



Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση περιβαλλοντικών συστημάτων Ι

Μάθημα 5^ο - 6^ο

(Εκτίμηση Κόστους Πάγιου Κεφαλαίου)

Δρ. Ιψάκης Δημήτρης

Χημικός Μηχανικός, Έκτακτο Διδακτικό Προσωπικό ΠΔΜ



Εισαγωγή

- Για να είναι δυνατή η παραγωγή ενός προϊόντος θα πρέπει να είναι διαθέσιμα τα κεφάλαια (χρήματα) για την επένδυση. Επομένως, απαιτείται η εύρεση του συνολικού κόστους της επένδυσης.
- Σημαντικό στοιχείο κατά την εκτίμηση του κόστους μίας συνολικής επένδυσης αποτελεί η εκτίμηση του κόστους του μηχανολογικού εξοπλισμού (1^ο βήμα της ανάλυσης κόστους).
- Δηλαδή, πρώτα θα εκτιμηθεί το κόστος του μηχανολογικού εξοπλισμού και έπειτα με βάση αυτό θα προχωρήσει η εκτίμηση της συνολικής επένδυσης που περιλαμβάνει διάφορες κατηγορίες δαπανών.



Εισαγωγή

- Για να εκτιμηθεί το κόστος του μηχανολογικού εξοπλισμού **θα πρέπει να είναι διαθέσιμο το μεθοδολογικό διάγραμμα ροής** (process flow diagram) της παραγωγικής μονάδας.
- Στην βιβλιογραφία αναφέρεται ότι λιγότερες του 1% των επενδυτικών ιδεών τελικά υλοποιούνται.
- Στο παρόν μάθημα, θα αναλύσουμε προσεγγιστικές μεθόδους εκτίμησης του κόστους του μηχανολογικού εξοπλισμού μέσω παραδειγμάτων και με την βοήθεια δημοσιευμένων πινάκων.
- Η συστηματική (αλλά εμπειρική) μεθοδολογία μας βοηθάει στην **εκτίμηση του κόστους πολλαπλών σεναρίων και στην πιθανή βελτίωση αυτών πριν το στάδιο της υλοποίησης ή της απόρριψης.**



Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Μέθοδος Guthrie)

- Η διαστασιολόγηση του μηχανολογικού εξοπλισμού **βασίζεται στα αποτελέσματα επίλυσης του μεθοδολογικού διαγράμματος ροής** (πλήρη ισοζύγια μάζας και ενέργειας).
- **Πρώτο βήμα** αποτελεί η εκτίμηση του κόστους αγοράς/προμήθειας εξοπλισμού που θα συμβολίζεται ως **Cp⁰ (equipment purchase cost or free on board/f.o.b)**. Το κόστος αυτό δίνεται από εμπειρικές εξισώσεις που βασίζονται σε :
 - **Γεωμετρικά χαρακτηριστικά (π.χ. ύψος, διάμετρος, επιφάνεια)**
 - **Μεταβλητές διεργασίας (π.χ. πίεση, θερμικό φορτίο, παροχή)**



Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Μέθοδος Guthrie)

- Το κόστος Cp^0 θα μας δίνεται σε πίνακες και θα βασίζεται σε μία συγκεκριμένη χρονολογία και για συγκεκριμένο τύπο εξοπλισμού και **δεν θα αποτελεί το τελικό κόστος**. Απαιτούνται διορθώσεις που αφορούν:
 - Αναγωγή χρημάτων στην παρούσα χρονική στιγμή.
 - Το κόστος της εγκατάστασης του εξοπλισμού (συνοδεύεται από τον συντελεστή F_{BM}). Ο συντελεστής αυτός δίνεται πάλι σε πίνακες για διάφορα είδη εξοπλισμού (π.χ. εναλλάκτες, αντλίες, συμπιεστές, κτλ.).
 - Το κόστος του εξοπλισμού που αποτελεί διαφορετικό τύπο από αυτόν που αφορά το Cp^0 . Δηλαδή, διορθώσεις που αφορούν α) διαφορετικό τύπο (F_d /π.χ. Εναλλάκτης U-Tube αντί για εναλλάκτη κελύφου-αυλών), β) διαφορετική πίεση λειτουργίας (F_p) και γ) διαφορετικό υλικό κατασκευής (F_m /π.χ. Stainless steel αντί για carbon steel).
- Επομένως το τελικό κόστος πρέπει να συμπεριλάβει όλες τις διορθώσεις αυτές όπως θα δούμε στην συνέχεια υπό την μορφή συντελεστών...



Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Μέθοδος Guthrie)

Γενικευμένη εξίσωση κόστους εξοπλισμού

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

Τελικό κόστος
εξοπλισμού σε \$

Κόστος αγοράς εξοπλισμού σε \$ (free on board/f.o.b.). Το κόστος αυτό αφορά έναν και μόνο τύπο (π.χ. υλικό carbon steel, πίεσης λειτουργίας έως 2bar).



Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Μέθοδος Guthrie)

Γενικευμένη εξίσωση κόστους εξοπλισμού

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



Το κόστος της εγκατάστασης του εξοπλισμού (συνοδεύεται από τον συντελεστή F_{BM}). Ο συντελεστής αυτός δίνεται σε πίνακες για διάφορα είδη εξοπλισμού (π.χ. εναλλάκτες, αντλίες, συμπιεστές, κτλ.).

Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Μέθοδος Guthrie)

Πίνακας 3.3. Συντελεστές κόστους εγκατεστημένου εξοπλισμού για αντιπροσωπευτικά στοιχεία εξοπλισμού (Guthrie, 1969, Walas et al., 1990).

