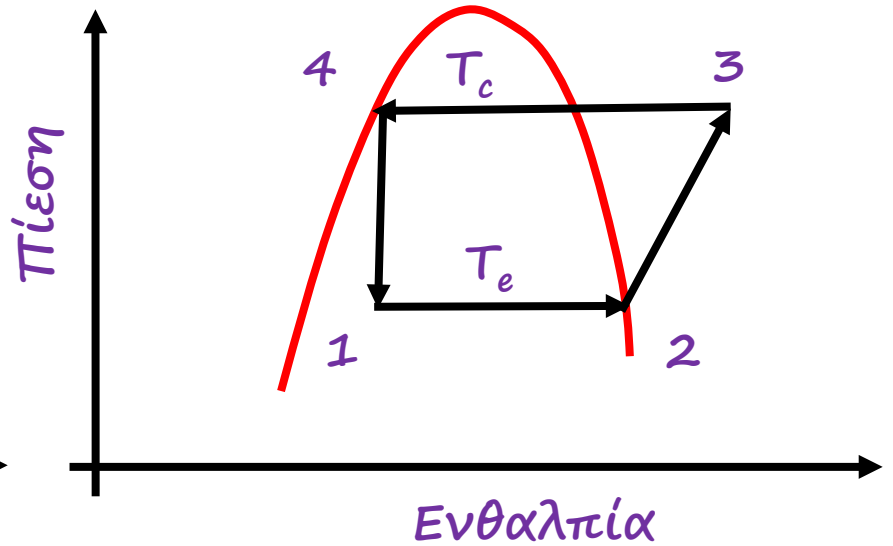
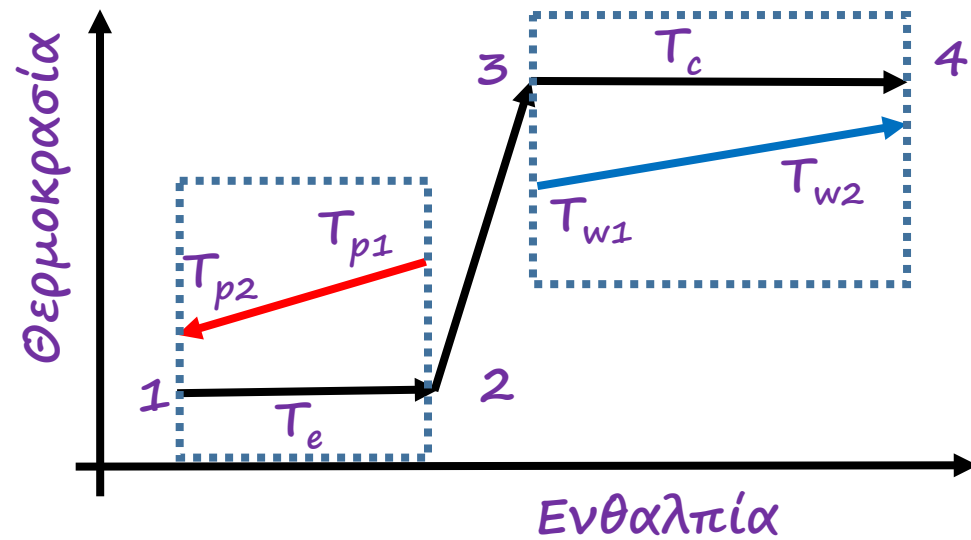
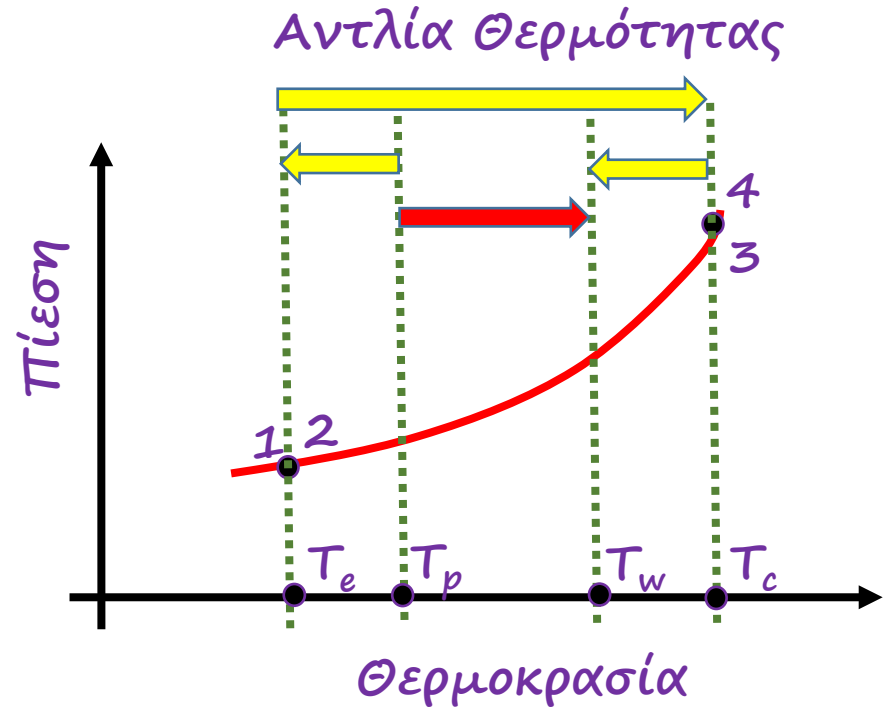
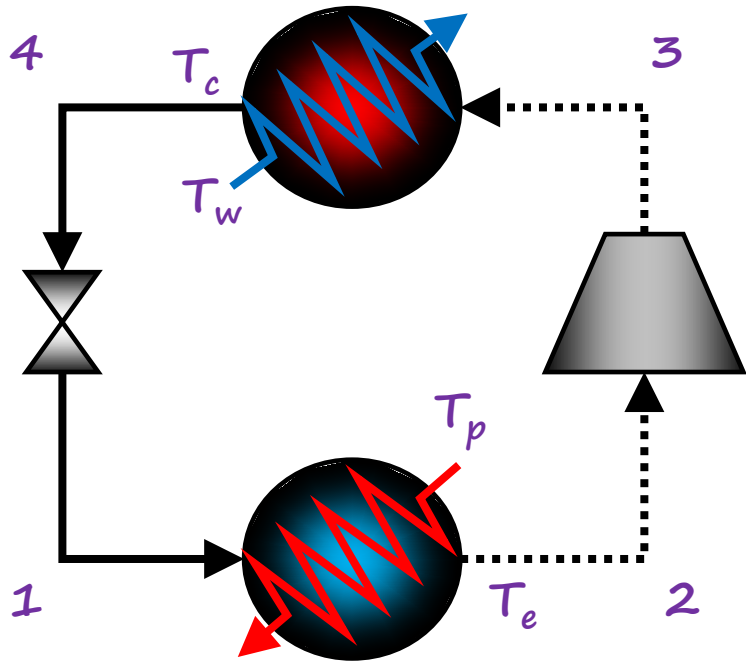
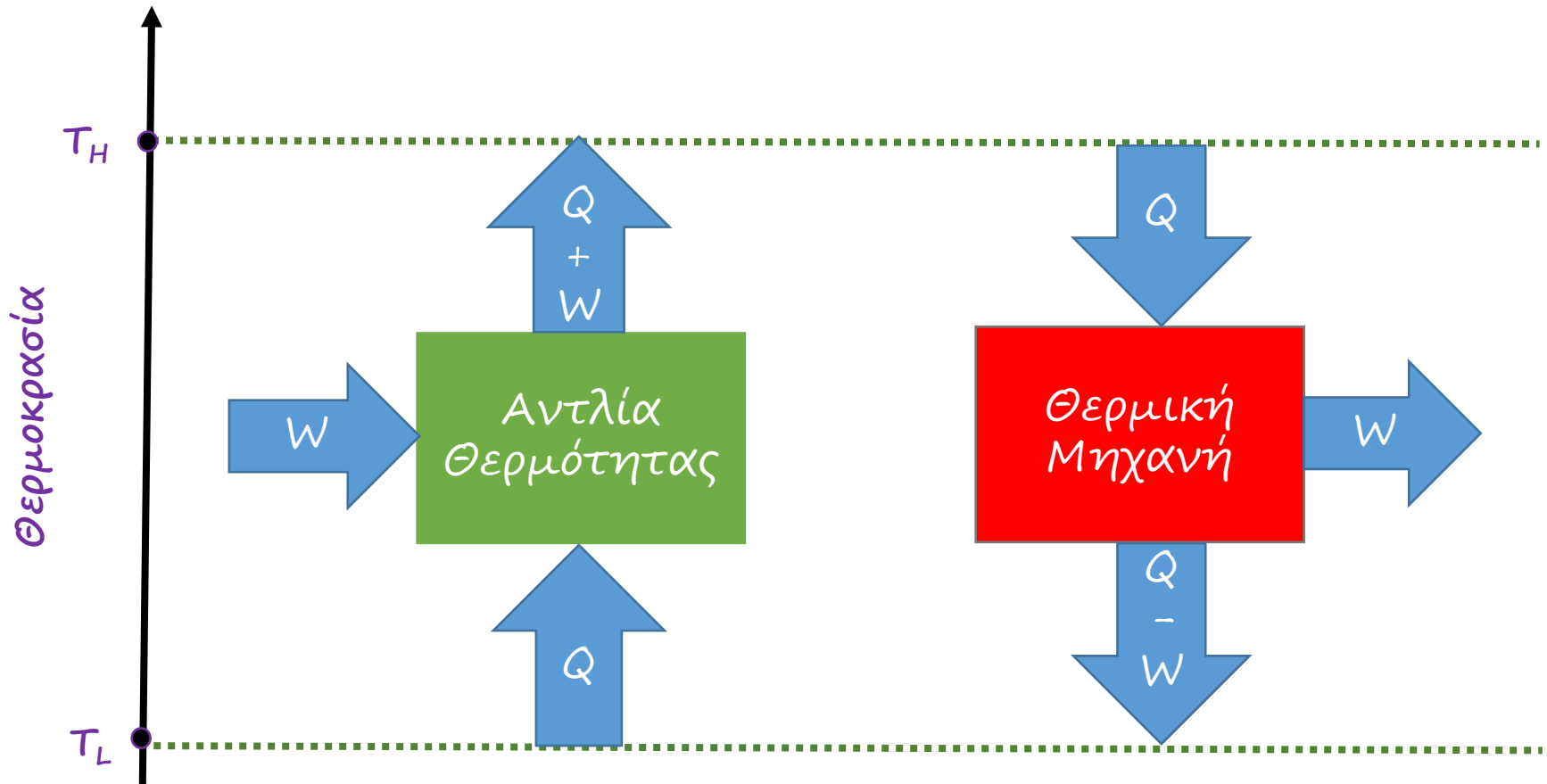


