

Κεφ 3

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Ιωάννης Κ. Κούκος καθηγητής, Κώστας Καλογιάννης επίκουρος
καθηγητής

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ
ΚΟΣΤΟΥΣ

Μερικοί ορισμοί

- **Κόστος αγοράς εξοπλισμού (C_P)** είναι το κόστος προμήθειας του εξοπλισμού από τον κατασκευαστή του, παραδοτέο στις εγκαταστάσεις του (το τελευταίο αναφέρεται ως free-on-board ή fob κόστος στην βιβλιογραφία)
- **Κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού (C_{BM})** είναι το σύνολο από τα κόστη για την αγορά, μεταφορά, ασφάλιση και εγκατάσταση (υλικά και εργατικά) ενός στοιχείου εξοπλισμού. Το κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού αποτελείται από το κόστος αγοράς και το κόστος εγκατάστασης.

Μερικοί ορισμοί

- Κόστος αγοράς απλούστερου ομοειδή εξοπλισμού (C_P^0) ή κόστος βασικού εξοπλισμού είναι το κόστος αγοράς εξοπλισμού ίδιας κατηγορίας με τον εξεταζόμενο ο οποίος είναι κατασκευασμένος από το φτηνότερο υλικό (συνήθως carbon steel) λειτουργεί σε χαμηλή πίεση (<10 bar) και αποτελεί το απλούστερο κατασκευαστικά τύπο της κατηγορίας.
- Συντελεστής εγκατεστημένου εξοπλισμού (F_{BM}) είναι ο πολλαπλασιαστικός παράγοντας με τον οποίο εάν πολλαπλασιαστεί το κόστος αγοράς λαμβάνουμε το κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού $C_{BM} = F_{BM} \cdot C_P^0$.

C_p & C_p^0

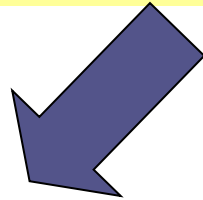
- Το κόστος αγοράς εξοπλισμού (C_p) υπολογίζεται από το κόστος αγοράς απλούστερου ομοειδή εξοπλισμού (C_p^0) λαμβάνοντας υπόψη
 1. την διόρθωση για τον **τύπο** του εξοπλισμού (F_d)
 2. την διόρθωση για το υλικό κατασκευής (F_m)
 3. την διόρθωση για την πίεση λειτουργίας (F_p)

$$C_p = f(F_d, F_m, F_p) \cdot C_p^0$$

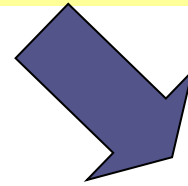
Μέθοδος Guthrie

6

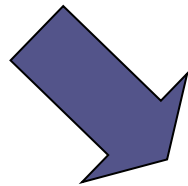
$$C_{BM} = [(F_{BM} - 1) + f(F_d, F_m, F_P)] C_p^0$$



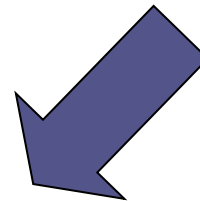
$$\Delta C_{BM} = (F_{BM} - 1) C_p^0$$



$$C_p = f(F_d, F_m, F_P) C_p^0$$



$$C_{BM} = (F_{BM} - 1)C_p^0 + C_p$$



Πως υπολογίζω το C_p^0 ?

7

□ Η εταιρία σας αγόρασε το 2009 τρεις πλήρεις βιοαντιδραστήρες:

1. 0.3 m^3 με κόστος αγοράς 46,000 \$
2. 3 m^3 με κόστος αγοράς 57,500 \$
3. 30 m^3 με κόστος αγοράς 95,400 \$

κατασκευασμένους από SS304.