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



Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Μέθοδος Guthrie)

Γενικευμένη εξίσωση κόστους εξοπλισμού

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

$$f(F_d, F_m, F_p) = F_d \cdot F_m \cdot F_p$$

or

$$f(F_d, F_m, F_p) = F_m \cdot (F_d + F_p)$$

Το κόστος του εξοπλισμού που αποτελεί διαφορετικό τύπο από αυτόν που αφορά το C_p^0 . Δηλαδή, διορθώσεις που αφορούν α) διαφορετικό τύπο (F_d /π.χ. Εναλλάκτης U-Tube αντί για εναλλάκτη κελύφου-αυλών), β) διαφορετική πίεση λειτουργίας (F_p) και γ) διαφορετικό υλικό κατασκευής (F_m /π.χ. Stainless steel αντί για carbon steel).

Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Μέθοδος Guthrie)

$$f(F_d, F_m, F_p) = F_d \cdot F_m \cdot F_p$$

or

$$f(F_d, F_m, F_p) = F_m \cdot (F_d + F_p)$$

Πίνακας 3.8 (συνέχεια)

F_d	Kettle reboiler		U-tube	Fixed tube	Floating head		
	1.35		0.85	0.80	1.00		
F_m	CS/CS	CS/SS	SS/SS	CS/Ti	Ti/Ti		
10m ² έως 50m ²	1	1.78	3.10	5.20	10.60		
50m ² έως 100m ²	1	2.25	3.26	6.15	10.75		
100m ² έως 500m ²	1	2.81	3.75	8.95	13.05		
500m ² έως 1000m ²	1	3.52	4.50	11.10	16.60		
F_p	P έως (bar)		10	20	27	55	69
			0.0	0.10	0.25	0.52	0.55

Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Μέθοδος Guthrie)

Να εκτιμηθεί το κόστος ενός εγκατεστημένου οριζόντιου δοχείου διαμέτρου 2m και μήκους (ύψους) 12m το οποίο πρόκειται να κατασκευαστεί από ανθρακούχο χάλυβα (CS, Carbon steel). Η πίεση σχεδιασμού είναι 6.7bar. Η αναγωγή χρημάτων να γίνει στο 2004.

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

Πίνακας 3.6. Υπολογισμός κόστους οριζόντιων δοχείων πίεσης (Guthrie, 1969).

Βασικό f.o.b. κόστος		Περιορισμοί				
$C_p^0 (\$@1968) = 645.4 H^{0.78} D^{0.98}$		1.22m ≤ H ≤ 30.5m 0.305m ≤ D ≤ 3.05m				
\$@1968, M&S=280		κατασκευή από CS, πίεση ≤ 3.5 bar				
f.o.b. κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού						
$C_{BM} = [(F_{BM} - 1) + F_m F_p] C_p^0$						
Συντελεστές διόρθωσης						
F_{BM}	A	B	C	D	E	
	3.18	3.06	3.01	2.99	2.96	
F_m	βλ. Πίνακα 3.5.					
F_p	βλ. Πίνακα 3.5.					

Βήμα 1^ο:

Αναζήτηση συνάρτησης κόστους αγοράς C_p^0 (f.o.b.) για οριζόντιο δοχείο πίεσης.

Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Μέθοδος Guthrie)

Να εκτιμηθεί το κόστος ενός εγκατεστημένου οριζόντιου δοχείου διαμέτρου 2m και μήκους (ύψους) 12m το οποίο πρόκειται να κατασκευαστεί από ανθρακούχο χάλυβα (CS, Carbon steel). Η πίεση σχεδιασμού είναι 6.7bar. Η αναγωγή χρημάτων να γίνει στο 2004.

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

Πίνακας 3.6. Υπολογισμός κόστους οριζόντιων δοχείων πίεσης (Guthrie, 1969).

Βασικό f.o.b. κόστος		Περιορισμοί				
$C_p^0 (\$@1968) = 645.4 H^{0.78} D^{0.98}$		1.22m ≤ H ≤ 30.5m 0.305m ≤ D ≤ 3.05m				
\$@1968, M&S=280		κατασκευή από CS, πίεση ≤ 3.5 bar				
f.o.b. κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού						
$C_{BM} = [(F_{BM} - 1) + F_m F_p] C_p^0$						
Συντελεστές διόρθωσης						
F_{BM}	A	B	C	D	E	
	3.18	3.06	3.01	2.99	2.96	
F_m	βλ. Πίνακα 3.5.					
F_p	βλ. Πίνακα 3.5.					

D=2m και H=12m

Άρα είμαστε εντός ορίων και μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτήν την σχέση για το C_p^0 .

Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Μέθοδος Guthrie)

Να εκτιμηθεί το κόστος ενός εγκατεστημένου οριζόντιου δοχείου διαμέτρου 2m και μήκους (ύψους) 12m το οποίο πρόκειται να κατασκευαστεί από ανθρακούχο χάλυβα (CS, Carbon steel). Η πίεση σχεδιασμού είναι 6.7bar. Η αναγωγή χρημάτων να γίνει στο 2004.

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

Πίνακας 3.6. Υπολογισμός κόστους οριζόντιων δοχείων πίεσης (Guthrie, 1969).

