



ΙΔΕΠ

Ινστιτούτο
Χημικών
Διεργασιών και
Ενεργειακών
Πόρων

Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

Σχεδιασμός Χημικών Εγκαταστάσεων I

Αξιολόγηση σχεδιαστικών επιλογών

Καλογιάννης Κων/νος, kkalogia@cperi.certh.gr

Θερινό εξάμηνο 2019-2020

Αξιολόγηση διεργασίας

- Οικονομική απόδοση
 - ✓ Κόστος 'Α υλών
 - ✓ Αξία προϊόντων, παραπροϊόντων
 - ✓ Πάγια, λειτουργικά κόστη μονάδας
- Διαθεσιμότητα
 - ✓ Χρόνος λειτουργίας εξοπλισμού κατ'έτος
- Αειφορία
 - ✓ Είδος, ποσότητα αποβλήτων
 - ✓ Ελαχιστοποίηση αποβλήτων
 - ✓ Επιπτώσεις στο περιβάλλον και άνθρωπο
- Ευελιξία
 - ✓ Εναλλακτικές Α' ύλες και προϊόντα
- Ενεργειακή απόδοση
 - ✓ Ενεργειακές απαιτήσεις
 - ✓ Τύποι ενέργειας (ψύξη, θέρμανση, απαιτούμενες θερμοκρασίες, ηλεκτρισμός,...)
- Υγιεινή και ασφάλεια
 - ✓ Κίνδυνος-πρόληψη ατυχημάτων
 - ✓ Επίδραση επικίνδυνων παραγόντων σε ανθρώπους-περιβάλλον
- Λειτουργικότητα
 - ✓ Ευκολία ελέγχου διεργασίας
 - ✓ Προκλήσεις στην εκκίνηση-τερματισμό της μονάδας

Αξιολόγηση διεργασίας

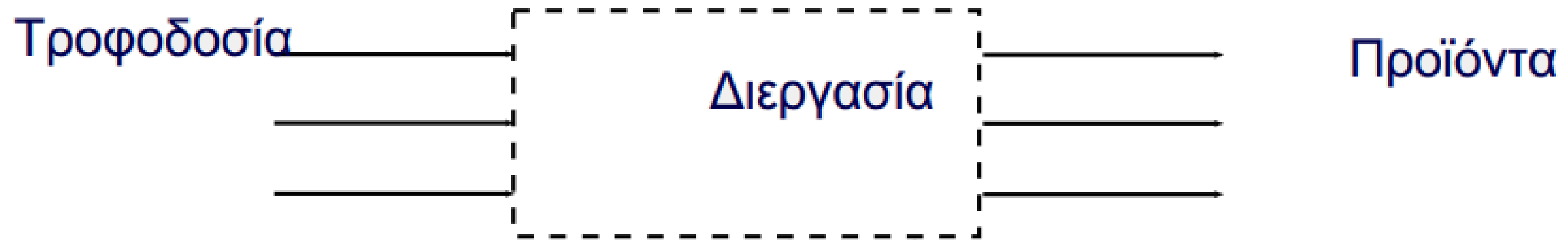
Η οικονομική ανάλυση της διεργασία αναπτύσσεται με βάση τρία βασικά κριτήρια:

- Κερδοφορία διεργασίας
 - ✓ Είναι η διεργασία κερδοφόρος ως έχει;
 - ✓ Απαιτούνται σημαντικές αλλαγές για να περάσει σε κερδοφορία;
- Τεχνικά θέματα
 - ✓ Ποιες βασικές διεργασίες διέπουν τη βιομηχανική μονάδα;
 - ✓ Ποιες βασικές επιλογές έγιναν (ρεύματα ανακύκλωσης, ανάκτηση ενέργειας)
 - ✓ Ποια τα βασικά προϊόντα (συν παραπροϊόντα, απόβλητα)
- Βελτιστοποίηση παραμέτρων του συστήματος
 - ✓ Κρίσιμες μεταβλητές μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση, πχ συνολικός βαθμός μετατροπής, εκλεκτικότητα
 - ✓ Υλοποίηση και σύγκριση διαφορετικών σεναρίων βελτιστοποίησης

