

Ανάκτηση Βενζοϊκού Οξέος από υδατικά απόβλητα (κεφάλαιο 11)

Πρόβλημα: υδατικά απόβλητα $F_w = 1 \text{ kg νερού/sec}$, $T_a = 30^\circ\text{C}$
περιέχουν βενζοϊκό οξύ σε συγκέντρωση
 $X_w = 0.002 \text{ kg/kg νερού}$

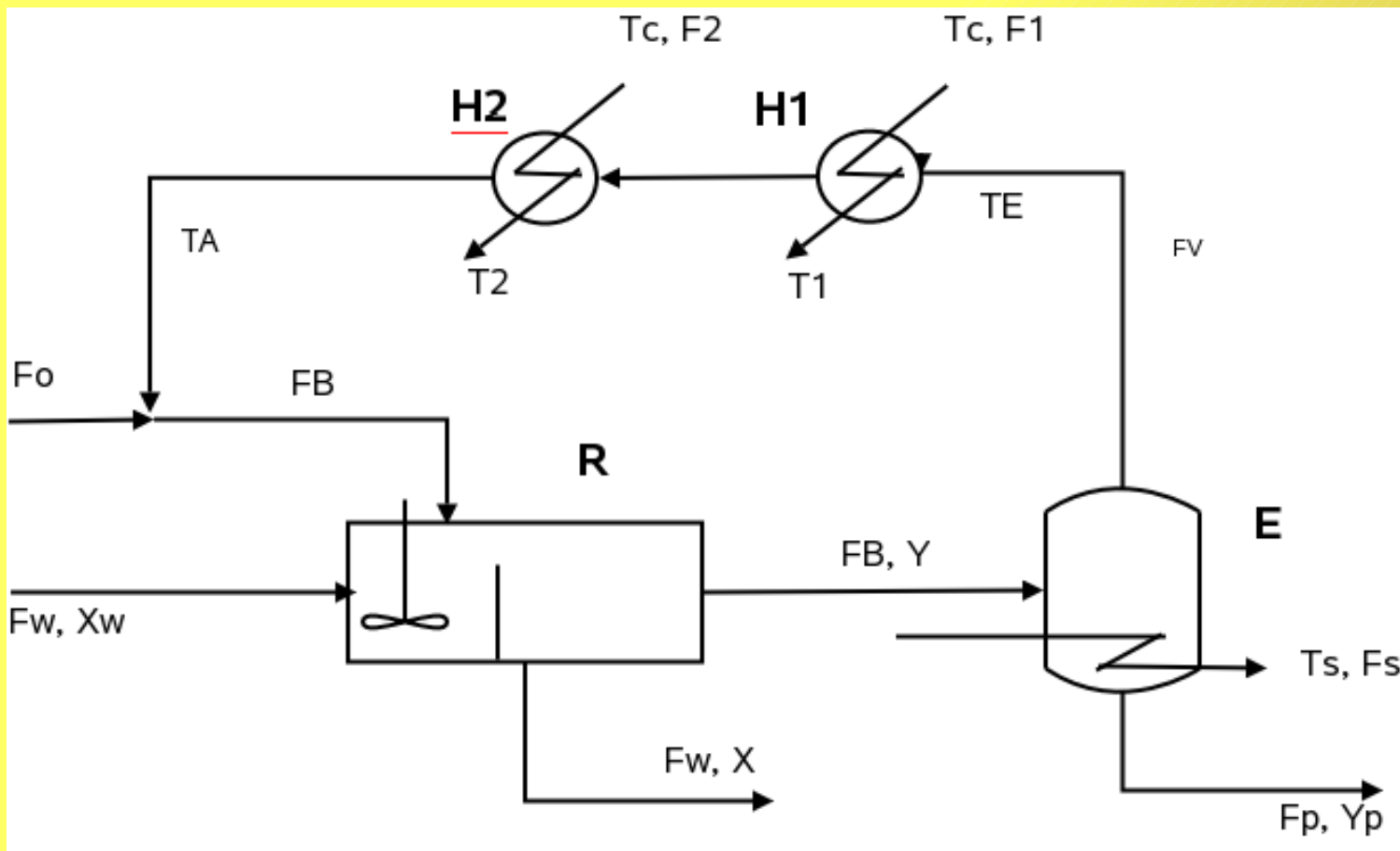
Πρόβλημα: υδατικά απόβλητα $F_w = 1 \text{ kg νερού/sec}$, $T_a = 30^\circ\text{C}$
περιέχουν βενζοϊκό οξύ σε συγκέντρωση
 $X_w = 0.002 \text{ kg/kg νερού}$

Δεδομένο: μεγάλη ζήτηση για βενζοϊκό οξύ διαλυμένο σε βενζόλιο
με συγκέντρωση $Y_p = 0.1 \text{ kg/kg βενζολίου}$.
Ιστορικό επιτυχούς εκχύλισης βενζ. οξέος με διαλύτη
βενζόλιο