Βασικό f.o.b. κόστος		Περιορισμοί				
$C_p^0 (\$@1968) = 645.4 H^{0.78} D^{0.98}$		1.22m ≤ H ≤ 30.5m 0.305m ≤ D ≤ 3.05m				
\$@1968, M&S=280		κατασκευή από CS, πίεση ≤ 3.5 bar				
f.o.b. κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού						
$C_{BM} = [(F_{BM} - 1) + F_m F_p] C_p^0$						
Συντελεστές διόρθωσης						
F_{BM}	A	B	C	D	E	
	3.18	3.06	3.01	2.99	2.96	
F_m	βλ. Πίνακα 3.5.					
F_p	βλ. Πίνακα 3.5.					

D=2m και H=12m

$$C_p^0 = 645.4 * 12^{0.78} * 2^{0.98} \rightarrow$$

$$C_p^0 = 8843\$$$

Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Μέθοδος Guthrie)

Να εκτιμηθεί το κόστος ενός εγκατεστημένου οριζόντιου δοχείου διαμέτρου 2m και μήκους (ύψους) 12m το οποίο πρόκειται να κατασκευαστεί από ανθρακούχο χάλυβα (CS, Carbon steel). Η πίεση σχεδιασμού είναι 6.7bar. Η αναγωγή χρημάτων να γίνει στο 2004.

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

Πίνακας 3.6. Υπολογισμός κόστους οριζόντιων δοχείων πίεσης (Guthrie, 1969).

Βασικό f.o.b. κόστος	
$C_p^0 (\$@1968) = 645.4 H^{0.78} D^{0.98}$	Περιορισμοί 1.22m ≤ H ≤ 30.5m 0.305m ≤ D ≤ 3.05m κατασκευή από CS, πίεση ≤ 3.5 bar
\$@1968, M&S=280	
f.o.b. κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού	
$C_{BM} = [(F_{BM} - 1) + F_m F_p] C_p^0$	
Συντελεστές διόρθωσης	
F_{BM}	A B C D E
	3.18 3.06 3.01 2.99 2.96
F_m	βλ. Πίνακα 3.5.
F_p	βλ. Πίνακα 3.5.

$$C_{BM} = [(F_{BM} - 1) + F_m \cdot F_p] \cdot 8843$$

Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Μέθοδος Guthrie)

Να εκτιμηθεί το κόστος ενός εγκατεστημένου οριζόντιου δοχείου διαμέτρου 2m και μήκους (ύψους) 12m το οποίο πρόκειται να κατασκευαστεί από ανθρακούχο χάλυβα (CS, Carbon steel). Η πίεση σχεδιασμού είναι 6.7bar. Η αναγωγή χρημάτων να γίνει στο 2004.

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

Πίνακας 3.6. Υπολογισμός κόστους οριζόντιων δοχείων πίεσης (Guthrie, 1969).

Βασικό f.o.b. κόστος	
$C_p^0 (\$@1968) = 645.4 H^{0.78} D^{0.98}$ @\$@1968, M&S=280	Περιορισμοί $1.22m \leq H \leq 30.5m$ $0.305m \leq D \leq 3.05m$ κατασκευή από CS, πίεση ≤ 3.5 bar
f.o.b. κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού	
$C_{BM} = [(F_{BM} - 1) + F_m F_p] C_p^0$	
Συντελεστές διόρθωσης	
F_{BM}	A B C D E
	3.18 3.06 3.01 2.99 2.96
F_m	βλ. Πίνακα 3.5.
F_p	βλ. Πίνακα 3.5.

Βήμα 2^ο:

Αναζήτηση συνάρτησης διόρθωσης για τύπο (F_d), υλικό (F_m) και πίεση (F_p).

Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Μέθοδος Guthrie)

Να εκτιμηθεί το κόστος ενός εγκατεστημένου οριζόντιου δοχείου διαμέτρου 2m και μήκους (ύψους) 12m το οποίο πρόκειται να κατασκευαστεί από ανθρακούχο χάλυβα (CS, Carbon steel). Η πίεση σχεδιασμού είναι 6.7bar. Η αναγωγή χρημάτων να γίνει στο 2004.

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

Συντελεστές διορθώσεως						
F_{inv}	A	B	C	D	E	
	4.23	4.12	4.07	4.06	4.02	
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	
	6.7	1.05	34.5	1.45	62.1	
	13.8	1.15	41.4	1.60	69.0	
	20.7	1.20	48.3	1.80		

$$C_{BM} = [(F_{BM} - 1) + F_m \cdot F_p] \cdot 8843$$

$$\underline{F_m = 1 \text{ και } F_p = 1.05}$$

Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Μέθοδος Guthrie)

Να εκτιμηθεί το κόστος ενός εγκατεστημένου οριζόντιου δοχείου διαμέτρου 2m και μήκους (ύψους) 12m το οποίο πρόκειται να κατασκευαστεί από ανθρακούχο χάλυβα (CS, Carbon steel). Η πίεση σχεδιασμού είναι 6.7bar. Η αναγωγή χρημάτων να γίνει στο 2004.

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

Συντελεστές διορθώσης						
F_{BW}	A	B	C	D	E	
	4.23	4.12	4.07	4.06	4.02	
F_s			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_r	P έως (bar)	F_m	P έως (bar)	F_r
	3.5	1.00	27.6	1.35	55.2	
	6.7	1.05	34.5	1.45	62.1	
	13.8	1.15	41.4	1.60	69.0	
	20.7	1.20	48.3	1.80		

$$C_{BM} = [(F_{BM} - 1) + 1 \cdot 1.05] \cdot 8843$$

Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Μέθοδος Guthrie)

Να εκτιμηθεί το κόστος ενός εγκατεστημένου οριζόντιου δοχείου διαμέτρου 2m και μήκους (ύψους) 12m το οποίο πρόκειται να κατασκευαστεί από ανθρακούχο χάλυβα (CS, Carbon steel). Η πίεση σχεδιασμού είναι 6.7bar. Η αναγωγή χρημάτων να γίνει στο 2004.

