



# Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση περιβαλλοντικών συστημάτων Ι

## Μάθημα 4<sup>ο</sup> (Διαγράμματα Ροής)

Δρ. Ιψάκης Δημήτρης

Χημικός Μηχανικός, Έκτακτο Διδακτικό Προσωπικό ΠΔΜ



# Εισαγωγή

- Τα διαγράμματα ροής (δ.ροής) χρησιμοποιούνται στην χημική βιομηχανία ως μία συστηματική και προτυποποιημένη μεθοδολογία με στόχο την κατανόηση των συνδέσεων (ρεύματα διεργασίας, επιμέρους διεργασίες, κ.α.) και των πληροφοριών που περιλαμβάνουν (θερμοκρασίες, πιέσεις, ροές, συγκεντρώσεις κτλ).
- Η δόμηση των δ.ροής δεν είναι κάτι αυθαίρετο αλλά ακολουθεί συγκεκριμένους κανόνες με σκοπό την διευκόλυνση της κατανόησης τους και την ελαχιστοποίηση σφαλμάτων που μπορεί να οδηγήσουν σε προβλήματα λειτουργίας ή / και σχεδιασμού σε μετέπειτα στάδιο.
- Άρα, τα δ.ροής αποτελούν έναν οπτικό κώδικα επικοινωνίας μεταξύ της ομάδας των μηχανικών και της ομάδας του τεχνικού προσωπικού μίας χημικής βιομηχανίας.



# Εισαγωγή

- Τα διαγράμματα ροής (δ.ροής) που θα συναντήσουμε κατατάσσονται σε 3 διαφορετικές κατηγορίες:
  - Διάγραμμα Βαθμίδων (Block Diagrams, BD)
  - Μεθοδολογικό Διάγραμμα Ροής (Process Flow Diagrams, PFD)
  - Διάγραμμα Σωληνώσεων και Οργάνων (Piping and Instrumentation Diagrams, P&IDs)
- Όλες οι παραπάνω κατηγορίες δίνουν την ίδια βασική πληροφορία (κατανόηση των συνδέσεων και των πληροφοριών που περιλαμβάνουν), αλλά με διαφορετική λεπτομέρεια και εμβάθυνση.



# Εισαγωγή

- Κατά τον σχεδιασμό συστημάτων, συνήθως και οι 3 κατηγορίες δ. ροής δομούνται ξεκινώντας από το πιο απλό έως το πιο σύνθετο ακολουθώντας την παρακάτω διαβάθμιση :

**Διάγραμμα Βαθμίδων (block diagrams, BD)**

**Μεθοδολογικό Διάγραμμα Ροής (process flow diagrams, PFD)**

**Διάγραμμα Σωληνώσεων και Οργάνων (piping and instrumentation diagrams, P&IDs)**



# Διαγράμματα Βαθμίδων

- Ένα διάγραμμα βαθμίδων αποτελείται από βαθμίδες (οι οποίες συχνά συμβολίζονται με παραλληλόγραμμα) και συνδέονται με γραμμές που υποδηλώνουν μεταφορά μάζας ή/και ενέργειας.
- **Η φορά των γραμμών** υποδηλώνει την κατεύθυνση της μεταφοράς μάζας/ενέργειας.
- **Κάθε βαθμίδα** αντιστοιχεί στην μεταβολή μίας ιδιότητας:
  - Αλλαγή πίεσης
  - Αλλαγή θερμοκρασίας
  - Αλλαγή χημικής σύστασης
  - Αλλαγή φάσης
  - Ανάμιξη ή Διαχωρισμός



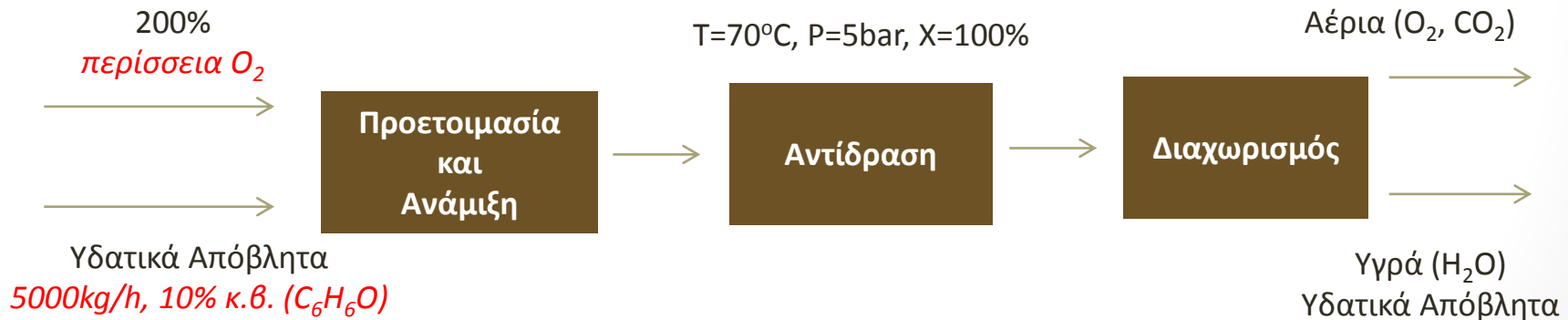
# Διαγράμματα Βαθμίδων

- **Σημαντικό!** Μία βαθμίδα δεν αναπαριστά ένα συγκεκριμένο στοιχείο εξοπλισμού αλλά χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει την λειτουργία και το σκοπό μίας ομάδας στοιχείων του μηχανολογικού εξοπλισμού.
- Δηλαδή, δεν δηλώνουμε αυστηρά ότι χρειαζόμαστε έναν συμπιεστή, αλλά καταγράφουμε την ανάγκη αύξησης της πίεσης σε ένα σημείο της διεργασίας.
- Τα διαγράμματα βαθμίδων είναι ένα πολύτιμο εργαλείο κατά την διάρκεια α) της σύνθεσης μίας νέας παραγωγικής διεργασίας που δεν γνωρίζουμε ακόμη από τον ακριβή εξοπλισμό που απαρτίζεται και β) της ανάλυσης μίας υπάρχουσας πολύπλοκης διεργασίας που απαιτεί βελτίωση (π.χ. αναβάθμιση).



# Διαγράμματα Βαθμίδων

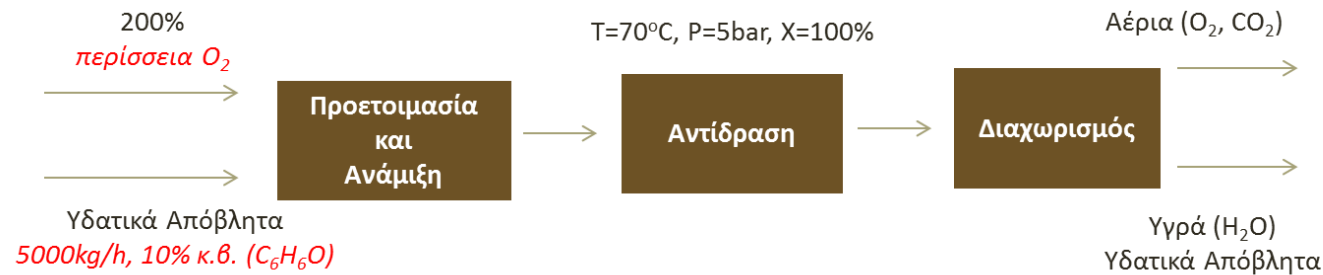
- Το παρακάτω σχήμα περιγράφει μία διεργασία επεξεργασία υδατικών αποβλήτων που περιέχουν σημαντική ποσότητα φαινόλης ( $C_6H_6O$ ). Η διεργασία επιτυγχάνει την καταλυτική οξείδωση της φαινόλης με βάση την αντίδραση :