Η προμηθεύτρια εταιρία διαθέτει βιοαντιδραστήρες

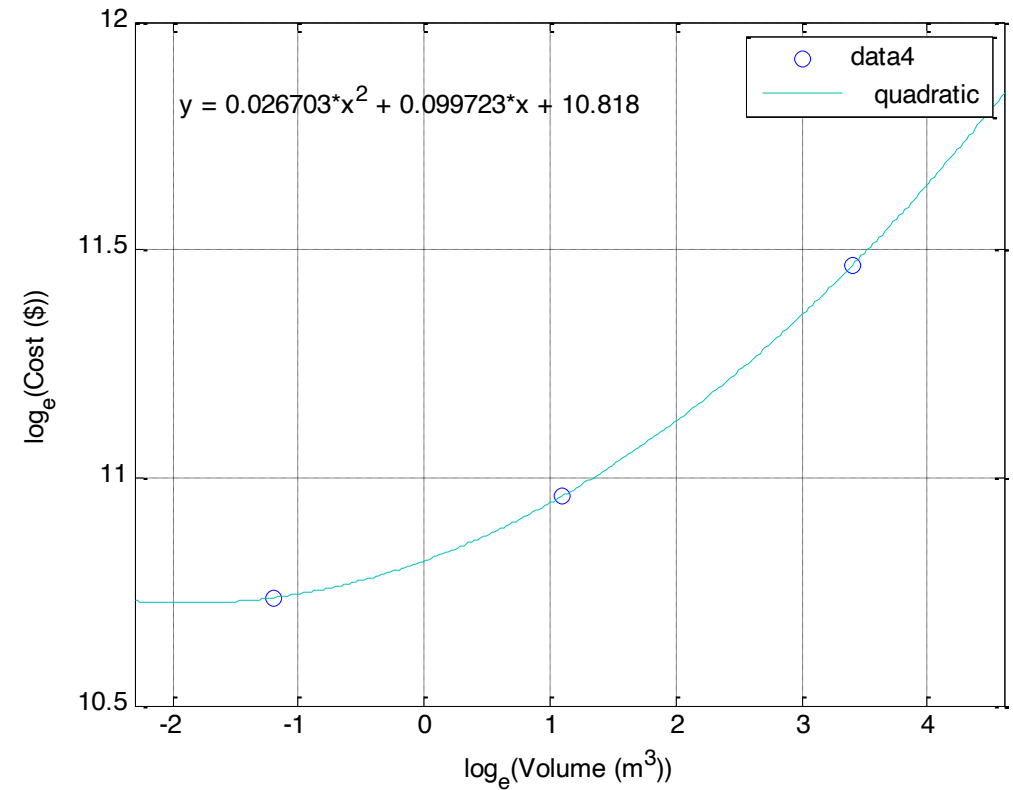
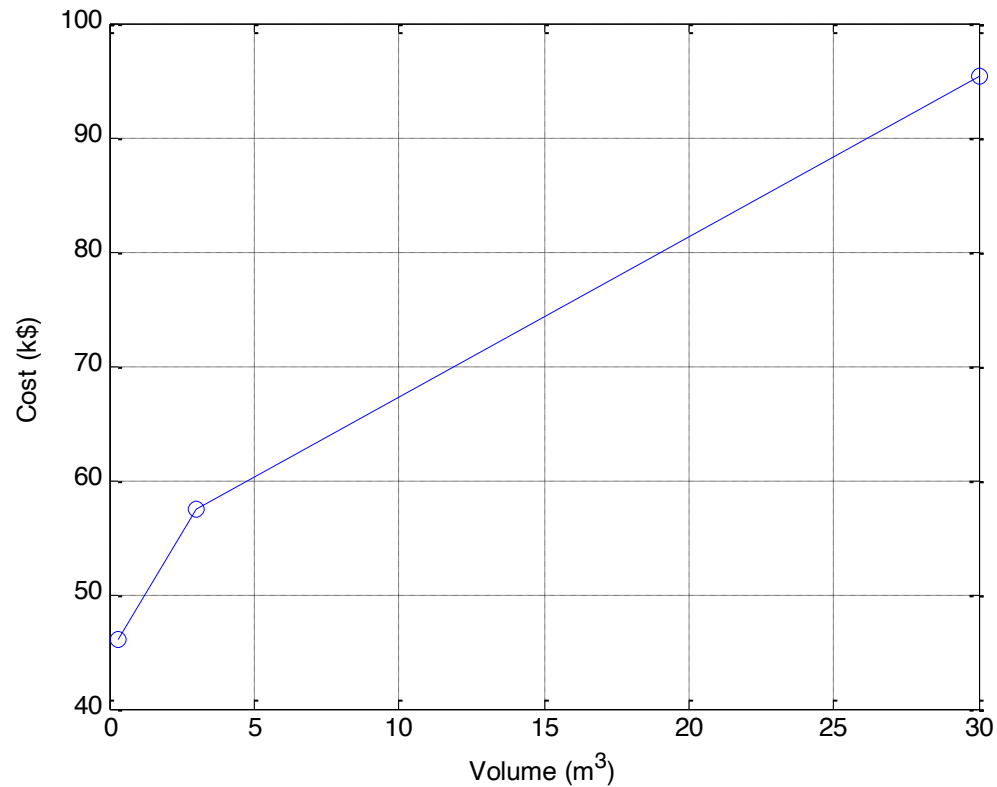
$$0.1 \text{ m}^3 \leq V \leq 80 \text{ m}^3$$

Να αναπτυχθεί μια εξίσωση για τον υπολογισμό του C_p



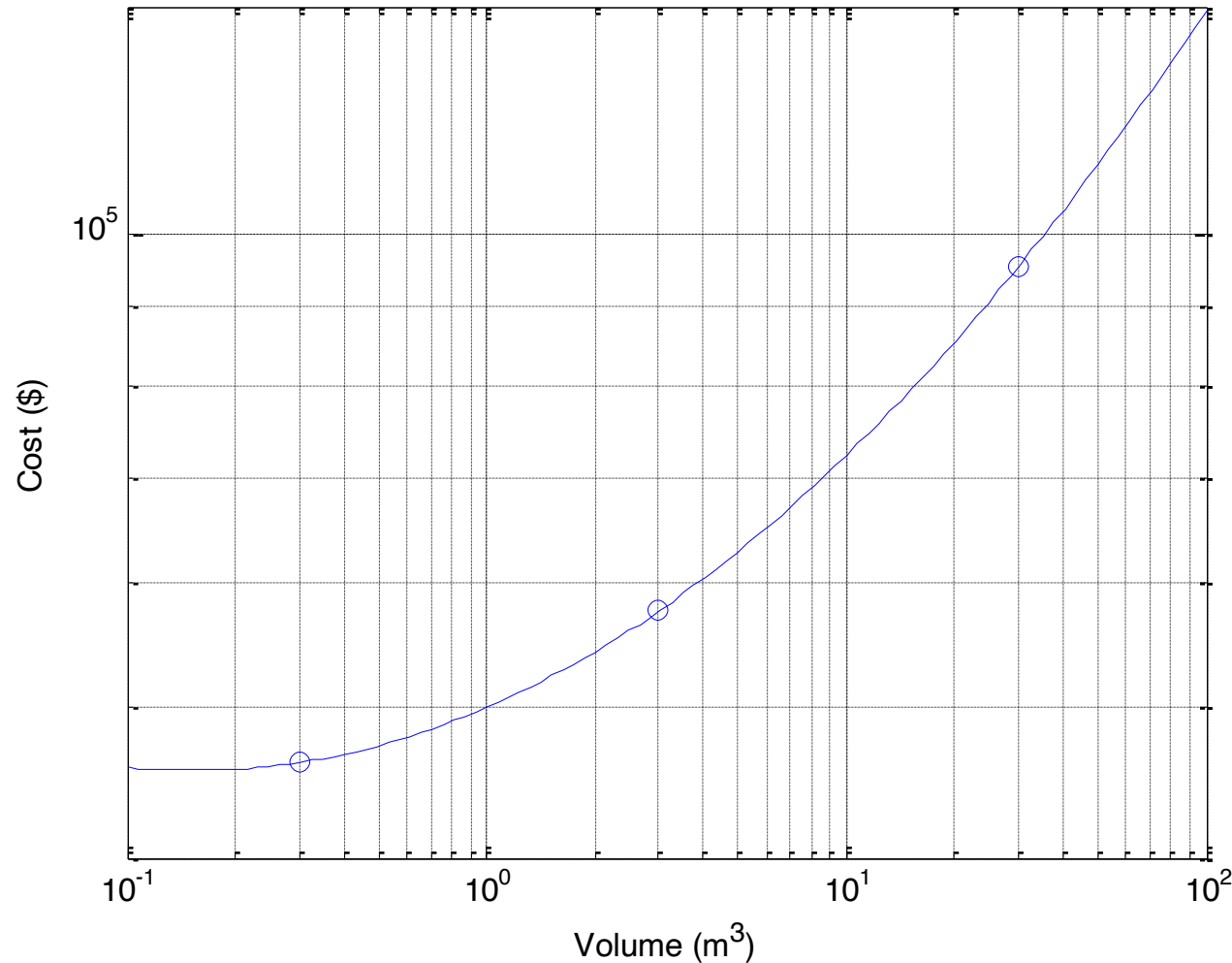
$$\ln C_p = a + b \cdot \ln V + c \cdot (\ln V)^2$$

