



**ΙΔΕΠ**

Ινστιτούτο  
Χημικών  
Διεργασιών και  
Ενεργειακών  
Πόρων

Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

# Σχεδιασμός Χημικών Εγκαταστάσεων I

## Εκτίμηση κόστους εξοπλισμού

---

Καλογιάννης Κων/νος, [kkalogia@cperi.certh.gr](mailto:kkalogia@cperi.certh.gr)

Θερινό εξάμηνο 2019-2020

# Εισαγωγή

---

Το κόστος παγίου κεφαλαίου χωρίζεται σε άμεσο και έμμεσο:

- Άμεσο κόστος παγίου κεφαλαίου
  - ✓ Αγορά και διαμόρφωση χώρου
  - ✓ Αγορά και εγκατάσταση εξοπλισμού
  - ✓ Κατασκευή βοηθητικών εγκαταστάσεων
  - ✓ Εγκαταστάσεις παραγωγής βοηθητικών παροχών
  - ✓ Εγκαταστάσεις σωληνώσεων, συστημάτων ρύθμισης και λοιπού ηλεκτρολογικού εξοπλισμού
- Έμμεσο κόστος παγίου κεφαλαίου
  - ✓ Μελέτη και επίβλεψη βιομηχανικής μονάδας
  - ✓ Κατασκευή βιομηχανικής μονάδας
  - ✓ Δέσμευση κεφαλαίων για αντιμετώπιση απρόβλεπτων αναγκών

# Εισαγωγή

---

Σε αυτό το μάθημα θα παρουσιαστούν προσεγγιστικές μέθοδοι υπολογισμού του κόστους του απαιτούμενου παγίου κεφαλαίου. Οι μέθοδοι αυτές:

- Είναι κατάλληλες μόνο για τα προκαταρκτικά στάδια σχεδιασμού μίας μονάδας.
- Έχουν σημαντική αβεβαιότητα ως προς το τελικό κόστος, της τάξεως ~30-40%.
- Απαιτούν την ύπαρξη αναλυτικού μεθοδολογικού διαγράμματος ροής όπου αποτυπώνεται ο εξοπλισμός.
- Απαιτούν το διάγραμμα ροής να συνοδεύεται από ισοζύγια μάζας και ενέργειας με γνωστές συνθήκες και συστάσεις σε όλα τα σημεία του.
- Στηρίζονται στη διαστασιολόγηση του εξοπλισμού (τυπικά κάθε είδος εξοπλισμού απαιτεί ένα ή δύο κρίσιμα μεγέθη) και στην επιλογή των καταλληλότερων υλικών κατασκευής.

Για μεγαλύτερη ακρίβεια, κάτι δαπανηρό, απαιτείται η λήψη στοιχείων κόστους από προμηθευτές και κατασκευάστριες εταιρείες.

# Εισαγωγή

---

Προσοχή, μόλις 1% των επενδυτικών προκαταρκτικών σχεδίων τελικά υλοποιείται. Οι βασικότερες προσεγγιστικές μέθοδοι υπολογισμού του παγίου κόστους εξοπλισμού είναι οι παρακάτω:

- Μέθοδος GUTHRIE
- Εκτίμηση με χρήση δεδομένων κόστους από προηγούμενες μελέτες
- Εκτίμηση με χρήση εξισώσεων της βιβλιογραφίας

# Μέθοδος GUTHRIE

---

Το αρχικό κόστος αγοράς του εξοπλισμού συμβολίζεται με  $C_p$  (equipment purchase cost) και χαρακτηρίζεται ως free on board (f.o.b.) στη διεθνή βιβλιογραφία.

Σημαίνει πως ο εξοπλισμός είναι φορτωμένος σε μέσο μεταφοράς στις εγκαταστάσεις του κατασκευαστή. Το κόστος μεταφοράς (και ασφάλισης κατά τη μεταφορά) στον τόπο εγκατάστασης βαρύνει τον αγοραστή. Μπορεί λόγω όγκου, βάρους και αποστάσεων να είναι σημαντικό.

Το κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού διαφέρει σημαντικά από το  $C_p$  γιατί επιβαρύνεται με επιπλέον κόστη:

- Κόστος επιπρόσθετων υλικών  $C_M$
- Κόστος εργασίας εγκατάστασης  $C_L$

# Μέθοδος GUTHRIE

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1.** Ανάλυση κόστους εγκατεστημένου εξοπλισμού.

Άμεσο κόστος		
Κόστος προμήθειας εξοπλισμού (f.o.b.)	$C_p$	
Κόστος υλικών για την εγκατάσταση	$C_M$	$\alpha\% C_p$
Κόστος εργατικών για την εγκατάσταση	$C_L$	$\beta\% C_p$
Έμμεσο κόστος		
Κόστος μεταφοράς, ασφάλισης και φόροι	$C_{FIT}$	$\gamma\% C_p$
Γενικά έξοδα κατασκευής	$C_{CO}$	$\delta\% C_p$
Κόστος μελέτης και επίβλεψης	$C_E$	$\epsilon\% C_p$
Συνολικό κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού		
$C_{BM} = \{ 1 + (\alpha + \beta) / 100 + (\gamma + \delta + \epsilon) / 100 \} C_p$		

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.** Ανάλυση κόστους εγκατεστημένων εναλλακτών θερμότητας (Guthrie, 1969).

Άμεσο κόστος		
Κόστος υλικών για την εγκατάσταση	$C_M$	$71\% C_p$
Κόστος εργατικών για την εγκατάσταση	$C_L$	$63\% C_p$
Έμμεσο κόστος		
Κόστος μεταφοράς, ασφάλισης και φόροι	$C_{FIT}$	$8\% C_p$
Γενικά έμμεσα έξοδα κατασκευής	$C_E + C_{CO}$	$87\% C_p$
Συνολικό κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού		
$C_{BM} = \{ 1 + (0.71 + 0.63) + (0.08 + 0.87) \} C_p = 3.29 C_p$		

Το κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού διαφέρει σημαντικά από το  $C_p$  γιατί επιβαρύνεται με επιπλέον κόστη:

- Κόστος επιπρόσθετων υλικών  $C_M$
- Κόστος εργασίας εγκατάστασης  $C_L$

Το κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού δίνεται από τον τύπο  $C_{BM} = F_{BM} C_p$ , όπου

$$C_{BM} = \{ 1 + (0.71 + 0.63) + (0.08 + 0.87) \} C_p = 3.29 C_p$$

Η παραπάνω σχέση είναι ακριβής μόνο για λειτουργία σε χαμηλή πίεση και κατασκευή από κοινό χάλυβα (carbon steel, CS)

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

- $F_d$  συντελεστής διόρθωσης για τον τύπο σχεδίασης
- $F_m$  συντελεστής διόρθωσης για υλικά κατασκευής
- $F_p$  συντελεστής διόρθωσης για πίεση λειτουργίας
- $C_p^0$  το f.o.b. κόστος αγοράς εξοπλισμού κατασκευασμένο από carbon steel (CS)

# Μέθοδος GUTHRIE

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.** Συντελεστές κόστους εγκατεστημένου εξοπλισμού για αντιπροσωπευτικά στοιχεία εξοπλισμού κατασκευασμένα από κοινό χάλυβα (Guthrie, 1969, Walas et al., 1990).

Στοιχείο Εξοπλισμού	$F_{BM}$		
	Guthrie	Walas et al.	NREL
Εναλλάκτες κελύφους-σωλήνων	3.29	1.9	2.2
Εναλλάκτες διπλών σωλήνων	1.83		
Δοχεία πίεσεως (κατακόρυφα)	4.23	2.8	3.1
Δοχεία πίεσεως (οριζόντια)	3.18	2.8	3.1
Αντλίες	3.38	2.8	3.1
Συμπιεστές	3.11	1.3	1.6
Κλίβανοι (Furnace & direct-fire heaters)	2.23	1.3	
Κρυσταλλωτήρες	2.06	1.9	
Εξατμιστήρες λεπτού στρώματος	2.45	2.5	
Φίλτρα	2.32	1.4	1.7
Αναμίκτες		1.3	1.5
Boilers		1.5	1.8
Φυγοκεντρικοί διαχωριστές		1.3	
Ταινίες μεταφοράς		1.4	1.7
Ψυκτικοί πύργοι		1.2	
Κυκλώνες		1.4	1.7
Ξηραντήρες		1.6	
Όργανα μέτρησης		2.0	
Δοχεία αποθήκευσης (προκατ.)		2.3	2.6
Δοχεία αποθήκευσης (κατ. επί τόπου)		1.4	1.7

Το  $C_P^0$  θα αναφέρεται ως βασικό f.o.b. κόστος αγοράς εξοπλισμού) αναφέρεται σε χαμηλή πίεση λειτουργίας και κατασκευή από κοινό χάλυβα, CS.

Επομένως, το κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού αποτελείται από το κόστος αγοράς του εξοπλισμού (f.o.b. κόστος διορθωμένο για τον σχετικό τύπο, την πίεση και το υλικό κατασκευής).

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

καθώς και το επιπρόσθετο κόστος

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

Το οποίο σχετίζεται με το υπόλοιπο άμεσο και έμμεσο κόστος. Εδώ γίνεται η υπόθεση πως το επιπρόσθετο κόστος  $\Delta C_{BM}$  δεν επηρεάζεται από το υλικό κατασκευής, την πίεση ή τον τύπο του εξοπλισμού.

Γενικά η συνάρτηση  $f$  έχει τις μορφές:

$$f(F_d, F_m, F_P) = F_d * F_m * F_P$$

ή

$$f(F_d, F_m, F_P) = F_m * (F_P + F_d)$$

Οι περισσότερες μεθοδολογίες στηρίζονται στην πρώτη εξίσωση.

# Μέθοδος GUTHRIE

Η μέθοδος Guthrie προτάθηκε το 1969 και εφαρμόζεται στην πλειοψηφία των προκαταρκτικών μελετών. Τα βασικά της πλεονεκτήματα είναι:

- Η απλότητα της
- Η δυνατότητα ενσωμάτωσης και χρήσης νέων δεδομένων κόστους

Το βασικό μειονέκτημα είναι ότι τα σχετικά στοιχεία έχουν δημοσιευθεί εδώ και 50 χρόνια.

Αποτελείται από τρία βήματα:

- **ΒΗΜΑ 1:** Από το μεθοδολογικό διάγραμμα ροής δημιουργούμε πίνακα όλων των βασικών στοιχείων του εξοπλισμού.
- **ΒΗΜΑ 2:** για κάθε στοιχείο του εξοπλισμού, υπολογίζονται τα στοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό του βασικού f.o.b. Κόστους αγοράς.
- **ΒΗΜΑ 3:** Συγκεντρώνονται οι σχετικοί συντελεστές διόρθωσης και υπολογίζεται το κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού για κάθε βασικό στοιχείο.



# Μέθοδος GUTHRIE

Στους πίνακες 3.4 έως 3.10 συνοψίζονται τα αποτελέσματα του Guthrie για τα βασικότερα στοιχεία εξοπλισμού χημικών και πετροχημικών μονάδων.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4.** Κατηγορίες εξοπλισμού στη μεθοδολογία Guthrie.

Κατηγορία	A	B	C	D	E
Συνολική αξία (10 <sup>5</sup> \$@1968)	έως 2	2 έως 4	4 έως 6	6 έως 8	8 έως 10

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5.** Υπολογισμός κόστους κατακόρυφων δοχείων πίεσης.

Βασικό f.o.b. κόστος						
$C_p^0 (\$@1968) = 935.6 H^{0.81} D^{1.05}, \$@1968$			Περιορισμοί 1.22 m ≤ H ≤ 30.5 m, 0.305 m ≤ D ≤ 3.05 m κατασκευή από CS, πίεση ≤ 3.5 bar			
Κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού						
$C_{BM} = [(F_{BM} - 1) + F_m F_P] C_p^0$						
$F_{BM}$	A	B	C	D	E	
	4.23	4.12	4.07	4.06	4.02	
Συντελεστές διόρθωσης						
$F_m$			Clad*	Solid		
		CS	1.00	1.00		
		SS 316	2.25	3.67		
		Monel	3.89	6.34		
		Titanium	4.23	7.89		
$F_P$	P έως (bar)	$F_P$	P έως (bar)	$F_P$	P έως (bar)	$F_P$
	3.5	1.00	27.6	1.35	55.2	1.90
	6.7	1.05	34.5	1.45	62.1	2.30
	13.8	1.15	41.4	1.60	69.0	2.50
	20.7	1.20	48.3	1.80		

\*εσωτερική επένδυση με το υλικό

# Μέθοδος GUTHRIE

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.6.** Υπολογισμός κόστους οριζόντιων δοχείων πίεσης.

Βασικό f.o.b. κόστος					
$C_p^0 (\$@1968) = 645.4 H^{0.78} D^{0.98} \$@1968$	<u>Περιορισμοί</u> 1.22 m ≤ H ≤ 30.5 m, 0.305 m ≤ D ≤ 3.05 m κατασκευή από CS, πίεση ≤ 3.5 bar				
Κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού					
$C_{BM} = [(F_{BM} - 1) + F_m F_P] C_p^0$					
$F_{BM}$	A	B	C	D	E
	3.18	3.06	3.01	2.99	2.96
Συντελεστές διόρθωσης					
$F_m, F_P$	βλ. Πίνακα 3.5.				