# Διαγράμματα Βαθμίδων

- Το παρακάτω σχήμα περιγράφει μία διεργασία επεξεργασία υδατικών αποβλήτων που περιέχουν σημαντική ποσότητα φαινόλης ( $C_6H_6O$ ). Η διεργασία επιτυγχάνει την καταλυτική οξείδωση της φαινόλης με βάση την αντίδραση :

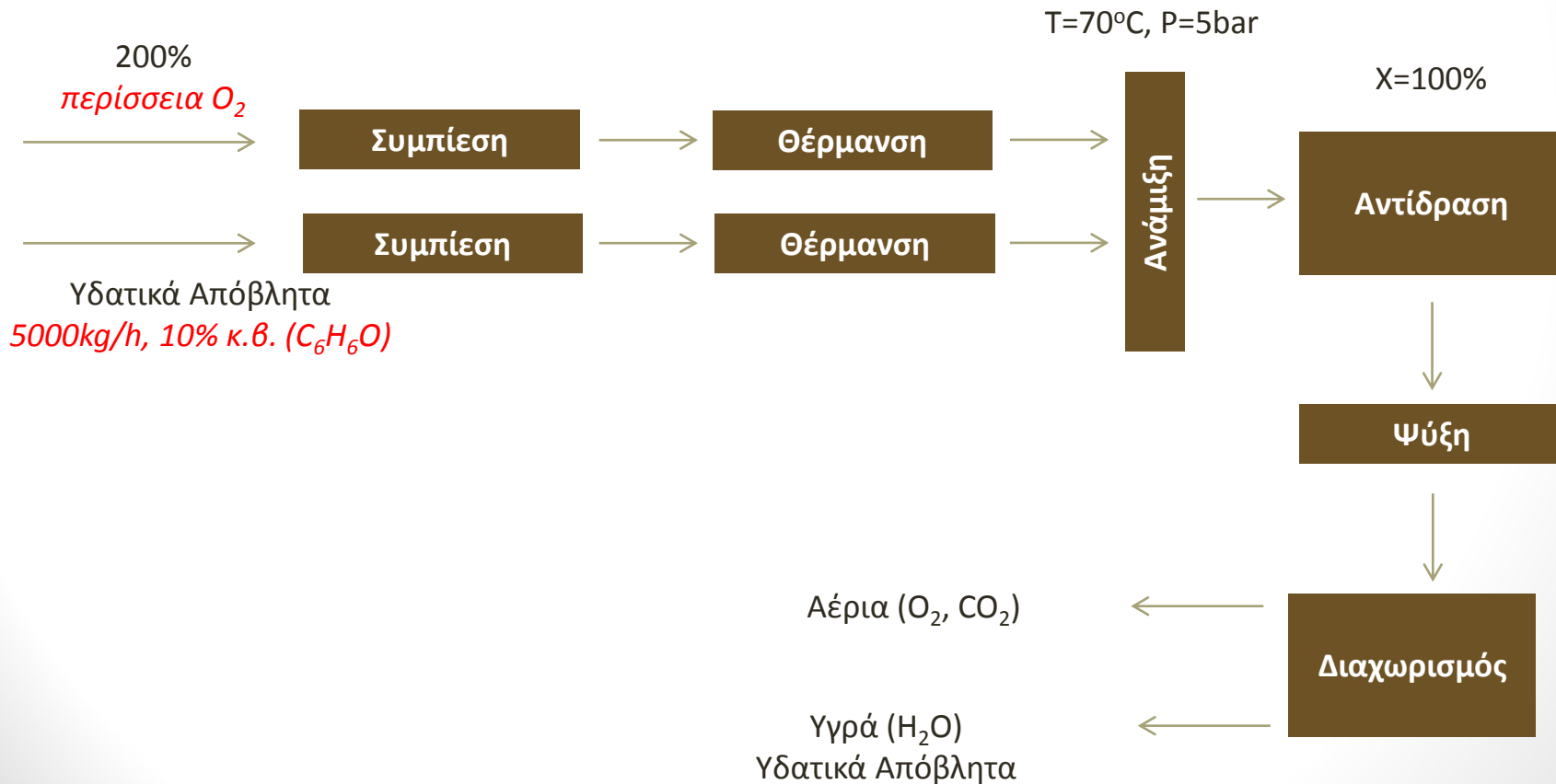
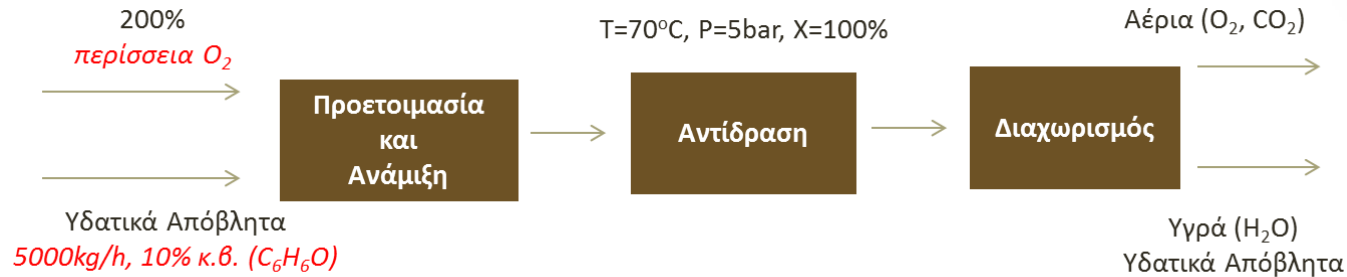


Συστατικά/ Ενώσεις	Μοριακά Βάρη	kg/hr (αρχ.)	kgmol/hr (αρχ.)	kgmol/hr (τελ.)	kg/hr (τελ.)
$C_6H_6O$	94	500	5.32	0	0
$O_2^*$	32	3575,47	111.70	74.47	2382,98
$CO_2$	44	--	--	31.91	1404,26
$H_2O$	18	4500	250	15.96 (+250)	287.23 (+4500)





# Διαγράμματα Βαθμίδων





# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

- Ένα μεθοδολογικό διάγραμμα ροής αποτελεί το εγκεκριμένο σχέδιο μίας διεργασίας και προκύπτει εφόσον έχει ολοκληρωθεί η προκαταρκτική εκτίμηση κόστους μηχανολογικού εξοπλισμού και η βέλτιστη ή αποδεκτή λειτουργία της διεργασίας.
- Ένα μεθοδολογικό διάγραμμα ροής περιέχει τα ακόλουθα στοιχεία:
  - Τα σύμβολα του μηχανολογικού εξοπλισμού μαζί με τον κωδικό αριθμό τους και την ονομασία τους
  - Τα ρεύματα ροής με τις αντίστοιχες πιέσεις, θερμοκρασίες και ροές
  - Τις γραμμές βοηθητικών παροχών (αέρας, ατμός, καύσιμο, νερό...)
  - Τον πίνακα ισοζυγίων μάζας και ενέργειας
- **Διαφορά!** Στα διαγράμματα βαθμίδων δηλώνονται οι λειτουργίες και ο σκοπός κάθε βαθμίδας. Στα μεθοδολογικά διαγράμματα ροής δηλώνεται επακριβώς το είδος του εξοπλισμού.



# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

- Τα σύμβολα του μηχανολογικού εξοπλισμού ακολουθούν διεθνή πρότυπα. Ενδέχεται ορισμένες βιομηχανίες να ακολουθούν διαφορετικό συμβολισμό.


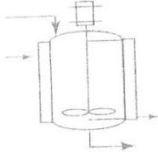
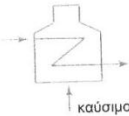

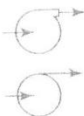

Πίνακας 2.1. Αντιπροσωπευτικά σύμβολα μηχανολογικού εξοπλισμού.


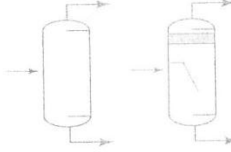
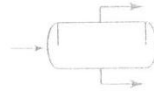
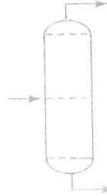
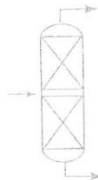
α.α.	Ονομασία	Πρότυπο	Σύμβολο
1	Αναβραστήρας (Γενικό σύμβολο)	-	
2	Εναλλάκτης Θερμότητας Γενικό σύμβολο	ANSI	
3	Συμπυκνωτής (υδρόψυκτος)	ANSI	
4	Συμπυκνωτής	BS	
5	Εξατμιστήρας	BS	



# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

- Τα σύμβολα του μηχανολογικού εξοπλισμού ακολουθούν διεθνή πρότυπα. Ενδέχεται ορισμένες βιομηχανίες να ακολουθούν διαφορετικό συμβολισμό.

6	Αντιδραστήρας (χρησιμοποιείται κυρίως για καταλυτικές κλίνες)	BS	
7	Δοχείο αναδεδυμένο με μανδύα		
8	Κλίβανος	BS	
9	Συμπιεστής Γενικό σύμβολο		
10	Αντλία	BS & ANSI	
11	Βάννα (ή βαλβίδα) Γενικό σύμβολο	BS & ANSI	

12	Βάννα ρυθμιστική	BS	
13	Δοχείο διαχωρισμού φάσεων (κατακόρυφο) χωρίς ή με κατακράτηση σταγονιδίων (demister pad)	BS	
14	Δοχείο διαχωρισμού φάσεων (οριζόντιο)	BS	
15	Στήλη απόσταξης με δίσκους	ANSI	
16	Στήλη απόσταξης με πληρωτικά υλικά	BS	



# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

- Τα σύμβολα του μηχανολογικού εξοπλισμού ακολουθούν διεθνή πρότυπα. Ενδέχεται ορισμένες βιομηχανίες να ακολουθούν διαφορετικό συμβολισμό.

17	Εκχυλιστήρας		
18	Κρυσταλλωτήρας		
19	Φυγοκεντρικός διαχωριστής	BS	
20	Κυκλώνας	BS	
21	Δεξαμενή κατακάθισης	BS	
22	Δεξαμενή αποθήκευσης αερίων-σφαιρική	ANSI	

23	Αεροφυλάκιο	BS	
24	Δεξαμενή με κωνική οροφή	ANSI	
25	Σιλό	BS	



# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

- Η αρίθμηση του εξοπλισμού έχει την μορφή Συντομογραφία-Αριθμός Μονάδας-Αύξων αριθμός του εξοπλισμού (κύριος/εφεδρικός) στην μονάδα που βρίσκεται.
- Η συντομογραφία παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

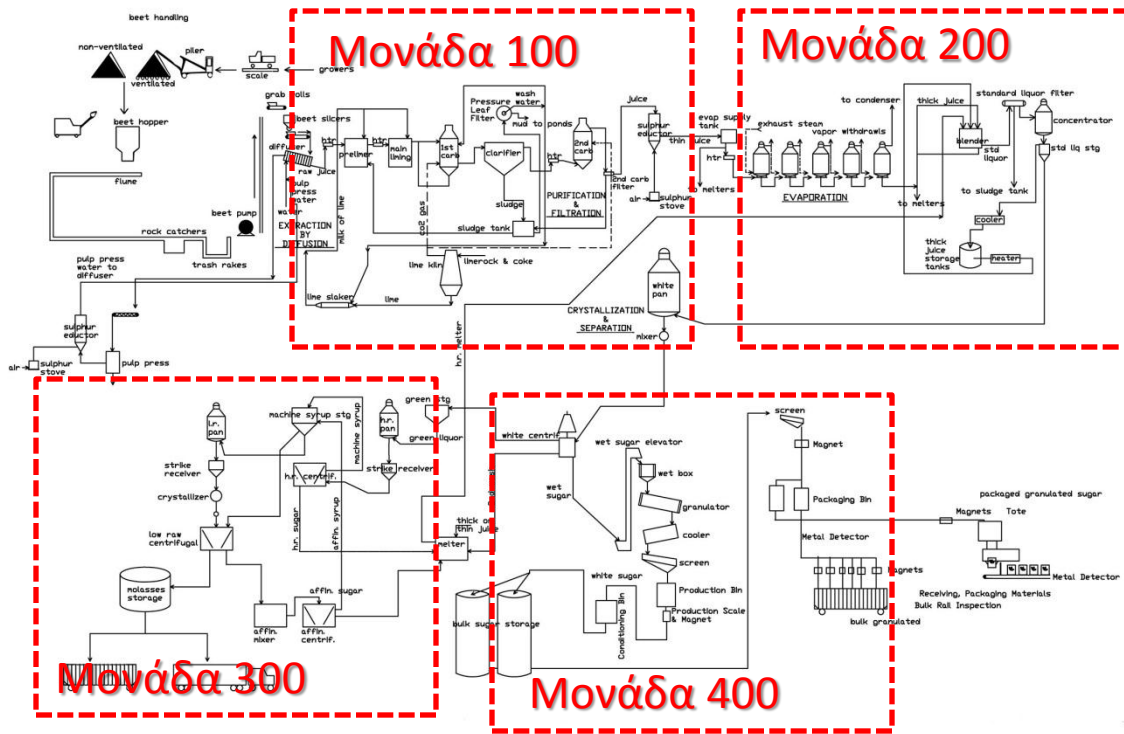
Πίνακας 2.2. Βασικές συντομογραφίες μηχανολογικού εξοπλισμού.

Τύπος εξοπλισμού	Συντομογραφία
Αντιδραστήρας	R
Αντλία	P
Δοχείο	V (ή D)
Εναλλάκτης θερμότητας	E
Κλίβανος	H (ή PH)
Στήλη	T (ή V ή N)
Συμπιεστής	C

# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

- Η αρίθμηση του εξοπλισμού έχει την μορφή Συντομογραφία-Αριθμός Μονάδας-Αύξων αριθμός του εξοπλισμού (κύριος/εφεδρικός) στην μονάδα που βρίσκεται.

Wyoming Sugar Process Flow



Οι μονάδες υποδηλώνουν επιμέρους διεργασίες (π.χ. στην μονάδα 100 λαμβάνει χώρα καθαρισμός της τροφοδοσίας, στην μονάδα 200 η αντίδραση κ.ο.κ



# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

- Η αρίθμηση του εξοπλισμού έχει την μορφή Συντομογραφία-Αριθμός Μονάδας-Αύξων αριθμός του εξοπλισμού (κύριος/εφεδρικός) στην μονάδα που βρίσκεται.
- Η συντομογραφία παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.2. Βασικές συντομογραφίες μηχανολογικού εξοπλισμού.

