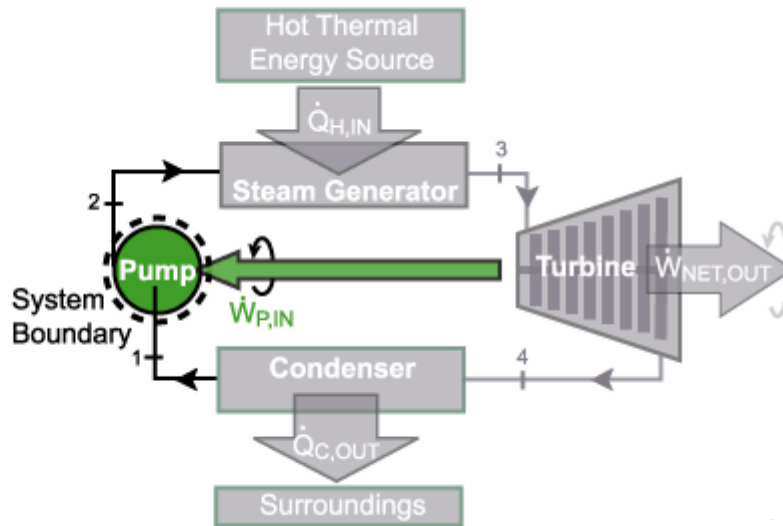
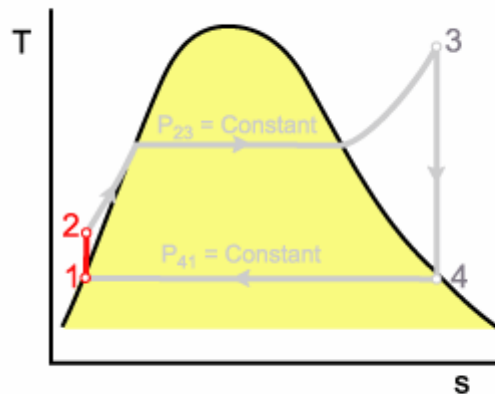


Components for Closed Brayton Cycle



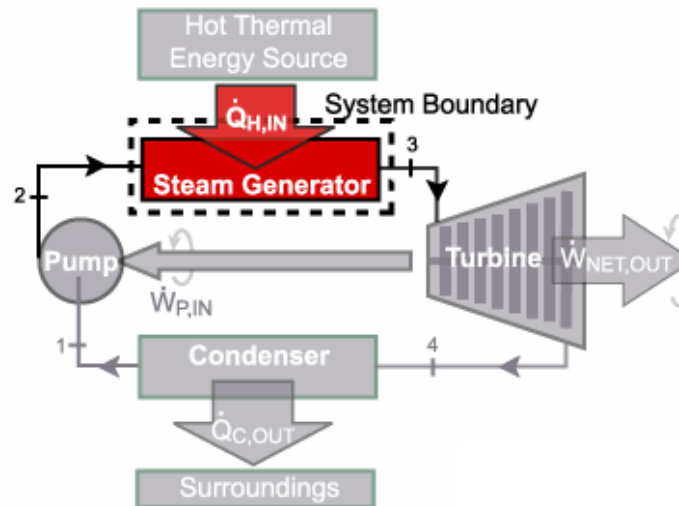
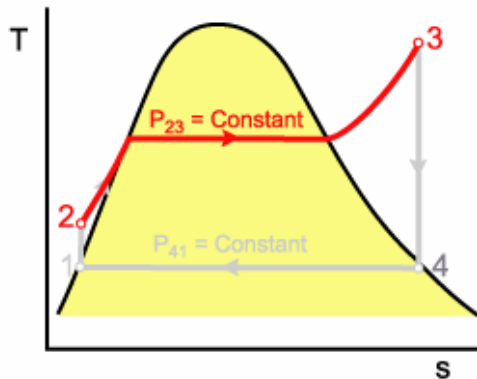
ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ 1-2: ΙΣΕΝΤΡΟΠΙΚΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ (ΑΥΞΗΣΗ ΠΙΕΣΗΣ)