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.7.** Υπολογισμός κόστους δίσκων.

Βασικό f.o.b. κόστος				
$C_p^0 (\$@1968) = 125.2 H^{0.97} D^{1.45} \$@1968$	<u>Περιορισμοί</u> 3 m ≤ H ≤ 120 m, 0.61 m ≤ D ≤ 3.05 m			
όπου H = 0.61 · Αριθμός δίσκων				
Κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού				
$C_{BM} = [F_d + F_m + F_s] C_p^0$				
Συντελεστές διόρθωσης				
$F_d$ (Τύπος δίσκου)	Plate	Sieve	Valve	Bubble Cup
	0.0	0.0	0.4	1.8
$F_m$	CS	0		
	SS 316	1.7		
	Monel	8.9		
$F_s$ (Απόσταση δίσκων)	0.61 m (24 in)	0.46 m (18 in)	0.305 m (12 in)	
	1.0	1.4	2.2	

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.8.** Υπολογισμός κόστους εναλλακτών θερμότητας κελύφους-αυλών.

Βασικό f.o.b. κόστος					
$C_p^0 (\$@1968) = 477 A^{0.65} \$@1968$	<u>Περιορισμοί</u> 10 m <sup>2</sup> ≤ A ≤ 1000 m <sup>2</sup> floating head, κατασκευή από CS, πίεση λειτουργίας ≤ 10 bar				
A: επιφάνεια εναλλαγής (m <sup>2</sup> )					
Κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού					
$C_{BM} = [(F_{BM} - 1) + F_m (F_d + F_P)] C_p^0$					
$F_{BM}$	A	B	C	D	E
	3.29	3.18	3.14	3.12	3.10
Συντελεστές διόρθωσης					
$F_d$	Kettle reboiler	U-tube	Fixed tube	Floating head	
	1.35	0.85	0.80	1.00	
$F_m$ (κέλυφος/αυλοί)	CS/CS	CS/SS	SS/SS	CS/Ti	Ti/Ti
10 m <sup>2</sup> έως 50 m <sup>2</sup>	1	1.78	3.10	5.20	10.60
50 m <sup>2</sup> έως 100 m <sup>2</sup>	1	2.25	3.26	6.15	10.75
100 m <sup>2</sup> έως 500 m <sup>2</sup>	1	2.81	3.75	8.95	13.05
500 m <sup>2</sup> έως 1000 m <sup>2</sup>	1	3.52	4.50	11.10	16.60
$F_P$	P έως (bar)	10	20	27	55
		0.0	0.10	0.25	0.52
				0.52	0.55

# Μέθοδος GUTHRIE

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.9.** Υπολογισμός κόστους κλιβάνων.

Βασικό f.o.b. κόστος							
$C_p^0 (\$@1968) = 15000 Q^{0.85}, \$@1968$		Περιορισμοί					
Q είναι το θερμικό φορτίο σε MW		3 MW ≤ Q ≤ 150 MW κατασκευή σωλήνων από CS πίεση λειτουργίας ≤ 35 atm					
Κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού							
$C_{BM} = [(F_{BM} - 1) + (F_d + F_m + F_p)] C_p^0$							
$F_{BM}$		A	B	C	D	E	
		2.27	2.19	2.16	2.16	2.13	
Συντελεστές διόρθωσης							
	Υλικό σωλήνων	CS		Chrome		SS	
$F_m$		0.00		0.35		0.75	
		Θέρμανση		Πυρόλυση		Αναμόρφωση	
$F_d$		1.00		1.10		1.35	
	P έως (bar)	35	70	105	140	170	205
$F_p$		0.00	0.10	0.15	0.25	0.40	0.60

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.10.** Υπολογισμός κόστους συμπιεστών.

Βασικό f.o.b. κόστος						
$C_p^0 (\$@1968) = 515 P^{0.82}, \$@1968$			Περιορισμοί			
P είναι η απαιτούμενη ισχύς σε bhp (bhp = hp/compressor efficiency 1 kW = 1.341 hp)			30 bhp ≤ P ≤ 10,000 bhp κατασκευή σωλήνων από CS πίεση λειτουργίας ≤ 70 bar			
Κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού						
$C_{BM} = [(F_{BM} - 1) + F_d] C_p^0$						
$F_{BM}$		A	B	C	D	E
		3.11	3.01	2.97	2.96	2.93
Συντελεστές διόρθωσης						
	Centrifugal /motor	Reciprocating /steam	Centrifugal /turbine	Reciprocating /motor	Reciprocating /gas engine	
$F_d$	1.00	1.07	1.15	1.29	1.82	

Η αξία του εξοπλισμού αφορά στο έτος 1968 οπότε και υπολογίστηκαν από τον Guthrie. Για αναγωγή του κόστους σε διαφορετική χρονική περίοδο χρησιμοποιούνται δείκτες που εκφράζουν το σχετικό μέσο κόστος εξοπλισμού ως προς το κόστος δεδομένης χρονικής στιγμής (έτος αναφοράς). Δύο δείκτες χρησιμοποιούνται:

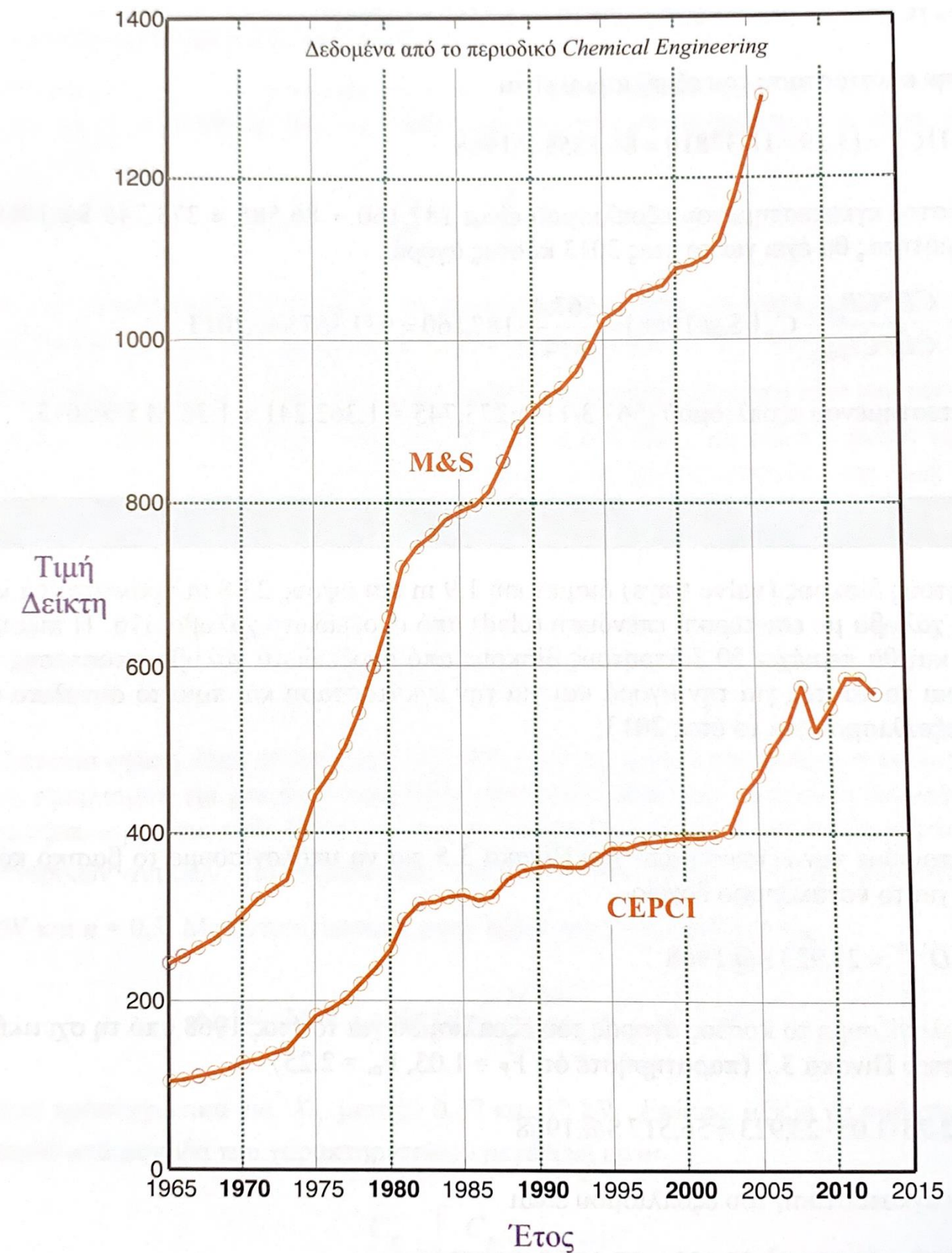
- Marshall and Swift (M&S)
- Chemical Engineering Plant cost Index (CE ή CEPICI).

# Μέθοδος GUTHRIE

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.11.** Τιμές των δεικτών Marshall & Swift και Chemical Engineering Plant Cost Index για τα τελευταία 50 έτη.\*

Έτος	CE	M&S	Έτος	CE	M&S
1926		100	1990	357.6	915
1957-59	100		1991	361.3	931
1965	104.2	245	1992	358.2	943
1966	107.2	253	1993	359.2	964
1967	109.7	263	1994	368.1	993
1968	113.6	273	1995	381.1	1028
1969	119.0	285	1996	381.7	1039
1970	125.7	303	1997	386.5	1057
1971	132.2	321	1998	389.5	1062
1972	137.2	332	1999	390.6	1068
1973	144.1	344	2000	394.1	1089
1974	165.4	398	2001	394.3	1094
1975	182.4	444	2002	395.6	1104
1976	192.1	472	2003	402.0	1124
1977	204.1	505	2004	444.2	1179
1978	218.8	545	2005	468.2	1245
1979	238.7	599	2006	499.6	1302
1980	261.2	660	2007	525.4	1373
1981	297.0	721	2008	575.4	1449
1982	314.0	746	2009	521.9	1469
1983	316.9	761	2010	550.8	
1984	322.7	780	2011	585.7	
1985	325.3	790	2012	584.6	
1986	318.5	798	2013	567.3	
1987	323.8	814	2014	576.1	
1988	342.5	852	2015	556.8	
1989	355	895	2016	541.7	
			2017	567.5	
			α' τριμ. 2018	581.8	
			β' τριμ. 2018	601.0	
			γ' τριμ. 2018	613.2	
			δ' τριμ. 2018	616.3	
			2018	603.1	

\* Τιμές από το περιοδικό *Chemical Engineering*.



**ΣΧΗΜΑ 3.1.** Εξέλιξη Marshall και Swift Index (M&S) και Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI) τα τελευταία 50 χρόνια.

# Μέθοδος GUTHRIE

Όπως φαίνεται για τον δείκτη CERPCI στο επόμενο διάγραμμα, υπάρχουν περίοδοι που χαρακτηρίζονται από μεγάλη μεταβλητότητα, πχ 1973-1982, 2003-2008, ενώ άλλες περιόδους χαρακτηρίζονται από αξιοσημείωτη σταθερότητα, πχ 1965-1972, 1983-2002. Την περίοδο 2008-2015 σημειώθηκαν σημαντικές αυξομειώσεις στο δείκτη.

Εάν το κόστος είναι γνωστό για το έτος  $t_0$ , τότε υπολογίζουμε το κόστος για το έτος  $t$  που μας ενδιαφέρει με την παρακάτω σχέση:

$$\text{CERPCI}_t / \text{CERPCI}_{t_0} = C_{\text{BM},t} / C_{\text{BM},t_0} \rightarrow C_{\text{BM},t} = \text{CERPCI}_t / \text{CERPCI}_{t_0} * C_{\text{BM},t_0}$$

## Παράδειγμα:

Ο δείκτης CERPCI ήταν 114 το 1968 και 567,3 το 2013. Επομένως ο ίδιος εξοπλισμός θα ήταν το 2013  $567,3/114 = 5$  φορές ακριβότερος σε σχέση με το 1968.

# Μέθοδος εκτίμησης κόστους από προηγούμενες μελέτες

Οι περισσότερες προσεγγιστικές περιγραφές κόστους που αναπτύχθηκαν από τον Guthrie μπορούν να εκφραστούν με σχέσεις της ακόλουθης γενικής μορφής:

$C_p/C_{p,\alpha} = (X/X_\alpha)^\eta$  όπου  $X$  είναι το χαρακτηριστικό μέγεθος του εξοπλισμού ως προς το οποίο εκφράζεται το κόστος, το  $\alpha$  αντιπροσωπεύει μία δεδομένη τιμή του χαρακτηριστικού μεγέθους ( $X_\alpha$ ) για την οποία είναι γνωστό το αντίστοιχο κόστος αγοράς και το  $\eta$  είναι εκθέτης ο οποίος εξαρτάται από τον τύπο του εξοπλισμού. Τυπικές τιμές του  $\eta$  είναι μεταξύ 0,3 και 0,9. Εάν η τιμή του  $\eta$  δεν είναι γνωστή από τη βιβλιογραφία (Perry's Handbook, Peters, Timmerhaus & West, 2003) τότε του δίνουμε την τιμή 0,6.