Αντλίες Θερμότητας



Αντλίες Θερμότητας και Θερμικές Μηχανές



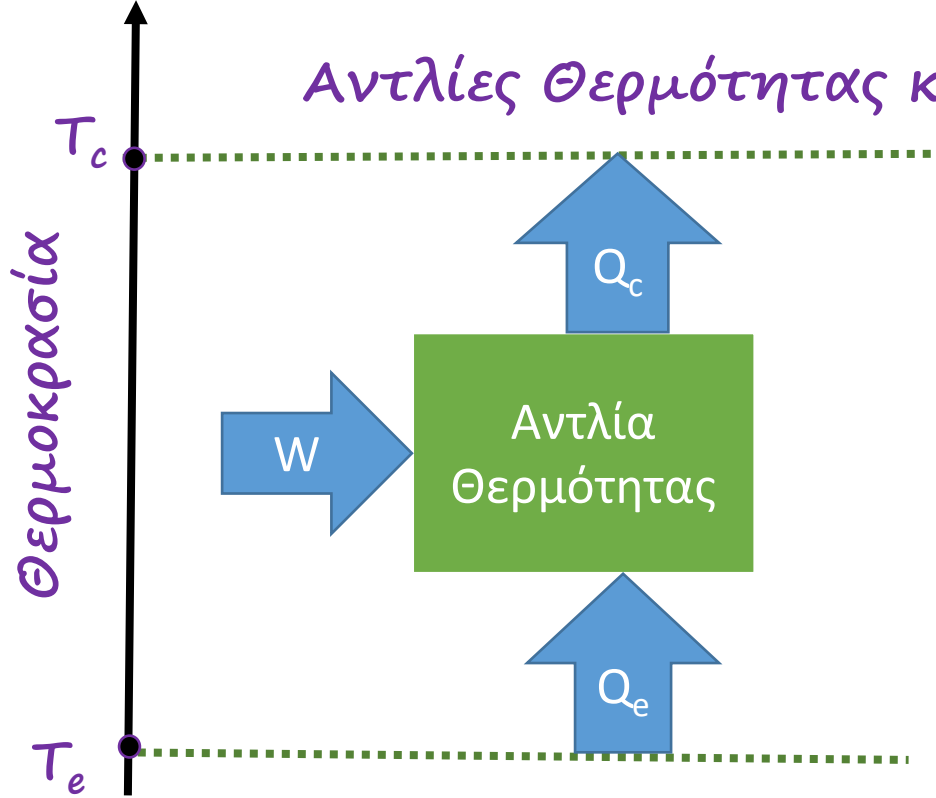
Συντελεστής Λειτουργίας
(Coefficient of Performance)

$$COP = Q/W > 1$$

Απόδοση

$$\eta = W/Q < 1$$

Αντλίες Θερμότητας και Συντελεστές Λειτουργίας



Ιδανική Μηχανή Carnot

$$COP = T_e / (T_c - T_e)$$

Shelton-Grossmann 1985

$$COP = T_e / (T_c - T_e) - T_e C_{PR} / \Delta H_R$$

Ισοζύγιο Ενέργειας

$$Q_c = Q_e + W$$

Συντελεστής Λειτουργίας

Ψύξης (Cooling)

$$COP_c = Q_e / W$$

Θέρμανσης (Heating)

$$COP_h = Q_c / W$$

$$\rightarrow COP_h = COP_c + 1$$

Shelton-Grossmann 1985

$$COP = \frac{T_e}{(T_c - T_e)} - \frac{T_e C_{PR}}{\Delta H_R}$$

Refrigerant Index of Performance

Ideal Carnot Coefficient of Performance

COP	-	Συντελεστής λειτουργίας ψύξης
T_e	K	Θερμοκρασία εξάτμισης ψυκτικού
T_c	K	Θερμοκρασία συμπύκνωσης ψυκτικού

C_{PR}	kJ/kg	Θερμότητα εξάτμισης
ΔH_R	kJ/kgK	Μέση ειδική θερμότητα υγρού

Shelton-Grossmann 1985

$$COP = T_e / (T_c - T_e) - T_e C_{PR} / \Delta H_R$$

$\pi\chi$

Ψυκτικό: Αμμωνία $C_{PR}=1.20\text{kJ/kgK}$, $\Delta H_R=1.37\text{MJ/kg}$

Διεργασία: κατάψυξη τροφίμων $T_e=-30^\circ\text{C}$, $T_c=30^\circ\text{C}$

$$COP_{ideal}=4.05, IP_{NH_3}=0.13, \rightarrow COP=3.92$$

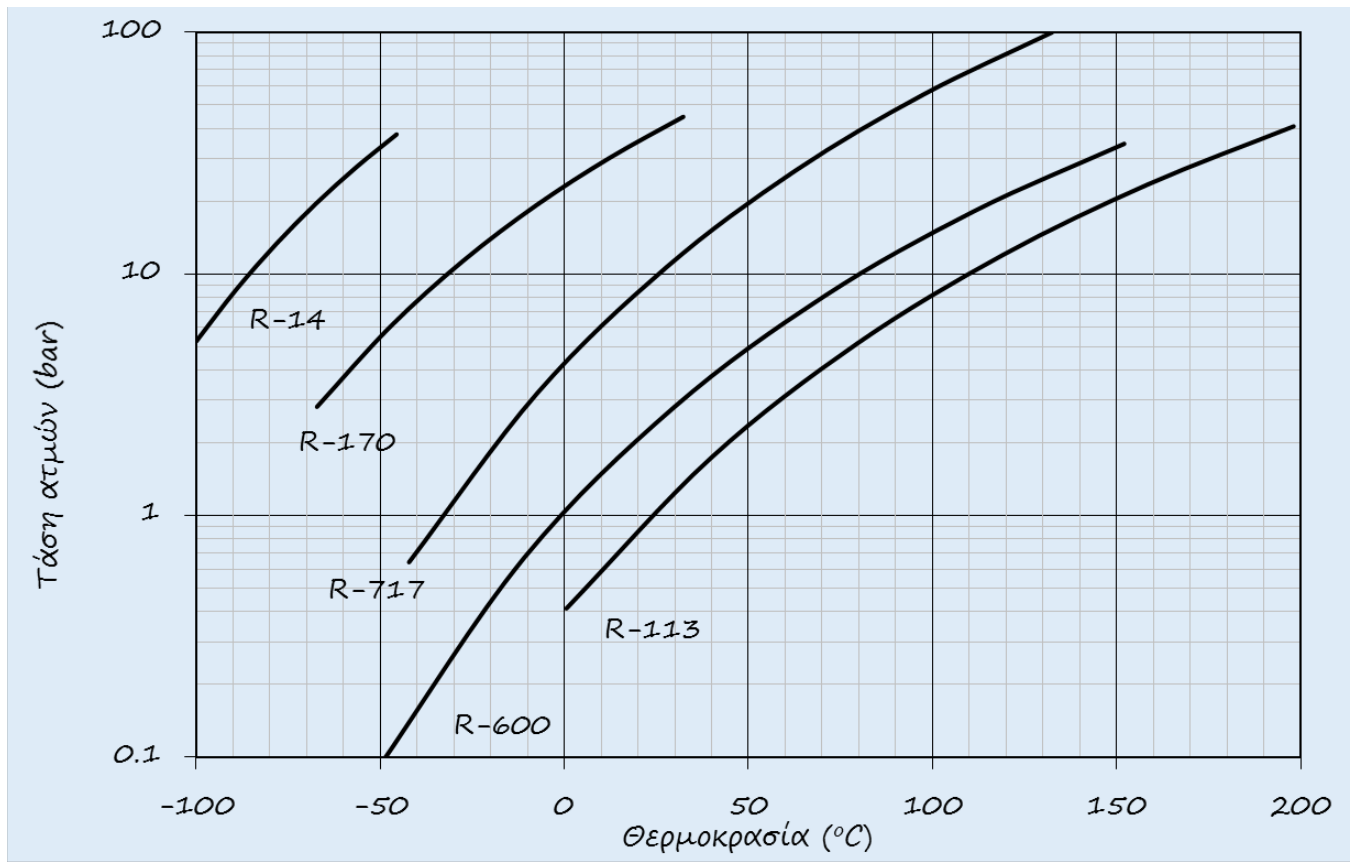
Διεργασία: ψύξη χώρου $T_e=10^\circ\text{C}$, $T_c=50^\circ\text{C}$

$$COP_{ideal}=7.07, IP_{NH_3}=0.16, \rightarrow COP=6.91$$

Διεργασία: θέρμανση χώρου $T_e=-10^\circ\text{C}$, $T_c=30^\circ\text{C}$

$$COP_{ideal}=6.57, IP_{NH_3}=0.14, \rightarrow COP=6.43 \rightarrow COP_h=7.43$$