Rankine Cycle: Process 1-2



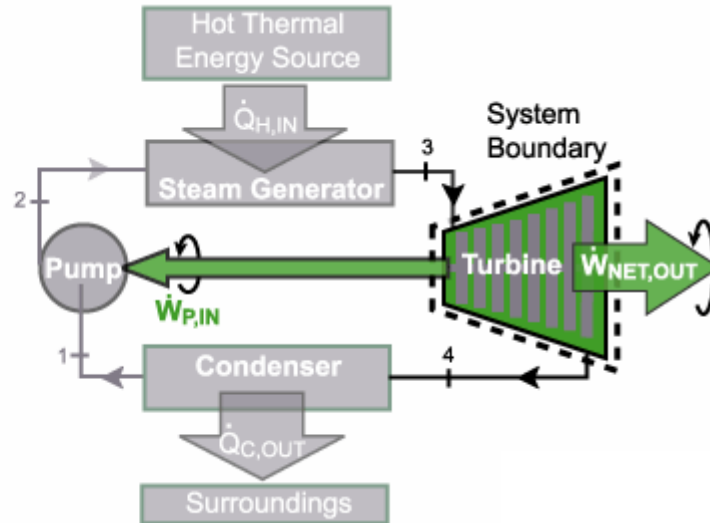
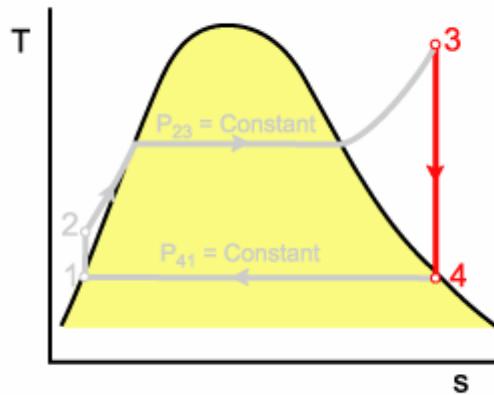
ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ 2-3: ΙΣΟΘΛΙΠΤΗ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Rankine Cycle: Process 2-3



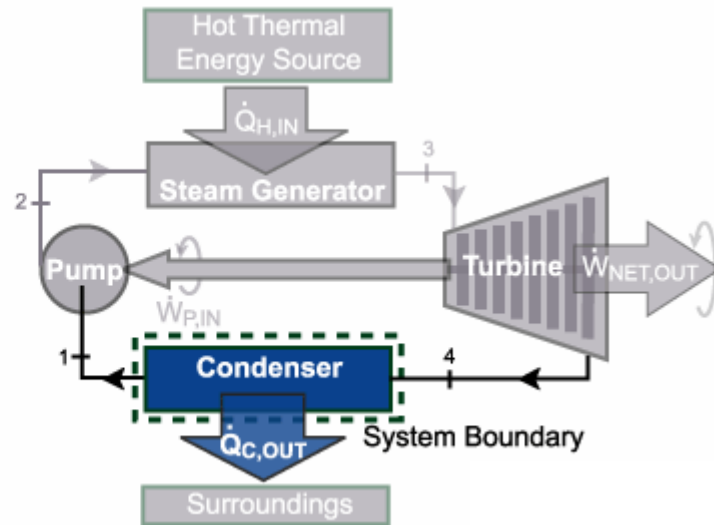
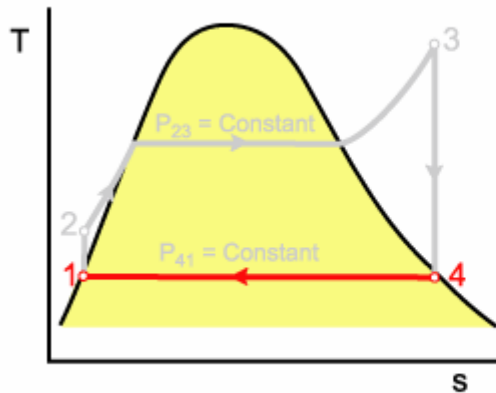
ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ 3-4: ΙΣΕΝΤΡΟΠΙΚΗ ΕΚΤΟΝΩΣΗ