Η εξίσωση μπορεί να διαμορφωθεί ως εξής:

$C_p = C_{p,\alpha} * (X/X_\alpha)^\eta$  επομένως αν είναι γνωστός ο εκθέτης  $\eta$  και το κόστος εξοπλισμού για μία τιμή του χαρακτηριστικού μεγέθους, τότε μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή του εξοπλισμού για κάθε άλλη τιμή του χαρακτηριστικού μεγέθους.

Επίσης, η εξίσωση μπορεί να γραφτεί και έτσι:

$$C_p/X = C_{p,\alpha} * (X^{\eta-1}/X_\alpha^\eta)$$

Παρατηρώντας την παραπάνω σχέση φαίνεται πως καθώς η δυναμικότητα του εξοπλισμού αυξάνει, το βασικό f.o.b. κόστος ανά μονάδα του χαρακτηριστικού μεγέθους, φαινόμενο γνωστό ως οικονομίες κλίμακας (economies of scale).

# Μέθοδος εκτίμησης κόστους από προηγούμενες μελέτες

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.12.** Δεδομένα κόστους αγοράς για μερικούς τύπους εξοπλισμού

Τύπος Εξοπλισμού	$X_a$	Μονάδες	$C_{p,a}^o$ (\$)	Εύρος Εφαρμογής	$n$	CEPCI
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 <sup>2</sup>	6,700	5.6–18.6	0.50	
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	
Φιλτρόπρεσα CS	9.3	m <sup>2</sup>	5,700	0.9–93	0.55	

# Μέθοδος εκτίμησης κόστους από προηγούμενες μελέτες

Φίλτρο κενού περιστρεφόμενου τυμπάνου με κινητήρα, CS	9.3	m <sup>2</sup>	63,300	0.9–140	0.48	
Οριζόντιο δοχείο πίεσης (χάλυβας – 11.4 bar)	3.8	m <sup>3</sup>	6300	0.4–302	0.62	
Δοχείο με μανδύα και αναμίκτη – CS, SS πολ/σε με 1.7	1	m <sup>3</sup>	11,200	0.2–20	0.534	
Δοχείο με μανδύα και αναμίκτη – CS επένδυση γυαλί (glass lined)	1	m <sup>3</sup>	27,560	0.2–20	0.534	
Δοχείο αποθήκευσης, ατμοσφαιρικό, κυλινδρικό, οριζόντιο, CS	3.8	m <sup>3</sup>	4,700	0.4–151	0.57	
Δοχείο αποθήκευσης, ατμοσφαιρικό, κυλινδρικό, κατακόρ., CS	3.8	m <sup>3</sup>	3,300	0.4–76	0.30	
-//- με μανδύα	3.8	m <sup>3</sup>	15,000	0.26–5.7	0.57	
-//- με ανάδευση	3.8	m <sup>3</sup>	12,300	0.40–76	0.50	
Εναλλάκτες θερμότητας πλωτής κεφαλής (κελύφους – αυλών – CS)	93	m <sup>2</sup>	21,700	1.9–1860	0.59	

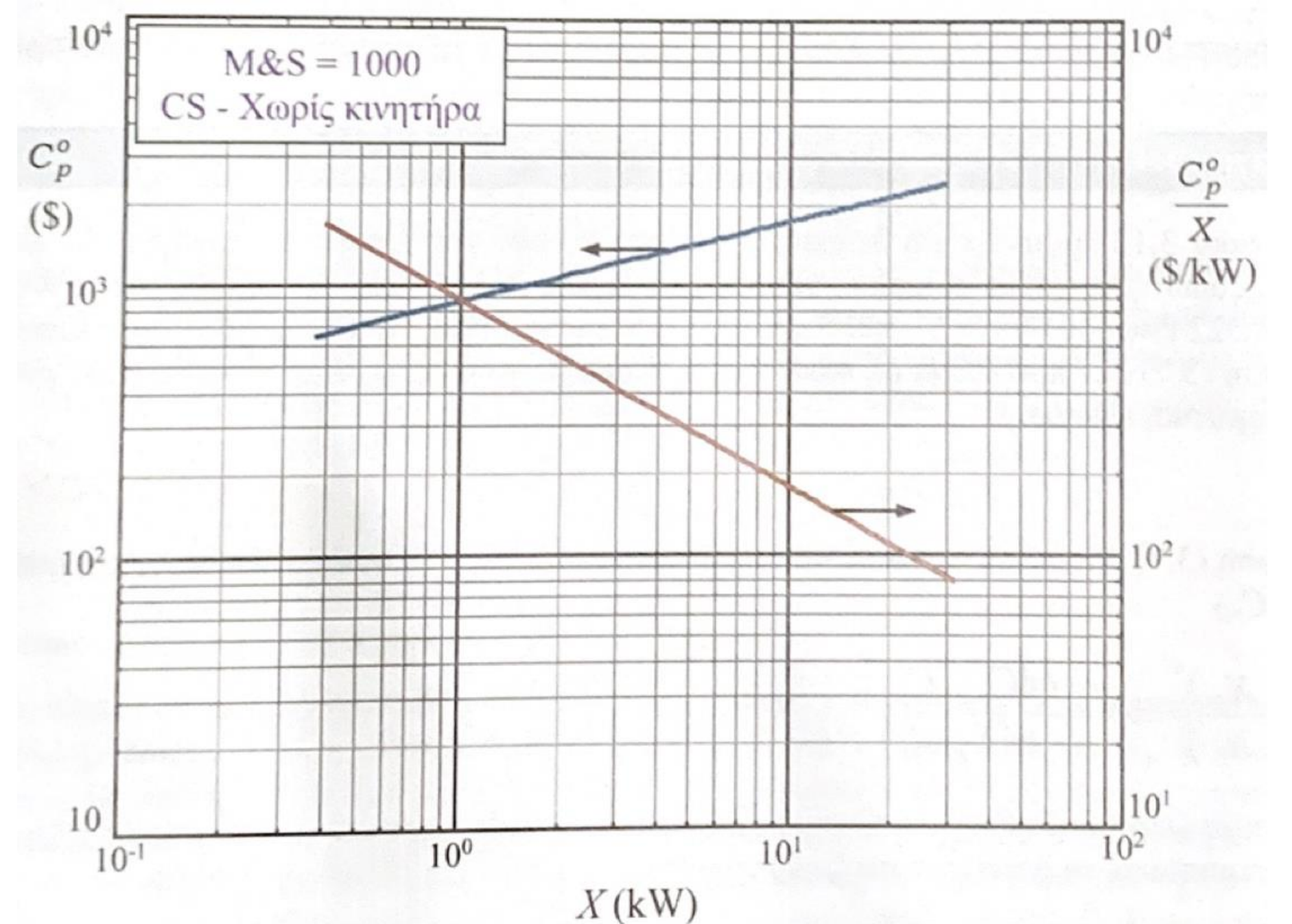


# Μέθοδος εκτίμησης κόστους από προηγούμενες μελέτες

Εναλλάκτες θερμότητας πλωτής κεφαλής (κελύφους – αυλών – CS)	93	m <sup>2</sup>	21,700	1.9–1860	0.59	
Πληρωτικά υλικά – Raschig rings SS304	1	m <sup>3</sup>	7,300		1	510
Πληρωτικά υλικά – Intalox saddles – ceramic	1	m <sup>3</sup>	1,800		1	
Πληρωτικά υλικά – Pall rings SS304	1	m <sup>3</sup>	7,700		1	
Πληρωτικά υλικά – Structured SS304	1	m <sup>3</sup>	6,900		1	
Δοχείο αποθήκευσης οξέων ή βάσεων – πλαστικό	48.5	m <sup>3</sup>	6,210		0.7	551
Δοχείο αποθήκευσης οξέων ή βάσεων – ανοξείδωτο	47.7	m <sup>3</sup>	96,000		0.7	
Δοχείο ανάμιξης από HDPE	30.3	m <sup>3</sup>	9,000		0.7	
Φιλτρόπρεσα	384	m <sup>2</sup>	1,650,000		0.8	
Ζυμωτήρας – αερόβιος – προκατ. που περιλαμβάνει σύστημα συμπίεσης και αποστείρωσης αέρα και σερπαντίνα ψυκτικού (skid complete) SS304	0.08	m <sup>3</sup>	37,700			522
	0.3	m <sup>3</sup>	46,000			
	0.8	m <sup>3</sup>	58,300			
	3.0	m <sup>3</sup>	57,500			
	7.6	m <sup>3</sup>	78,800			
	30.0	m <sup>3</sup>	95,400			

# Μέθοδος εκτίμησης κόστους από προηγούμενες μελέτες

Ζυμωτήρας κατασκευασμένος επί τόπου που περιλαμβάνει σερπαντίνα ψυκτικού SS316	300	m <sup>3</sup>	400,000		
	75.7	m <sup>3</sup>	176,000		
	757	m <sup>3</sup>	590,000		
Ζυμωτήρας, αναερόβιος, SS304, χωρίς αναμίκτης και σύστημα ψύξης	3785	m <sup>3</sup>	844,000		1.0
Αναμίκτης SS316	0.75	hp	3,420		
	8	hp	11,000		
	80	hp	63,000		
	100	hp	109,000		
	800	hp	580,000		
Δοχείο ενδιάμεσης αποθήκευσης από SS304	300	m <sup>3</sup>	248,000		0.7
Δοχείο αποθήκευσης glass-lined CS	265	m <sup>3</sup>	70,000		0.7
Δεξαμενή αποθήκευσης – floating roof - CS A285 Grade C – Αποθήκευση αιθανόλης	2840	m <sup>3</sup>	670,000		0.7
Συμπιεστής – περιλαμβάνει κινητήρα/ Πίεση εξόδου 2 bar	8000	SCFM	175,000		0.6
Plate & Frame filtration unit (complete) SS316	385	m <sup>2</sup>	1,650,000		



ΣΧΗΜΑ 3.2. f.o.b. κόστος αγοράς φυγοκεντρικών αντλιών.

# Μέθοδος εκτίμησης κόστους με χρήση εξισώσεων

## Οι εξισώσεις των Mulet, Corripio, Evans

Οι εξισώσεις τους έχουν τύχει ευρείας αποδοχής και χρησιμοποιούνται σε πολλά προγράμματα προσομείωσης και μοντελοποίησης χημικών διεργασιών.

### Παράδειγμα: Δοχεία

Στη μεθοδολογία Guthrie το κόστος του δοχείου είναι συνάρτηση της διαμέτρου  $D$  του δοχείου. Στην περίπτωση των Mulet, Corripio, Evans το κόστος του δοχείου συνδέεται με το βάρος του το οποίο είναι φυσικά συνάρτηση των διαστάσεων του.

Έτσι ο υπολογισμός ανάγεται σε υπολογισμό του πάχους του κελύφους του δοχείου που εξαρτάται από την πίεση λειτουργίας. Προτάθηκαν οι κάτωθι εξισώσεις:

#### α) οριζόντια

κέλυφος:  $C_p^0(\$@1979) = \exp[8.114 - 0.16449(\ln W) + 0.04333(\ln W)^2]$  (3.11.α)

πλατφόρμες και σκάλες:  $C_p^0(\$@1979) = 1288.3D^{0.20294}$  (3.11.β)

#### β) κατακόρυφα

κέλυφος:  $C_p^0(\$@1979) = \exp[8.6 - 0.21651(\ln W) + 0.04576(\ln W)^2]$  (3.11.γ)

πλατφόρμες και σκάλες:  $C_p^0(\$@1979) = 1017D^{0.7396}H^{0.70684}$  (3.11.δ)

# Μέθοδος εκτίμησης κόστους με χρήση εξισώσεων

Όπου  $W$  είναι το βάρος του δοχείου (kg),  $D$  η εσωτερική διάμετρος (m) και  $H$  το ύψος του δοχείου (m).

- Η 3.11<sup>α</sup> ισχύει για  $W$  μεταξύ 369 και 415.000 kg,  $D$  μεταξύ 0,92 και 3,66 m
- Η 3.11<sup>γ</sup> για  $W$  μεταξύ 2.210 και 400.000 kg,  $D$  μεταξύ 1,83 και 3,05 m και  $H$  μεταξύ 3,66 και 6,10 m.
- Και στις δύο περιπτώσεις το υλικό κατασκευής είναι κοινός χάλυβας (CS).