8



Αποτέλεσμα

9



Κόστος αγοράς ζυμωτήρων
skid complete από SS304
σε \$@2009

Εύρος εφαρμογής 0.1 έως 80 m³

$$C_p = \exp(A + B \ln X + C (\ln X)^2)$$

A=10.818,

B=0.099723,

C=0.026703

Απλουστευμένη εξίσωση

10

$$\frac{C_p}{C_p^{ref}} = \left(\frac{X}{X^{ref}} \right)^n \quad \Rightarrow \quad C_p = \left[\frac{C_p^{ref}}{(X^{ref})^n} \right] \cdot X^n = C_{p0} \cdot X^n$$

$$\frac{C_{p,2}}{C_{p,1}} = \left(\frac{X_2}{X_1} \right)^n \quad \Rightarrow \quad n = \frac{\log \left(\frac{C_{p,2}}{C_{p,1}} \right)}{\log \left(\frac{X_2}{X_1} \right)}$$

Απλουστευμένη εξίσωση

11

$$n = \frac{\log\left(\frac{C_{p,2}}{C_{p,1}}\right)}{\log\left(\frac{X_2}{X_1}\right)} = \frac{\log\left(\frac{95,400}{46,000}\right)}{\log\left(\frac{30}{0.3}\right)} = 0.1584$$

$$C_p = 46,000 \left(\frac{V}{0.3}\right)^{0.1584}, \$ @ 2009, V \text{ σε } m^3$$

Πίνακας 3.11. Συνέχεια ...

-//- με ανάδευση	3.8	m ³	12,300	0.40-76	0.50	
Εναλλάκτες θερμότητας πλωτής κεφαλής (κελύφους-αυλών - CS).	93	m ²	21,700	1.9-1860	0.59	
Πληρωτικά υλικά – Raschig rings SS304	1	m ³	7,300		1	510
Πληρωτικά υλικά – Intalox saddles - ceramic	1	m ³	1,800		1	
Πληρωτικά υλικά – Pall rings SS304	1	m ³	7,700		1	
Πληρωτικά υλικά – Structured SS304	1	m ³	6,900		1	
Δοχείο αποθήκευσης οξέων ή βάσεων – πλαστικό	48.5	m ³	6,210		0.7	551
Δοχείο αποθήκευσης οξέων ή βάσεων – ανοξείδωτο	47.7	m ³	96,000		0.7	
Δοχείο ανάμιξης από HDPE	30.3	m ³	9,000		0.7	
Φιλτρόπρεσσα	384	m ²	1,650,000		0.8	
Ζυμωτήρας – αερόβιος – προκατ. περιλαμβάνει αναμίκτη, σύστημα συμπίεσης και αποστείρωσης αέρα και σερπαντίνα ψυκτικού (skid complete) SS304	0.3	m ³	46,000			522
	3.0	m ³	57,500			
	30.0	m ³	95,400			
Ζυμωτήρας κατασκευασμένος επί τόπου περιλαμβάνει αναμίκτη και σερπαντίνα ψυκτικού SS316	300	m ³	400,000			
Δοχείο αποθήκευσης glass-lined CS	265	m ³	70,000		0.7	
Δεξαμενή αποθήκευσης – floating roof - CS A285 Grade C – Αποθήκευση αιθανόλης	2840	m ³	670,000		0.7	