Rankine Cycle: Process 3-4



ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ 4-1: ΙΣΕΝΤΡΟΠΙΚΗ ΕΚΤΟΝΩΣΗ

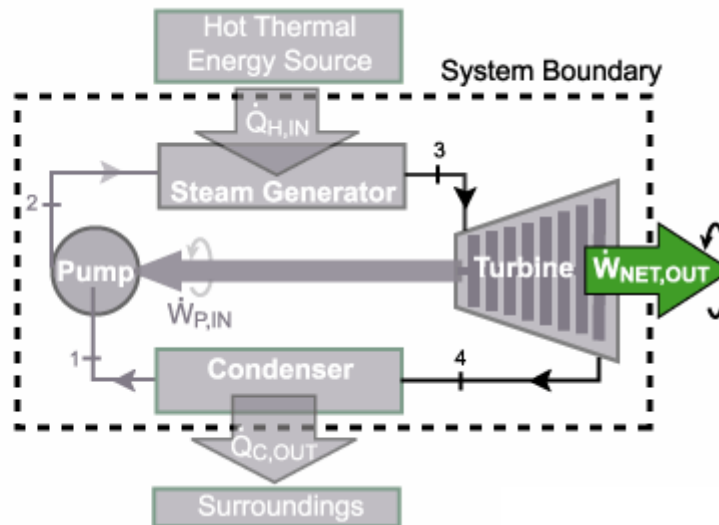
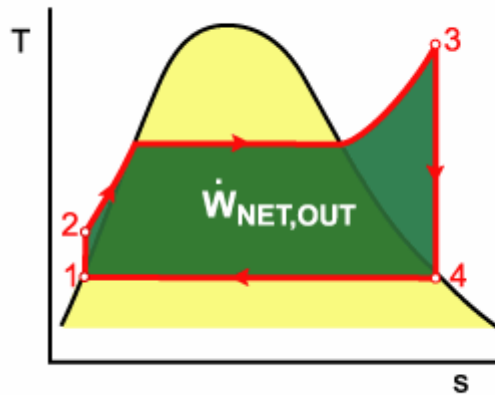
Rankine Cycle: Process 4-1



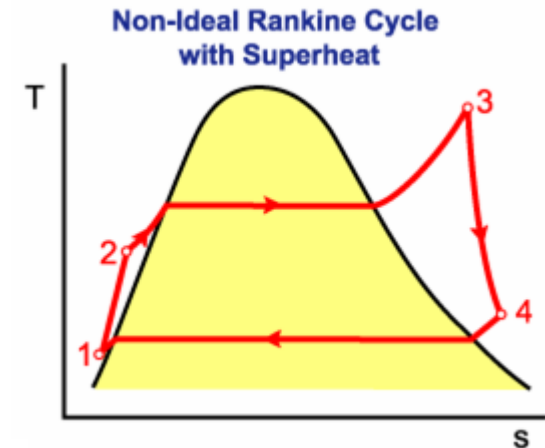
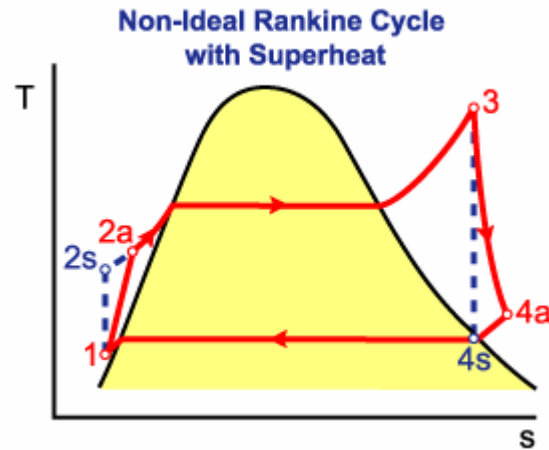
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ

$$\eta_{\text{CYCLE}} = \frac{\text{Καθαρό έργο}}{\text{Προσδιδόμενη θερμότητα}} = \frac{(\dot{W}_{\text{OUT}} - \dot{W}_{\text{IN}})}{\dot{Q}_{\text{IN}}} \Rightarrow \eta_{\text{CYCLE}} = \frac{(w_{\text{OUT}} - w_{\text{IN}})}{q_{\text{IN}}}$$

Rankine Cycle: Net Work



ΜΗ ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ RANKINE



Διεργασία Υποθέσεις

Ενεργειακά Ισοζύγια

$$1 \rightarrow 2s \quad \begin{aligned} v_{2s} &= v_1 \\ s_{2s} &= s_1 \\ P_{2s} &= P_{2A} \end{aligned}$$

$$w_{IN,PUMP,S} = v_1 (P_{2A} - P_1) = (h_{2s} - h_1)$$

$$1 \rightarrow 2a \quad -$$

$$w_{IN,PUMP,A} = \frac{w_{IN,PUMP,S}}{\eta_{S,PUMP}} = \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_{S,PUMP}} = h_{2A} - h_1$$

$$2a \rightarrow 3 \quad -$$

$$q_{IN} = h_3 - h_{2A}$$

$$3 \rightarrow 4s \quad \begin{aligned} s_{4s} &= s_3 \\ P_{4s} &= P_{4A} \end{aligned}$$