Να και μερικά ακόμη ψυκτικά ρευστά με τις ιδιότητές τους



Ψυκτικό	Σύσταση	Θερμότητα	Ειδική	Τριπλό	Κρίσιμο	Σταθερές Antoine		
		Εξάτμισης	Θερμότητα	Σημείο	Σημείο	α1	α2	α3
		kJ/kg	kJ/kgK	oC	oC			
R-113	Trichlorotrifluoroethane	180	0.62	1	198	9.23E+00	2.40E+03	2.37E+02
R-717	Ammonia	1372	1.20	-42	132	1.03E+01	2.13E+03	2.40E+02
R-600	Butane	386	1.67	-52	152	9.06E+00	2.15E+03	2.39E+02
R-170	Ethane	489	2.54	-67	32	9.04E+00	1.51E+03	2.56E+02
R-14	Carbontetrafluoride	136	0.60	-82	-46	9.43E+00	1.24E+03	2.60E+02

Shelton-Grossmann 1985 (πιο αναλυτικά)

$$W_R = F_R \Delta H_R (T_c - T_e) / T_e$$

$$Q_e = F_R [\Delta H_R - C_{PR} (T_c - T_e)]$$

$$Q_c = F_R [\Delta H_R (T_c / T_e) - C_{PR} (T_c - T_e)]$$

$$COP = Q_e / W_R = T_e / (T_c - T_e) - T_e C_{PR} / \Delta H_R$$

W_R kW

Ισχύς αεροσυμπιεστή

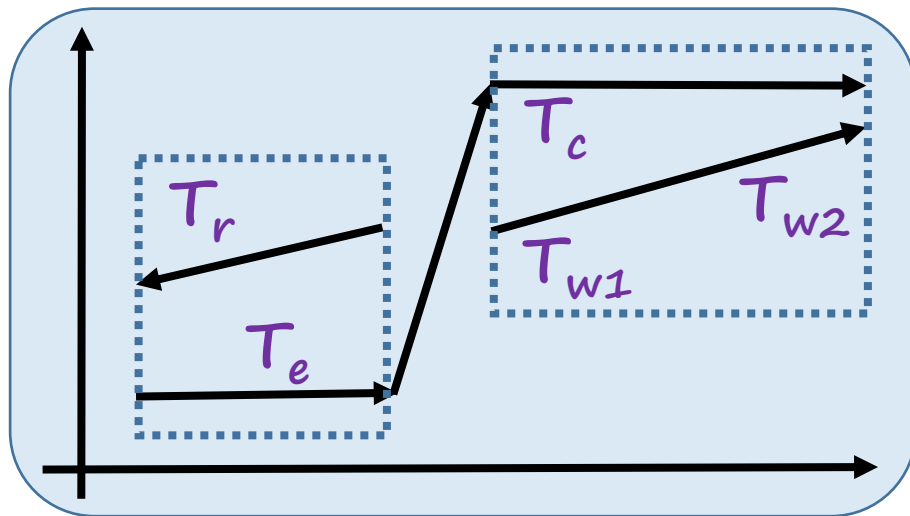
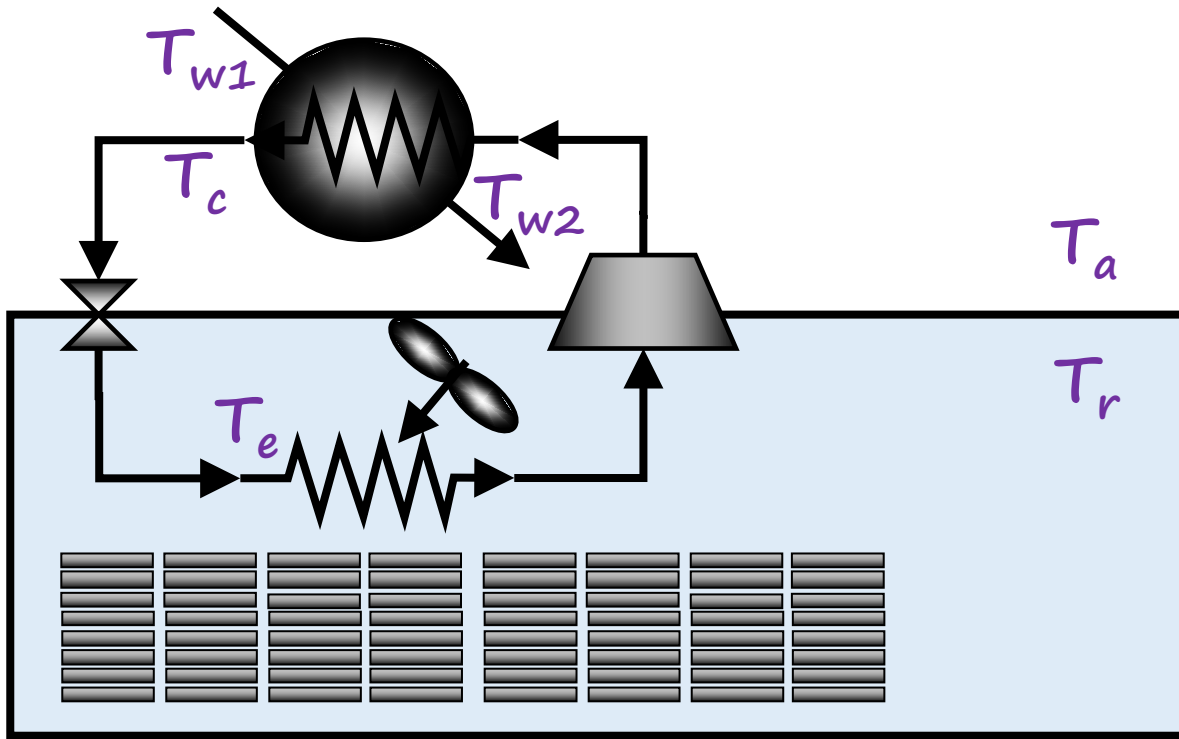
Q_e kW