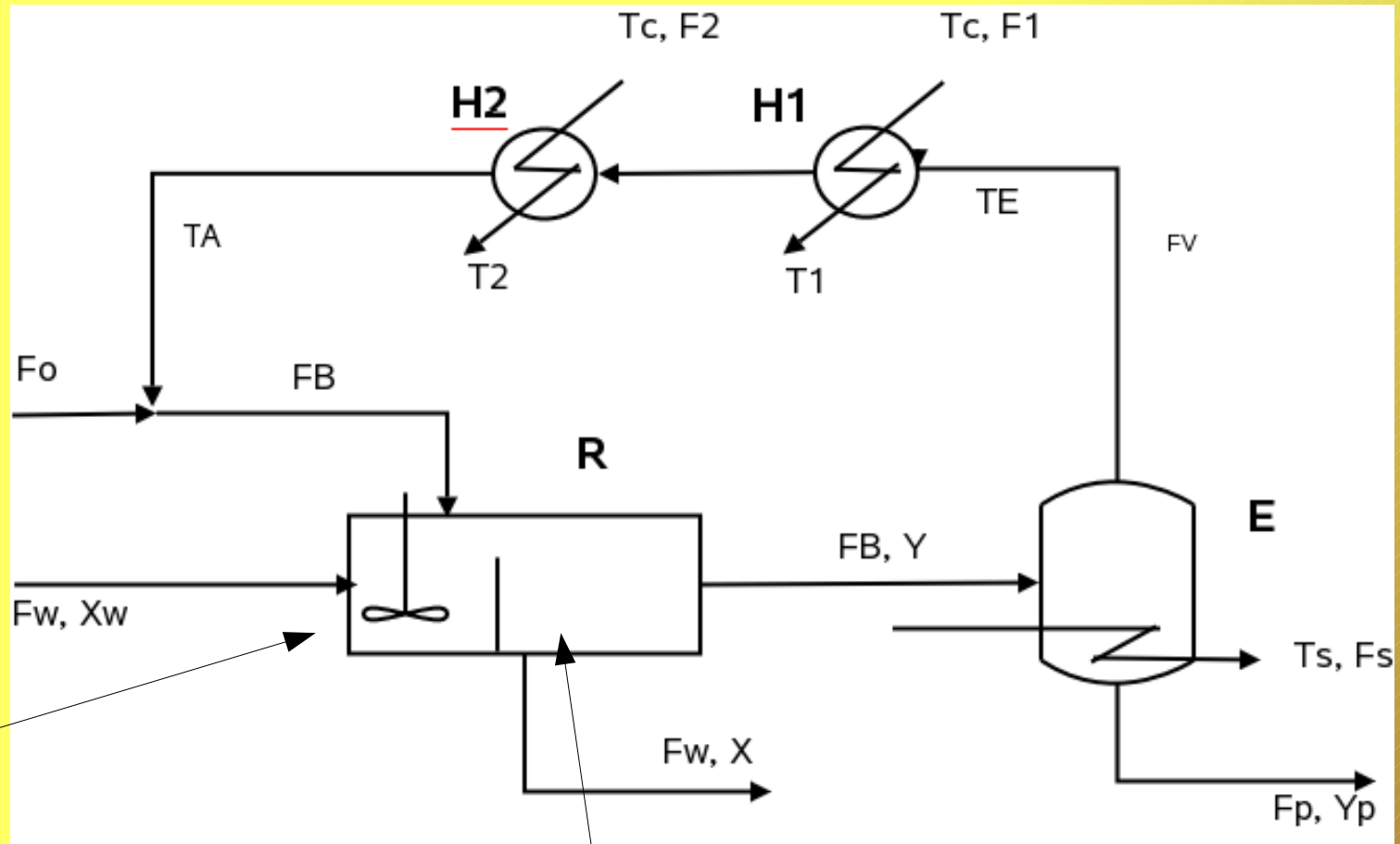
Πρόβλημα: υδατικά απόβλητα $F_w = 1 \text{ kg νερού/sec}$, $T_a = 30^\circ\text{C}$
περιέχουν βενζοϊκό οξύ σε συγκέντρωση
 $X_w = 0.002 \text{ kg/kg νερού}$

Δεδομένο : μεγάλη ζήτηση για βενζοϊκό οξύ διαλυμένο σε βενζόλιο
με συγκέντρωση $Y_p = 0.1 \text{ kg/kg βενζολίου}$.
Ιστορικό επιτυχούς εκχύλισης βενζ. οξέος με διαλύτη
βενζόλιο

Πρόταση : Ανάκτηση μέρους του βενζ. οξέος με εκχύλιση
με διαλύτη βενζόλιο και διάθεση στην αγορά.