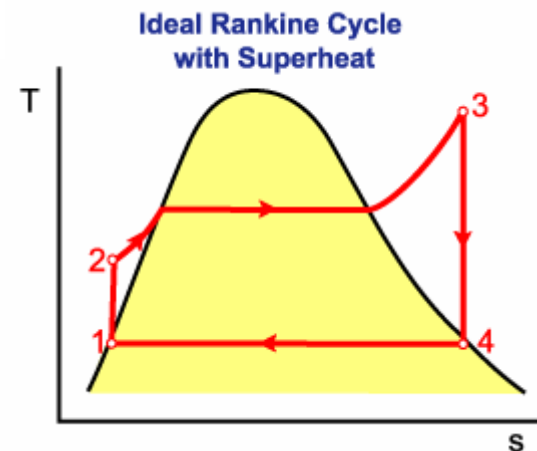
$$w_{OUT,TURBINE,S} = (h_3 - h_{4s})$$

$$3 \rightarrow 4a \quad -$$

$$\begin{aligned} w_{OUT,TURBINE,A} &= \eta_{S,TURBINE} (w_{OUT,TURBINE,S}) \\ &= \eta_{S,TURBINE} (h_3 - h_{4s}) = h_3 - h_{4A} \end{aligned}$$

$$4a \rightarrow 1 \quad -$$

$$q_{OUT} = h_{4A} - h_1$$

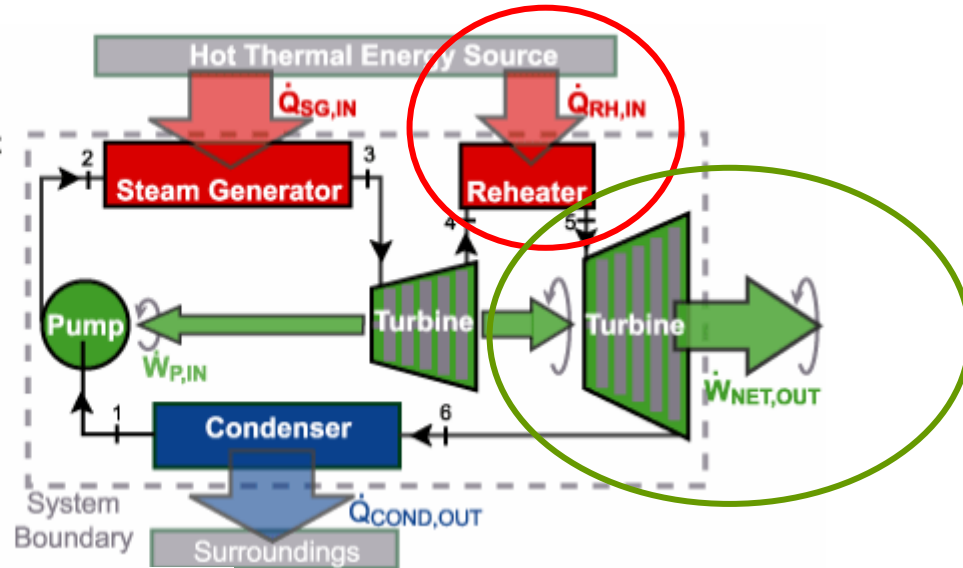
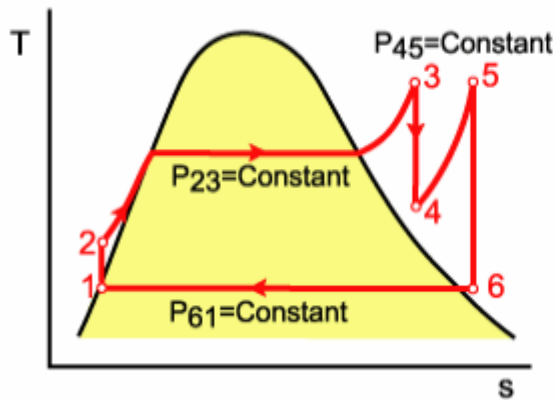