Για τον υπολογισμό του βάρους  $W$  για δεδομένο πάχος δοχείου  $t$  και γνωστή πυκνότητα του υλικού κατασκευής  $\rho$ , προτείνουν τον εξής τύπο:

$$W = t \left\{ \pi D H + 1.6232 \left[ 2 \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \right] \right\} \rho = t \pi D (H + .8122D) \rho \quad (3.12)$$

Ο υπολογισμός του πάχους του δοχείου βασίζεται στο πρότυπο ASME:

$$t = \frac{P_g D}{2P_{S,\max} E_W - 1.2 P_g} + t_{cor} \quad (3.13)$$

# Μέθοδος εκτίμησης κόστους με χρήση εξισώσεων

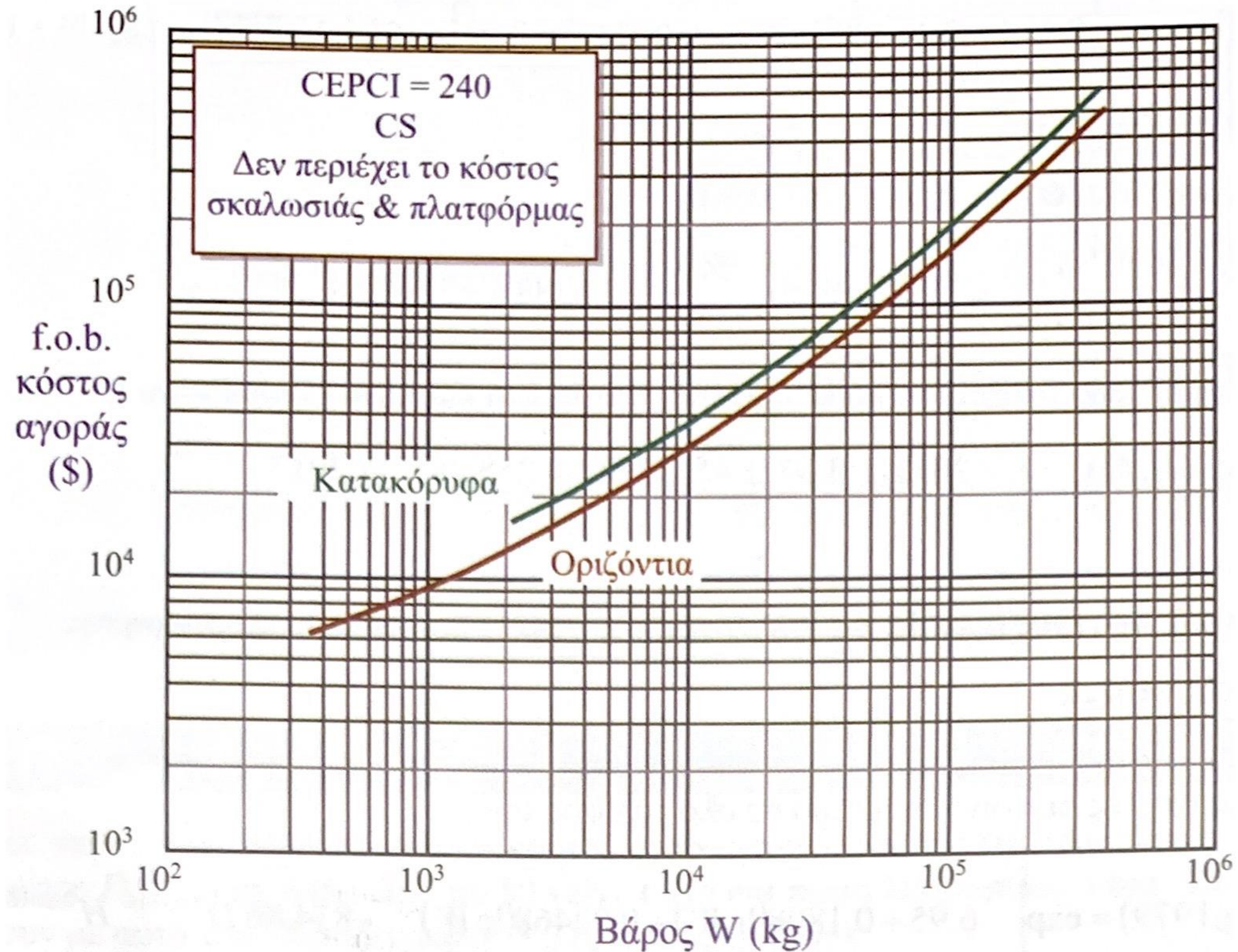
Όπου  $P_g$  είναι η σχετική πίεση σχεδιασμού (bar),  $P_{s,max}$  η μέγιστη επιτρεπτή τάση-πίεση (bar),  $E_w$  η αποδοτικότητα συγκολλήσεως (weld efficiency),  $t_{cor}$  το επιπρόσθετο πάχος για προστασία από διάβρωση.

Οι Turton et al. (2003) προτείνουν για κοινό χάλυβα (CS), αποδοτικότητα συγκόλλησης 90%, μέγιστη τάση 944 bar, επιπλέον πάχος 3,15 mm για προστασία από διάβρωση και ελάχιστο πάχος 6,3 mm.

$$t = \max \left\{ 0.0063, \left( \frac{P_g}{1700 - 1.2P_g} \right) D + 0.00315 \right\} \quad (3.14)$$

Η 3.14 ισχύει για λειτουργία σε πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Για λειτουργία υπό κενό συνιστάται η χρήση  $t = 0,0063$  m για πίεση  $>0,5$  bar και  $t = 0,0079$  m για πίεση  $<0,5$  bar.

# Μέθοδος εκτίμησης κόστους με χρήση εξισώσεων



**ΣΧΗΜΑ 3.3.** f.o.b. κόστος αγοράς δοχείων πίεσης.

# Μέθοδος εκτίμησης κόστους με χρήση εξισώσεων

Στον παρακάτω πίνακα 3.15 και σχήματα 3.7-3.14 (από Ιωάννης Κούκος Εισαγωγή στο Σχεδιασμό Χημικών Εργοστασίων, 2<sup>η</sup> έκδοση) δίνονται δεδομένα για τον υπολογισμό του κόστους αγοράς μηχανολογικού εξοπλισμού.

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

Εξοπλισμός	Χαρακτηριστικό μέγεθος	Εύρος εφαρμογής	$F_{BM}$	$F_{SS}$	$a$	$b$	$c$
Ζυμωτήρες αερόβιοι (Μικροί) – skid complete – SS304	Όγκος σε m <sup>3</sup>	0.3–80	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 <sup>3</sup>	80–1000	2.0	1.5	9.858	0.52534	0
Εξατμιστήρες εξαναγκασμένης κυκλοφορίας (forced circulation) – CS	Επιφάνεια σε m <sup>2</sup>	5–1000	—	2.1	11.894	0.3475	0.03053
Εξατμιστήρες κατερχόμενου υμένα (falling film) – CS	Επιφάνεια σε m <sup>2</sup>	50–500	—	2.1	9.3335	0.8627	–0.00382
Αντιδραστήρες με ανάδευση και μανδύα – CS	Όγκος σε m <sup>3</sup>	0.1–35	—	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 <sup>2</sup>	10–100	—	—	9.812	0.5200	0
Φίλτρα συνεχούς λειτουργίας περιστρεφόμενου τυμπάνου (rotary vacuum drum filter)	Επιφάνεια σε m <sup>2</sup>	1–100	—	—	11.626	0.0727	0.0554
Ξηραντήρες τύπου spray (spray drier)	Όγκος σε m <sup>3</sup>	20–1000	—	2.2	13.340	–0.4155	0.0749
Κρυσταλλωτήρες – συνεχές σύστημα με εξάτμιση – εξαν. κυκλοφορία	Παροχή κρυσταλ. 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

# Μέθοδος εκτίμησης κόστους με χρήση εξισώσεων

Στον παρακάτω πίνακα 3.15 και σχήματα 3.7-3.14 (από Ιωάννης Κούκος Εισαγωγή στο Σχεδιασμό Χημικών Εργοστασίων, 2<sup>η</sup> έκδοση) δίνονται δεδομένα για τον υπολογισμό του κόστους αγοράς μηχανολογικού εξοπλισμού.

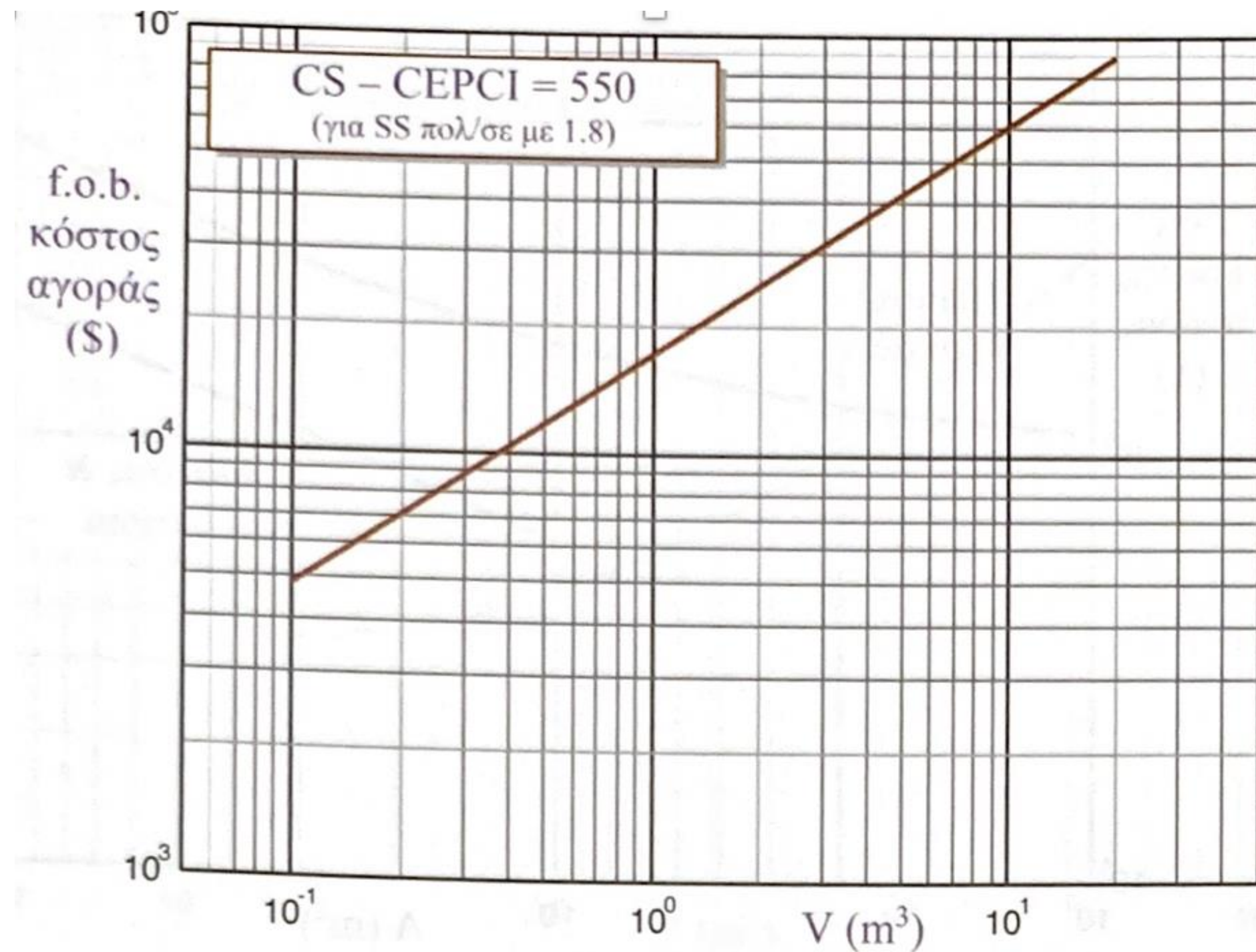
**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.15.** Δεδομένα κόστους για διάφορα στοιχεία εξοπλισμού (CEPCI = 550).

Εξοπλισμός	Χαρακτηριστικό μέγεθος	Εύρος εφαρμογής	$F_{BM}$	$F_{SS}$	$a$	$b$	$c$
Ζυμωτήρες αερόβιοι (Μικροί) – skid complete – SS304	Όγκος σε m <sup>3</sup>	0.3–80	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 <sup>3</sup>	80–1000	2.0	1.5	9.858	0.52534	0
Εξατμιστήρες εξαναγκασμένης κυκλοφορίας (forced circulation) – CS	Επιφάνεια σε m <sup>2</sup>	5–1000	—	2.1	11.894	0.3475	0.03053
Εξατμιστήρες κατερχόμενου υμένα (falling film) – CS	Επιφάνεια σε m <sup>2</sup>	50–500	—	2.1	9.3335	0.8627	–0.00382
Αντιδραστήρες με ανάδευση και μανδύα – CS	Όγκος σε m <sup>3</sup>	0.1–35	—	1.8	9.745	0.5500	0
Αναμίκτης τύπου τουρμίνας – CS	Καταν. ισχύς kW	2–100	—	1.8	9.028	–0.0392	0.1161