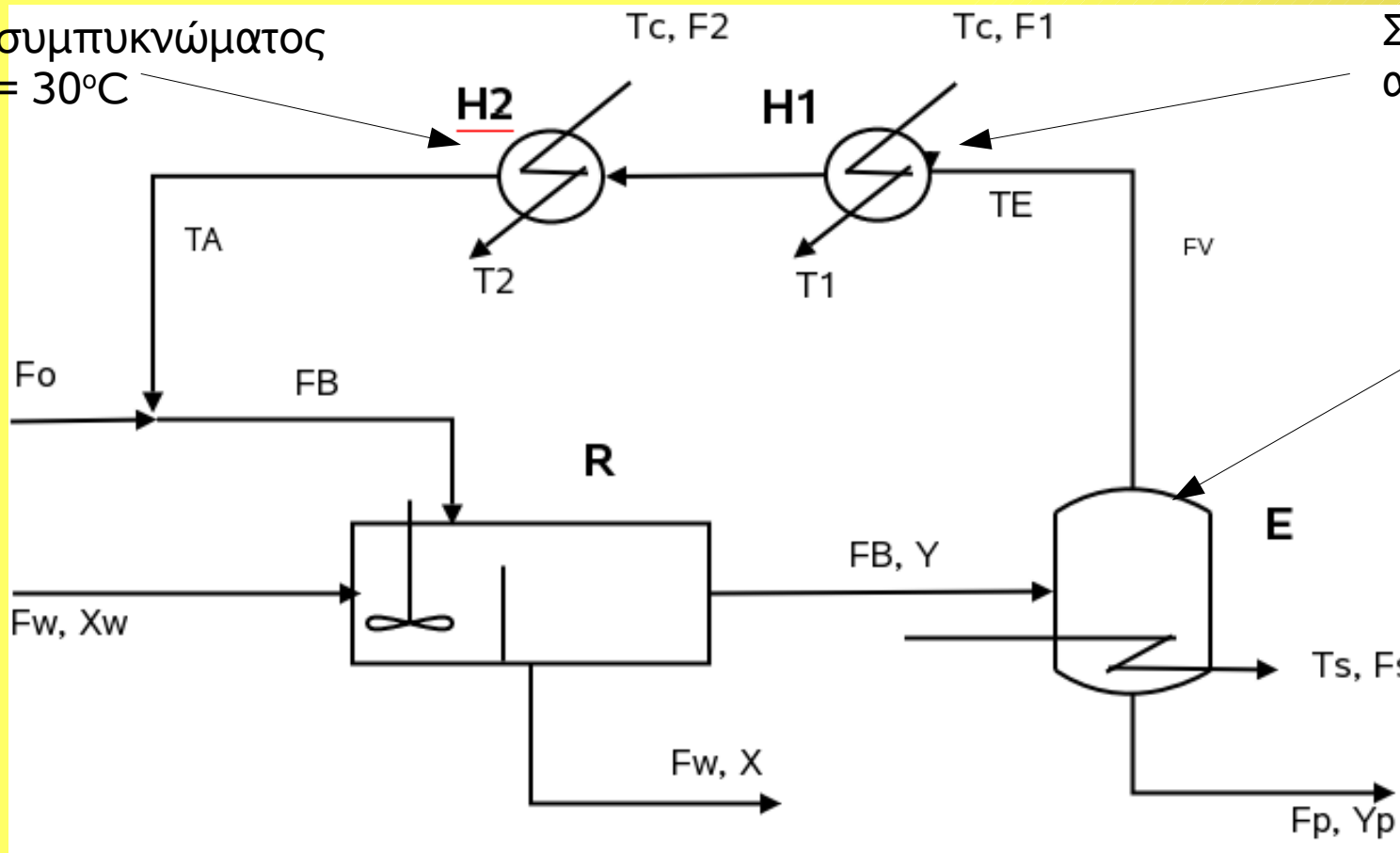
Διάγραμμα ροής για ανάκτηση βενζοϊκού οξέος
από υδατικά απόβλητα με εκχύλιση



Ανάμιξη

Ισοθερμοκρασιακή
εκχύλιση, $T_A = 30^\circ\text{C}$

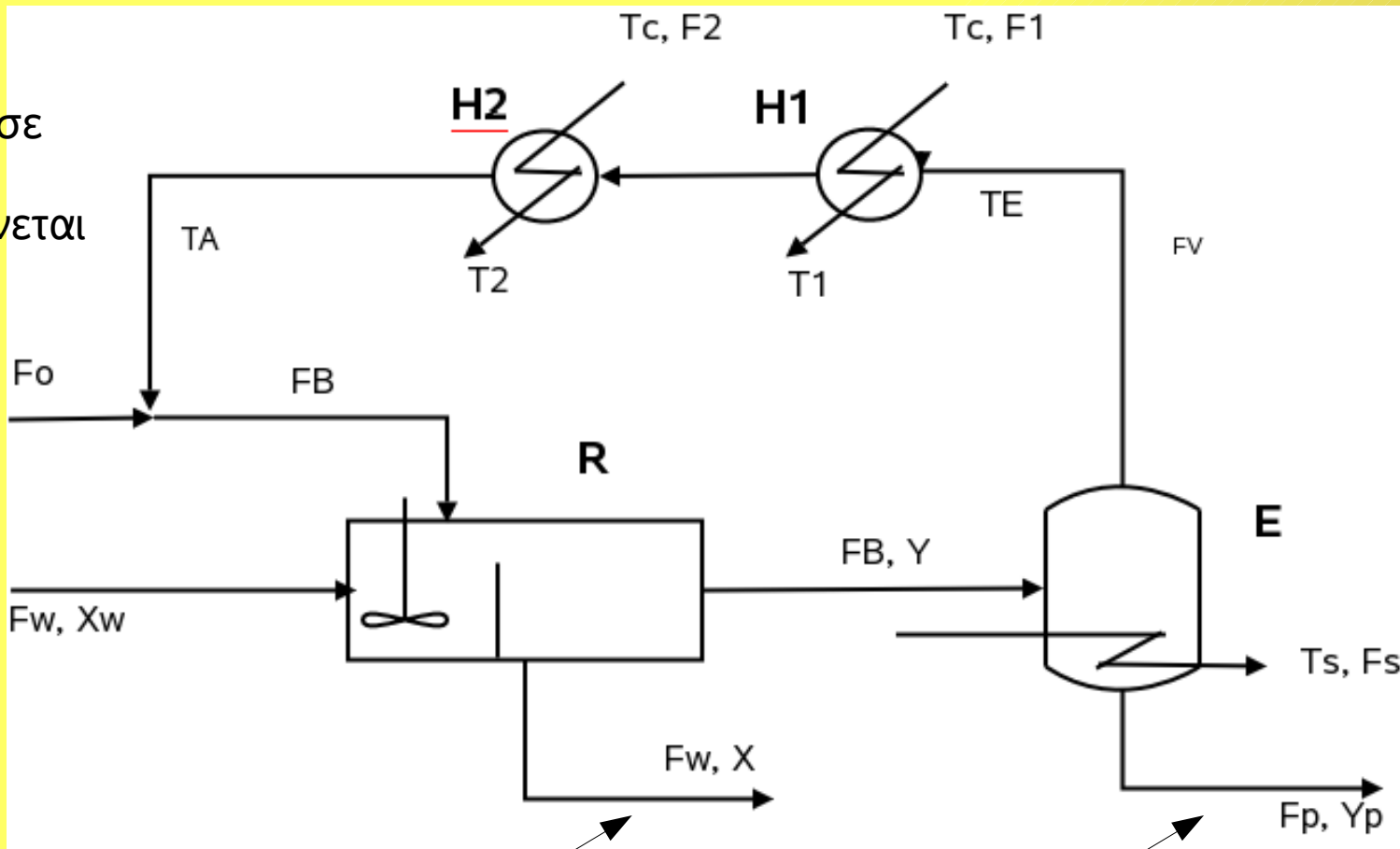
Ψύξη συμπυκνώματος
σε $T_A = 30^\circ\text{C}$