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

Πίνακας 3.6. Υπολογισμός κόστους οριζόντιων δοχείων πίεσης (Guthrie, 1969).

Βασικό f.o.b. κόστος	
$C_p^0 (\$@1968) = 645.4 H^{0.78} D^{0.98}$ \$@1968, M&S=280	Περιορισμοί $1.22m \leq H \leq 30.5m$ $0.305m \leq D \leq 3.05m$ κατασκευή από CS, πίεση ≤ 3.5 bar
f.o.b. κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού	
$C_{BM} = [(F_{BM} - 1) + F_m F_p] C_p^0$	
Συντελεστές διόρθωσης	
F_{BM}	A B C D E
	3.18 3.06 3.01 2.99 2.96
F_m	βλ. Πίνακα 3.5.
F_p	βλ. Πίνακα 3.5.

Βήμα 3^ο:

Αναζήτηση συντελεστή διόρθωσης για την εγκατάσταση του εξοπλισμού (F_{BM})

Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Μέθοδος Guthrie)

Να εκτιμηθεί το κόστος ενός εγκατεστημένου οριζόντιου δοχείου διαμέτρου 2m και μήκους (ύψους) 12m το οποίο πρόκειται να κατασκευαστεί από ανθρακούχο χάλυβα (CS, Carbon steel). Η πίεση σχεδιασμού είναι 6.7bar. Η αναγωγή χρημάτων να γίνει στο 2004.

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

Πίνακας 3.6. Υπολογισμός κόστους οριζόντιων δοχείων πίεσης (Guthrie, 1969).

Βασικό f.o.b. κόστος		Περιορισμοί				
$C_p^0 (\$@1968) = 645.4 H^{0.78} D^{0.98}$		1.22m ≤ H ≤ 30.5m 0.305m ≤ D ≤ 3.05m				
$\$@1968, M\&S=280$		κατασκευή από CS, πίεση ≤ 3.5 bar				
f.o.b. κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού						
$C_{BM} = [(F_{BM} - 1) + F_m F_p] C_p^0$						
Συντελεστές διόρθωσης						
F_{BM}	A	B	C	D	E	
	3.18	3.06	3.01	2.99	2.96	
F_m	βλ. Πίνακα 3.5.					
F_p	βλ. Πίνακα 3.5.					

$C_{BM} = [(F_{BM} - 1) + 1 \cdot 1.05] \cdot 8843$

$C_{BM} = [(3.18 - 1) + 1 \cdot 1.05] \cdot 8843 = 28562.9\$$

Κατηγορία	Συνολική αξία (10 ⁶ \$@1968)
A	έως 2
B	από 2 έως 4
C	από 4 έως 6
D	από 6 έως 8
E	από 8 έως 10



Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού

Αναγωγή χρημάτων στην παρούσα χρονική στιγμή

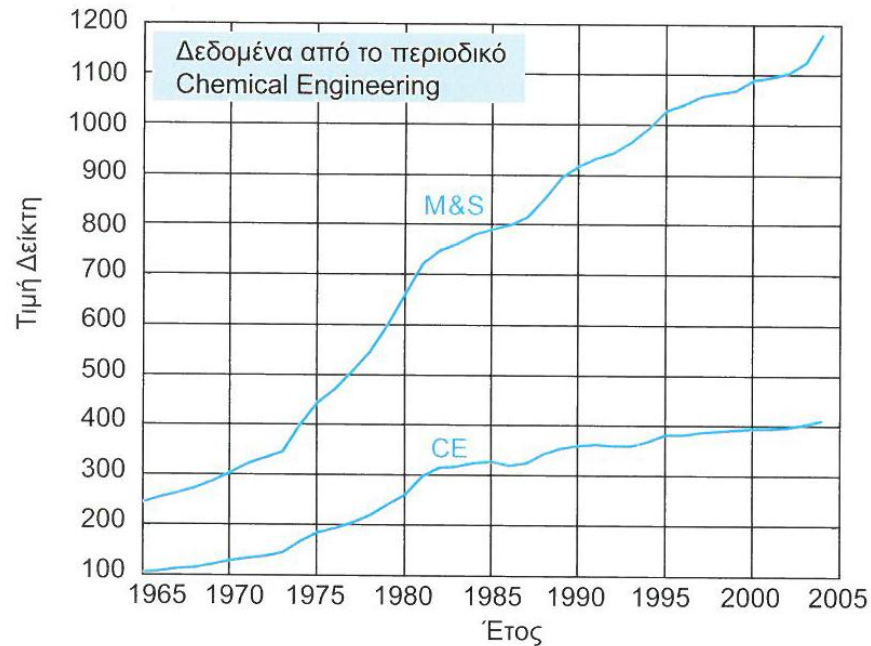
- Οι δείκτες *Marshal & Swift (M&S)* εκφράζουν το σχετικό μέσο κόστος εξοπλισμού ως προς κάποια δεδομένη χρονική στιγμή αναφοράς. Η τιμή του δείκτη *M&S* ορίσθηκε 100 για το έτος 1926 και έχει αυξητική τάση.
- Ένας άλλος δείκτης που χρησιμοποιείται εξίσου είναι ο δείκτης *Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI)*.

$$C_{BM}(\text{present year}) = C_{BM}(\text{reference year}) \frac{M \& S_{(\text{present year})}}{M \& S_{(\text{reference year})}}$$



Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού

Αναγωγή χρημάτων στην παρούσα χρονική στιγμή



Σχήμα 3.1. Εξέλιξη των Marshall και Swift Index και Chemical Engineering Plant Cost Index τα τελευταία 50 χρόνια.



Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού

Αναγωγή χρημάτων στην παρούσα χρονική στιγμή

Πίνακας 3.4. Τιμές των δεικτών Marshall & Swift και Chemical Engineering Plant Cost Index για τα τελευταία 50 έτη.³

Έτος	M&S	CE	Έτος	M&S	CE
1926	100		1985	790	325
1957-59		100	1986	798	318
			1987	814	324
1965	245	104	1988	852	343
1966	253	107	1989	895	355
1967	263	110	1990	915	358
1968	273	114	1991	931	361
1969	285	119	1992	943	358
1970	303	126	1993	964	359
1971	321	132	1994	993	368
1972	332	137	1995	1028	381
1973	344	144	1996	1039	382
1974	398	165	1997	1057	387
1975	444	182	1998	1062	390
1976	472	192	1999	1068	391
1977	505	204	2000	1089	394
1978	545	219	2001	1094	394
1979	599	239	2002	1104	396
1980	660	261	2003	1124	402
1981	721	297	2004	1179	444
1982	746	314	2005	1245	468
1983	761	317	2006	1302	500
1984	780	323	2007	1363 ¹	528



Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού

Αναγωγή χρημάτων στην παρούσα χρονική στιγμή

$$C_{BM} = [(3.18 - 1) + 1 \cdot 1.05] \cdot 8843 = 28562.9\$$$

Έτος 1968



$$C_{BM}(\text{present year}) = C_{BM}(\text{reference year}) \frac{M \& S_{(\text{present year})}}{M \& S_{(\text{reference year})}} \implies$$
$$C_{BM}(2004) = C_{BM}(1968) \frac{M \& S_{(2004)}}{M \& S_{(1968)}}$$

Τύπος αναγωγής για το 2004

Βήμα 4^ο:

Αναγωγή χρημάτων στην παρούσα χρονική στιγμή.



Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού

Αναγωγή χρημάτων στην παρούσα χρονική στιγμή

$$C_{BM}(\text{present year}) = C_{BM}(\text{reference year}) \frac{M \& S_{(\text{present year})}}{M \& S_{(\text{reference year})}} \implies$$

$$C_{BM}(2004) = C_{BM}(1968) \frac{M \& S_{(2004)}}{M \& S_{(1968)}}$$

Τύπος αναγωγής για το 2004

Πίνακας 3.4. Τιμές των δεικτών Marshall & Swift και Chemical Engineering Plant Cost Index για τα τελευταία 50 έτη.³

Έτος	M&S	CE	Έτος	M&S	CE
1926	100		1985	790	325
			1986	798	318
1957-59		100	1987	814	324
			1988	852	343
1965	245	104	1989	895	355
1966	253	107	1990	915	358
1967	263	110	1991	931	361
1968	273	114	1992	943	358
1969	285	119	1993	964	359
1970	303	126	1994	993	368
1971	321	132	1995	1028	381
1972	332	137	1996	1039	382
1973	344	144	1997	1057	387
1974	398	165	1998	1062	390
1975	444	182	1999	1068	391
1976	472	192	2000	1089	394
1977	505	204	2001	1094	394
1978	545	219	2002	1104	396
1979	599	239	2003	1124	402
1980	660	261	2004	1179	444
1981	721	297	2005	1245	468
1982	746	314	2006	1302	500
1983	761	317	2007	1363	528
1984	780	323			



$$C_{BM}(\text{present year}) = C_{BM}(\text{reference year}) \frac{M \& S_{(\text{present year})}}{M \& S_{(\text{reference year})}} \implies$$

$$C_{BM}(2004) = C_{BM}(1968) \frac{M \& S_{(2004)}}{M \& S_{(1968)}} \implies$$

$$C_{BM}(2004) = 28562.9 \frac{1179}{273} = 123354\$$$



Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Μέθοδος Guthrie)

Μικρή ανακεφαλαίωση και σύνοψη βημάτων

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

Βήμα 1^ο:

Αναζήτηση συνάρτησης κόστους αγοράς C_p^0 (f.o.b.) από πίνακες του βιβλίου σας στο Κεφ. 3

Βήμα 2^ο:

Αναζήτηση συνάρτησης διόρθωσης για τύπο (F_d), υλικό (F_m) και πίεση (F_p) από πίνακες του βιβλίου σας στο Κεφ.3.

Βήμα 3^ο:

Αναζήτηση συντελεστή διόρθωσης για την εγκατάσταση του εξοπλισμού (F_{BM}) από πίνακες του βιβλίου σας στο Κεφ.3.

Βήμα 4^ο:

Αναγωγή χρημάτων στην παρούσα χρονική στιγμή.

Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (πίνακες 3.5-3.10 στο κεφ.3)



- Κατακόρυφα/οριζόντια δοχεία πίεσης (επομένως μιλάμε για δοχεία διαχωρισμού και αντιδραστήρες).
- Δίσκους για αποστακτικές στήλες (αφορά διαχωρισμούς υγρών)
- Στήλες εκρόφησης (αφορά διαχωρισμούς αερίων).
- Εναλλάκτες θερμότητας.
- Κλιβάνους/καυστήρες.



Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Εναλλακτικές Μέθοδοι)

$$C_p^o = \left[\frac{C_{p,a}^o}{(X_a)^n} \right] \cdot X^n$$

Κόστος Αναφοράς (δίνεται από πίνακες) για το C_p^o

Πίνακας 3.11. Εξισώσεις βασικού f.o.b. κόστους αγοράς για μερικούς τύπους εξοπλισμού (M&S=1000 - στοιχεία από το Perry's Handbook, σελ. 9-69, Πίνακας 9-50).

Μέγεθος αναφορά (δίνεται από πίνακες)

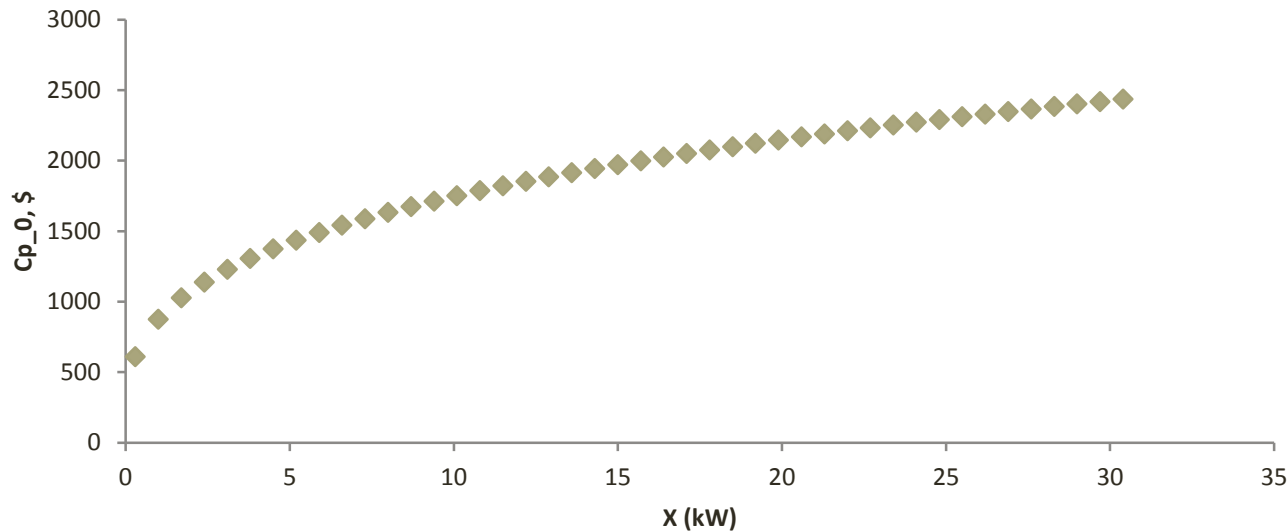
Τύπος Εξοπλισμού	X_a	Μονάδες	$C_{p,a}^o$ (\$)	Εύρος Εφαρμογής	n
Φυγόκεντρη Αντλία (CS) (δεν περιλαμβάνει κινητήρα)	7.5	kW	1600	0.37-30	0.30
	74.6	kW	4400	30-300	0.67
Συμπιεστής παλινδρομικός (reciprocating – περιλαμβάνει κινητήρα)	224	kW	133000	0.75-1490	0.84
Οριζόντιο δοχείο πίεσης (χάλυβας– 11.4 bar)	3.8	m ³	6300	0.4-302	0.62
Δοχείο με μανδύα (περιλαμβάνει αναμίκτη)	0.38	m ³	9300	0.04-15.1	0.53
Ατμοσφαιρικό κυλινδρικό δοχείο (χάλυβας)	3.8	m ³	4700	0.4-151	0.57
Εναλλάκτες θερμότητας (κελύφους-σωλήνων - χάλυβας) Κόστος Παραδοτέου εξοπλ.	93	m ²	21700	1.9-1860	0.59

Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Εναλλακτικές Μέθοδοι)



Παράδειγμα για την περίπτωση των φυγοκεντρικών αντλιών...

$$C_p^o = \left[\frac{C_{p,a}^o}{(X_a)^n} \right] \cdot X^n \implies C_p^o = \left[\frac{1600}{(7.5)^{0.3}} \right] \cdot X^{0.3}$$