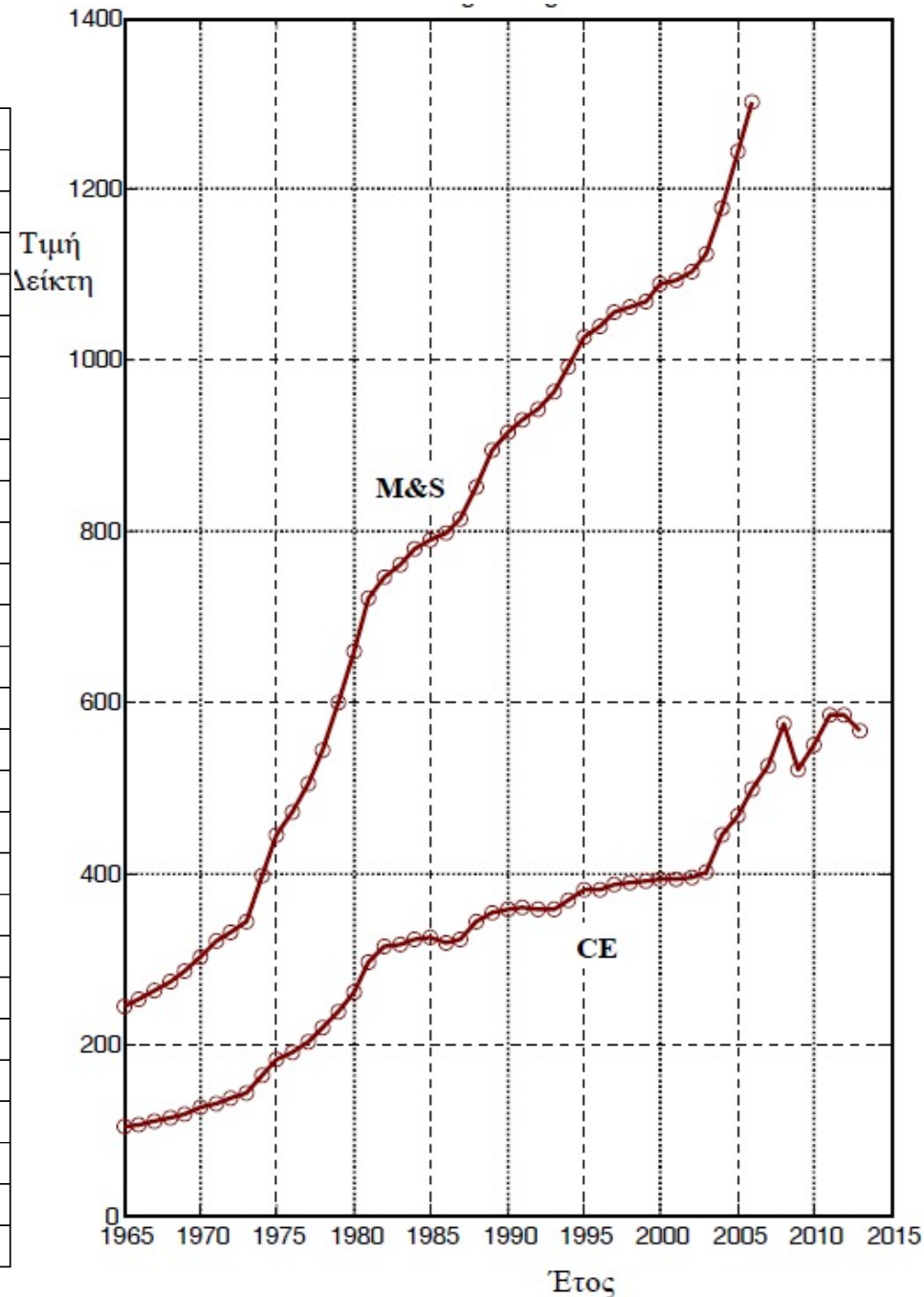
Πίνακας 3.12. Δεδομένα κόστους αγοράς για μερικούς τύπους εξοπλισμού

Τύπος Εξοπλισμού	X _a	Μονάδες	C _{p,a} ^o (\$)	Εύρος Εφαρμογής	n	CE PCI
Αναμίκτης τύπου στροβίλου – ανοικτό δοχείο	7.5	kW	7,000	1.5-22.4	0.45	370
Αναμίκτης τύπου στροβίλου – κλειστό δοχείο	7.5	kW	10,700	1.5-150	0.56	
Αντλία φυγόκεντρη (CS) (δεν περιλαμβάνει κινητήρα)	7.5	kW	1,600	0.37-30	0.30	
	74.6	kW	4,400	30-300	0.67	
Ταινία μεταφορική (δεν περιλαμβάνει κινητήρα)	9.3	m ²	6,700	5.6-18.6	0.50	
Φυγόκεντρος ασυνεχούς λειτουργίας, CS	1.86	m ²	100,000	0.65-7.43	0.65	
Συμπιεστής παλινδρομικός (περιλαμβάνει κινητήρα)	224	kW	133,000	0.75-1490	0.84	
Κρυσταλλωτήρας, εξαναγκασμένης ροής CS	91	t/d	283,000	9.1-970	0.59	
Φιλτρόπρεσσα CS	9.3	m ²	5,700	0.9-93	0.55	
Φίλτρο κενού περιστρεφόμενου τυμπάνου με κινητήρα, CS	9.3	m ²	63,300	0.9-140	0.48	
Οριζόντιο δοχείο πίεσης (χάλυβας– 11.4 bar)	3.8	m ³	6300	0.4-302	0.62	
Δοχείο με μανδύα και αναμίκτη	0.38	m ³	9,300	0.04-15.1	0.53	
Δοχείο με μανδύα και αναμίκτη – επένδυση με γυαλί	0.38	m ³	53,000	0.2-3.8	0.48	
Δοχείο αποθήκευσης, ατμοσφαιρικό, κυλινδρικό, οριζόντιο, CS	3.8	m ³	4,700	0.4-151	0.57	
Δοχείο αποθήκευσης, ατμοσφαιρικό, κυλινδρικό, κατακόρ., CS	3.8	m ³	3,300	0.4-76	0.30	
-//- με μανδύα	3.8	m ³	15,000	0.26-5.7	0.57	

Πίνακας 3.15. Δεδομένα κόστους για διάφορα στοιχεία εξοπλισμού (CEPCI=550).