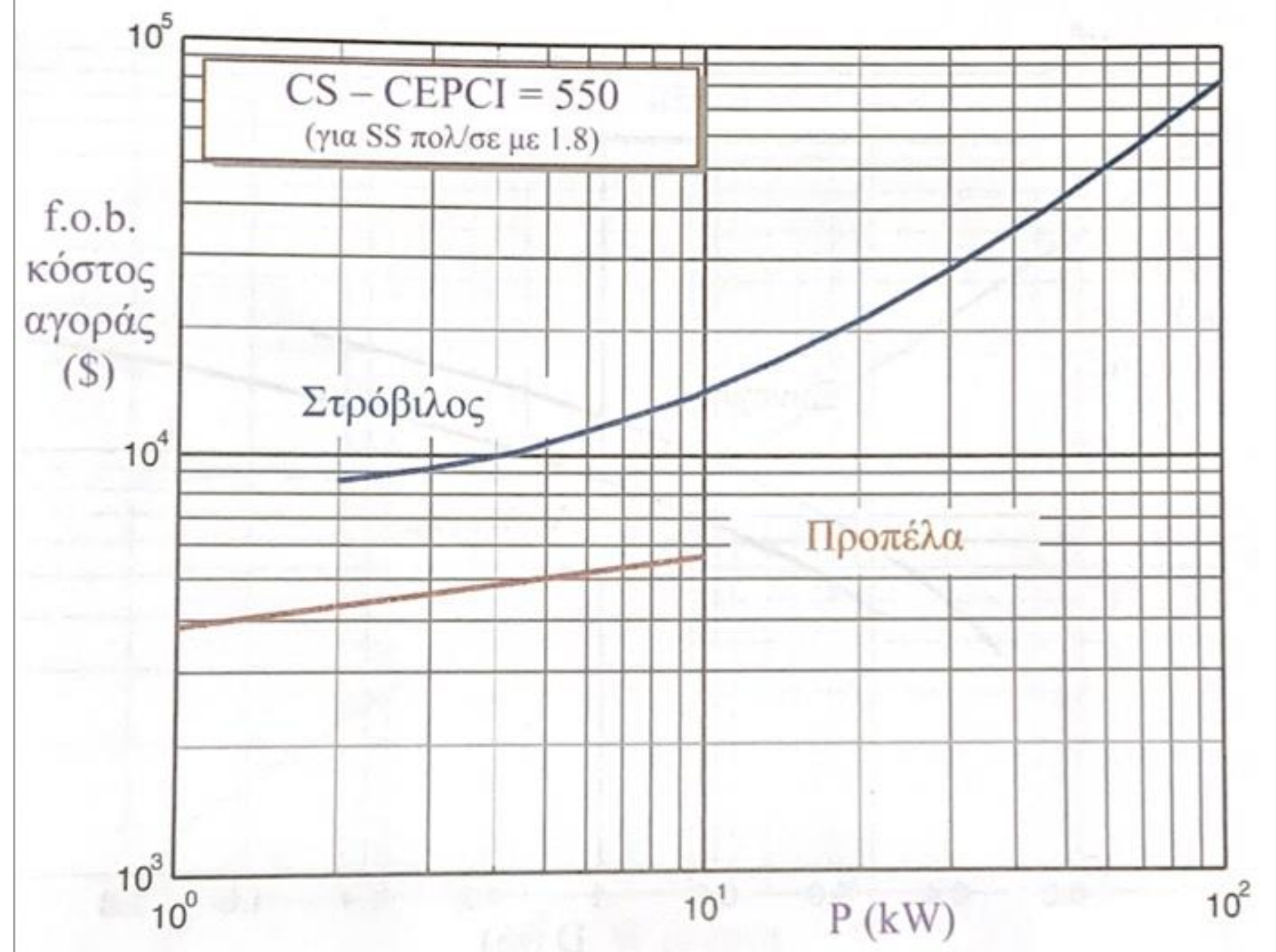
Αναμίκτης τύπου προπέλας – CS	Καταν. ισχύς kW	1–10	—	1.8	8.242	0.1732	0
Φίλτρα ασυνεχούς λειτουργίας με πλάκες και πλαίσια (plate & frame)	Επιφάνεια σε m <sup>2</sup>	10–100	—	—	9.812	0.5200	0
Φίλτρα συνεχούς λειτουργίας περιστρεφόμενου τυμπάνου (rotary vacuum drum filter)	Επιφάνεια σε m <sup>2</sup>	1–100	—	—	11.626	0.0727	0.0554
Ξηραντήρες τύπου spray (spray drier)	Όγκος σε m <sup>3</sup>	20–1000	—	2.2	13.340	–0.4155	0.0749
Κρυσταλλωτήρες – συνεχές σύστημα με εξάτμιση – εξαν. κυκλοφορία	Παροχή κρυσταλ. 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



# Μέθοδος εκτίμησης κόστους με χρήση εξισώσεων



ΣΧΗΜΑ 3.9. Κόστος αγοράς αντιδραστήρων με αναμίκτη και μανδύα.



ΣΧΗΜΑ 3.10. Κόστος αγοράς αναμικτήρων.

# Κόστος διεργασίας

Σταθερά κόστη (ανεξάρτητα συνθηκών ή ρυθμού παραγωγής)

- Αποσβέσεις παγίων
- Τακτική συντήρηση
- Πρόσθετα όπως:
  - ✓ Υπηρεσία ασφάλειας
  - ✓ Εργαστήρια
  - ✓ Κτίρια διοίκησης
- Δημοτικοί φόροι
- Εργατικά
- Ασφάλειες

Μεταβλητά κόστη (σχετιζόμενα με ρυθμό παραγωγής)

- Α' ύλες
- Χημικά, καταλύτες, κτλ
- Βοηθητικές παροχές:
  - ✓ Ατμός
  - ✓ Ψυκτικά
  - ✓ Ηλεκτρική ενέργεια
  - ✓ Καύσιμα
- Ποιοτικός έλεγχος
- Royalties
- Μεταφορικά

# Λειτουργικά κόστη

## Κόστος Α' υλών

- Είναι συνήθως το μεγαλύτερο
- Έχει σημαντική βαρύτητα και επηρεάζει τα οικονομικά της μονάδας
- Τα κόστη Α' υλών ιδιαίτερα ευμετάβλητα
- [www.icis.com/chemicals/channel-info-chemicals-a-z](http://www.icis.com/chemicals/channel-info-chemicals-a-z)

## Κόστος βοηθητικών παροχών

- Συνήθως έρχεται δεύτερο μετά τις Α' ύλες
- Περιλαμβάνει:
  - ✓ Ατμός, Ψυκτικά, Ηλεκτρική ενέργεια, Καύσιμα, Αδρανή
- Ευμετάβλητα κόστη που επηρεάζονται σημαντικά από:
  - ✓ Είδος καυσίμου
  - ✓ Διακυμάνσεις στον χρόνο από αστάθμητους παράγοντες
  - ✓ Συμβόλαια με παρόχους

# Κόστη βοηθητικών παροχών

---

Ατμός παράγεται με κατανάλωση κάποιου καυσίμου

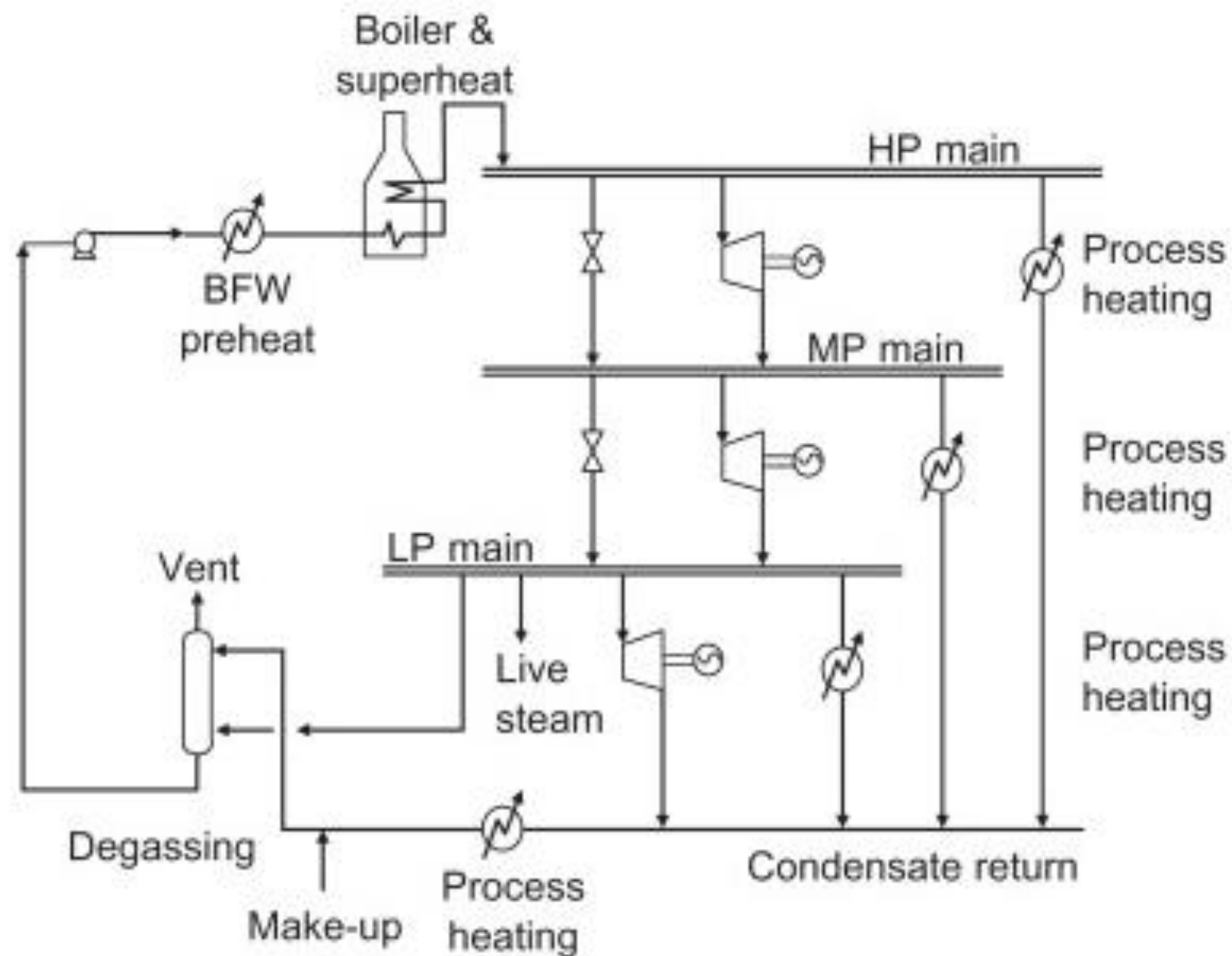
- Η ποσότητα και η τιμή του καυσίμου καθορίζουν το κόστος ατμού.
- Επιπρόσθετος παράγοντας η αξία της παραγόμενης ισχύος από τον ατμοστρόβιλο.

Ψύξη δημιουργείται μέσω της συμπίεσης ψυκτικού μέσου

- Βασικότερος παράγοντας το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Δεύτερος παράγοντας το έργο συμπίεσης που επιτυγχάνεται.

# Κόστη βοηθητικών παροχών

Ατμός παράγεται με κατανάλωση κάποιου καυσίμου

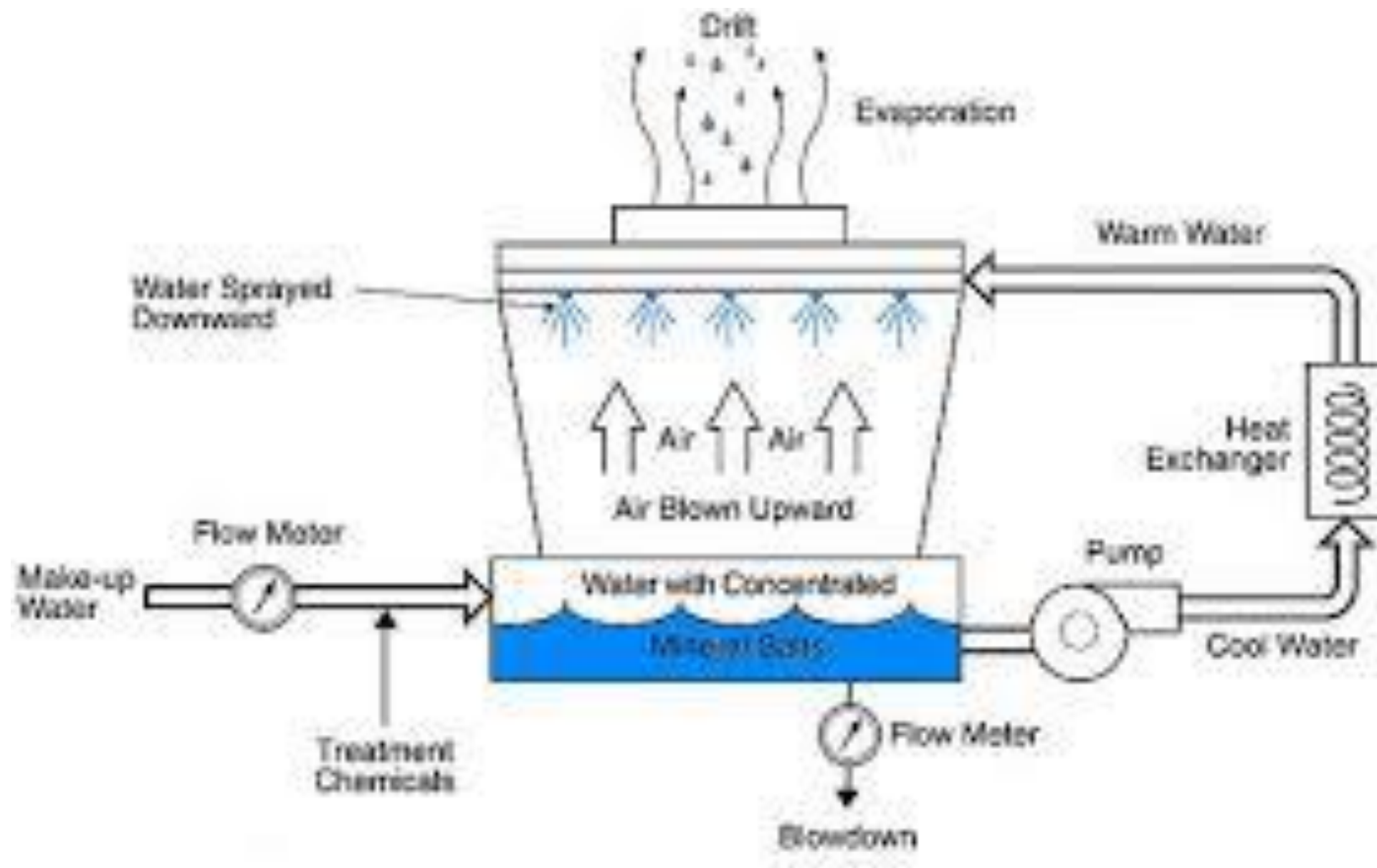


Παράμετροι που καθορίζουν την τιμή ατμού.