Συμπύκνωση
ατμών

Εξάτμιση &
ανάκτηση
μέρους του
βενζολίου

Προσθήκη
βενζολίου σε
αυτό που
ανακυκλώνεται



Απόβλητα
με μειωμένη περιεκτικότητα
σε βενζοϊκό οξύ

Τελικό προϊόν
με συγκέντρωση Y

Οικονομική αξιολόγηση επενδυτικού σχεδίου

Αντικειμενική Συνάρτηση $S =$ **Ετήσια Κέρδη**

αναλύεται σε :

- + **Εσοδα πώλησης βενζοϊκού οξέος (C_{ac})**
- **Κόστος λειτουργίας (C_{op})**
- **Σταθερό (πάγιο) κόστος (C_{eq})**

$$S = C_{ac} - C_{op} - C_{eq}$$

Διατύπωση προβλήματος αριστοποίησης

$$\max S (\mathbf{D}; \mathbf{M})$$

με περιορισμούς :

$$F_i(\mathbf{M}; \mathbf{D})=0, i = 1, 2, 3...$$

όπου **D** οι μεταβλητές σχεδιασμού

M οι μεταβλητές επίλυσης του μοντέλου

F_i οι εξισώσεις του μοντέλου της διεργασίας

Δεδομένα των διεργασιών

Δεδομένα Ισορροπίας

- $Y = mX$, όπου $m = 4$
- Διαλυτότητα βενζολίου στο νερό = αμελητέα
- Χρόνος παραμονής για επίτευξη ισορροπίας $\tau = 300$ s

Θερμοφυσικές Ιδιότητες

- Θερμοκρ. βρασμού βενζολίου, $T_E = 80^\circ\text{C}$ (ατμοσφ. πίεση)
- Θερμότητα εξάτμισης βενζολίου, $\Delta H_B = 280$ kJ/kg
- Ειδική θερμότητα βενζολίου, $C_{PB} = 1.75$ kJ/kgK

Μεταφορά θερμότητας

- Εξατμιστήρας, $U_E = 600$ W/m²K
- Συμπυκνωτήρας, $U_1 = 600$ W/m²K
- Ψυκτήρας, $U_2 = 120$ W/m²K

Βοηθητικές παροχές

- Ατμός θέρμανσης, $T_s = 160^\circ\text{C}$
- Θερμότητα συμπύκνωσης, $\Delta H_s = 2080$ kJ/kg
- Νερό ψύξης, $T_c = 15^\circ\text{C}$
- Ειδική θερμότητα νερού ψύξης, $C_{pw} = 4.18$ kJ/kgK

Οικονομικά δεδομένα

Έσοδα και λειτουργικά έξοδα

- Βενζοϊκό οξύ, $C_A = 200$ δρχ/kg (*)
- Βενζόλιο, $C_B = 100$ δρχ/kg
- Ατμός θέρμανσης, $C_S = 2000$ δρχ/MT
- Νερό ψύξης, $C_W = 2$ δρχ/MT

Σταθερό κόστος

- Εναλλάκτης κελύφους-σωλήνων,
 K_H (δρχ) = $\beta_H A^n$, όπου A επιφάνεια
εναλλαγής θερμότητας σε m^2 ,
 $\beta_H = 1.2 \times 10^6$, $n = 0.6$

Σταθερό κόστος (συνέχεια)