Θερμικό φορτίο εξατμιστήρα

Q_c kW

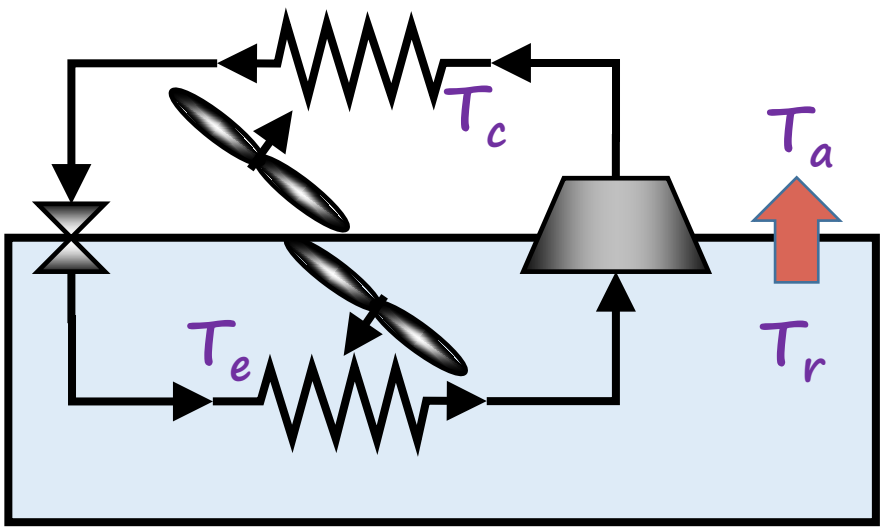
Θερμικό φορτίο συμπυκνωτήρα

Βιομηχανική Ψύξη και Κατάψυξη

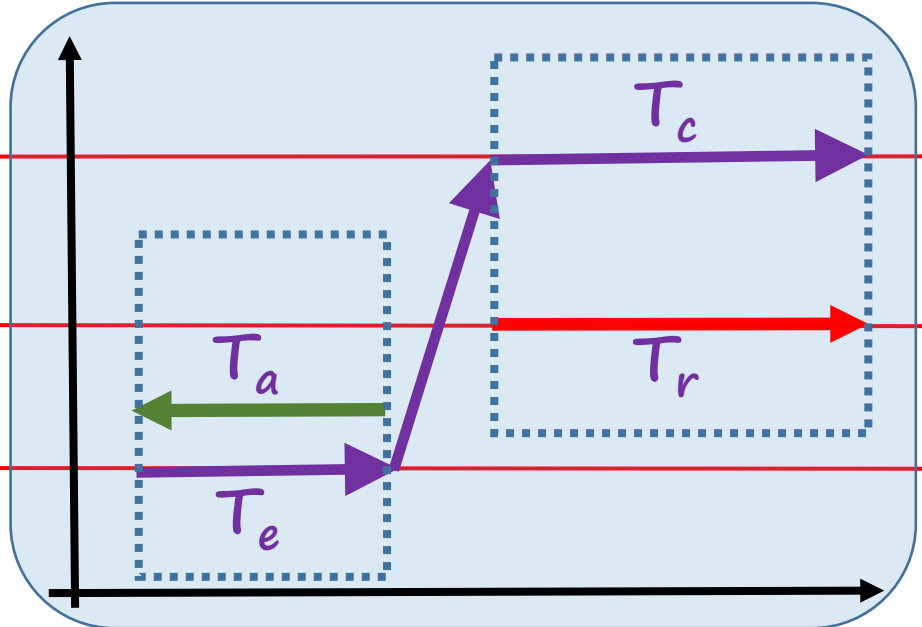
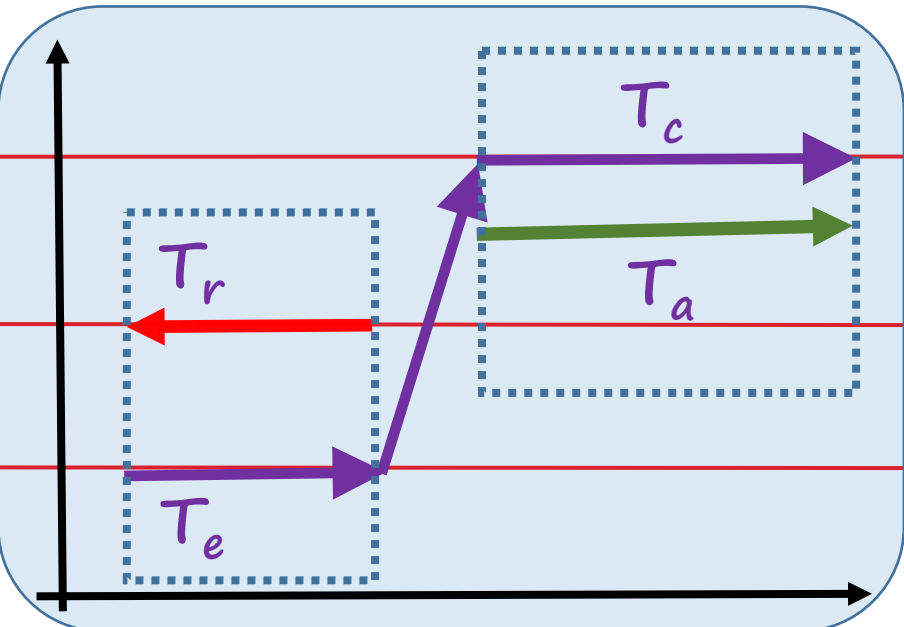
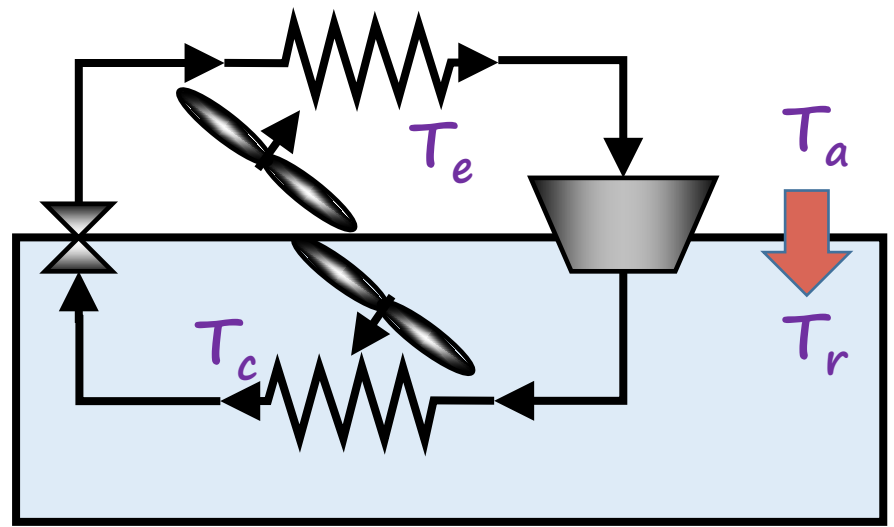