- Καύσιμο
- Απόδοση καύσης
- Απώλειες στο δίκτυο διανομής
- Αξία παραγόμενου έργου

# Κόστη βοηθητικών παροχών

Νερό ψύξης παράγεται με πύργο ψύξης

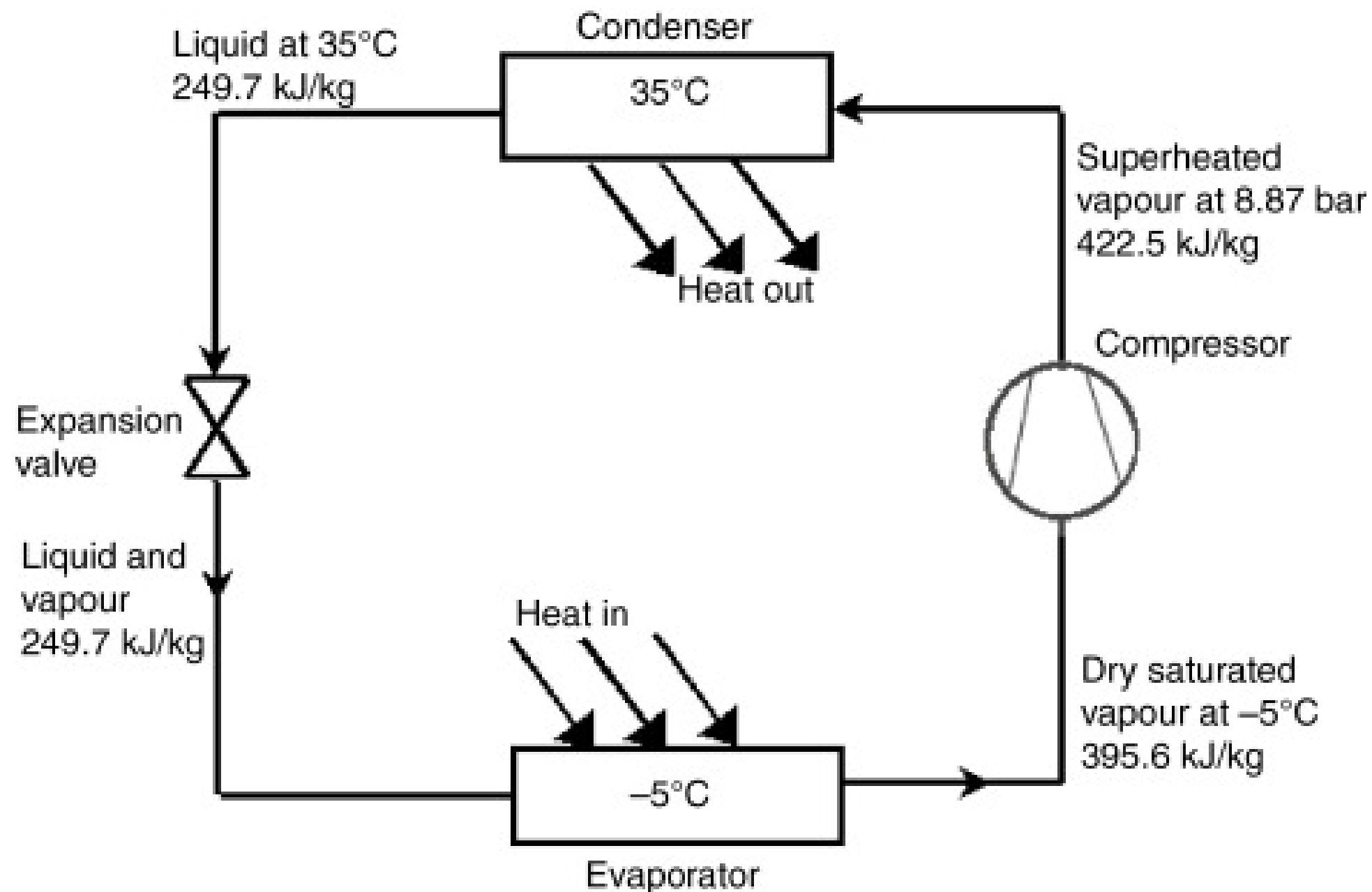


Τυπικά το κόστος ψύξης είναι μικρό:

- ~1% κόστους ηλεκτρικής ενέργειας
- ή 5-10% κόστους ατμού χαμηλής πίεσης-θερμοκρασίας (LP)

# Κόστη βοηθητικών παροχών

Για χαμηλότερες θερμοκρασίες ψυκτικού χρειαζόμαστε κλειστό κύκλωμα ψύξης



Το κόστος ισχύος είναι ανάλογο του έργου συμπίεσης υπολογισμένο σε ιδανικό σύστημα

$$W_{\text{ideal}} = Q_C \cdot \left( \frac{T_H - T_C}{T_C} \right) \quad W_{\text{actual}} = \frac{W_{\text{ideal}}}{\eta}$$

Όπου

$Q_C$  = φορτίο ψύξης

$T_H$  = θερμοκρασία όπου απορρίπτεται θερμικό φορτίο

$T_C$  = θερμοκρασία όπου προσλαμβάνεται θερμικό φορτίο

$\eta$  = λόγος ιδανικού προς πραγματικό φορτίο (~0,6)

# Πάγιο κόστος

Βασικό κόστος  
διεργασίας



Κόστος εξοπλισμού της συγκεκριμένης βιομηχανικής μονάδας (τυπικά εξαιρούμε εξοπλισμό βοηθητικών παροχών, λέβητες, πύργο ψύξης, περιβαλλοντικό έλεγχο)

Κόστος  
εγκατάστασης



Υποδομές και εξοπλισμός που δε σχετίζεται άμεσα με την παραγωγική διαδικασία:

- Κόστος παροχών, ηλεκτρισμός, δίκτυο διανομής βοηθητικών παροχών
- Υπηρεσίες παροχών όπως νερά (διεργασίας, ψύξης), επεξεργασία αποβλήτων, αέρια

Κόστη  
μηχανικών



Κόστος σχεδιασμού και εγκατάστασης

Κόστος  
εκκίνησης



Εκκίνηση μονάδας:

- Α' ύλες, αποθηκευμένα υλικά
- Διαχείριση και μεταφορά υλικών
- Κόστη προσωπικού



# Πάγιο κόστος

Αρχικά υπολογισμός βασικού κόστους εξοπλισμού (C):

- Υπολογίζεται το κόστος κάθε είδους εξοπλισμού ξεχωριστά
- Κάθε είδος εξοπλισμού διέπεται από διαφορετική σχέση υπολογισμού κόστους, σε όλα τα είδη χρειάζεται ένα χαρακτηριστικό μέγεθος που έχει προκύψει από τη διαστασιολόγηση
- Μπορούν να συσχετιστούν τα κόστη από διαφορετικές κλίμακες με πολυωνυμικές εξισώσεις

Προσαρμογή κόστους στις λειτουργικές συνθήκες (C'):

- Συνήθως οι βασικοί συντελεστές προσαρμογής αφορούν σε πίεση (Fp), θερμοκρασία (Ft) και υλικά (Fm)
- $K' = Fp * Ft * Fm * C$

Έπειτα υπολογισμός εγκατεστημένου εξοπλισμού (C''):

- Είναι  $>C$
- Χρησιμοποιούνται συντελεστές  $F_i$  που εξαρτώνται από τη διεργασία
- $C'' = F_i * C'$

Τελικός υπολογισμός συνολικού κόστους (Ct):

- $C_t = \Sigma(C'') = F_i * \Sigma(C')$

# Πάγιο κόστος

Πολυωνυμικές σχέσεις:

Αν γνωρίζουμε το κόστος εξοπλισμού σε ένα μέγεθος  $Size_1$  (πχ από βιβλιογραφία) τότε το κόστος σε μέγεθος  $Size_2$  δίνεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\frac{Cost_2}{Cost_1} = \left( \frac{Size_2}{Size_1} \right)^R$$

Όπου  $R$  εκθέτης με τιμές που κυμαίνονται περί του 0,6.

Εναλλακτικά σχέσεις που βασίζονται στις κύριες μεταβλητές διαστασιολόγησης οι οποίες συνδέουν το κόστος με ένα κρίσιμο μέγεθος του εξοπλισμού, πχ:

- Κόστος φούρνου  $\longrightarrow$  (θερμικό φορτίο)<sup>0,85</sup>
- Κόστος συμπιεστή  $\longrightarrow$  (ισχύς)<sup>0,82</sup>
- Κόστος αποστακτικής  $\longrightarrow$  (διάμετρος)<sup>0,85</sup> \* (ύψος)<sup>0,82</sup>

# Προσαρμογή σε λειτουργικές συνθήκες μονάδας

Ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας της μονάδας προσαρμόζονται και τα κόστη αγοράς του εξοπλισμού. Οι τρεις βασικότερες παράμετροι που επηρεάζουν το κόστος του εξοπλισμού είναι:

Εναλλακτικά σχέσεις που βασίζονται στις κύριες μεταβλητές διαστασιολόγησης οι οποίες συνδέουν το κόστος με ένα κρίσιμο μέγεθος του εξοπλισμού, πχ:

- Θερμοκρασία  $F_t$ 
  - 0-100: 1,0
  - 100-300: 1,5
  - 300-500: 2,0
- Πίεση  $F_p$ 
  - 1 atm: 1,0
  - 0,1 ή 50: 1,5
  - 0,01 ή 100: 2,0
- Υλικό κατασκευής  $F_m$ 
  - Συντελεστής διαφέρει ανάλογα το υλικό

# Κόστος εγκατάστασης

Ανάλογα το είδος του εξοπλισμού μπορεί να δοθεί με ένα συνολικό συντελεστή εγκατάστασης:

Ο συντελεστής περιλαμβάνει:

- Εργασίες εγκατάστασης
- Μονώσεις
- Σωληνώσεις
- Σκελετοί – υποστηρίγματα
- Γενικές υποδομές
- Εγκατάσταση πυρασφάλειας – πυρόσβεσης
- Ηλεκτρικό δίκτυο
- Γενικές εργασίες όπως βάψιμο, επισκευές σε χώρους
- Μηχανικούς, επιστάτες

Τυπικοί συντελεστές (Κούκος, Εισαγωγή στον σχεδιασμό χημικών εργοστασίων, 2<sup>η</sup> έκδοση):

- |                               |      |
|-------------------------------|------|
| • Εναλλάκτες κέλυφους-σωλήνων | 3,29 |
| • Εναλλάκτες διπλών σωλήνων   | 1,83 |
| • Δοχεία πίεσεως (κατακόρυφα) | 4,23 |
| • Δοχεία πίεσεως (οριζόντια)  | 3,18 |
| • Αντλίες                     | 3,38 |
| • Συμπιεστές                  | 3,11 |
| • Κλίβανοι                    | 2,23 |
| • Φίλτρα                      | 2,32 |

# Άλλα λειτουργικά κόστη

Εάν υπάρχουν δεδομένα από παρόμοιες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, δηλαδή παρόμοιες τεχνολογίες και ίδιας τάξης μεγέθους δυναμικότητες, τότε παρακάμπτεται ο υπολογισμός του κόστους εργασίας.