Τύπος εξοπλισμού	Συντομογραφία
Αντιδραστήρας	R
Αντλία	P
Δοχείο	V (ή D)
Εναλλάκτης θερμότητας	E
Κλίβανος	H (ή PH)
Στήλη	T (ή V ή N)
Συμπιεστής	C

**R-101**

Υποδηλώνουμε τον πρώτο (1) αντιδραστήρα (R) που βρίσκεται στην μονάδα 100.

**R-102**

Υποδηλώνουμε τον δεύτερο (2) αντιδραστήρα (R) που βρίσκεται στην μονάδα 100.





# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

- Η αρίθμηση του εξοπλισμού έχει την μορφή **Συντομογραφία-Αριθμός Μονάδας-Αύξων αριθμός του εξοπλισμού (κύριος/εφεδρικός)** στην μονάδα που βρίσκεται.
- Η συντομογραφία παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.2. Βασικές συντομογραφίες μηχανολογικού εξοπλισμού.

Τύπος εξοπλισμού	Συντομογραφία
Αντιδραστήρας	R
Αντλία	P
Δοχείο	V (ή D)
Εναλλάκτης θερμότητας	E
Κλίβανος	H (ή PH)
Στήλη	T (ή V ή N)
Συμπιεστής	C

**P-101 A**

Υποδηλώνουμε την πρώτη (1) αντλία (P) που βρίσκεται στην μονάδα 100. Το A δηλώνει «κύρια» αντλία.

**P-101 B**

Υποδηλώνουμε την πρώτη (1) αντλία (P) που βρίσκεται στην μονάδα 100. Το B δηλώνει «εφεδρική» αντλία.



# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

- Η αρίθμηση του εξοπλισμού έχει την μορφή **Συντομογραφία-Αριθμός Μονάδας-Αύξων αριθμός του εξοπλισμού (κύριος/εφεδρικός)** στην μονάδα που βρίσκεται.
- Η συντομογραφία παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.2. Βασικές συντομογραφίες μηχανολογικού εξοπλισμού.

Τύπος εξοπλισμού	Συντομογραφία
Αντιδραστήρας	R
Αντλία	P
Δοχείο	V (ή D)
Εναλλάκτης θερμότητας	E
Κλίβανος	H (ή PH)
Στήλη	T (ή V ή N)
Συμπιεστής	C

E-303 A

???

Υποδηλώνουμε τον τρίτο (3) εναλλάκτη (E) που βρίσκεται στην μονάδα 300 και αποτελεί τον «κύριο» εναλλάκτη.



# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

- Η αρίθμηση του εξοπλισμού έχει την μορφή **Συντομογραφία-Αριθμός Μονάδας-Αύξων αριθμός του εξοπλισμού (κύριος/εφεδρικός)** στην μονάδα που βρίσκεται.
- Η συντομογραφία παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.2. Βασικές συντομογραφίες μηχανολογικού εξοπλισμού.

Τύπος εξοπλισμού	Συντομογραφία
Αντιδραστήρας	R
Αντλία	P
Δοχείο	V (ή D)
Εναλλάκτης θερμότητας	E
Κλίβανος	H (ή PH)
Στήλη	T (ή V ή N)
Συμπιεστής	C

C-506 B

???

Υποδηλώνουμε τον έκτο (6) συμπιεστή (C) που βρίσκεται στην μονάδα 500 και αποτελεί τον «εφεδρικό» συμπιεστή.



# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

- Κάθε ρεύμα του μεθοδολογικού διαγράμματος ροής θα πρέπει να είναι αριθμημένο και ο αριθμός να βρίσκεται μέσα σε ρόμβο.
- Η αρίθμηση αυτή θα χρησιμοποιηθεί όταν θα καταστρώσουμε τον πίνακα ισοζυγίων μάζας.
- Οι βοηθητικές παροχές σε μία διεργασία περιορίζονται συνήθως σε ατμό, αέρα, νερό ψύξης και καύσιμο:
  - *lps/mps/hps* δηλώνουμε ατμό χαμηλής/μέσης/υψηλής πίεσης (*low/medium/high pressure steam*)
  - *Air* δηλώνουμε την παροχή αέρα (*air*)
  - *cw* δηλώνουμε νερό ψύξης (*cooling water*)
  - *ng/fg* δηλώνουμε το φυσικό αέριο/καύσιμο αέριο (*natural gas/fuel gas*)



# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

- Το παρακάτω σχήμα περιγράφει την διεργασία επεξεργασίας υδατικών αποβλήτων που περιέχουν σημαντική ποσότητα φαινόλης ( $C_6H_6O$ ). Η μονάδα αυτή έχει υποτεθεί ότι αποτελεί την μονάδα 500 της συνολικής διεργασίας.

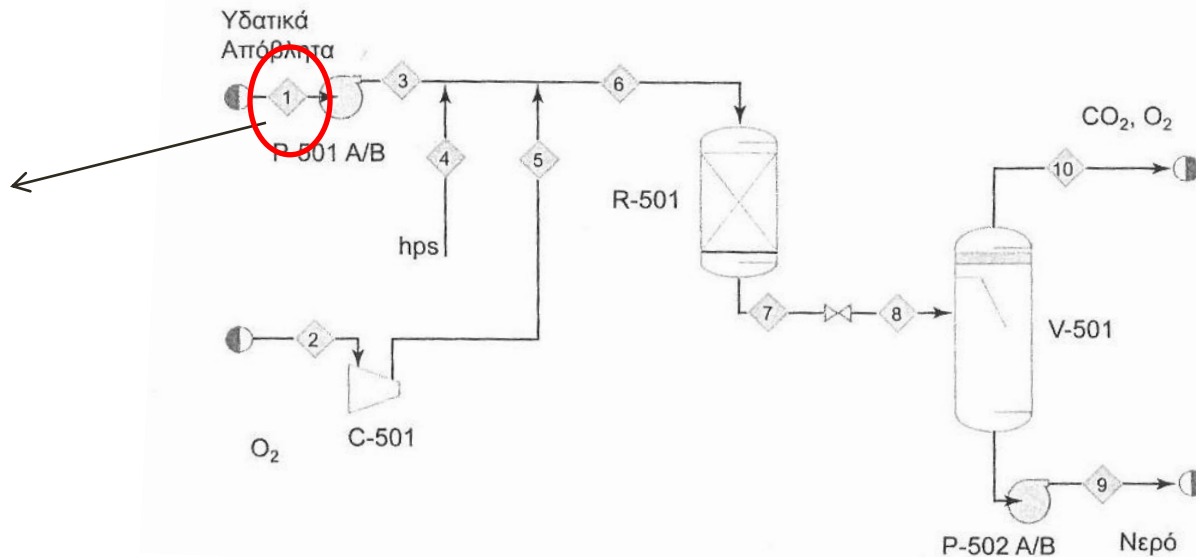
P-501 A/B  
Αντλία  
Τροφοδοσίας  
Αποβλήτων

C-501 A/B  
Συμπιεστής  
Οξυγόνου

R-501  
Αντιδραστήρας

V-501  
Δοχείο  
Διαχωρισμού

P-502 A/B  
Αντλία  
Προϊόντος



Αριθμός  
ρεύματος σε  
ρόμβο



# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

- Το παρακάτω σχήμα περιγράφει την διεργασία επεξεργασία υδατικών αποβλήτων που περιέχουν σημαντική ποσότητα φαινόλης ( $C_6H_6O$ ). Η μονάδα αυτή έχει υποτεθεί ότι αποτελεί την μονάδα 500 της συνολικής διεργασίας.