Αξιολόγηση διεργασίας

Κερδοφορία = έσοδα – έξοδα = έσοδα από πώληση προϊόντων – έξοδα απόσβεσης εξοπλισμού – έξοδα λειτουργίας

Κόστη διεργασίας και έσοδα



- Κόστη Α' ύλες Κόστος διεργασίας Φόροι, προώθησης
- Έσοδα Πάγιο Μεταβλητό Πώληση προϊόντων

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

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

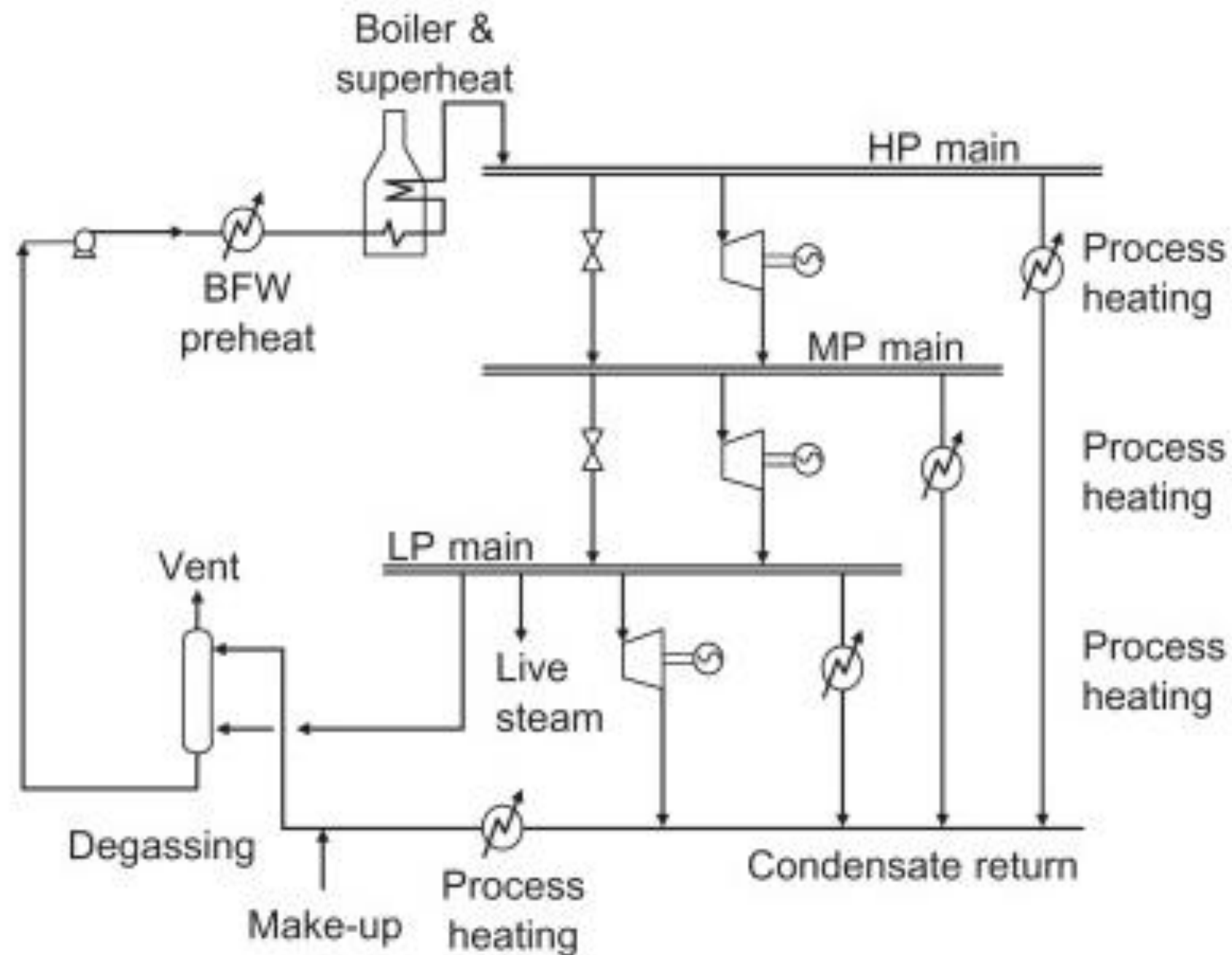
- Η ποσότητα και η τιμή του καυσίμου καθορίζουν το κόστος ατμού.
- Επιπρόσθετος παράγοντας η αξία της παραγόμενης ισχύος από τον ατμοστρόβιλο.