Γενικά είναι δύσκολο να προσδιοριστεί και εξαρτάται από τεχνικές λεπτομέρειες του έργου που αφορούν σε παράγοντες όπως:

- Τύπος διεργασίας (συνεχής, διαλείποντος έργου)
- Βαθμός αυτοματισμού
- Αριθμός διεργασιών
- Δυναμικότητα

Κόστος συντήρησης:

Εξαρτάται από το είδος και τις λεπτομέρειες της διεργασίας όπως πχ τη διαχείριση στερεών, ύπαρξη διαβρωτικών ουσιών), τυπικά ~6% της συνολικής πάγιας επένδυσης

# Συνολικό κόστος παραγωγής

Το συνολικό κόστος παραγωγής (Total Product Cost – TPC) είναι ιδιαίτερα κρίσιμο μέγεθος. Η αξιόπιστη εκτίμηση του είναι απαραίτητη για τη τελική έγκριση ή απόρριψη ενός επενδυτικού σχεδίου. Το συνολικό κόστος παραγωγής μπορεί να αποδοθεί στις εξής κατηγορίες:

- άμεσα κόστη (direct cost, DC)
- πάγιες δαπάνες (fixed charges, FC)
- γενικά έξοδα (general expenses, GE)
- Άμεσα κόστη (DC): εξαρτώνται από τη δυναμικότητα της βιομηχανικής μονάδας, πχ κόστος Α' υλών.
- Πάγιες δαπάνες (FC): ανεξάρτητες της δυναμικότητας της μονάδας
  - Άμεσα κόστη + πάγιες δαπάνες = κόστος βιομηχανοποίησης (manufacturing cost) ή κόστος λειτουργίας/παραγωγής (operating/production cost)
  - Μπορεί να διαιρεθεί σε μεταβλητό ή σταθερό κόστος
- Γενικά έξοδα (GE): έξοδα από τμήματα πωλήσεων, R&D, διοικητικά έξοδα

# Συνολικό κόστος παραγωγής

Πίνακας 4.1 Ανάλυση συνολικού κόστους παραγωγής (ή προϊόντος)

Συνολικό Κόστος Προϊόντος (TPC)	I. Κόστος Βιομηχανοποίησης	A. Άμεσα Κόστη (DC)	Πρώτες Ύλες	$C_{RM}$
			Βοηθητικές Παροχές	$C_{UT}$
			Άμεση Εργασία	$C_{OL}$
			Επεξεργασία Αποβλήτων	$C_{WT}$
			Επίβλεψη Άμεσης Εργασίας	$0.15 C_{OL}$
			Συντήρηση & Επισκευές	$0.06 FCI$
			Προμήθειες Λειτουργίας	$0.01 FCI$
			Κόστος Εργαστηρίου	$0.15 C_{OL}$
			Δικαιώματα Ευρεσιτεχνίας	$0.03 TPC$
			$DC = C_{RM} + C_{UT} + C_{WT} + 1.3C_{OL} + 0.07FCI + 0.03TPC$	
	B. Σταθερά Κόστη (FC)	Απόσβεση	$0.10 FCI$	
		Φόροι	$0.03 FCI$	
		Ασφάλιση	$0.01 FCI$	
	$FC = 0.14 FCI$			
	II. Γενικά Έξοδα (GE)	Επιβαρύνσεις	$0.10 TPC$ ή $0.7C_{OL} + 0.04FCI$	
		Διοικητικά έξοδα	$0.04 TPC$ ή $0.18C_{OL} + 0.01FCI$	
		Πωλήσεις και διανομή	$0.10 TPC$	
		Έρευνα & Ανάπτυξη	$0.05 TPC$	

Προσεγγιστικές μέθοδοι υπολογισμού βασίζονται στα εξής κόστη με τη χρήση πάντα συντελεστών:

- Κόστος παγίου κεφαλαίου (FCI)
- Κόστος Α' υλών (CRM)
- Κόστος βοηθητικών παροχών ( $C_{UT}$ )
- Κόστος επεξεργασίας αποβλήτων ( $C_{WT}$ )

# Συνολικό κόστος παραγωγής

Κόστος Α' υλών:

- Είναι συνήθως το μεγαλύτερο κόστος μία μονάδας.
  - Μπορεί να υπολογιστεί από τα ισοζύγια μάζας που έχουν γίνει και να αντιστοιχηθεί σε συγκεκριμένη δυναμικότητα μονάδας.
  - Γνωρίζοντας τις ποσότητες Α' υλών, μπορεί αν γίνει προσεγγιστικός υπολογισμός του κόστους αρχικά από σχετικές δημοσιεύσεις (chemical marketing reporter, Alibaba.com,...).
  - Ο τελικός υπολογισμός στηρίζεται σε τιμές από προμηθευτές.
- \* Προσοχή, το κόστος Α' υλών είναι κρίσιμο μέγεθος, μπορεί να φτάσει 50% του TPC, πρέπει επομένως να εκτιμηθεί με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια.
- \*\* Οι τιμές των προμηθευτών δεν περιλαμβάνουν κόστη ασφάλισης και μεταφοράς που και αυτά θα επιβαρύνουν το TPC.



# Συνολικό κόστος παραγωγής

Πίνακας 4.2 Κόστος βοηθητικών παροχών (Turton και άλλοι, 2013)

Παροχή	Τύπος	Κόστος	
		\$/GJ	\$/μονάδα
Ατμός	Χαμηλής Πίεσης (lps: 6 bar – 160 °C) $\Delta h_s = 2,080$ kJ/kg ατμού	14.05	30 \$/t
	Μέσης Πίεσης (mps: 11 bar – 184 °C) $\Delta h_s = 1,995$ kJ/kg ατμού	14.83	
	Υψηλής Πίεσης (hps: 42 bar – 254 °C) $\Delta h_s = 1688$ kJ/kg ατμού	17.70	
Νερό	Ψυκτικό νερό από π.ψ. 30 °C–40 °C	0.354	0.0148 \$/m <sup>3</sup>
	Ελαφρώς ψυγμένο 5 °C–15 °C	4.430	0.185 \$/t
	Για κοινή χρήση		0.067 \$/t
	Νερό τροφοδοσίας βραστήρα (boiler)		2.450 \$/t
	Πόσιμο		0.260 \$/t
	Απιονισμένο		1.000 \$/t
Καύσιμα	Φυσικό αέριο	11.1	0.42 \$ / std m <sup>3</sup>
	Fuel oil (no 2)	14.2	550 \$/m <sup>3</sup>
Ηλεκτρική Ενέργεια	220 V	16.8	0.06 \$/kWh
Πεπιεσμένος Αέρας	7 bar		0.49 \$ / 100 std m <sup>3</sup>
	4.3 bar		0.35 \$ / 100 std m <sup>3</sup>
Επεξεργασία Αποβλήτων	Μη Τοξικά		36 \$/t
	Τοξικά		200–2000 \$/t
Επεξεργασία Νερού	Πρωτογενής		41 \$ / 1000 m <sup>3</sup>
	Δευτερογενής		43 \$ / 1000 m <sup>3</sup>
	Τριτογενής		56 \$ / 1000 m <sup>3</sup>

Κόστος βοηθητικών παροχών (ατμός, νερό, ηλεκτρική ενέργεια, πεπιεσμένος αέρας, φυσικό αέριο):

- Μπορεί να υπολογιστεί από τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας.
- Το κόστος ανά μονάδα βοηθητικής παροχής μπορεί να είναι δύσκολο να εκτιμηθεί αξιόπιστα.
- Για προκαταρκτικές μελέτες χρησιμοποιούνται αντιπροσωπευτικές τιμές κόστους όπως στον διπλανό πίνακα.

\* Αντίστοιχη λογική ισχύει και για τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων.

# Συνολικό κόστος παραγωγής

Πίνακας 6-14 Ταξινόμηση κόστους για επιλεγμένες βοηθητικές παροχές και εργασία.

Βοηθητική παροχή	Κόστος
Ηλεκτρισμός	0.045 \$/kWh <sup>a</sup>
Καύσιμο	
Κάρβουνο	0.35 \$/GJ <sup>b</sup>
Πετρέλαιο	1.30 \$/GJ <sup>b</sup>
Κώκ	0.17 \$/GJ <sup>b</sup>
Αέριο	1.26 \$/GJ <sup>b</sup>
Ψύξη στη θερμοκρασία	
5°C	20.0 \$/GJ <sup>c</sup>
-20°C	32.0 \$/GJ <sup>c</sup>
-50°C	60.0 \$/GJ <sup>c</sup>
Υδρατμός, κορεσμένος	
10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup> kPa (150-1500 psi)	4.40 \$/1000 kg <sup>e,d</sup>
Απόνερα	
Διάθεση	0.53 \$/1000 kg <sup>e</sup>
Επεξεργασία	0.53 \$/1000 kg <sup>e</sup>
Απόβλητα	
Επικίνδυνα	145.00 \$/1000 kg <sup>c</sup>
Ακίνδυνα	36.00 \$/1000 kg <sup>c</sup>
Νερό	
Ψύξης	0.08 \$/1000 kg <sup>e,f</sup>
Διεργασιών	0.53 \$/1000 kg <sup>e</sup>
Εργασία	
Εξειδικευμένη	33.67 \$/h <sup>g</sup>
Κοινή	25.58 \$/h <sup>g</sup>

<sup>a</sup> Με βάση το U.S. Department of Energy, Energy Information Administration form EIA-861, 2001 μέσος όρος για Η.Π.Α. για το 2000.

<sup>b</sup> Με βάση το U.S. Department of Energy, Energy Information Administration form EIA-0348, 2001 μέσος όρος για Η.Π.Α. για το 2000.

<sup>c</sup> R. Turton, R. C. Bailie, W. B. Whiting, και J. A. Shaeiwitz, *Analysis, Synthesis, και Design of Chemical Processes*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 1998.

<sup>d</sup> U.S. Department of Energy, Office of Industrial Technologies, DOE/GO-102000-1115, December 2000.

<sup>e</sup> U.S. Department of Energy, Office of Industrial Technologies, DOE/GO-10099-953, June 2001.

<sup>f</sup> M.S. Peters και K.D. Timmerhaus, *Plant Design και Economics for Chemical Engineers*, 4th ed., McGraw-Hill, New York, 1991.

<sup>g</sup> *Engineering News-Record indexes*, December 2001.

Από Peters et al., Σχεδιασμός και οικονομική μελέτη εγκαταστάσεων για μηχανικούς, 5<sup>η</sup> έκδοση

# Συνολικό κόστος παραγωγής

Άμεση εργασία μπορεί να είναι ειδικευμένη ή ανειδίκευτη:

- Εξαρτάται από παράγοντες που δύσκολα ποσοτικοποιούνται όπως φιλοσοφία εταιρείας, τεχνογνωσία, βαθμός αυτοματισμού, τύπος διεργασίας (συνεχής, ασυνεχής), κλασικής ή νέας τεχνολογίας κ.ο.κ.
- Είναι εξαιρετικά δύσκολο να εκτιμηθεί με εξισώσεις.
- Είναι καλύτερη πρακτική να βασίζεται σε εμπειρία και ιστορικά στοιχεία.

Η μέθοδος Wessel υπολογίζει τις απαιτήσεις σε άμεση εργασία  $Y$  (ανθρωπόωρες ανά στάδιο διεργασίας και ημέρα) βάσει της δυναμικότητας της μονάδας  $X$  (τόνοι ανά ημέρα, t/d) σύμφωνα με την εξίσωση:

$\log_{10} Y = 0.25 * \log_{10} X + b$ , εξίσωση 4.1, Ιωάννης Κούκος, Εισαγωγή στον Σχεδιασμό Χημικών Εργοστασίων, 2<sup>η</sup> έκδοση.

Όπου η σταθερά  $b=1,4$  για μονάδες υψηλών απαιτήσεων (ασυνεχείς διεργασίες) σε άμεση εργασία και  $b=1$  για μονάδες χαμηλών απαιτήσεων (πλήρως αυτοματοποιημένες).

Επίσης, η ίδια μεθοδολογία προτείνει την εξίσωση:

$(Y/X)/(Y/X)_0 = (X/X_0)^{-3/4}$ , εξίσωση 4.2, Ιωάννης Κούκος, Εισαγωγή στον Σχεδιασμό Χημικών Εργοστασίων, 2<sup>η</sup> έκδοση.

Όπου ο δείκτης 0 δηλώνει γνωστές ποσότητες, ο λόγος  $Y/X$  έχει μονάδες ανθρωπόωρες ανά τόνο προϊόντος (h/t), για χημικές μονάδες με δυναμικότητες έως 10.000 τόνους/χρόνο παίρνει τιμές  $\sim 1,5$  h/t.