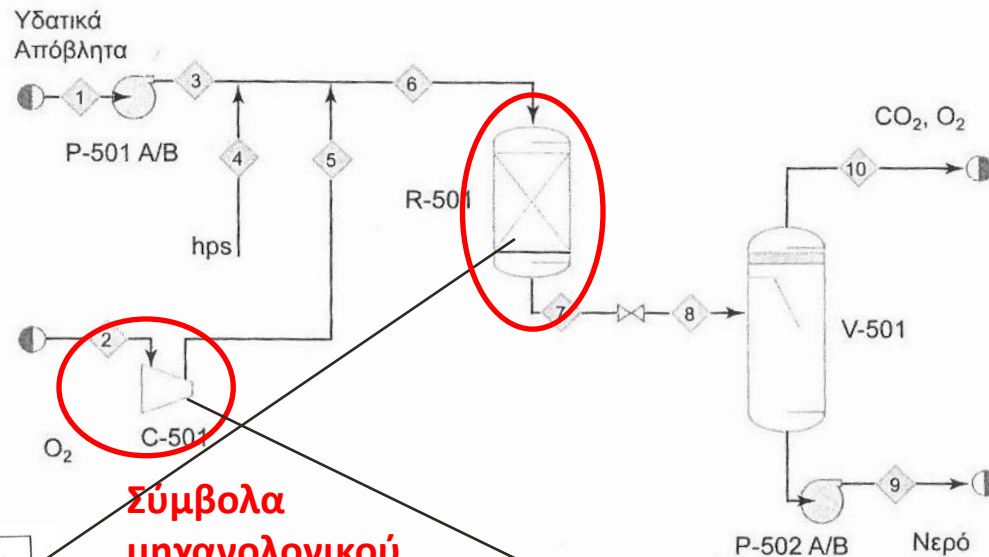
P-501 A/B  
Αντλία  
Τροφοδοσίας  
Αποβλήτων

C-501 A/B  
Συμπιεστής  
Οξυγόνου

R-501  
Αντιδραστήρας

V-501  
Δοχείο  
Διαχωρισμού

P-502 A/B  
Αντλία  
Προϊόντος



**Σύμβολα  
μηχανολογικού  
εξοπλισμού**

6	Αντιδραστήρας (χρησιμοποιείται κυρίως για καταλυτικές κλίνες)	BS	
---	--	----	--

9	Συμπιεστής Γενικό σύμβολο	-	
---	------------------------------	---	--



# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

- Το παρακάτω σχήμα περιγράφει την διεργασία επεξεργασία υδατικών αποβλήτων που περιέχουν σημαντική ποσότητα φαινόλης ( $C_6H_6O$ ). Η μονάδα αυτή έχει υποτεθεί ότι αποτελεί την μονάδα 500 της συνολικής διεργασίας.

P-501 A/B  
Αντλία  
Τροφοδοσίας  
Αποβλήτων

C-501 A/B  
Συμπιεστής  
Οξυγόνου

R-501  
Αντιδραστήρας

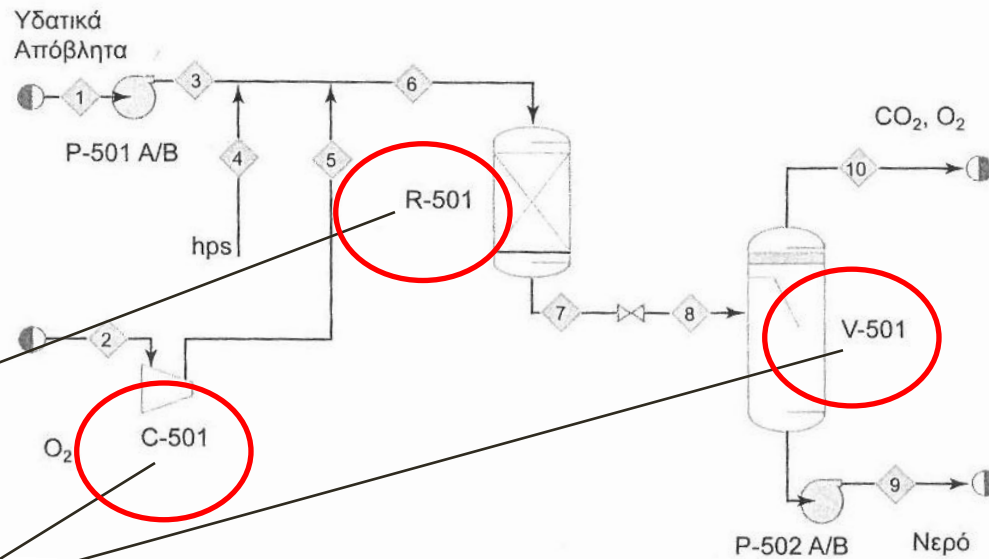
V-501  
Δοχείο  
Διαχωρισμού

P-502 A/B  
Αντλία  
Προϊόντος

Το A/B υποδηλώνει ύπαρξη κύριου (A) και εφεδρικού (B) εξοπλισμού.

Πίνακας 2.2. Βασικές συντομογραφίες μηχανολογικού εξοπλισμού.

Τύπος εξοπλισμού	Συντομογραφία
Αντιδραστήρας	R
Αντλία	P
Δοχείο	V (ή D)
Εναλλάκτης θερμότητας	E
Κλίβανος	H (ή PH)
Στήλη	T (ή V ή N)
Συμπιεστής	C



**Συντομογραφία  
μηχανολογικού  
εξοπλισμού**



# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

- Το παρακάτω σχήμα περιγράφει την διεργασία επεξεργασία υδατικών αποβλήτων που περιέχουν σημαντική ποσότητα φαινόλης ( $C_6H_6O$ ). Η μονάδα αυτή έχει υποτεθεί ότι αποτελεί την μονάδα 500 της συνολικής διεργασίας.

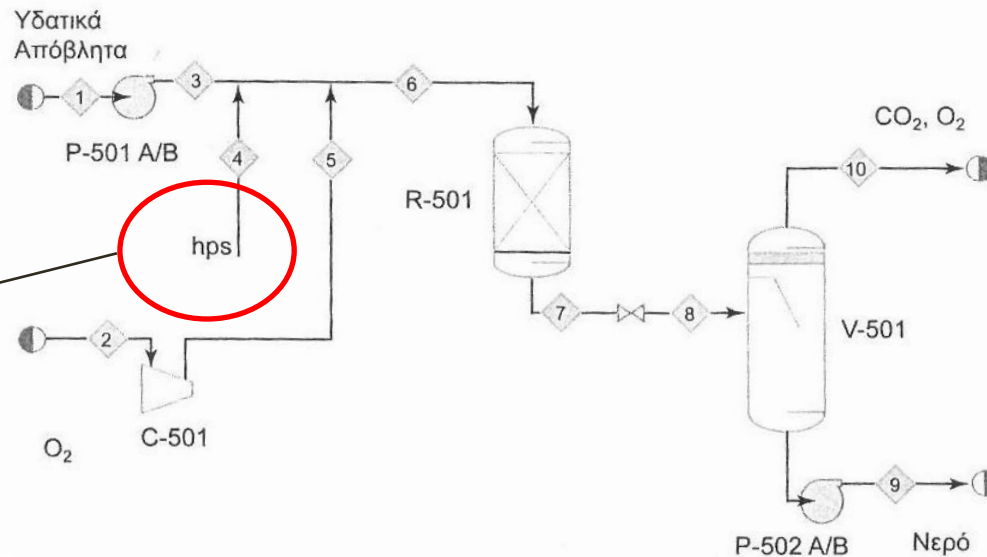
P-501 A/B  
Αντλία  
Τροφοδοσίας  
Αποβλήτων