Εξοπλισμός	Χαρ. μέγεθος	Εύρος εφαρμογής	F_{BM}	F_{SS}	a	b	c
Ζυμωτήρες αερόβιοι – Μικροί – skid complete – SS304	Όγκος σε m^3	0.3 – 50	1.8	1.5	10.870	0.0992	0.0267
Ζυμωτήρες αερόβιοι – Μεγάλοι – με εσωτερική σερπαντίνα για ψύξη – δεν περιλαμβάνει αναμίκτης – SS304	Όγκος σε m^3	50 – 1200	2.0	1.5	9.858	0.52534	0
Εξατμιστήρες εξαναγκασμένης κυκλοφορίας (forced circulation) – CS	Επιφάνεια σε m^2	10-1000		2.1	12.010	0.69336	0
Εξατμιστήρες κατερχόμενου υμένα (falling film) – CS	Επιφάνεια σε m^2	30-300		2.1	10.820	0.5545	0
Αντιδραστήρες με ανάδευση και μανδύα – CS	Όγκος σε m^3	0.1-20		1.8	9.745	0.5500	0
Αναμίκτης τύπου τουρμίνας – CS	Καταν. Ισχύς kW	2-100		1.8	9.028	-0.0392	0.1161
Αναμίκτης τύπου προπέλας – CS	Καταν. Ισχύς kW	1-10		1.8	8.242	0.1732	0
Φίλτρα ασυνεχούς λειτουργίας με πλάκες και πλαίσια (plate & frame)	Επιφάνεια σε m^2	10-100			9.812	0.5200	0
Φίλτρα συνεχούς λειτουργίας περιστρεφόμενου τυμπάνου (rotary vacuum drum filter)	Επιφάνεια σε m^2	1-100			11.626	0.0727	0.0554
Ξηραντήρες τύπου Spray (spray drier)	Όγκος σε m^3	20-1000		2.2	13.340	-0.4155	0.0749
Κρυσταλλωτήρες – συνεχές σύστημα με εξάτμιση – εξαν. κυκλοφορία	Παροχή κρυστάλ. t/day	10-10,000			10.555	0.5600	0
Φυγόκεντρος συνεχής (solid bowl) – CS	Διάμετρος σε m	0.3-1.5		1.4	11.710	1.1173	0
Φυγόκεντρος ασυνεχής (horizontal basket) – CS	Διάμετρος σε m	0.5-2.0		2.9	11.363	1.1237	0

Έτος	M&S	CE	Έτος	M&S	CE
1926	100		1990	915	358
1957-59		100	1991	931	361
1965	245	104	1992	943	358
1966	253	107	1993	964	359
1967	263	110	1994	993	368
1968	273	114	1995	1028	381
1969	285	119	1996	1039	382
1970	303	126	1997	1057	387
1971	321	132	1998	1062	390
1972	332	137	1999	1068	391
1973	344	144	2000	1089	394
1974	398	165	2001	1094	394
1975	444	182	2002	1104	396
1976	472	192	2003	1124	402
1977	505	204	2004	1179	444
1978	545	219	2005	1245	468
1979	599	239	2006	1302	499.6
1980	660	261	2007		525.4
1981	721	297	2008		575.4
1982	746	314	2009		521.9
1983	761	317	2010		550.8
1984	780	323	2011		585.7
1985	790	325	2012		584.6
1986	798	318	2013		567.3
1987	814	324	2014		
1988	852	343	2015		
1989	895	355			

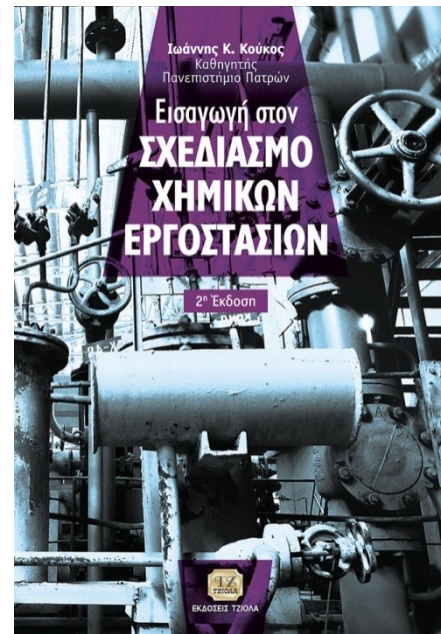


$$C_t = \frac{CEPCI_t}{CEPCI_{t_0}} \cdot C_{t_0}$$

Εκτίμηση από εξισώσεις της βιβλιογραφίας

15

$$C = \exp(a + b \ln X + c(\ln X)^2)$$



Κεφ 3,
ενότητα 3.4

Υπολογισμός κόστους αγοράς για δοχεία πίεσης

16

- οριζόντια (CS, μέχρι 10 bar)