# Συνολικό κόστος παραγωγής

Για τον υπολογισμό του κόστους άμεσης εργασίας γενικά προτιμώνται εμπειρικά δεδομένα:

Πίνακας 4.3 Άμεση εργασία για αντιπροσωπευτικά στοιχεία εξοπλισμού (Ulrich, 2004)

Στοιχείο Εξοπλισμού	Εργαζόμενοι/βάρδια
Αντιδραστήρες συνεχείς	0.3
Αντιδραστήρες ασυνεχείς	1.0
Αντλίες	0
Δεξαμενές	0
Δοχεία και στήλες	0.1–0.3
Εναλλάκτες θερμότητας	0.05
Εξατμιστήρες	0.2–0.4
Εξοπλισμός ελάττωσης μεγέθους	0.3–0.6
Βιοαντιδραστήρες	0.2–0.3
Κλίβανοι	0.3
Μεταφορικές ταινίες	0.1
Συμπιεστές & Φυσητήρες	0.1
Φιλτράρες	0.6
Φυγοκεντρικοί διαχωριστές & Φίλτρα	0.05–0.1

Πίνακας 4.4 Ενδεικτικοί μέσοι αναθάριστοι μισθοί σε \$, 2009, ΗΠΑ ([www.nrel.gov](http://www.nrel.gov), [www.bls.gov](http://www.bls.gov))

	\$/y	\$/h
Διευθυντής Παραγωγής	140,000	70
Μηχανικός	70,000	35
Επιστάτης/Εργοδηγός	55,000	25
Τεχνικός Συντήρησης/Εργαστηρίου	40,000	20
Κατώτερος Διοικητικός Υπάλληλος	36,000	18

Πίνακας 4.5 Ενδεικτικοί μέσοι αναθάριστοι μισθοί σε \$, 2006 (ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ, 3 Δεκεμβρίου 2006)

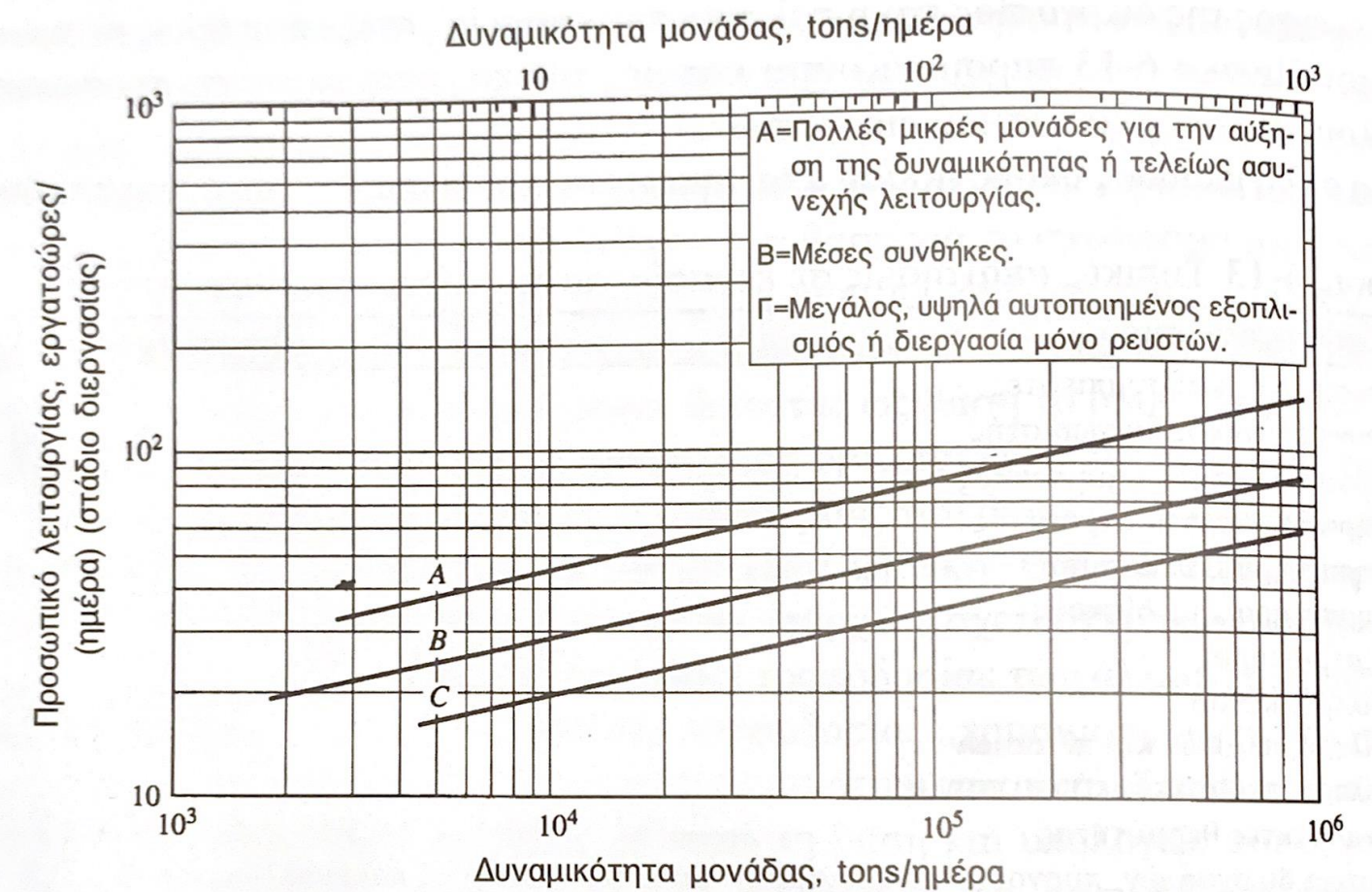
	Μέσοι ακαθάριστοι μισθοί σε \$ @ 2006			
	Αθήνα	Νέα Υόρκη	Λονδίνο	Ρώμη
Βιομηχανικός Εργάτης	21,100	65,400	46,500	21,700
Μηχανικός	26,100	85,200	63,100	31,700
Ανώτερος Διοικητικός Υπάλληλος	49,200	89,200	76,300	31,000
Πωλητής	13,300	29,500	34,600	17,500
Διευθυντής Παραγωγής	28,400	87,100	60,500	—

# Συνολικό κόστος παραγωγής

Για τον υπολογισμό του κόστους άμεσης εργασίας γενικά προτιμώνται εμπειρικά δεδομένα:

**Πίνακας 6-13** Τυπικές απαιτήσεις σε εργασία για τον εξοπλισμό διεργασιών.

Τύπος εξοπλισμού	Εργάτες/μονάδα/βάρδια
Φυσητήρες και συμπιεστές	0.1–0.2
Φυγοκεντρικός διαχωριστής	0.25–0.50
Κρυσταλλωτήρας, μηχανικός	0.16
Ξηραντήρας, περιστροφικός	0.5
Ξηραντήρας, ψεκασμού	1.0
Ξηραντήρας, με δίσκους	0.5
Εξατμιστήρας	0.25
Φίλτρο, κενού	0.125–0.25
Φίλτρο, πλακών και πλαισίων	1.0
Φίλτρο, περιστροφικό και ταινίας	0.1
Εναλλάκτες θερμότητας	0.1
Δοχεία διεργασιών, πύργοι (συμπεριλαμβάν. βοηθητικές αντλίες και εναλλάκτες)	0.2–0.5
Αντιδραστήρας, ασυνεχής	1.0
Αντιδραστήρας, συνεχής	0.5



**Σχήμα 6-9.** Λειτουργικές απαιτήσεις για εργασία στη βιομηχανία χημικών διεργασιών.

# Άμεσο κόστος παραγωγής

Άμεση επίβλεψη και υπαλληλική εργασία απαιτείται πάντοτε και είναι συνάρτηση:

- Των απαιτήσεων σε άμεση εργασία.
- Της πολυπλοκότητας της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας.
- Των ποιοτικών προδιαγραφών των προϊόντων.

Κατατάσσεται στις πάγιες δαπάνες και ισούται με ~15% τους κόστους άμεσης εργασίας.

Η σωστή συντήρηση (προγραμματισμένη και μη) είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την απρόσκοπτη λειτουργία της παραγωγικής μονάδας:

- Απαιτούνται δαπάνες για άμεση και έμμεση εργασία και για υλικά.
- Υπολογίζεται σε ~2-10% του κόστους του παγίου κεφαλαίου.

Επιπλέον κόστη αφορούν σε υλικά που **ΔΕΝ** θεωρούνται Α' ύλες:

- Εργαστηριακά χημικά, αντιδραστήρια, λιπαντικά.
- Υπολογίζεται σε ~1% του κόστους του παγίου κεφαλαίου.

Το κόστος εργαστηρίων για ποιοτικό έλεγχο προϊόντων και Α' υλών:

- Συμπεριλαμβάνεται στο άμεσος κόστος.
- Υπολογίζεται σε ~15% του κόστους άμεσης εργασίας.

Κόστος δικαιωμάτων ευρεσιτεχνίας:

- Υπολογίζεται σε ~15% του κόστους άμεσης εργασίας.

# Πάγιες δαπάνες και επενδύσεις

Κόστη αποσυνδεδεμένα από δυναμικότητα και ύψος παραγωγής της μονάδας χαρακτηρίζονται ως πάγια κόστη ή σταθερές δαπάνες.

Ως **απόσβεση** ορίζουμε τη μείωση της αξίας των πάγιων στοιχείων μίας μονάδας (εξοπλισμός, κτίρια, κοκ) με την πάροδο του χρόνου.

- Τα επιτρεπτά όρια απόσβεσης ορίζονται από το νόμο και διαφέρουν από χώρα σε χώρα.
- Για προκαταρκτικές μελέτες μπορούμε να θεωρήσουμε πως ισούται με 10% του κόστους παγίου κεφαλαίου ετησίως.

Πάγια κόστη που σχετίζονται με φορολόγηση και υποχρεωτική ασφάλιση:

- Εξαρτώνται από τη χώρα και το είδος της βιομηχανικής μονάδας.
- Είναι ίσα με ~4% του κόστους παγίου κεφαλαίου ετησίως.

Γενικές επιβαρύνσεις (overheads) περιλαμβάνουν κόστη υπηρεσιών και εγκαταστάσεων αναγκάιων για τη λειτουργία της μονάδας που δε περιλαμβάνονται σε άλλες κατηγορίες και δε σχετίζονται με τη παραγωγική διαδικασία:

- Τεχνικές υπηρεσίες, γραφεία προσωπικού, πυρασφάλεια, φωτισμός, ιατρικές υπηρεσίες, φύλαξη...
- Δύσκολο να εκτιμηθούν, προσεγγιστικά ~50-70% κόστους άμεσης εργασίας, επίβλεψη και συντήρησης.
- Εναλλακτικά ~5-15% του συνολικού κόστους προϊόντος.

# Γενικά έξοδα

Στα γενικά έξοδα κατατάσσονται κόστη που δε σχετίζονται άμεσα με την παραγωγή προϊόντων. Τα κόστη αυτά μεταβάλλονται σε συνάρτηση με την εκάστοτε δυναμικότητα και την πολιτική κάθε εταιρείας. Περιλαμβάνουν κόστη για:

- Έξοδα διοίκησης.
- Διανομής και πωλήσεων (διαφήμιση, μάρκετινγκ).
- Έρευνα και ανάπτυξη.

Μπορούν να είναι ~25% του συνολικού κόστους προϊόντος.

Παράδειγμα υπολογισμού κόστους συντήρησης (Από Peters et al., Σχεδιασμός και οικονομική μελέτη εγκαταστάσεων για μηχανικούς, 5<sup>η</sup> έκδοση)

**Πίνακας 6-16** Υπολογισμός κόστους για συντήρηση και επισκευές.

	Κόστος συντήρησης ως ποσοστό επένδυσης πάγιου κεφαλαίου (σε ετήσια βάση)		
	Μισθοί	Υλικά	Σύνολο
Απλές χημικές διεργασίες	1-3	1-3	2-6
Μέσες διεργασίες με κανονικές συνθήκες λειτουργίας	2-4	3-5	5-9
Πολύπλοκες διεργασίες, συνθήκες έντονης διάβρωσης ή εκτεταμένης ενοργάνωσης	3-5	4-6	7-11



# Προσεγγιστική εκτίμηση TPC

Οι παρακάτω εξισώσεις μπορούν να δώσουν ένα μοντέλο εκτίμησης του TPC.

Άμεσα κόστη (DC): 
$$DC = C_{RM} + C_{UT} + C_{WT} + 1.3C_{OL} + 0.07FCI + 0.03TPC \quad (4.3)$$

Σταθερές δαπάνες και επιβαρύνσεις (FC): 
$$FC = 0.14FCI + 0.10TPC = 0.14FCI + 0.07C_{OL} + 0.04FCI \quad (4.4)$$

Γενικά έξοδα (GE): 
$$GE = 0.19TPC = 0.15TPC + 0.18C_{OL} + 0.01FCI \quad (4.5)$$

Το συνολικό κόστος παραγωγής μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση:

$$TPC = DC + FC + GE = C_{RM} + C_{UT} + C_{WT} + 2.18C_{OL} + 0.26FCI + 0.18TPC$$

ή

$$TPC = 1.22(C_{RM} + C_{UT} + C_{WT}) + 2.66C_{OL} + 0.295FCI \quad (4.6)$$

Όπου αν δε ληφθούν υπόψη οι αποσβέσεις:

$$TPC = 1.22(C_{RM} + C_{UT} + C_{WT}) + 2.66C_{OL} + 0.195FCI \quad (4.7)$$

# Προσεγγιστική εκτίμηση TPC

Η 4.7 δίνει προσεγγιστικά το συνολικό κόστος παραγωγής και στηρίζεται στο ότι γνωρίζουμε τα κόστη:

- Α' υλών
- Βοηθητικών παροχών
- Επεξεργασίας αποβλήτων
- Άμεσης εργασίας
- Παγίου κεφαλαίου

Τα παραπάνω είναι στοιχεία της διεθνούς βιβλιογραφίας και ισχύουν

Για μονάδες παραγωγής συνεχούς λειτουργίας οι οποίες παράγουν μεγάλες ποσότητες μικρού αριθμού ομοειδών χημικών ή πετροχημικών προϊόντων με χρήση αποκλειστικών (dedicated) μονάδων παραγωγής. Σύννηθης χρόνος ζωής μίας τέτοιας μονάδας είναι 15-30 έτη.

Η χρήση της εξίσωσης δε προτείνεται για πχ μονάδα ασυνεχούς λειτουργίας η οποία πιθανά παράγει μία σειρά από διαφορετικά φαρμακευτικά προϊόντα τα οποία θα αλλάζουν κάθε 3-5 έτη.

(Από Ιωάννης Κούκος, Εισαγωγή στον Σχεδιασμό Χημικών Εργοστασίων, 2<sup>η</sup> έκδοση)