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

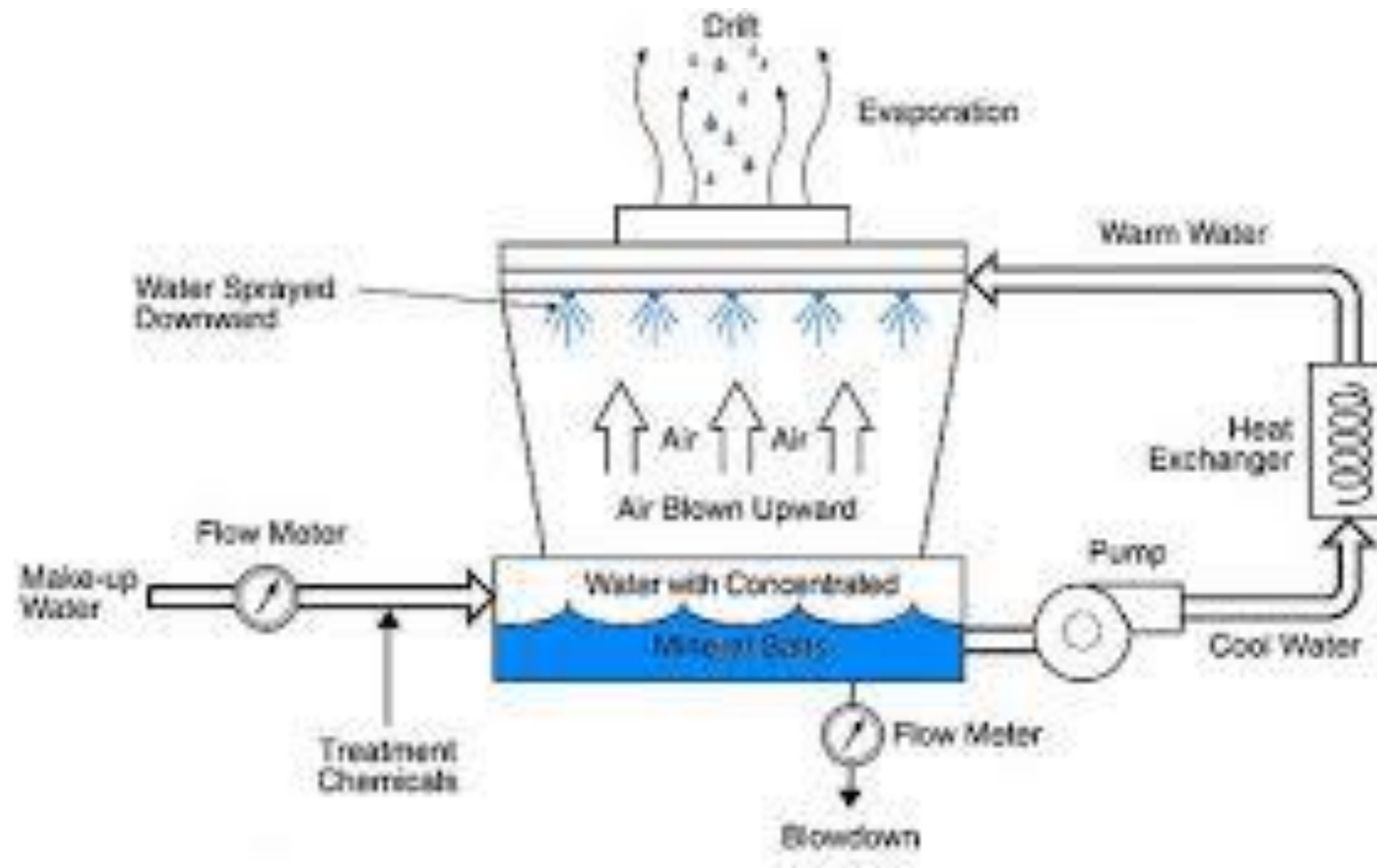


Παράμετροι που καθορίζουν την τιμή ατμού.