- Εξατμιστήρας, K_E (δρχ) = $\beta_E A^n$,
όπου A επιφάνεια εναλλαγής
θερμότητας σε m^2 ,
 $\beta_E = 1.8 \times 10^6$, $n = 0.6$
- Εκχυλιστήρας, K_R (δρχ) = $\beta_R M_R^n$,
όπου M_R φορτίο σε τόννους,
 $\beta_R = 2.4 \times 10^6$, $n = 0.6$
- Συντελεστής απόσβεσης, $e = 0.2$
- Ετήσιος χρόνος λειτουργίας,
 $t = 8000$ ώρες/έτος

* η τιμή στο βιβλίο είναι λάθος

Μαθηματικό μοντέλο

Εκχύλιση

$$1. F_W (X_W - X) = F_B Y$$

$$2. Y = m X$$

$$3. \tau = M_R / (F_B + F_W + F_W X_W)$$

Άγνωστοι: X, Y, F_B, M_R (4)

Εξάτμιση

$$4. F_B Y = F_P Y_P$$

$$5. F_B = F_V + F_P$$

$$6. Q_E = (1+Y)F_B C_{pB} (T_E - T_A) + F_V \Delta H_B$$

$$7. Q_E = F_S \Delta H_S$$

$$8. Q_E = U_E A_E (T_S - T_E)$$

Άγνωστοι: F_P, F_V, Q_E, F_S, A_E (5)

Συμπύκνωση

$$9. Q_1 = F_V \Delta H_B$$

$$10. Q_1 = F_1 C_{pw} (T_1 - T_C)$$

$$11. Q_1 = A_1 U_1 (T_1 - T_C) / \ln[(T_E - T_C)/(T_E - T_1)]$$

Άγνωστοι: Q_1, F_1, T_1, A_1 (4)

Ψύξη

$$12. Q_2 = F_V C_{pB} (T_E - T_A)$$

$$13. Q_2 = F_2 C_{pw} (T_2 - T_C)$$

$$14. Q_2 = A_2 U_2 (T_E - T_2 - T_A + T_C) / \ln[(T_E - T_2)/(T_A - T_C)]$$

Άγνωστοι: Q_2, T_2, F_2, A_2 (4)

Ανάμιξη ρευμάτων

$$15. F_V = F_0 + F_V$$

Άγνωστοι: F_0 (1)

Αντικειμενική Συνάρτηση

Σταθερό κόστος (αποσβέσεις)

$$C_{eq} = e (\beta_R M_R^n + \beta_E A_E^n + \beta_H A_H^{1n} + \beta_H A_H^{2n})$$

Κέρδος

$$S = C_{ac} - C_{eq} - C_{op}$$

Λειτουργικό κόστος

$$C_{op} = (C_B F_S + C_B F_0 + C_W F_1 + C_W F_2) t_y$$

Έσοδα από πωλήσεις

$$C_{ac} = C_A F_P t_y$$

Αγνωστες μεταβλητές: 18

Εξισώσεις: 15

Μεταβλητές σχεδιασμού: $18 - 15 = 3$

Μεταβλητές επίλυσης: 15 (όσες οι εξισώσεις)

*Πρέπει να προσδιορίσουμε
ποιες είναι ποιες
→ Lee, Christensen, Rudd*

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

**Πίνακας Απεικόνισης Συστήματος
 (αραιό σύστημα)**

μεταβλητές:

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

Πίνακας Απεικόνισης Συστήματος
 (αραιό σύστημα)

μεταβλητές:

εξισώσεις:

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

Πίνακας Απεικόνισης Συστήματος
 (αραιό σύστημα)

μεταβλητές:

εξισώσεις:

συχνότητα
 εμφάνισης
 μεταβλητών:

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

Πίνακας Απεικόνισης Συστήματος
 (αραιό σύστημα)

μεταβλητές:

εξισώσεις:

συχνότητα
 εμφάνισης
 μεταβλητών:

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

Εδώ θα
 γράψουμε
 τη σειρά
 επίλυσης
 των εξισώσεων
 του μοντέλου

Πίνακας Απεικόνισης Συστήματος
 (αραιό σύστημα)

	X	Y	F _B	M _R	F _P	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

	X	Y	F _B	M _R	F _P	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀	E3 → M _R
1	X	X	X																
2	X	X																	
3			X	X															
4		X	X		X														
5			X		X	X													
6		X	X			X	X												
7							X	X											
8							X		X										
9						X				X									
10										X	X	X							
11										X	X		X						
12						X								X					
13														X	X	X			
14														X	X		X		
15			X			X													X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1	

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

E7 → F_S
 E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

E7 → F_S
 E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

E7 → F_S
 E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

E8 → A_E
 E7 → F_S
 E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

E8 → A_E
 E7 → F_S
 E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

E8 → A_E
 E7 → F_S
 E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

E10 → F₁
 E8 → A_E
 E7 → F_S
 E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

E10 → F₁
 E8 → A_E
 E7 → F_S
 E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

E10 → F₁
 E8 → A_E
 E7 → F_S
 E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

E11 → A₁

E10 → F₁

E8 → A_E

E7 → F_S

E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

E11 → A₁
 E10 → F₁
 E8 → A_E
 E7 → F_S
 E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

E11 → A₁
 E10 → F₁
 E8 → A_E
 E7 → F_S
 E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