Βαθμός απόδοσης κύκλου

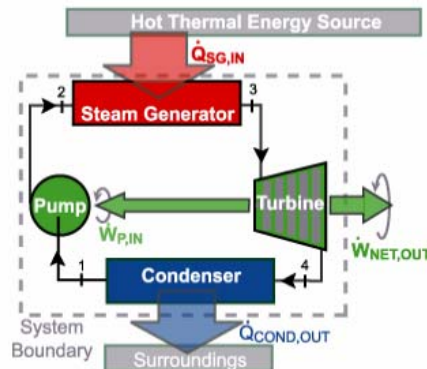
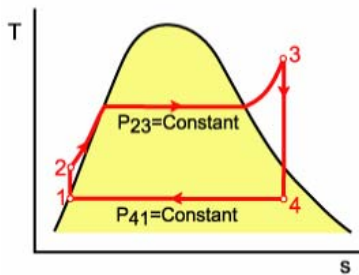
$$\eta_{RANKINE} = 1 - \frac{q_{OUT}}{q_{IN}} = 1 - \frac{h_{4A} - h_1}{h_3 - h_{2A}}$$

ΚΥΚΛΟΣ RANKINE ΜΕ ΑΝΑΘΕΡΜΑΝΣΗ

Rankine Cycle with Reheat



Rankine Cycle without Reheat



ThermoNet: Wiley

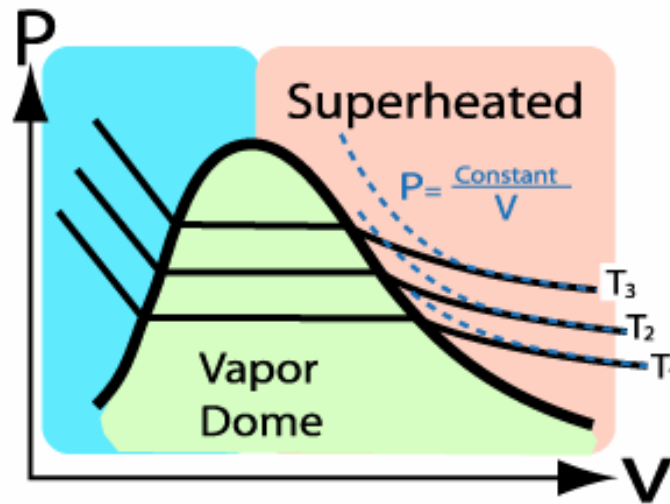
$$q_{IN} = q_{IN,SG} + q_{IN,RH} = (h_3 - h_2) + (h_5 - h_4)$$

$$\begin{aligned} (w_{OUT} - w_{IN}) &= w_{OUT,TURBINE1} + w_{OUT,TURBINE,2} - w_{IN,PUMP} \\ &= [(h_3 - h_4) + (h_5 - h_6)] - (h_2 - h_1) \\ &= q_{IN} - q_{OUT} = [(h_3 - h_2) + (h_5 - h_4)] - (h_6 - h_1) \end{aligned}$$

Βαθμός απόδοσης κύκλου

$$\eta_{RANKINE} = 1 - \frac{q_{OUT}}{q_{IN}} = 1 - \frac{(h_6 - h_1)}{(h_3 - h_2) + (h_5 - h_4)}$$

ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ



$$Z = \frac{Pv}{RT}$$

Ανηγγμένη Θερμοκρασία $\longrightarrow T_R = \frac{T}{T_{CR}}$

Ανηγγμένη Πίεση $\rightarrow P_R = \frac{P}{P_{CR}}$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Θεωρείστε 12 kg CH₄ σε 0.1 m³ δεξαμενής στους 140°C και 14 MPa.

Το Μοριακό βάρος του μεθανίου είναι 16.04 kg/kmol.

Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως τέλειο αέριο? Πρώτα υπολογίστε το R και μετά το Z.

$$R = \frac{\bar{R}}{M} = \frac{8.314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}}{16.04 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 0.5183 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