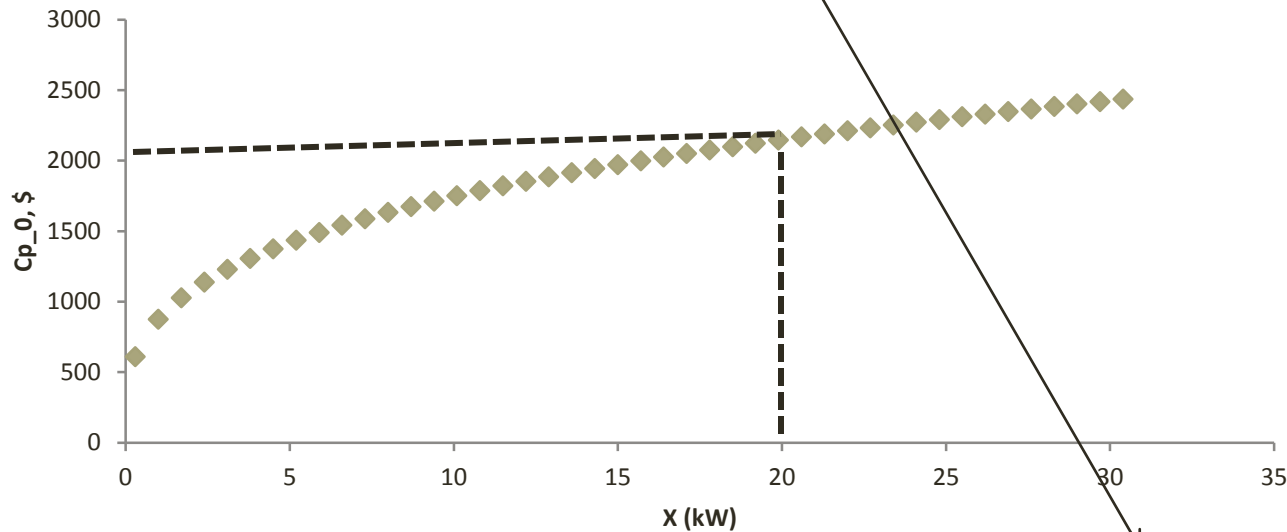


Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Εναλλακτικές Μέθοδοι)



Παράδειγμα για την περίπτωση των φυγοκεντρικών αντλιών...

$$C_p^o = \left[\frac{C_{p,a}^o}{(X_a)^n} \right] \cdot X^n \implies C_p^o = \left[\frac{1600}{(7.5)^{0.3}} \right] \cdot X^{0.3}$$



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



Ανασκόπηση 5-6^{ου} Μαθήματος

- Εκτίμηση κόστους εξοπλισμού με την χρήση συντελεστών διόρθωσης.
 - Μέθοδος Guthrie
 - Εναλλακτικές Μέθοδοι
- Παραδείγματα εκτίμησης κόστους εξοπλισμού
 - Οριζόντιο δοχείο πίεσης
 - Φυγοκεντρική αντλία
 - Εναλλάκτης κελύφους – σωλήνων
 - Δεξαμενής αποθήκευσης



Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση περιβαλλοντικών συστημάτων Ι

Μάθημα 5^ο - 6^ο

(Εκτίμηση Κόστους Πάγιου Κεφαλαίου)-

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Δρ. Ιψάκης Δημήτρης

Χημικός Μηχανικός, Έκτακτο Διδακτικό Προσωπικό ΠΔΜ

Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Εναλλακτικές Μέθοδοι)



Για την τιμή του ηλεκτρικού κινητήρα αντλιών....

Πίνακας 3.12. Τιμές των σταθερών της εξίσωσης (3.28).

Ταχύτητα περιστροφής (rpm)	A	B	C	Εύρος Εφαρμογής (hp)*
3600	5.1058	0.03316	0.15374	1-7.5
	3.8544	0.83311	0.02399	7.5-250
	5.3182	1.08470	-0.05695	250-400
1800	4.9687	-0.00930	0.22616	7.5-250
1200	5.1532	0.28931	0.14357	1-7.5
	5.3858	0.31004	0.07406	7.5-350

* 1 hp=745.7 W



Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Guthrie)

Για την τιμή εναλλακτών κελύφους - σωλήνων...

Πίνακας 3.8. Υπολογισμός κόστους εναλλακτικών θερμότητας κελύφους-σωλήνων (Guthrie, 1969).

Βασικό ε.α.β. κόστος		Περιορισμοί $10\text{m}^2 \leq A \leq 1000\text{m}^2$ floating head, κατασκευή από CS πίεση λειτουργίας ≤ 10 bar			
C_p (\$@1968) = 477 $A^{0.68}$ Α: επιφάνεια εναλλαγής (m^2) \$@1968, M&S-280					
ε.α.β. κόστος εγκατεστημένου εξοπλισμού					
$C_{su} = [(F_{su} - 1) + F_m (F_v + F_r)] C_p$					
Συντελεστές διόρθωσης					
F_{su}	A	B	C	D	E
	3.29	3.18	3.14	3.12	3.10



Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Guthrie)

Για την τιμή εναλλακτών κελύφους - σωλήνων...

Πίνακας 3.8 (συνέχεια)

F_d	Kettle reboiler		U-tube	Fixed tube	Floating head		
	1.35		0.85	0.80	1.00		
F_m	CS/CS	CS/SS	SS/SS	CS/Ti	Ti/Ti		
10m ² έως 50m ²	1	1.78	3.10	5.20	10.60		
50m ² έως 100m ²	1	2.25	3.26	6.15	10.75		
100m ² έως 500m ²	1	2.81	3.75	8.95	13.05		
500m ² έως 1000m ²	1	3.52	4.50	11.10	16.60		
F_p	P έως (bar)		10	20	27	55	69
			0.0	0.10	0.25	0.52	0.55

Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Εναλλακτικές Μέθοδοι)



Πίνακας 3.14. Δεδομένα κόστους για διάφορα στοιχεία εξοπλισμού.