C-501 A/B  
Συμπιεστής  
Οξυγόνου

R-501  
Αντιδραστήρας

V-501  
Δοχείο  
Διαχωρισμού

P-502 A/B  
Αντλία  
Προϊόντος

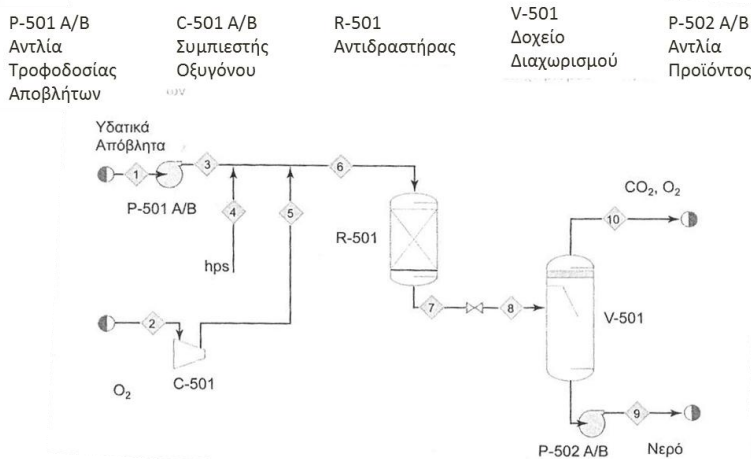


**Βοηθητικές παροχές  
(hps: high pressure  
steam)**





# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής



Το μεθοδολογικό διάγραμμα ροής πρέπει να συνοδεύεται από τον πίνακα ισοζυγίων μάζας και τον πίνακα εξοπλισμού.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΣΟΖΥΓΙΩΝ ΜΑΖΑΣ

Ρεύμα	1	2	3	4	5	6	7	9	10
Θερμοκρασία (°C)	25	25	25.04	254.30	86.60	70	70	52.82	52.82
Πίεση (bar)	1	3	5	42	5	5	5	1	1
Παροχή μάζας (kg/h)	5000	3570.2	5000	484.40	3570.2	9054.6	9054.6	4955.9	4098.7
Γραμμομοριακή παροχή (kmol/h)	255.1	111.57	255.10	26.89	111.57	393.56	398.87	275.06	123.81
Γραμμομοριακή παροχή συστατικών									
ν-ΟΗ	5.3	--	5.31	--	--	5.31		--	--
O <sub>2</sub>	--	111.57	--	--	111.57	111.57	74.38	--	74.38
H <sub>2</sub> O	249.8	--	249.8	26.89	--	276.68	292.62	275.05	17.57
CO <sub>2</sub>	--	--	--	--	--	--	31.87	0.02	31.85

Θερμοκρασία

Πίεση

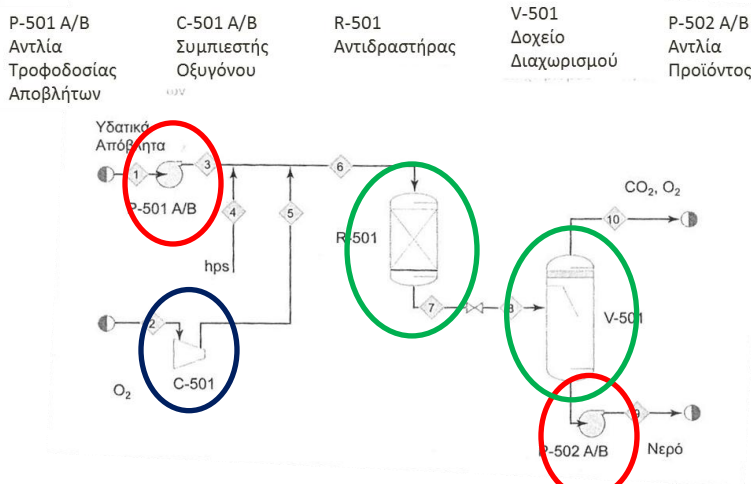
Παροχή μάζας ή/και γραμμομοριακής ροής

Συγκεντρώσεις ή γραμμομοριακά/μαζικά κλάσματα (molar/mass fractions)

Σχήμα 2.2 Βασικό μεθοδολογικό διάγραμμα ροής της διεργασία καταλυτικής οξειδωσης φαινόλης.



# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής



Το μεθοδολογικό διάγραμμα ροής πρέπει να συνοδεύεται από τον πίνακα ισοζυγίων μάζας και τον πίνακα εξοπλισμού.

Ο πίνακας αυτός απαιτείται για την διαστασιολόγηση του εξοπλισμού που θα δούμε σε επόμενα μαθήματα

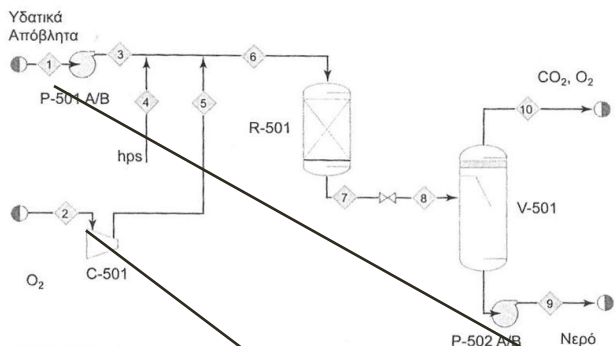
Πίνακας 2.3. Συγκεντρωτικός πίνακας εξοπλισμού της εγκατάστασης παραγωγής της φαινόλης.

Αντλίες	P-501 (A/B)	P-502 (A/B)
Μαζική παροχή (kg/h)	5000	4956
Πυκνότητα ρευστού (kg/m <sup>3</sup> )	1014	986
Ισχύς (kW)	0.7	0.7
Τύπος / Κινητήρας	Φυγοκεντρική / ηλεκτρικός	
Απόδοση (%)	75	75
Υλικό κατασκευής	SS304	SS304
Θερμοκρασία εισόδου (°C)	25	52.8
Πίεση εισόδου (bar)	1	1
Πίεση εξόδου (bar)	5	1.2
Συμπιεστής	C-501	
Μαζική παροχή (kg/h)	3570	
Πυκνότητα ρευστού (kg/m <sup>3</sup> )	3.88	
Ισχύς (kW)	56.2	
Τύπος / Κινητήρας	Φυγοκεντρικός / ηλεκτρικός	
Απόδοση (%)	75 (αδιαβατική)	
Υλικό κατασκευής	SS304	
Θερμοκρασία εισόδου (°C)	25	
Πίεση εισόδου (bar)	3	
Πίεση εξόδου (bar)	5	
Αντιδραστήρας / Δοχεία	R-501	V-501
Θερμοκρασία (°C)	70	52.8
Πίεση (bar)	5	1
Υλικό κατασκευής	SS304	SS304
Προσανατολισμός	Κατακόρυφο	Κατακόρυφο
Ύψος (m)	2.2	2
Διάμετρος (m)	0.25	0.8
Εσωτερικό	Καταλύτης – ύψος 2 m	Κατακράτηση σταγονιδίων



# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

P-501 A/B Αντλία Τροφοδοσίας Αποβλήτων  
 C-501 A/B Συμπιεστής Οξυγόνου  
 R-501 Αντιδραστήρας  
 V-501 Δοχείο Διαχωρισμού  
 P-502 A/B Αντλία Προϊόντος



ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΣΟΖΥΓΙΩΝ ΜΑΖΑΣ

Ρεύμα	1	2	3	4	5	6	7	9	10
Θερμοκρασία (°C)	25	25	25.04	254.30	86.60	70	70	52.82	52.82
Πίεση (bar)	1	3	5	42	5	5	5	1	1
Παροχή μάζας (kg/h)	5000	3570.2	5000	484.40	3570.2	9054.6	9054.6	4955.9	4098.7
Γραμμομοριακή παροχή (kmol/h)	255.1	111.57	255.10	26.89	111.57	393.56	398.87	275.06	123.81
Γραμμομοριακή παροχή συστατικών									
OH	5.3	--	5.31	--	--	5.31	--	--	--
O <sub>2</sub>	--	111.57	--	--	111.57	111.57	74.38	--	74.38
H <sub>2</sub> O	249.8	--	249.8	26.89	--	276.68	292.62	275.05	17.57
CO <sub>2</sub>	--	--	--	--	--	--	31.87	0.02	31.85

Σχήμα 2.2 Βασικό μεθοδολογικό διάγραμμα ροής της διεργασία καταλυτικής οξειδωσης φαινόλης.

Πίνακας 2.3 Συγκεντρωτικός πίνακας εξοπλισμού της διεργασίας καταλυτικής οξειδωσης φαινόλης.

Αντλίες	P-501 (A/B)	P-502 (A/B)
Μαζική παροχή (kg/h)	5000	4956
Πυκνότητα ρευστού (kg/m <sup>3</sup> )	1014	986
Ισχύς (kW)	0.7	0.7
Τύπος / Κινητήρας	Φυγοκεντρική / ηλεκτρικός	
Απόδοση (%)	75	75
Υλικό κατασκευής	SS304	SS304
Θερμοκρασία εισόδου (°C)	25	52.8
Πίεση εισόδου (bar)	1	1
Πίεση εξόδου (bar)	5	1.2
Συμπιεστής	C-501	
Μαζική παροχή (kg/h)	3570	
Πυκνότητα ρευστού (kg/m <sup>3</sup> )	3.88	
Ισχύς (kW)	56.2	
Τύπος / Κινητήρας	Φυγοκεντρικός / ηλεκτρικός	
Απόδοση (%)	75 (αδιαβατική)	
Υλικό κατασκευής	SS304	
Θερμοκρασία εισόδου (°C)	25	
Πίεση εισόδου (bar)	3	
Πίεση εξόδου (bar)	5	
Αντιδραστήρας / Δοχεία	R-501	V-501
Θερμοκρασία (°C)	70	52.8
Πίεση (bar)	5	1
Υλικό κατασκευής	SS304	SS304
Προσανατολισμός	Κατακόρυφο	Κατακόρυφο
Ύψος (m)	2.2	2
Διάμετρος (m)	0.25	0.8
Εσωτερικό	Καταλόγης - ύψος 2 m	Κατακρήση σταγονιδίων

Το ρεύμα (1) περιέχει υδατικά απόβλητα θερμοκρασίας 25°C, πίεσης 1bar και παροχής μάζας 5000kg/hr (10%κ.β. C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O)

Το ρεύμα (2) περιέχει καθαρό O<sub>2</sub> θερμοκρασίας 25°C, πίεσης 3bar και παροχής μάζας 3570,2 kg/hr



# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

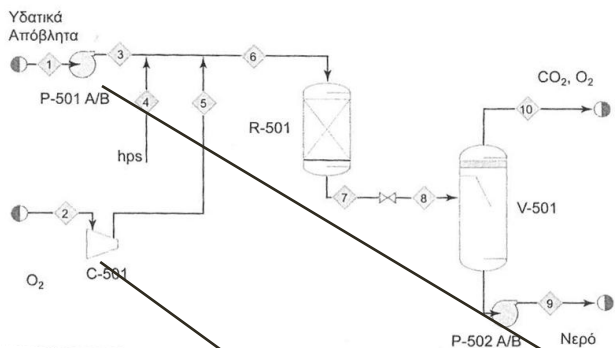
P-501 A/B  
Αντλία  
Τροφοδοσίας  
Αποβλήτων

C-501 A/B  
Συμπιεστής  
Οξυγόνου

R-501  
Αντιδραστήρας

V-501  
Δοχείο  
Διαχωρισμού

P-502 A/B  
Αντλία  
Προϊόντος



ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΣΟΖΥΓΙΩΝ ΜΑΖΑΣ

Ρεύμα	1	2	3	4	5	6	7	9	10
Θερμοκρασία (°C)	25	25	25.04	254.30	86.60	70	70	52.82	52.82
Πίεση (bar)	1	3	5	42	5	5	5	1	1
Παροχή μάζας (kg/h)	5000	3570.2	5000	484.40	3570.2	9054.6	9054.6	4955.9	4955.7
Γραμμομοριακή παροχή (kmol/h)	255.1	111.57	255.10	26.89	111.57	393.56	398.87	275.06	123.81
Γραμμομοριακή παροχή συστατικών									
H <sub>2</sub> O	5.3	--	5.31	--	--	5.31	--	--	--
O <sub>2</sub>	--	111.57	--	--	111.57	111.57	74.38	--	74.38
H <sub>2</sub>	249.8	--	249.8	26.89	--	276.68	292.62	275.05	17.57
CO <sub>2</sub>	--	--	--	--	--	--	31.87	0.02	31.85

Σχήμα 2.2 Βασικό μεθοδολογικό διάγραμμα ροής της διεργασία καταλυτικής οξειδωσης φαινόλης.

Πίνακας 2.3 Συγκεντρωτικός πίνακας εξοπλισμού της διεργασίας καταλυτικής οξειδωσης φαινόλης.

Αντλίες	P-501 (A/B)	P-502 (A/B)
Μαζική παροχή (kg/h)	5000	4956
Πυκνότητα ρευστού (kg/m <sup>3</sup> )	1014	986
Ισχύς (kW)	0.7	0.7
Τύπος / Κινητήρας	Φυγοκεντρική / ηλεκτρικός	
Απόδοση (%)	75	75
Υλικό κατασκευής	SS304	SS304
Θερμοκρασία εισόδου (°C)	25	52.8
Πίεση εισόδου (bar)	1	1
Πίεση εξόδου (bar)	5	1.2
Συμπιεστής	C-501	
Μαζική παροχή (kg/h)	3570	
Πυκνότητα ρευστού (kg/m <sup>3</sup> )	3.88	
Ισχύς (kW)	56.2	
Τύπος / Κινητήρας	Φυγοκεντρικός / ηλεκτρικός	
Απόδοση (%)	75 (αδιαβατική)	
Υλικό κατασκευής	SS304	
Θερμοκρασία εισόδου (°C)	25	
Πίεση εισόδου (bar)	3	
Πίεση εξόδου (bar)	5	
Αντιδραστήρας / Δοχεία	R-501	V-501
Θερμοκρασία (°C)	70	52.8
Πίεση (bar)	5	1
Υλικό κατασκευής	SS304	SS304
Προσανατολισμός	Κατακόρυφο	Κατακόρυφο
Ύψος (m)	2.2	2
Διάμετρος (m)	0.25	0.8
Εσωτερικό	Καταλόγης - ύψος 2 m	Κατακρήση σταγονιδίων