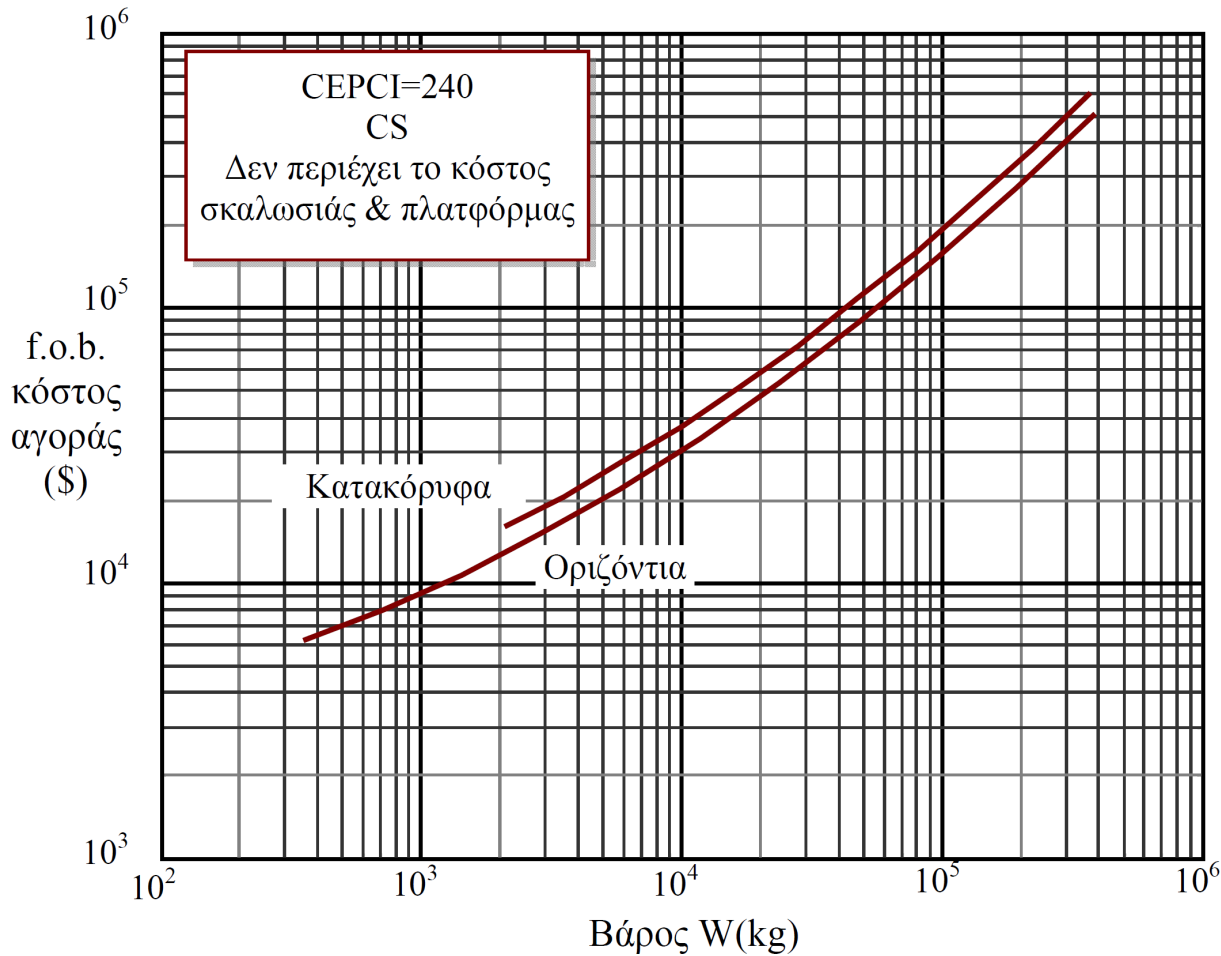
$$C_p^0(\$@1979) = \exp[8.114 - 0.16449(\ln W) + 0.04333(\ln W)^2]$$

$$C_p^0(\$@1979) = 1288.3D_{in}^{0.20294}$$

- κατακόρυφα (CS, μέχρι 10 bar)

$$C_p^0(\$@1979) = \exp[8.6 - 0.21651(\ln W) + 0.04576(\ln W)^2]$$

$$C_p^0(\$@1979) = 1017D_{in}^{0.7396}H^{0.70684}$$



Σχήμα 3.3. f.o.b. κόστος αγοράς δοχείων πίεσης.

$$W = \begin{cases} 155.6D_{in}(H + 0.812D_{in}), & D_{in} \leq 1.57\text{m} \\ 49.4(D_{in} + 1.57) D_{in}(H + 0.812D_{in}), & D_{in} > 1.57\text{ m} \end{cases}$$

Αποστακτικές στήλες και στήλες απορρόφησης

18

- αποστακτικές (CS, μέχρι 10 bar)

$$C_p^o (\$@1979) = \exp[6.95 + 0.1808(\ln W) + 0.02468(\ln W)^2] + 834.86 D_{in}^{0.63316} H^{0.80161}$$

$$C_p^o (\$@1979) = 278.38 \cdot \exp[0.5705D_{in}] \cdot \max\left\{1, \frac{2.25}{1.0414NT}\right\}$$

$$F_m = \begin{cases} 1.189 + 0.0577D_{in}, & SS304 \\ 1.401 + 0.0724D_{in}, & SS316 \\ 2.306 + 0.112D_{in}, & monel \end{cases}$$

- απορρόφησης (CS, μέχρι 10 bar)

$$C_p^o (\$@1979) = \exp[6.488 + 0.21887(\ln W) + 0.02297(\ln W)^2] + 1017 D_{in}^{0.7396} H^{0.70684}$$

Πίνακας 3.13. Προσεγγιστικό κόστος αγοράς πληρωτικών υλικών.

Τύπος πληρωτικού υλικού		Προσεγγιστικό κόστος @ 2004 σε \$/m ³		
		1 in.	2 in.	3 in.
Raschig rings	Κοινός χάλυβας	1600	1000	800
	Ανοξ. χάλυβας	5000	3200	1800
	Κεραμικό	800	550	450
Pall rings	Κοινός χάλυβας	1500	900	
	Ανοξ. χάλυβας	5000	3200	
	Πολυπροπυλένιο	1100	600	500
Intalox saddles	Κεραμικό	1000	700	550
	Πολυπροπυλένιο	1100	650	350