Ψύξη-Θέρμανση Χώρου

Καλοκαίρι: $T_r < T_a$



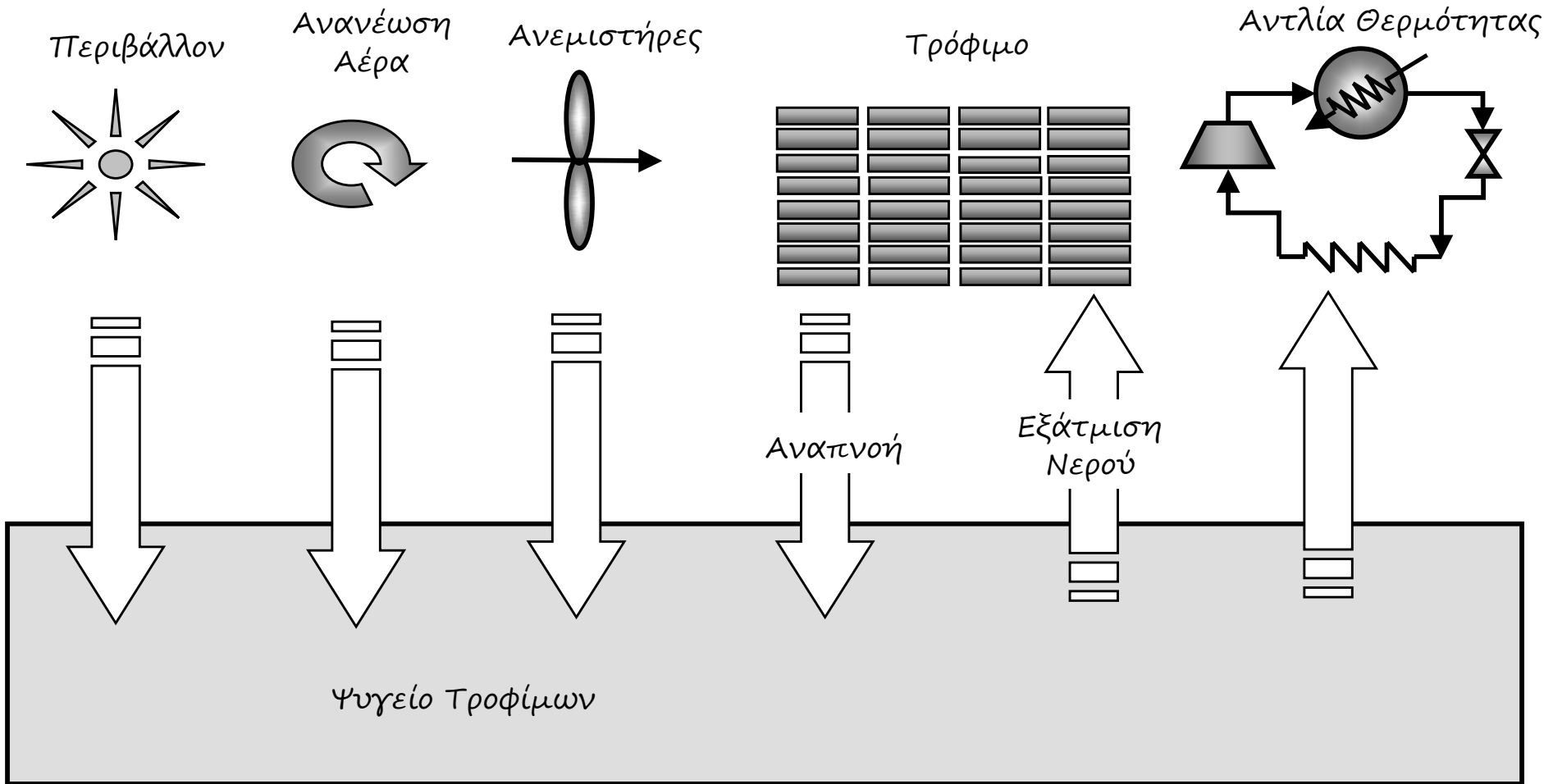
Χειμώνας: $T_r < T_a$



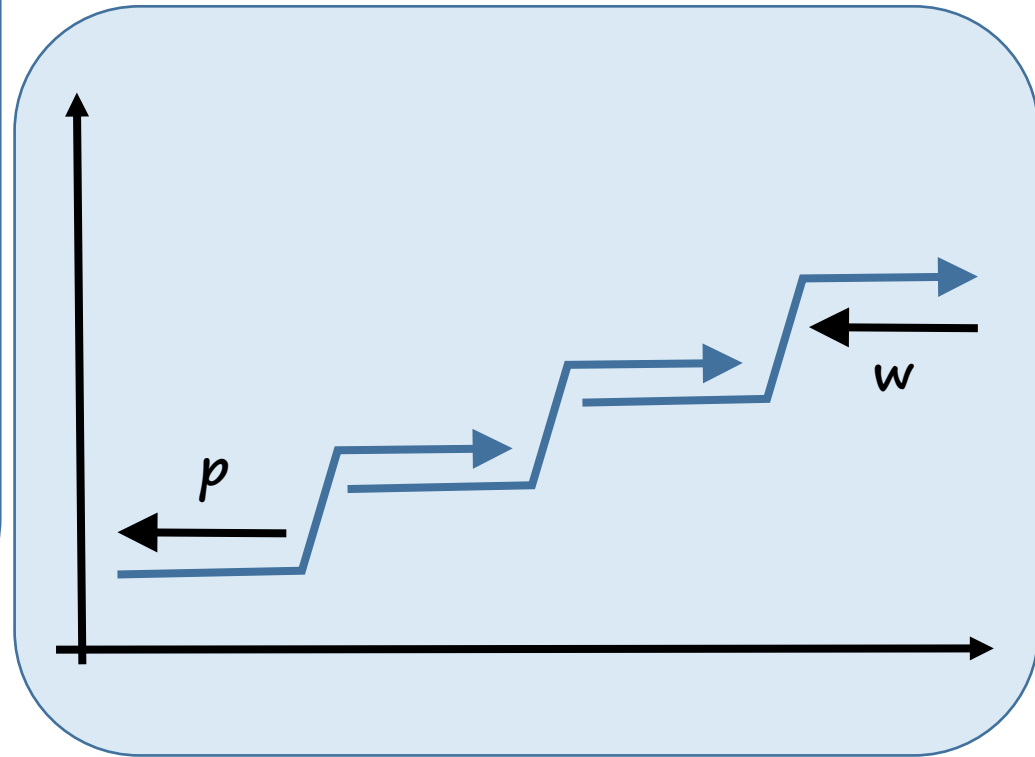
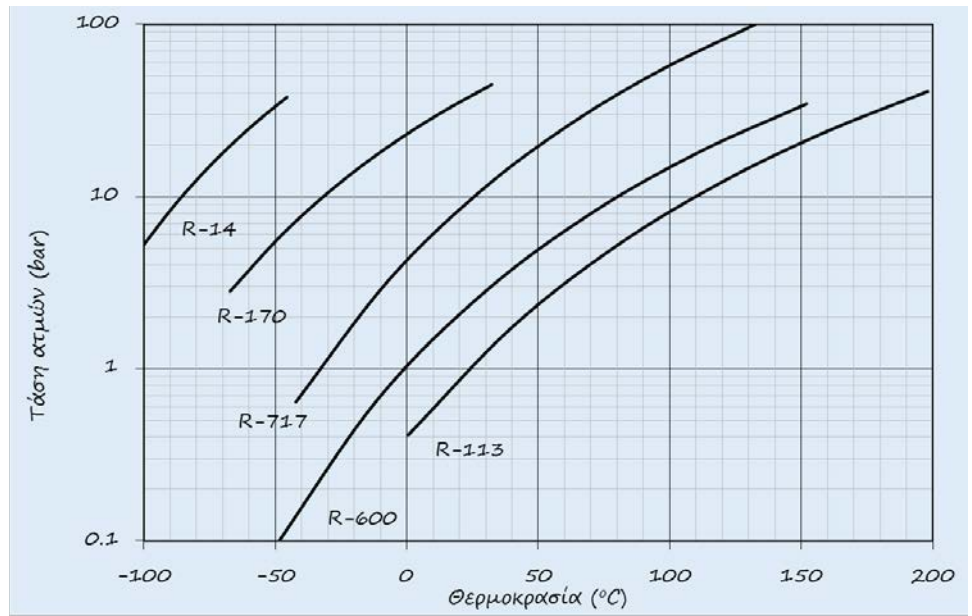
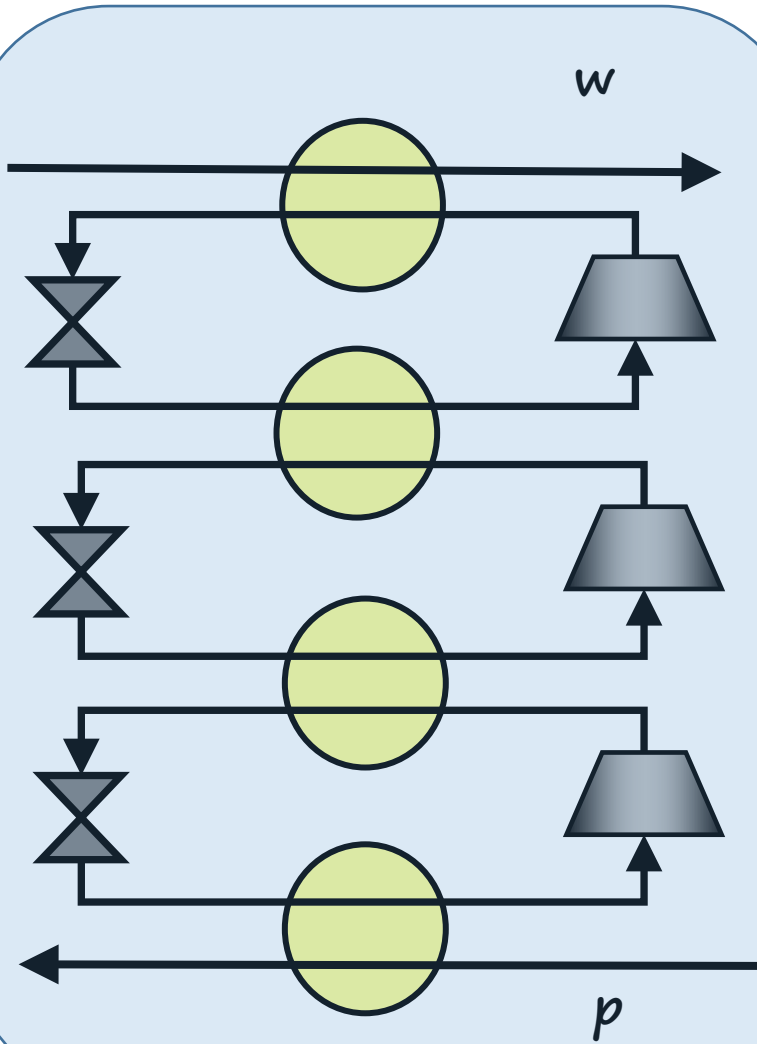
Βιομηχανική Ψύξη και Κατάψυξη: Σχεδιασμός

- (1) Υπολογισμός του απαιτούμενου ψυκτικού φορτίου με βάση τα χαρακτηριστικά της διεργασίας
- (2) Εφαρμογή του μοντέλου Shelton-Grossmann
- (3) Διαστασιολόγηση των εναλλακτών κατά τα γνωστά
- (4) Οικονομική ανάλυση και βελτιστοποίηση κατά γνωστά