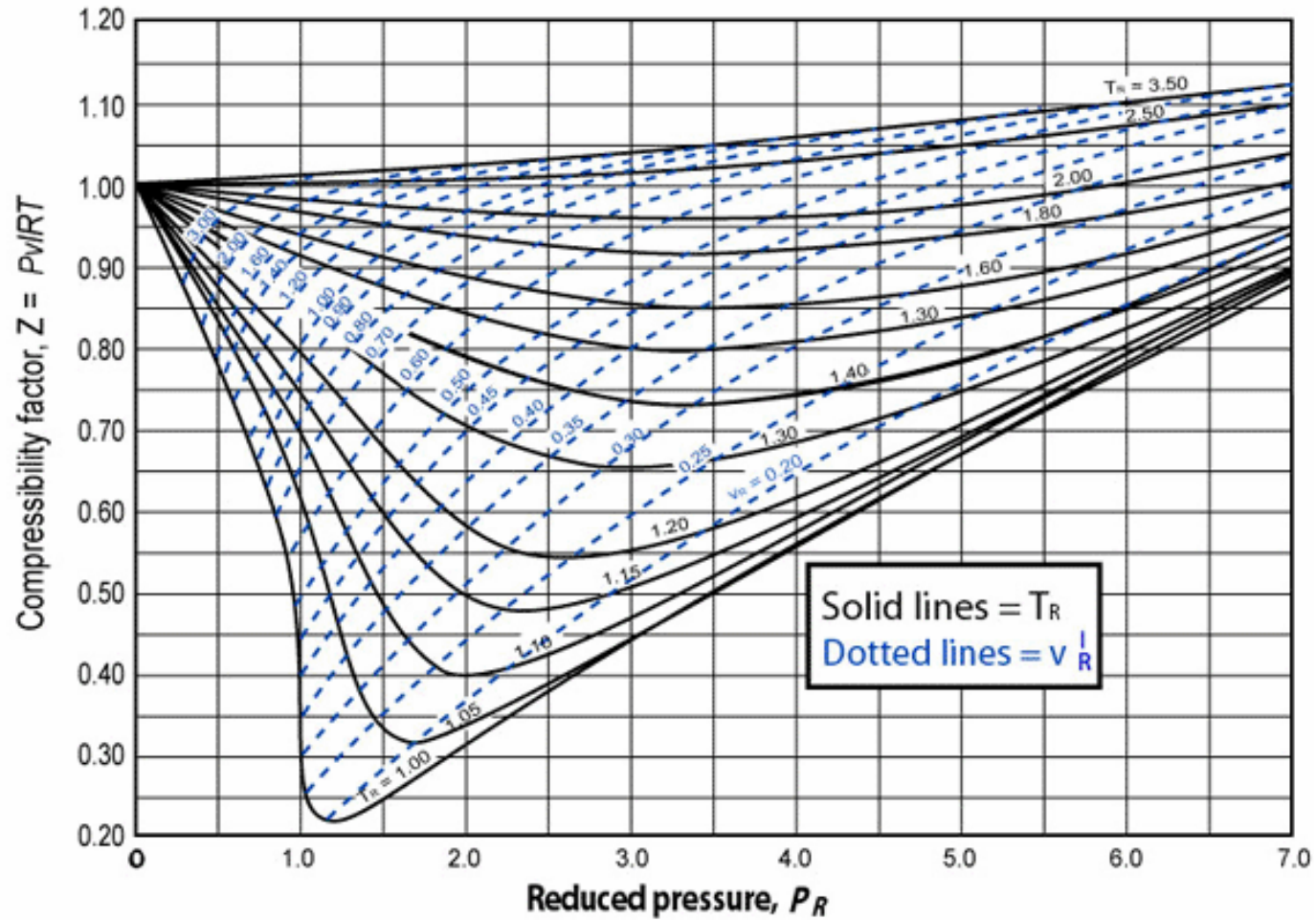
$$Z = \frac{pV}{mRT} = \frac{(14,000 \text{ kPa})(0.1 \text{ m}^3)}{(12 \text{ kg}) \left(0.5183 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) (287 \text{ K}) \left(\frac{\text{kN}}{\text{kPa} \cdot \text{m}^2} \right) \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kN} \cdot \text{m}} \right)}$$

$$\underline{\underline{Z = 0.784}}$$

ΨΕΥΤΟΑΝΗΓΜΕΝΟΣ ΕΙΔΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ $\longrightarrow v'_R = \frac{\bar{v}}{\left(\frac{\bar{R}T_{CR}}{P_{CR}} \right)} = \frac{v}{\left(\frac{RT_{CR}}{P_{CR}} \right)}$

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ

$$Z = Z(T_R, P_R)$$



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

1. Κουρεμένος Δ.Α., ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ Ι, Εκδόσεις Συμεων, 1993.
2. Schmidt P.S., Ezekoye O., Howell J.R., Baker D., Thermodynamics: An Integrated Learning System, Wiley, 2005.
3. Potter M.C., Somerton C.W., Thermodynamics for Engineers, Schaums, McGraw-Hill, 1993.
4. Moran M.J., Shapiro H.W., Fundamentals of Engineering Thermodynamics, Fifth Edition, John Wiley & Sons, Inc, 2006.