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

Κόστη βοηθητικών παροχών

Νερό ψύξης παράγεται με πύργο ψύξης

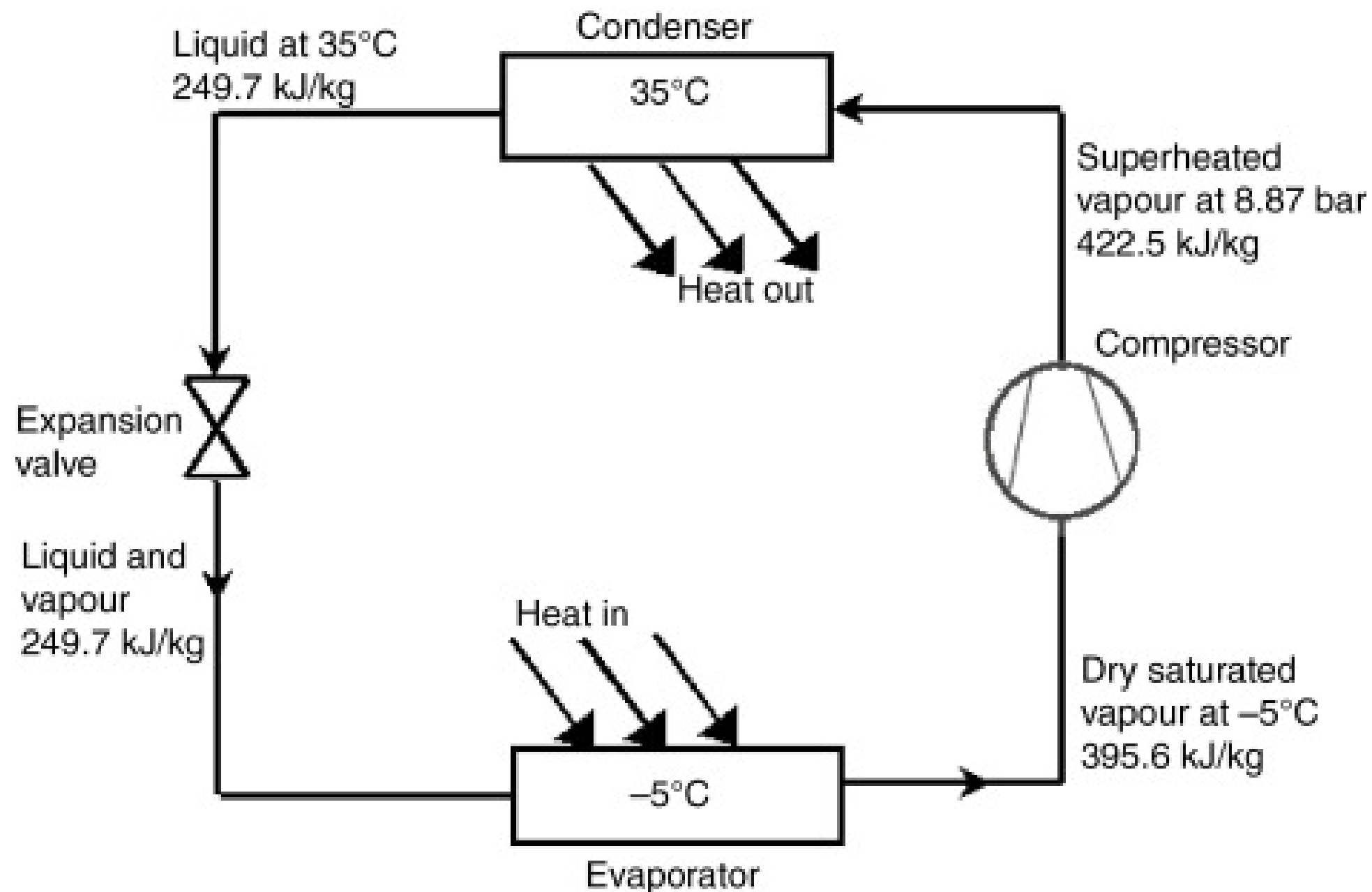


Τυπικά το κόστος ψύξης είναι μικρό:

- ~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

η = 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 $(\text{θερμικό φορτίο})^{0,85}$
- Κόστος συμπιεστή \longrightarrow $(\text{ισχύς})^{0,82}$
- Κόστος αποστακτικής \longrightarrow $(\text{διάμετρος})^{0,85} * (\text{ύψος})^{0,82}$

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:

- Θερμοκρασία Ft
 - 0-100: 1,0
 - 100-300: 1,5
 - 300-500: 2,0
- Πίεση Fp
 - 1 atm: 1,0
 - 0,1 ή 50: 1,5
 - 0,01 ή 100: 2,0
- Υλικό κατασκευής Fm
 - 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^η 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 ³
	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 ³
	Fuel oil (no 2)	14.2	550 \$/m ³
Ηλεκτρική Ενέργεια	220 V	16.8	0.06 \$/kWh
Πεπιεσμένος Αέρας	7 bar		0.49 \$ / 100 std m ³
	4.3 bar		0.35 \$ / 100 std m ³
Επεξεργασία Αποβλήτων	Μη Τοξικά		36 \$/t
	Τοξικά		200–2000 \$/t
Επεξεργασία Νερού	Πρωτογενής		41 \$ / 1000 m ³
	Δευτερογενής		43 \$ / 1000 m ³
	Τριτογενής		56 \$ / 1000 m ³

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

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

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

^c 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.

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

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

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

^g *Engineering News-Record indexes*, December 2001.

Από Peters et al., Σχεδιασμός και οικονομική μελέτη εγκαταστάσεων για μηχανικούς, 5^η 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 κοκ.
- 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^η 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^η 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
Φιλτρόπρεσες	0.6
Φυγοκεντρικοί διαχωριστές & Φίλτρα	0.05–0.1

Πίνακας 4.4 Ενδεικτικοί μέσοι αναθάριστοι μισθοί σε \$, 2009, ΗΠΑ (www.nrel.gov, 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)