E13 → F₂

E11 → A₁

E10 → F₁

E8 → A_E

E7 → F_S

E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

E13 → F₂
 E11 → A₁
 E10 → F₁
 E8 → A_E
 E7 → F_S
 E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀	
1	X	X	X																E13→F ₂
2	X	X																	E11→A ₁
3			X	X															E10→F ₁
4		X	X		X														E8 →A _E
5			X		X	X													E7 →F _S
6		X	X			X	X												E3 →M _R
7							X	X											
8							X		X										
9						X				X									
10										X	X	X							
11										X	X		X						
12						X								X					
13														X	X	X			
14														X	X		X		
15			X			X													X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1	

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

E14 → A₂

E13 → F₂

E11 → A₁

E10 → F₁

E8 → A_E

E7 → F_S

E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1

- E14 → A₂
- E13 → F₂
- E11 → A₁
- E10 → F₁
- E8 → A_E
- E7 → F_S
- E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀	
1	X	X	X																E14→A ₂
2	X	X																	E13→F ₂
3			X	X															E11→A ₁
4		X	X		X														E10→F ₁
5			X		X	X													E8 →A _E
6		X	X			X	X												E7 →F _S
7							X	X											E3 →M _R
8							X		X										
9						X				X									
10										X	X	X							
11										X	X		X						
12						X								X					
13														X	X	X			
14														X	X		X		
15			X			X													X
	2	4	6	1	2	5	3	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	1	

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	4	1	2	4	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

E15 → F₀

E14 → A₂

E13 → F₂

E11 → A₁

E10 → F₁

E8 → A_E

E7 → F_S

E3 → M_R

Ξαναμετράμε τη συχνότητα εμφάνισης των μεταβλητών που έμειναν!

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	4	1	2	4	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

- E15 → F₀
- E14 → A₂
- E13 → F₂
- E11 → A₁
- E10 → F₁
- E8 → A_E
- E7 → F_S
- E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	4	1	2	4	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

E15 → F₀

E14 → A₂

E13 → F₂

E11 → A₁

E10 → F₁

E8 → A_E

E7 → F_S

E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	4	1	2	4	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

E6 → Q_E
 E15 → F₀
 E14 → A₂
 E13 → F₂
 E11 → A₁
 E10 → F₁
 E8 → A_E
 E7 → F_S
 E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	4	1	2	4	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

- E6 → Q_E
- E15 → F₀
- E14 → A₂
- E13 → F₂
- E11 → A₁
- E10 → F₁
- E8 → A_E
- E7 → F_S
- E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	4	1	2	4	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

- E6 → Q_E
- E15 → F₀
- E14 → A₂
- E13 → F₂
- E11 → A₁
- E10 → F₁
- E8 → A_E
- E7 → F_S
- E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	4	1	2	4	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

- E9 → Q₁
- E6 → Q_E
- E15 → F₀
- E14 → A₂
- E13 → F₂
- E11 → A₁
- E10 → F₁
- E8 → A_E
- E7 → F_S
- E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	4	1	2	4	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

- E9 → Q₁
- E6 → Q_E
- E15 → F₀
- E14 → A₂
- E13 → F₂
- E11 → A₁
- E10 → F₁
- E8 → A_E
- E7 → F_S
- E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	4	4	1	2	4	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

- E9 → Q₁
- E6 → Q_E
- E15 → F₀
- E14 → A₂
- E13 → F₂
- E11 → A₁
- E10 → F₁
- E8 → A_E
- E7 → F_S
- E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	3	3	1	2	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

E12 → Q₂

E9 → Q₁

E6 → Q_E

E15 → F₀

E14 → A₂

E13 → F₂

E11 → A₁

E10 → F₁

E8 → A_E

E7 → F_S

E3 → M_R

Ξαναμετράμε τη συχνότητα εμφάνισης των μεταβλητών που έμειναν!

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _v	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	3	3	1	2	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

- E12 → Q₂
- E9 → Q₁
- E6 → Q_E
- E15 → F₀
- E14 → A₂
- E13 → F₂
- E11 → A₁
- E10 → F₁
- E8 → A_E
- E7 → F_S
- E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _v	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	3	3	1	2	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

E12 → Q₂

E9 → Q₁

E6 → Q_E

E15 → F₀

E14 → A₂

E13 → F₂

E11 → A₁

E10 → F₁

E8 → A_E

E7 → F_S

E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

- E5 → F_V
- E12 → Q₂
- E9 → Q₁
- E6 → Q_E
- E15 → F₀
- E14 → A₂
- E13 → F₂
- E11 → A₁
- E10 → F₁
- E8 → A_E
- E7 → F_S
- E3 → M_R

Ξαναμετράμε τη συχνότητα εμφάνισης των μεταβλητών που έμειναν!

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

- E5 → F_V
- E12 → Q₂
- E9 → Q₁
- E6 → Q_E
- E15 → F₀
- E14 → A₂
- E13 → F₂
- E11 → A₁
- E10 → F₁
- E8 → A_E
- E7 → F_S
- E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

- E5 → F_V
- E12 → Q₂
- E9 → Q₁
- E6 → Q_E
- E15 → F₀
- E14 → A₂
- E13 → F₂
- E11 → A₁
- E10 → F₁
- E8 → A_E
- E7 → F_S
- E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

- E4 → F_p
- E5 → F_V
- E12 → Q₂
- E9 → Q₁
- E6 → Q_E
- E15 → F₀
- E14 → A₂
- E13 → F₂
- E11 → A₁
- E10 → F₁
- E8 → A_E
- E7 → F_S
- E3 → M_R

Ξαναμετράμε τη συχνότητα εμφάνισης των μεταβλητών που έμειναν!