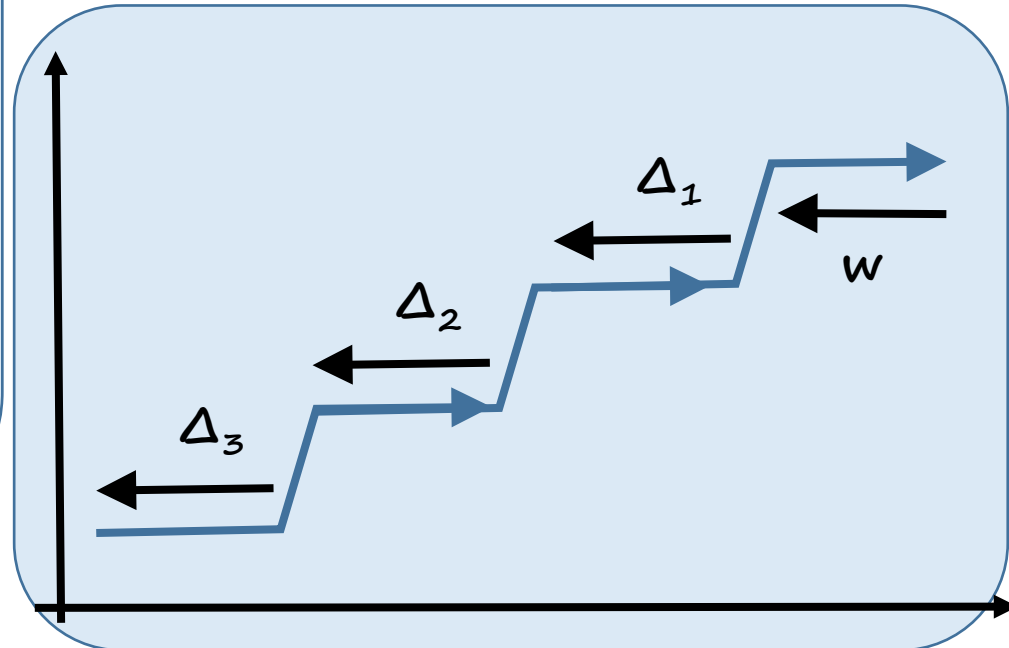
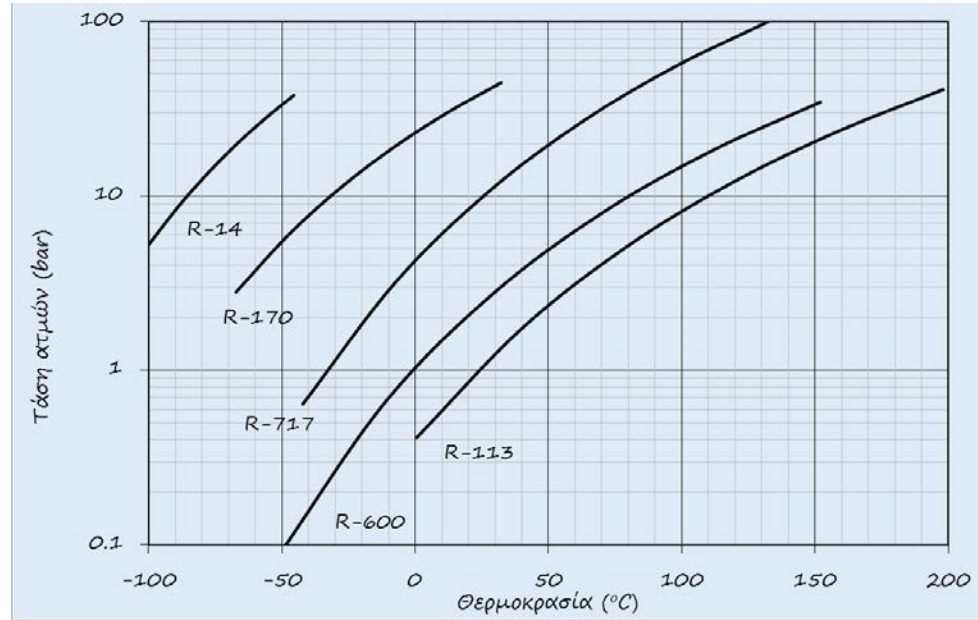
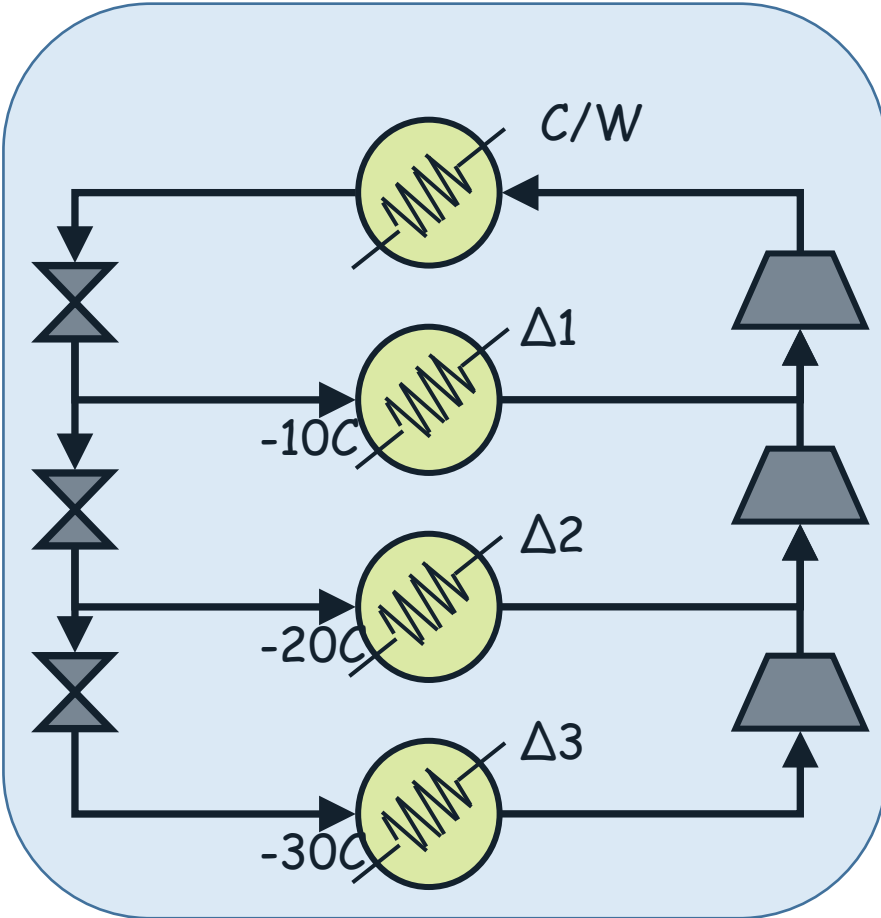
Για τη διατύπωση του Μαθηματικού Μοντέλου
Θερμικών Απαιτήσεων Κατάψυξης Τροφίμων
λαμβάνονται υπόψη τα φαινόμενα:



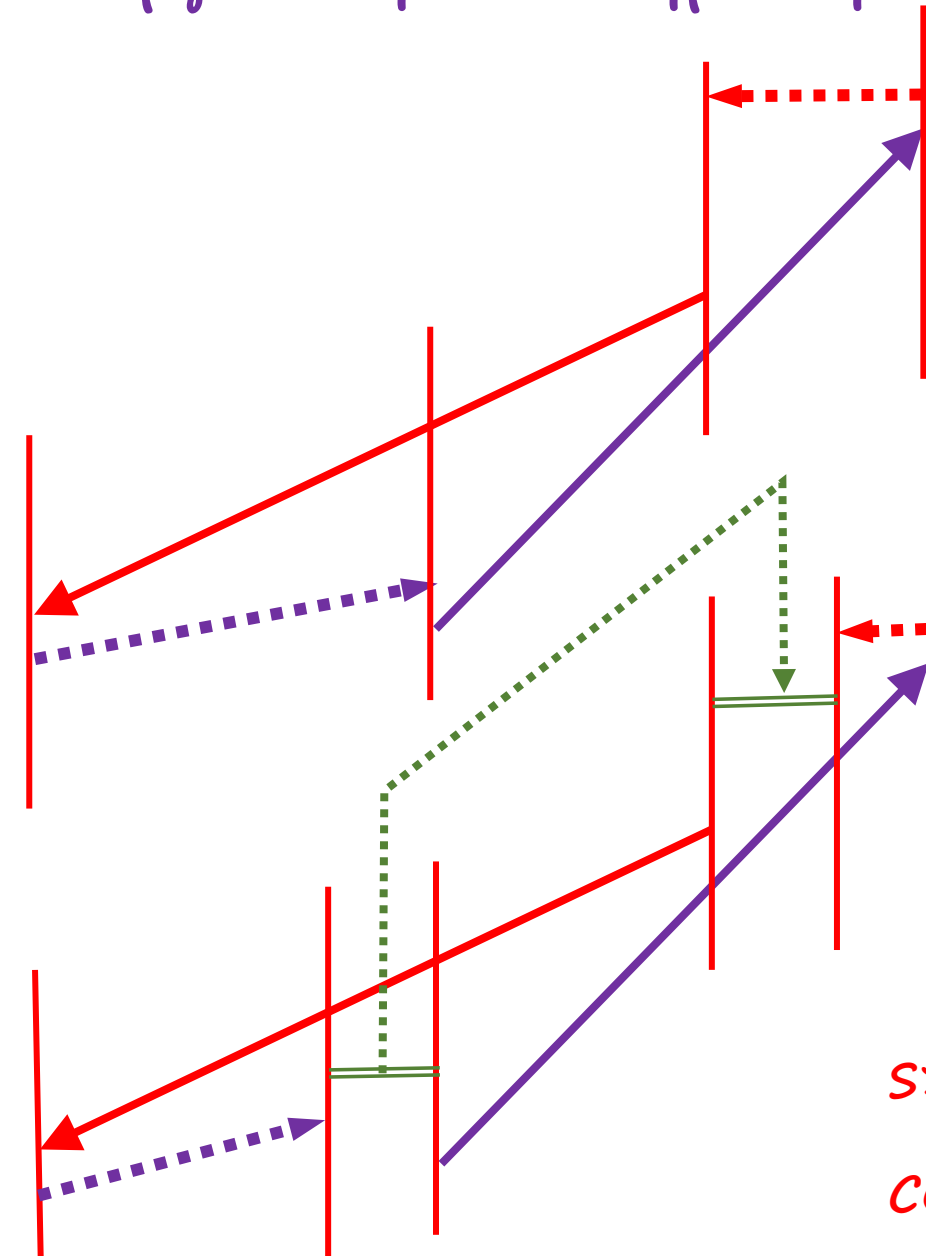
Κατάψυξη 3 βαθμίδων



Πολλαπλές Βοηθητικές Παροχές



Αντλίες Θερμότητας και Ενεργειακή Ολοκλήρωση



(1) Χωρίς Ανάκτηση Θερμότητας

$$C_{op} = Q_h C_h + Q_c C_c$$

(2) Με ανάκτηση

$$C_{op} = Q_{hmin} C_h + Q_{cmin} C_c$$

(3) Με αντλία θερμότητας επί πλέον όφελος:

$$S = (Q+W) C_h + Q C_c - W C_e$$

$$S > 0 \rightarrow (1 + 1/COP) C_h + C_c - (C_e/COP) > 0$$

$$COP = Q/W$$

Ξανά: Κριτήρια τοποθέτησης αντλίας

Είπαμε για θέρμανση και ψύξη ταυτόχρονα:

$$S > 0 \rightarrow (1 + 1/COP)C_h + C_c - (C_e/COP) > 0$$

όπου $COP = Q/W$

Για θέρμανση μόνο:

$$C_e/C_h < COP + 1$$

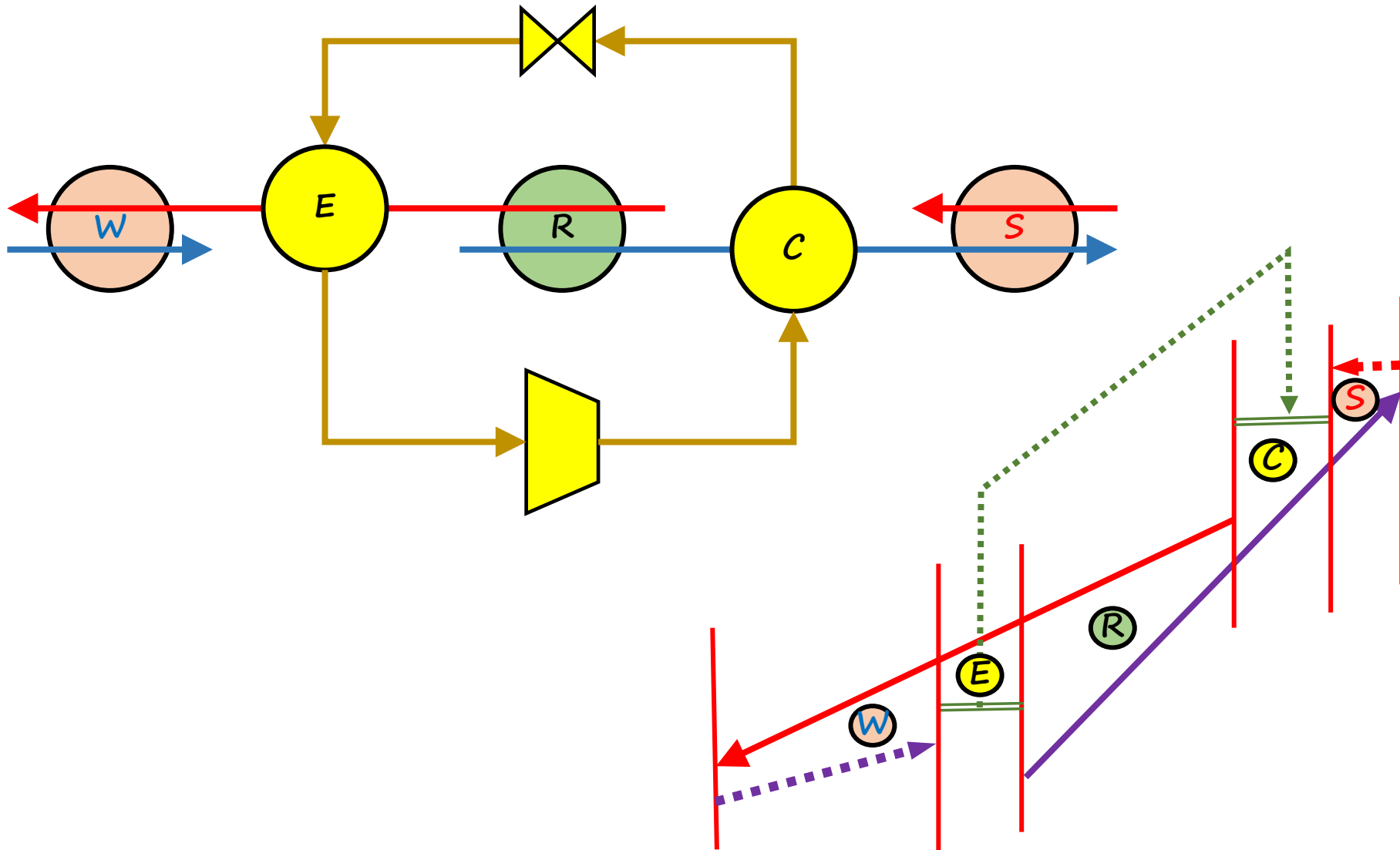
Για ψύξη μόνο:

$$C_e/C_c < COP$$

(1) Χωρίς Ανάκτηση Θερμότητας

(2) Με ανάκτηση

(3) Με αντλία θερμότητας



Τι μάθαμε σήμερα:

Τι είναι αντλία θερμότητας και ποια τα χαρακτηριστικά της.

Εφαρμόσαμε ένα καταπληκτικό απλοποιημένο (short-cut) τρόπο υπολογισμού της αντλίας θερμότητας.

Είδαμε μερικές σπουδαίες εφαρμογές της αντλίας θερμότητας.

Αλλά κυρίως αποδείξαμε
το ρόλο της στην ενεργειακή ολοκλήρωση της βιομηχανίας.

Σχεδιασμός Αντλίας Θερμότητας

Να σχεδιαστεί μία αντλία θερμότητας για την άντληση θερμότητας από μία χαμηλή θερμοκρασία TL σε μία υψηλή TH.
για τις παρακάτω περιπτώσεις:

Θερμικά Φορτία:

Load.	TH.	TL.	h.	ty.
Summer	40	25	0	3000
Winter	25	0	1	4000
Cooler	25	-10	0	8000
Freezer	25	-20	0	8000
WinterLiquid	60	0	1	4000

Δεδομένα

$$U_e = 0.10 \text{ kW/m}^2\text{C}$$

$$U_c = 0.10 \text{ kW/m}^2\text{C}$$

$$C_e = 120 \text{ €/MWh}$$

$$C_{1c} = 5 \text{ k€/kW}$$

$$\eta_c = 0.75$$

$$C_{1e} = 5 \text{ k€/m}^2$$

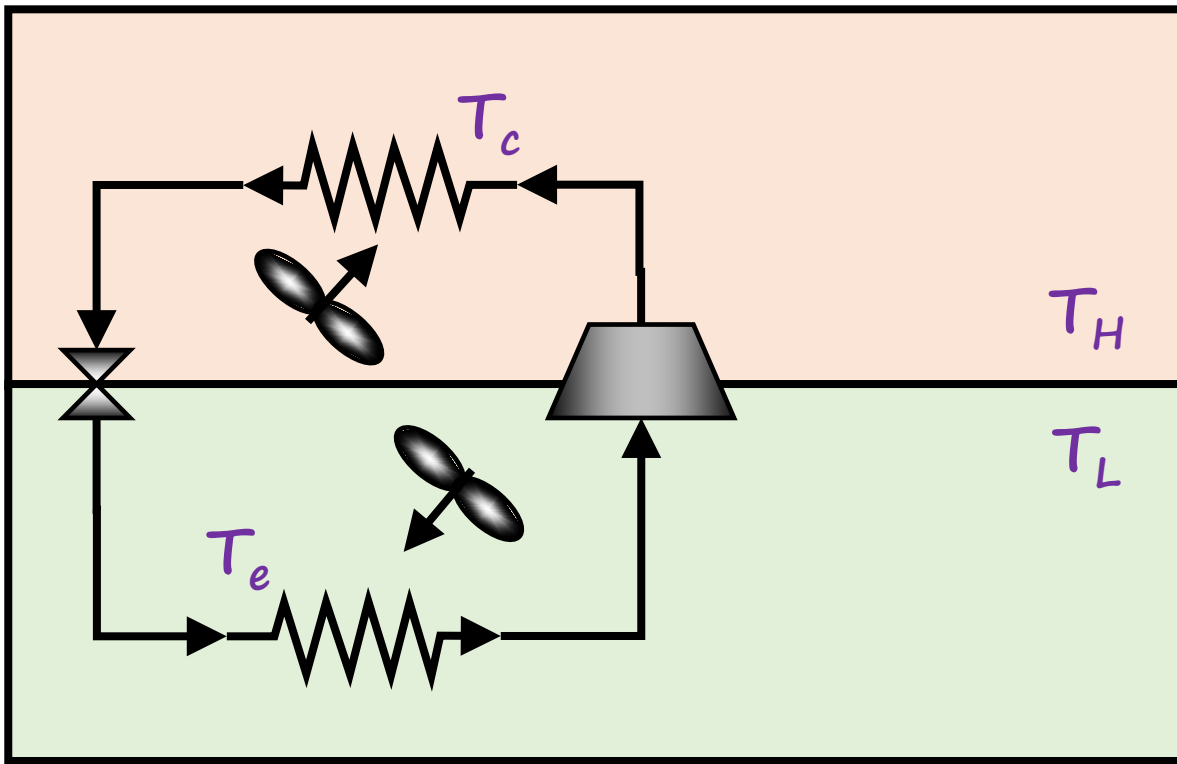
$$\eta_e = 0.67$$

$$e = 0.25$$

Διαθέσιμα Ψυκτικά:

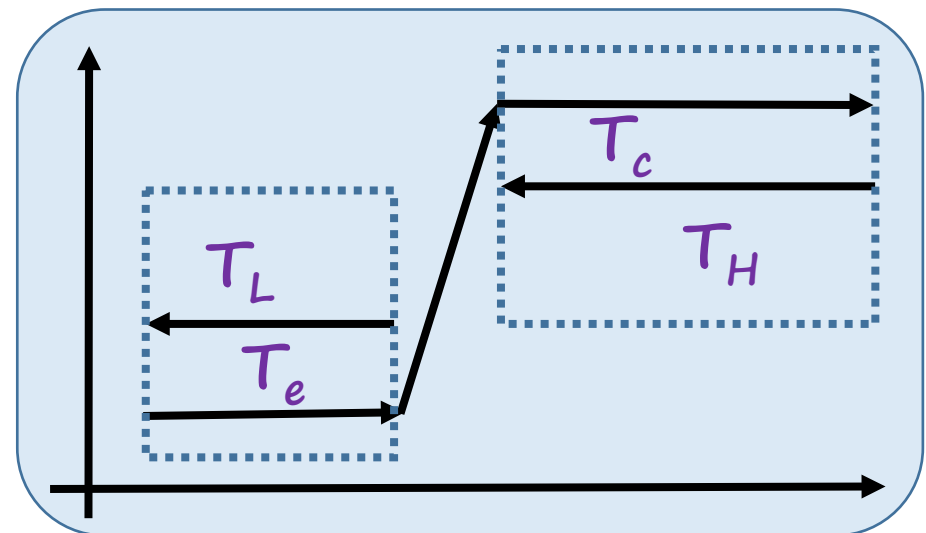
R.	Refrigerant.	dHr.	Cpr.	Tt.	Tc.	a1.	a2.	a3.
R-717	Ammonia	1372	1.20	-42	132	1.03E+01	2.13E+03	2.40E+02
R-113	Trichlorotrifluoroethane	180	0.62	1	198	9.23E+00	2.40E+03	2.37E+02
R-600	Butane	386	1.67	-52	152	9.06E+00	2.15E+03	2.39E+02
R-14	Carbontetrafluoride	136	0.60	-82	-46	9.43E+00	1.24E+03	2.60E+02
R-170	Ethane	489	2.54	-67	32	9.04E+00	1.51E+03	2.56E+02

Ως βάση υπολογισμών να θεωρηθεί συμπιεστής 100kW



Διάγραμμα Ροής

Διάγραμμα Ενθαλπίας-Θερμοκρασίας



Αλγόριθμος Επίλυσης

$W_r = 100 \text{ kW}$ βάση υπολογισμών
 $\Delta T_{min} := 10^\circ\text{C}$ μεταβλητή σχεδιασμού

$$T_c = T_H + \Delta T_{min} \text{ όπου } T_c < T_{CR}$$

$$T_e = T_L - \Delta T_{min} \text{ όπου } T_e > T_{TR}$$

$$F_r = W_r T_e / (T_c - T_e) / \Delta H_r$$

$$Q_e = F_r [\Delta H_r - C_{pr} (T_c - T_e)]$$

$$Q_c = Q_e + W_r$$

$$COP_{ideal} = T_e / (T_c - T_e)$$

$$IP = T_e C_{pr} / \Delta H_r$$

$$COP = COP_{ideal} - IP + h$$

$$A_e = Q_e / U_e / \Delta T_{min}$$

$$A_c = Q_c / U_c / \Delta T_{min}$$

$$C_{eq} = C_{1c} W_r^{n_c} + C_{1e} A_e^{n_e} + C_{1e} A_c^{n_e}$$

$$C_{op} = W_r t_y C_e$$

$$CTL = C_{op} + e C_{eq}$$

Load	Summer
TH	25.0
TL	-20.0

dTmin	10	C
Tc	35.0	132
Te	-30.0	-42

jRefr	1
jLoad	4

R-717	Ammonia
dHr	1.37 MJ/kg
Cpr	1.20 kJ/kg
Fr	0.27 kg/s

Wr	100 kW
Qe	353
Qc	453

COPc	3.74
IP	0.21
COP	3.53

Ue	0.10 kW/m ² K
Uc	0.10 kW/m ² K

Ae	0.35 m ²
Ac	0.45 m ²

Ce	120 €/MWh
Ceq1com	1 k€/kW
ncom	0.75 -
Ceq1exc	1 k€/m ²
nexc	0.67 -

Coper	96.0
Ceq	32.7
CTL	104.2 k€

e	0.25 -
ty	8000 h/y

Coper	34.0
Ceq	2.9
CTL	36.9 €/MWh

Υλοποίηση στο Excel:

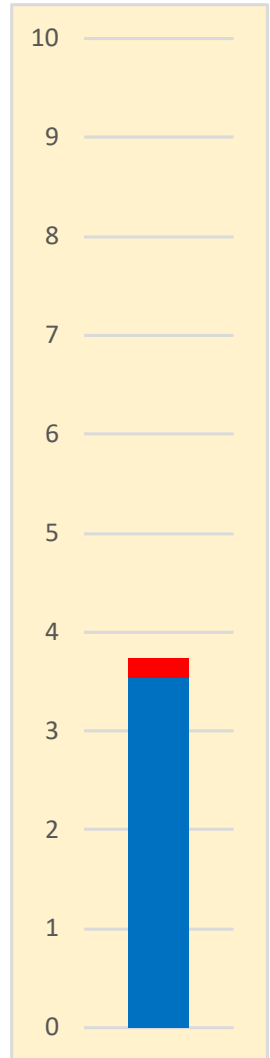
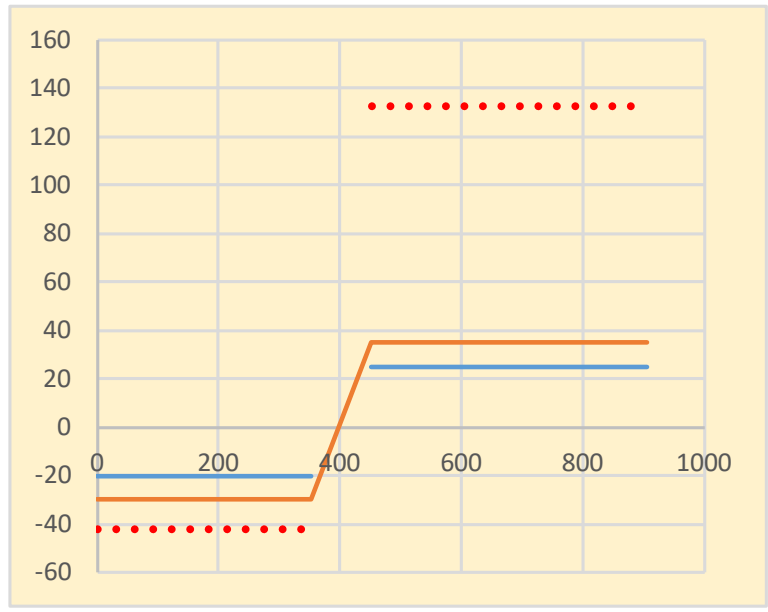
2 βάσεις δεδομένων όπως στην εκφώνηση.

2 Combo Boxes για επιλογή ψυκτικού και εξεταζόμενου φορτίου.

1 Scroll Bar για ΔT_{min} .

2 διαγράμματα: Ενθαλπίας-Θερμοκρασίας και COP, IP.

Load	Summer		Freezer	
TH	25.0			
TL	-20.0			
dTmin	10 C			
Tc	35.0	132	jRefr	1
Te	-30.0	-42	jLoad	4
R-717	Ammonia		Ammonia	
dHr	1.37 MJ/kg			
Cpr	1.20 kJ/kg			
Fr	0.27 kg/s			
Wr	100 kW			
Qe	353			
Qc	453			
COPc	3.74			
IP	0.21			
COP	3.53			
Ue	0.10 kW/m2K	Ae	0.35 m2	
Uc	0.10 kW/m2K	Ac	0.45 m2	
Ce	120 €/MWh	Coper	96.0	
Ceq1com	1 κ€/kW	Ceq	32.7	
ncom	0.75 -	CTL	104.2 κ€	
Ceq1exc	1 κ€/m2	Coper	34.0	
nexc	0.67 -	Ceq	2.9	
e	0.25 -	CTL	36.9 €/MWh	
ty	8000 h/y			



Shelton-Grossmann 1985

$$Q_e = F_R [\Delta H_R - C_{PR} (T_c - T_e)]$$

$$Q_c = F_R [\Delta H_R (T_c / T_e) - C_{PR} (T_c - T_e)]$$

$$W_R = F_R \Delta H_R (T_c - T_e) / T_e$$

$$COP = Q_e / W_R = T_e / (T_c - T_e) - T_e C_{PR} / \Delta H_R$$