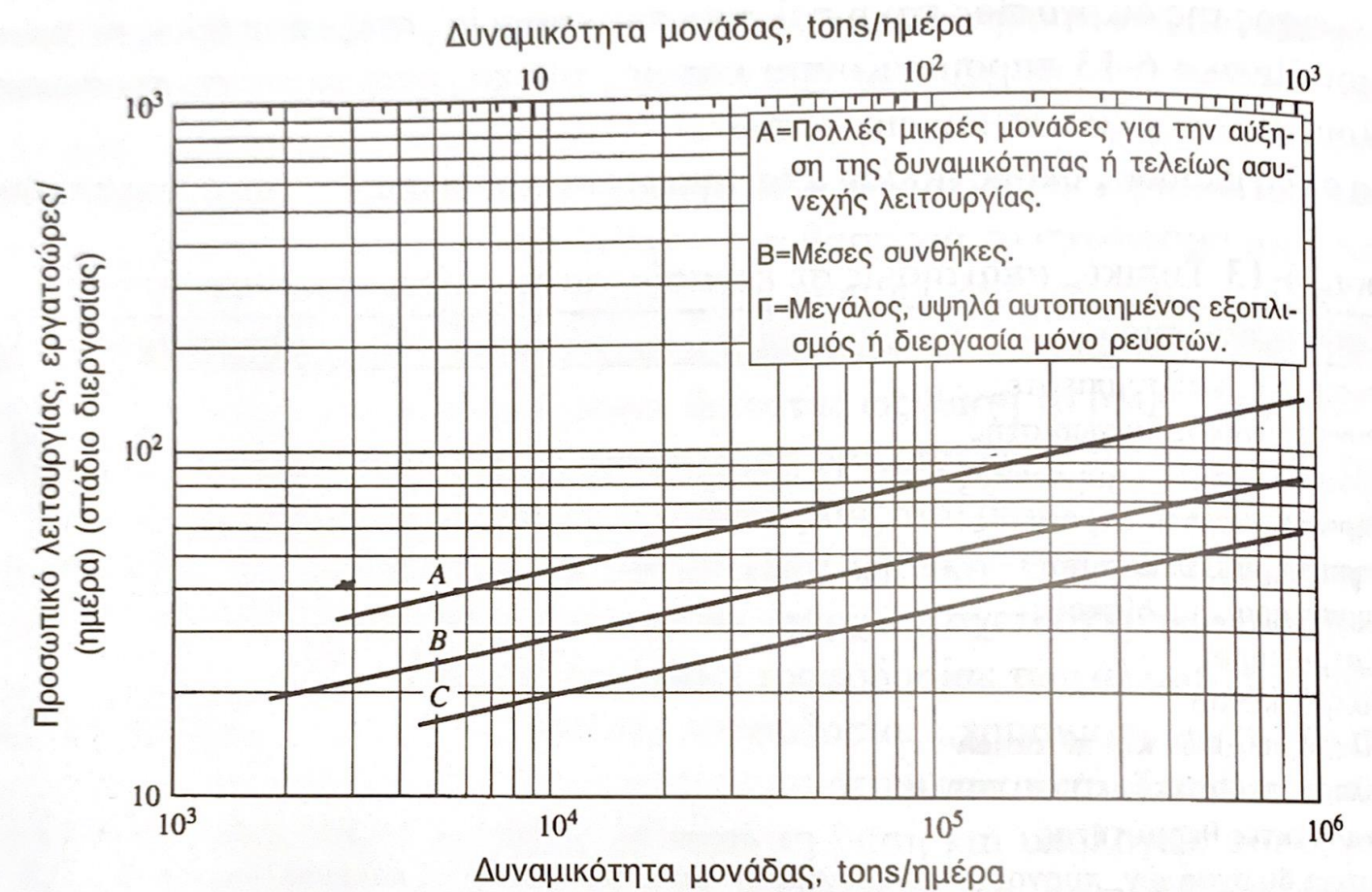
	Μέσοι ακαθάριστοι μισθοί σε \$ @ 2006			
	Αθήνα	Νέα Υόρκη	Λονδίνο	Ρώμη
Βιομηχανικός Εργάτης	21,100	65,400	46,500	21,700
Μηχανικός	26,100	85,200	63,100	31,700
Ανώτερος Διοικητικός Υπάλληλος	49,200	89,200	76,300	31,000
Πωλητής	13,300	29,500	34,600	17,500
Διευθυντής Παραγωγής	28,400	87,100	60,500	—

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 αναγκαίων 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^η 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. Συνήθης 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^η έκδοση)