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

- E4 → F_p
- E5 → F_V
- E12 → Q₂
- E9 → Q₁
- E6 → Q_E
- E15 → F₀
- E14 → A₂
- E13 → F₂
- E11 → A₁
- E10 → F₁
- E8 → A_E
- E7 → F_S
- E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _P	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

- E4 → F_p
- E5 → F_v
- E12 → Q₂
- E9 → Q₁
- E6 → Q_E
- E15 → F₀
- E14 → A₂
- E13 → F₂
- E11 → A₁
- E10 → F₁
- E8 → A_E
- E7 → F_S
- E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _v	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

- E1 → F_B
- E4 → F_p
- E5 → F_v
- E12 → Q₂
- E9 → Q₁
- E6 → Q_E
- E15 → F₀
- E14 → A₂
- E13 → F₂
- E11 → A₁
- E10 → F₁
- E8 → A_E
- E7 → F_S
- E3 → M_R

Ξαναμετράμε τη συχνότητα εμφάνισης των μεταβλητών που έμειναν!

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

- E1 → F_B
- E4 → F_p
- E5 → F_V
- E12 → Q₂
- E9 → Q₁
- E6 → Q_E
- E15 → F₀
- E14 → A₂
- E13 → F₂
- E11 → A₁
- E10 → F₁
- E8 → A_E
- E7 → F_S
- E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _V	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

- E1 → F_B
- E4 → F_p
- E5 → F_V
- E12 → Q₂
- E9 → Q₁
- E6 → Q_E
- E15 → F₀
- E14 → A₂
- E13 → F₂
- E11 → A₁
- E10 → F₁
- E8 → A_E
- E7 → F_S
- E3 → M_R

	X	Y	F _B	M _R	F _p	F _v	Q _E	F _S	A _E	Q ₁	T ₁	F ₁	A ₁	Q ₂	T ₂	F ₂	A ₂	F ₀
1	X	X	X															
2	X	X																
3			X	X														
4		X	X		X													
5			X		X	X												
6		X	X			X	X											
7							X	X										
8							X		X									
9						X				X								
10										X	X	X						
11										X	X		X					
12						X								X				
13														X	X	X		
14														X	X		X	
15			X			X												X
	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

- E2** → **Y**
- E1 → F_B
- E4 → F_p
- E5 → F_v
- E12 → Q₂
- E9 → Q₁
- E6 → Q_E
- E15 → F₀
- E14 → A₂
- E13 → F₂
- E11 → A₁
- E10 → F₁
- E8 → A_E
- E7 → F_S
- E3 → M_R

Μεταβλητές Σχεδιασμού: X, T₁ και T₂

Ανισωτικοί περιορισμοί:

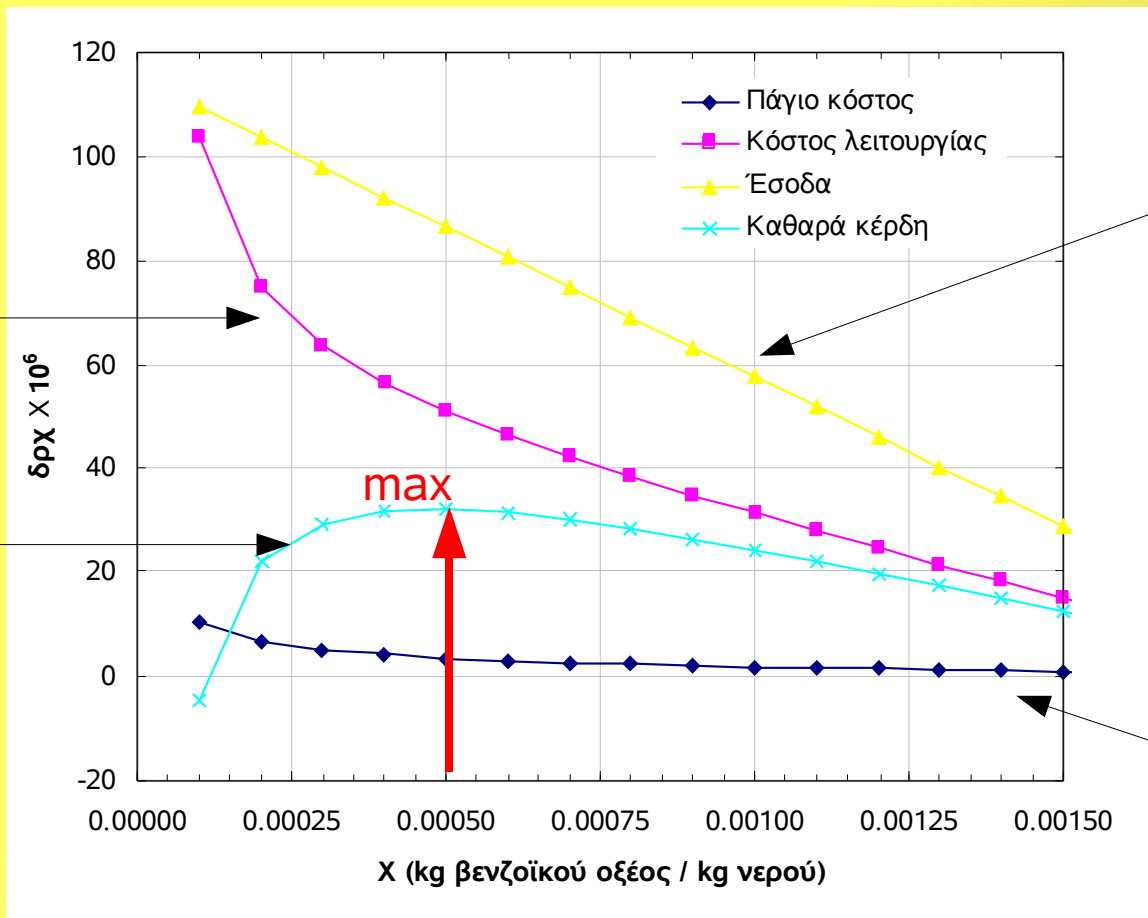
Μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία εξόδου από εναλλάκτες = 45°C