Εναλλάκτες κελύφους-αυλών

20

$$C_p^o (\$@1979) = \exp[8.202 + 0.01506(\ln A) + 0.06811(\ln A)^2]$$

Σταθερού καθρέπτη (fixed head) $F_D = \exp[-0.9003 + 0.0906(\ln A)]$

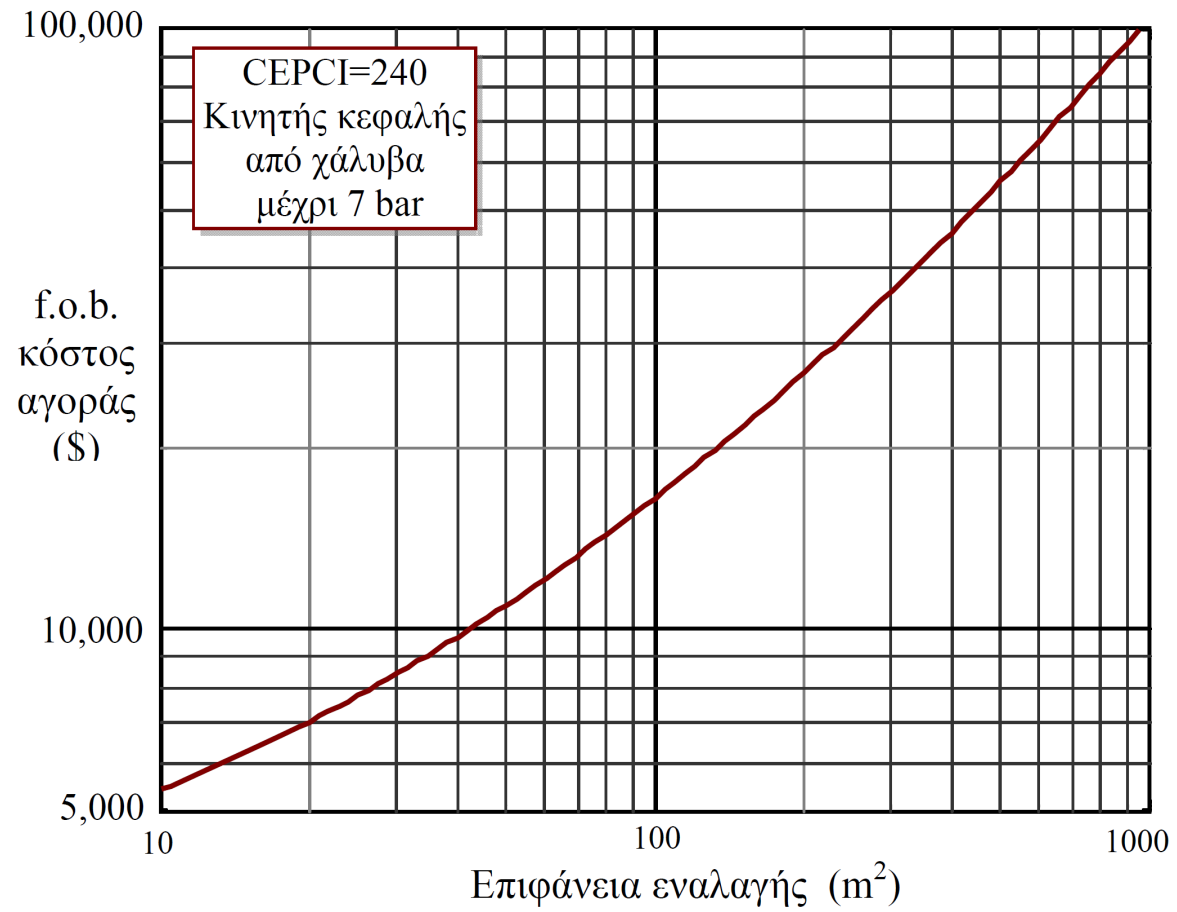
Τύπου φουρκέτας (U-tube) $F_D = \exp[-0.7844 + 0.0830(\ln A)]$