Εξοπλισμός	Χαρακτηριστικό μέγεθος	Εύρος εφαρμογής	Εξίσωση f.o.b. κόστους αγοράς (\$@2007)
Περιστρεφόμενοι ξηραντήρες με άμεση θέρμανση	Παράπλευρη επιφάνεια A(m ²)	20-280 m ²	$\ln C_p^0 = 10.932 + 0.3048 [\ln A] + 0.043 [\ln A]^2$ βλ. Σχήμα 3.8
Ξηραντήρες τύπου Spray	Ρυθμός εξάτμισης V(kg/h)	10-1,000 kg/h	$\ln C_p^0 = 9.008 + 0.8164 [\ln V] - 0.0229 [\ln V]^2$ βλ. Σχήμα 3.9
Κυκλώνες	Ογκ. Παροχή αερίου Q(m ³ /min)	5-3,000 m ³ /min	$\ln C_p^0 = 7.5425 - 0.1842 [\ln Q] + 0.0849 [\ln Q]^2$ βλ. Σχήμα 3.10
Ηλεκτροστατικά φίλτρα	Ογκ. Παροχή αερίου Q(m ³ /min)	250-60,000 m ³ /min	$\ln C_p^0 = 10.5386 - 0.1412 [\ln Q] + 0.05454 [\ln Q]^2$ βλ. Σχήμα 3.11
Εξατμιστήρες εξαναγκ. κυκλοφορίας	Επιφ. Εναλ. Θερμότητας A(m ²)	10-1000 m ²	$\ln C_p^0 = 12.0436 + 0.677 [\ln A]$ βλ. Σχήμα 3.12
Εξατμιστήρες οριζ. σωλήνων	Επιφ. Εναλ. Θερμότητας A(m ²)	8-800 m ²	$\ln C_p^0 = 9.6231 + 0.53 [\ln A]$ βλ. Σχήμα 3.13
Εξατμιστήρες κατακ. σωλήνων	Επιφ. Εναλ. Θερμότητας A(m ²)	8-800 m ²	$\ln C_p^0 = 10.0115 + 0.55 [\ln A]$ βλ. Σχήμα 3.14
Κλίβανος αναμόρφωσης	Απορρόφ. Θερμότητα Q(MW)	3-150 MW	$\ln C_p^0 = 12.0874 + 0.81 [\ln Q]$ βλ. Σχήμα 3.15
Κλίβανος πυρόλυσης	Απορρόφ. Θερμότητα Q(MW)	3-150 MW	$\ln C_p^0 = 11.808 + 0.81 [\ln Q]$ βλ. Σχήμα 3.16

Εκτίμηση Κόστους Εξοπλισμού (Εναλλακτικές Μέθοδοι)



Πίνακας 3.14 (συνέχεια)

Κλίβανος για τηγμένο άλας ή Dowtherm A	Απορρόφ. Θερμότητα Q(MW)	0.15-20 MW	$\ln C_p^0 = 12.353 + 0.65 [\ln Q]$ βλ. Σχήμα 3.17
Ατμοτουρμπίνες χωρίς συμπύκνωση	Ισχύς P(hp)	250-10000 hp	$\ln C_p^0 = 9.202 + 0.4 [\ln P]$ βλ. Σχήμα 3.18
Ατμοτουρμπίνες με συμπύκνωση	Ισχύς P(hp)	250-10000 hp	$\ln C_p^0 = 10.198 + 0.4 [\ln P]$ βλ. Σχήμα 3.18
Κρυσταλλωτήρες εξαγωγ. κυκλοφορίας	Μαζική παροχή κρυστάλλων W(kg/h)	400-40,000 Kg/h	$\ln C_p^0 = 8.426 + 0.56 [\ln W]$ βλ. Σχήμα 3.19
Αναδευτήρας τύπου προπέλας (περιλαμβ. κιν.)	Ισχύς κινητήρα P(hp)	1-8 hp	$\ln C_p^0 = 8.156 + 0.17 [\ln P]$ βλ. Σχήμα 3.20
Αναδευτήρας με πτερόγια (περιλαμβ. κιν.)	Ισχύς κινητήρα P(hp)	2-60 hp	$\ln C_p^0 = 8.248 + 0.57 [\ln P]$ βλ. Σχήμα 3.20
Τζεφάρι (jet-ejector) για δη-μιουργία κενού	Μαζική Παροχή/ Πίεση S (kg/h)/kPa	0.3-350 (kg/h)/kPa	$\ln C_p^0 = 6.978 + 0.41 [\ln S]$ βλ. Σχήμα 3.21
Δεξαμενές αποθήκευσης ανοικτές	Όγκος V(m ³)	5-100 m ³	$\ln C_p^0 = 6.947 + 0.72 [\ln V]$
Δεξαμενές αποθήκευσης με κωνική οροφή	Όγκος V(m ³)	50-3,500 m ³	$\ln C_p^0 = 8.4839 + 0.51 [\ln V]$ βλ. Σχήμα 3.22
Δεξαμενές αποθήκευσης με πλωτή οροφή	Όγκος V(m ³)	150-3,500 m ³	$\ln C_p^0 = 9.0637 + 0.51 [\ln V]$ βλ. Σχήμα 3.22
Σφαιρικές δεξαμενές αποθήκευσης	Όγκος V(m ³)	50-3,500 m ³	$\ln C_p^0 = 8.158 + 0.72 [\ln V]$ βλ. Σχήμα 3.23
Φυγοκεντρικοί διαχωριστές υγρού-υγρού	Ογκ. Παροχή τροφοδοσίας Q(m ³ /h)	1-50 m ³ /h	$\ln C_p^0 [€ @ 2007] = 10 + 0.57 [\ln Q]$ βλ. Σχήμα 3.24 (κόστος σε €)
Δοχεία κλειστά με ανάμιξη & μανδύα	Όγκος V(m ³)	1-10 m ³	$\ln C_p^0 [€ @ 2007] = 10.211 + 0.51 [\ln V]$ βλ. Σχήμα 3.25 (κόστος σε €)
Δοχεία κλειστά με ανάμιξη & μανδύα	Όγκος V(m ³)	3-30 m ³	$\ln C_p^0 [€ @ 2007] = 9.54 + 0.4 [\ln V]$ βλ. Σχήμα 3.26 (κόστος σε €)