$$T_1, T_2 \leq 45^\circ\text{C}$$

Θέτοντας αυτές ίσες με τη μέγιστη επιτρεπτή για να έχω μεγάλο ΔT ,
η μόνη ΜΣ που απομένει είναι η Χ
Το πρόβλημα γίνεται **μονοδιάστατο**.

Για διάφορες τιμές του Χ υπολογίζουμε την αντικειμενική συνάρτηση
και εύκολα βρίσκουμε το μέγιστο.

Τιμές σε 10^6 δρχ για διάφορα X



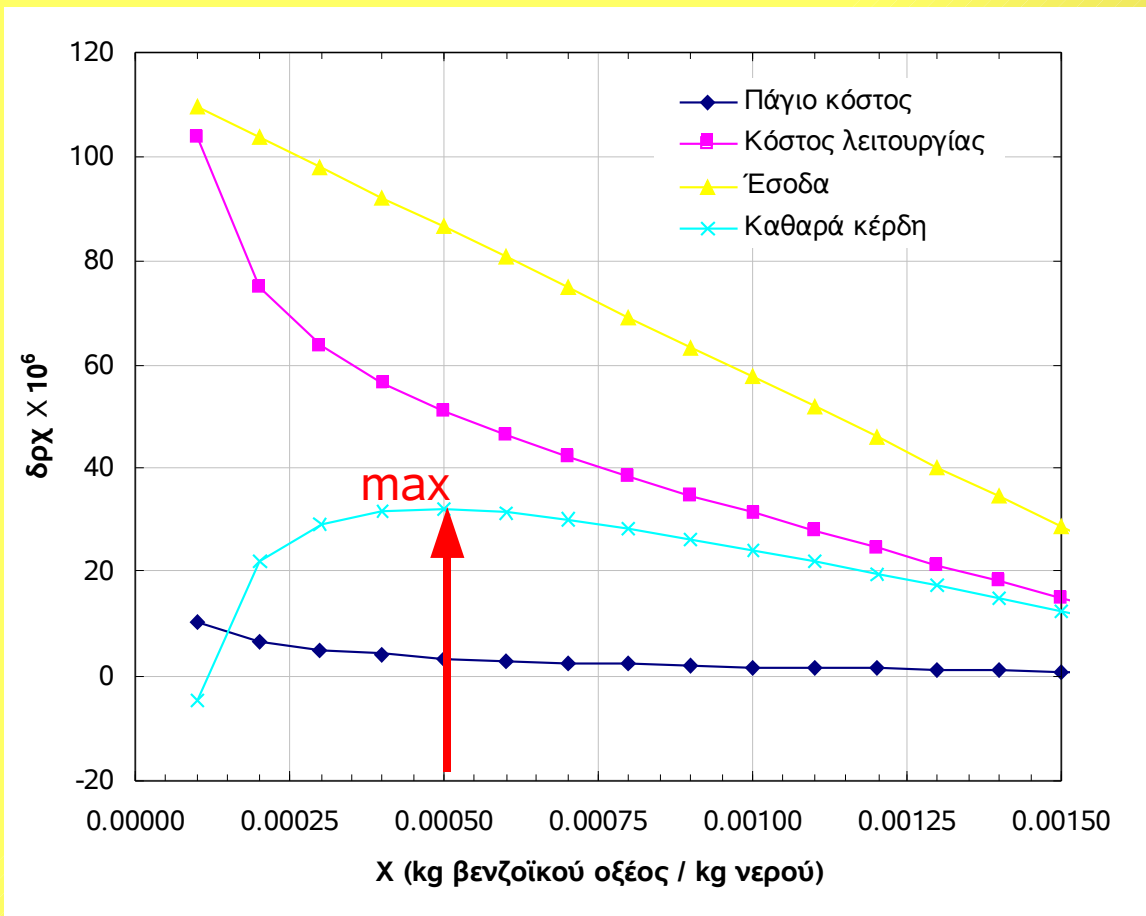
Λειτουργικό
κόστος

Κέρδος

Έσοδα

Πάγιο

Τιμές σε 10^6 δρχ για διάφορα X



$$X_{opt} \approx 0.0005$$

Η επένδυση παραμένει κερδοφόρος για μεγάλες διακυμάνσεις του X

Ειδικότερα, υπάρχει υψηλό κέρδος ακόμη και για πιο αυστηρές προδιαγραφές για το X