Αναβραστήρα (reboiler) $F_D = 1.35$

$7 \text{ bar} \leq P \leq 21 \text{ bar}$ $F_P = 0.8955 + 0.04981(\ln A)$

SS304 $F_M = 1.1991 + 0.15984(\ln A)$

SS316 $F_M = 1.4144 + 0.23296(\ln A)$

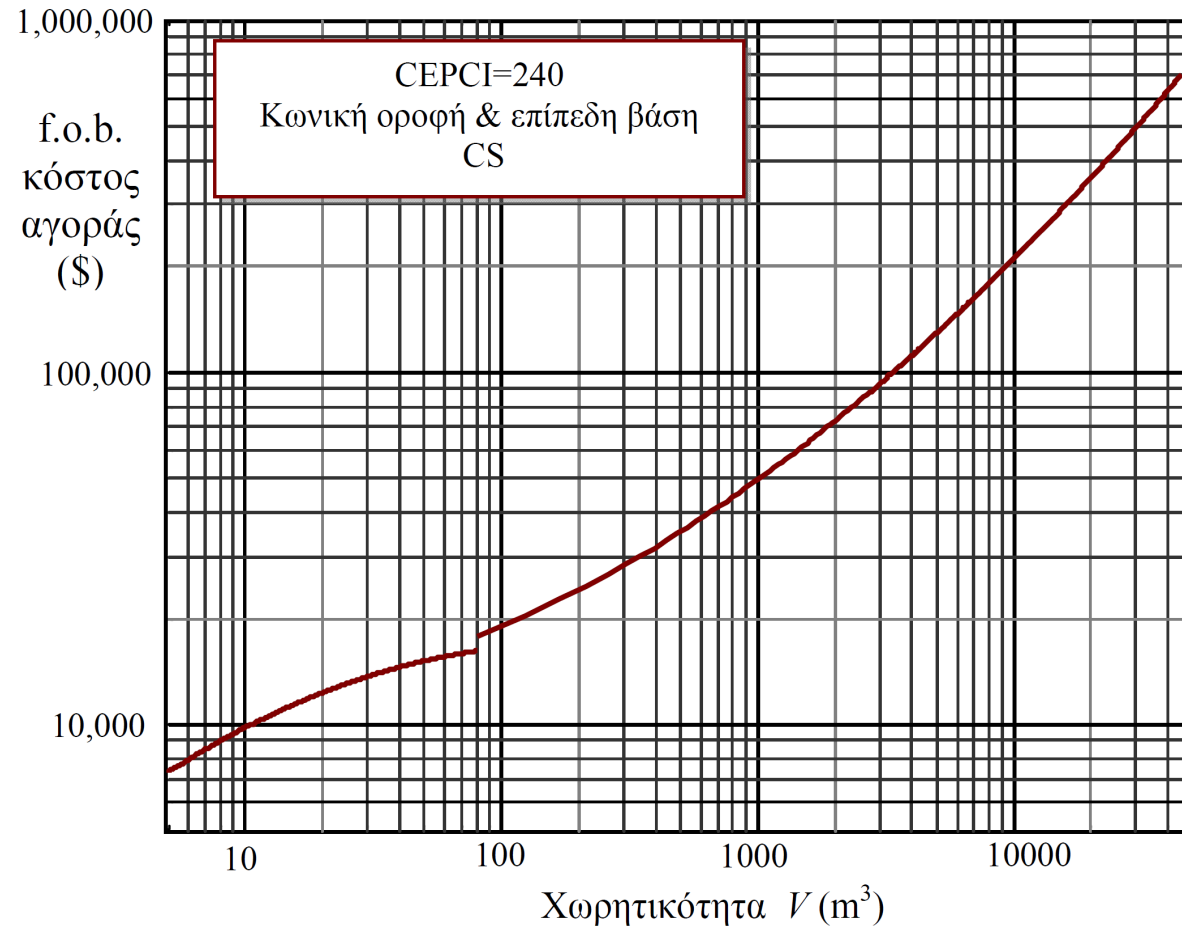


Σχήμα 3.4. Βασικό f.o.b. κόστος αγοράς για εναλλάκτες θερμότητας.

Κόστος δεξαμενών με κωνική οροφή

$$V < 80 \text{ m}^3 \quad C_p^o (\$ @ 1979) = \exp \left[7.994 + 0.6637(\ln V) - 0.063088(\ln V)^2 \right]$$

$$V > 80 \text{ m}^3 \quad C_p^o (\$ @ 1979) = \exp \left[9.369 - 0.1045(\ln V) + 0.045355(\ln V)^2 \right]$$



Σχήμα 3.5. Βασικό f.o.b. κόστος αγοράς δεξαμενών.

Παραδείγματα

24

Παράδειγμα 3.5

Οριζόντιο δοχείο έχει διάμετρο 2 m και μήκος 12.2 m, πρόκειται να κατασκευαστεί από ανοξείδωτο χάλυβα SS316 και θα λειτουργεί σε πίεση 30 bar. Να υπολογιστεί το κόστος αγοράς για το έτος 2013.

$$W = 49.4(D_{in} + 1.57) D_{in}(H + 0.812D_{in}) = 49.4(2 + 1.57) 2(12.2 + 0.812 \cdot 2) = 4,876 \text{ kg}$$

$$C_p^0 (\$@1979) = \exp[8.114 - 0.16449(\ln W) + 0.04333(\ln W)^2] + 1288.3D^{0.20294} = 20,288 \text{ \$@1979}$$

$$C_p (\$@2013) = \frac{CEPCI_{2013}}{CEPCI_{1979}} \cdot [C_p^0 (\$@1979) \cdot F_M \cdot F_P] = \frac{567.4}{240} \cdot 20,288 \cdot 3.67 \cdot 1.45 = 255,245 \text{ \$@2013}$$

↑ ↑
Πίνακας 3.6

Παραδείγματα

25

Παράδειγμα 3.6

Να υπολογιστεί, για το έτος 1968, το βασικό κόστος αγοράς του κελύφους και των δίσκων στήλης απόσταξης με διάμετρο $D=1.9$ m, ύψος 23.8 m, 50 valve trays και πίεση λειτουργίας 5 bar. Τα αποτελέσματα να συγκριθούν με αυτά του παραδείγματος 3.2 (μέθοδος Guthrie).

$$W = 49.4(D_{in} + 1.57) D_{in}(H + 0.812D_{in}) = 49.4(1.9 + 1.57) 1.9(23.8 + 0.812 \cdot 1.9) = 8,254 \text{ kg}$$

$$C_p^0 (\$@1979) = \exp[6.95 + 0.1808(\ln W) + 0.02468(\ln W)^2] + 834.86D^{0.63316}H^{0.80161} = 55,556 \$@1979$$

$$C_p^0 (\$@1979) = 278.38 \cdot \exp[5705D] \cdot \max\left\{1, \frac{2.25}{1.0414^{NT}}\right\} = 823 \$@1979$$

$$C_p (\$@1968) = \frac{CEPCI_{1968}}{CEPCI_{1979}} \cdot [C_{p,column}^0 + NT \cdot C_{p,tray}^0] = \frac{114}{240} \cdot [55,556 + 50 \cdot 823] = 45,935 \$@1968$$

↑ ↑
Πίνακας 3.6

Παράδειγμα 3.8

Υπολογίστε το f.o.b. κόστος αγοράς (\$@2013) ενός εναλλάκτη θερμότητας κινητής κεφαλής με επιφάνεια εναλλαγής 150 m², ο οποίος πρόκειται να κατασκευαστεί από ανοξείδωτο χάλυβα 316 και θα λειτουργεί σε πίεση 10 bar.

$$C_p^0 (\$@1979) = \exp[8.202 + 0.01506(\ln A) + 0.06811(\ln A)^2] = 21,750 \$@1979$$

$$F_P = 0.8955 + 0.04981(\ln A) = 1.1451$$

$$F_M = 1.4144 + 0.23296(\ln A) = 2.5817$$

$$C_p (\$@2013) = \frac{CEPCI_{2013}}{CEPCI_{1979}} \cdot [C_p^0 (\$@1979) \cdot F_M \cdot F_P] = \frac{567.4}{240} \cdot 21,750 \cdot 1.1451 \cdot 2.5817 = 152,000 \$@2013$$

Cp vs FCI