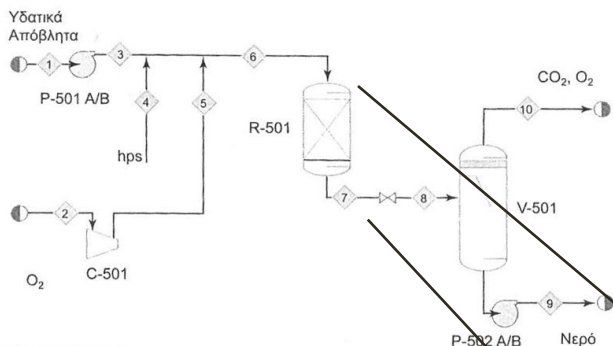
Το ρεύμα (1) εισέρχεται στην αντλία P-501 A/B και συμπιέζεται στα 5bar (ρεύμα 3). Έπειτα αναμιγνύεται με ατμό hps (υψηλής πίεσης 42bar και θερμοκρασίας 254.30C) και στην συνέχεια αναμιγνύεται με το ρεύμα (5).

Το ρεύμα (2) εισέρχεται στον συμπιεστή C-501 και συμπιέζεται στα 5bar (ρεύμα 5).



# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

P-501 A/B Αντλία Τροφοδοσίας Αποβλήτων  
 C-501 A/B Συμπιεστής Οξυγόνου  
 R-501 Αντιδραστήρας  
 V-501 Δοχείο Διαχωρισμού  
 P-502 A/B Αντλία Προϊόντος



ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΣΟΖΥΓΙΩΝ ΜΑΖΑΣ

Ρεύμα	1	2	3	4	5	6	7	9	10
Θερμοκρασία (°C)	25	25	25.04	254.30	86.60	70	70	52.82	52.82
Πίεση (bar)	1	3	5	42	5	5	5	1	1
Παροχή μάζας (kg/h)	5000	3570.2	5000	484.40	3570.2	9054.6	9054.6	4955.9	4098.7
Γραμμωμοριακή παροχή (kmol/h)	255.1	111.57	255.10	26.89	111.57	393.56	398.87	275.06	123.81
Γραμμωμοριακή παροχή συστατικών									
H <sub>2</sub> O	5.3	--	5.31	--	--	5.31	--	--	--
O <sub>2</sub>	--	111.57	--	--	111.57	111.57	74.38	--	74.38
H <sub>2</sub>	249.8	--	249.8	26.89	--	276.68	292.62	275.05	17.57
CO <sub>2</sub>	--	--	--	--	--	--	31.87	0.02	31.85

Σχήμα 2.2 Βασικό μεθοδολογικό διάγραμμα ροής της διεργασία καταλυτικής οξειδωσης φαινόλης.

Πίνακας 2.3 Συγκεντρωτικός πίνακας εξοπλισμού της διεργασίας καταλυτικής οξειδωσης φαινόλης.

Αντλίες	P-501 (A/B)	P-502 (A/B)
Μαζική παροχή (kg/h)	5000	4956
Πυκνότητα ρευστού (kg/m <sup>3</sup> )	1014	986
Ισχύς (kW)	0.7	0.7
Τύπος / Κινητήρας	Φυγοκεντρική / ηλεκτρικός	
Απόδοση (%)	75	75
Υλικό κατασκευής	SS304	SS304
Θερμοκρασία εισόδου (°C)	25	52.8
Πίεση εισόδου (bar)	1	1
Πίεση εξόδου (bar)	5	1.2
Συμπιεστής	C-501	
Μαζική παροχή (kg/h)	3570	
Πυκνότητα ρευστού (kg/m <sup>3</sup> )	3.88	
Ισχύς (kW)	56.2	
Τύπος / Κινητήρας	Φυγοκεντρικός / ηλεκτρικός	
Απόδοση (%)	75 (αδιαβατική)	
Υλικό κατασκευής	SS304	
Θερμοκρασία εισόδου (°C)	25	
Πίεση εισόδου (bar)	3	
Πίεση εξόδου (bar)	5	
Αντιδραστήρας / Δοχεία	R-501	V-501
Θερμοκρασία (°C)	70	52.8
Πίεση (bar)	5	1
Υλικό κατασκευής	SS304	SS304
Προσανατολισμός	Κατακόρυφο	Κατακόρυφο
Ύψος (m)	2.2	2
Διάμετρος (m)	0.25	0.8
Εσωτερικό	Καταλόγης - ύψος 2 m	Κατακρήση σταγονιδίων

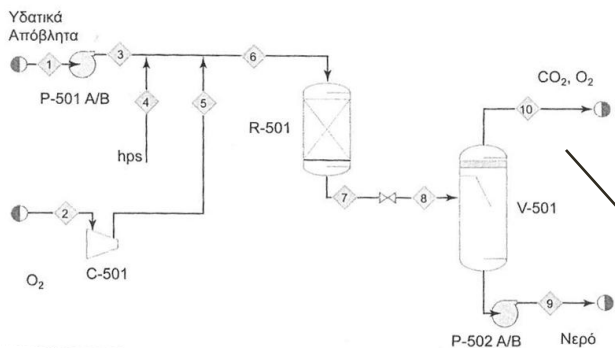
Το ρεύμα (6) με θερμοκρασία 70°C, πίεση 5bar και συνολική ροή 9054,6kg/hr εισέρχεται στον αντιδραστήρα R-501.

Το ρεύμα (7) περιέχει O<sub>2</sub> (74.38kg/hr), H<sub>2</sub>O (292.62kg/hr), CO<sub>2</sub> (31.87kg/hr) και εκτονώνεται στην πίεση 1bar (υπόθεση γιατί δεν μας δίνεται το ρεύμα 8).



# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

P-501 A/B Αντλία Τροφοδοσίας Αποβλήτων  
 C-501 A/B Συμπιεστής Οξυγόνου  
 R-501 Αντιδραστήρας  
 V-501 Δοχείο Διαχωρισμού  
 P-502 A/B Αντλία Προϊόντος



ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΣΟΖΥΓΙΩΝ ΜΑΖΑΣ

Ρεύμα	1	2	3	4	5	6	7	9	10
Θερμοκρασία (°C)	25	25	25.04	254.30	86.60	70	70	52.82	52.82
Πίεση (bar)	1	3	5	42	5	5	5	1	1
Παροχή μάζας (kg/h)	5000	3570.2	5000	484.40	3570.2	9054.6	9054.6	4955.9	4098.7
Γραμμομοριακή παροχή (kmol/h)	255.1	111.57	255.10	26.89	111.57	393.56	398.87	275.06	123.81
Γραμμομοριακή παροχή συστατικών									
H <sub>2</sub> O	5.3	--	5.31	--	--	5.31	--	--	--
O <sub>2</sub>	--	111.57	--	--	111.57	111.57	74.38	--	74.38
H <sub>2</sub>	249.8	--	249.8	26.89	--	276.68	292.62	275.05	17.57
CO <sub>2</sub>	--	--	--	--	--	--	31.87	0.02	31.85

Σχήμα 2.2 Βασικό μεθοδολογικό διάγραμμα ροής της διεργασία καταλυτικής οξειδωσης φαινόλης.

Πίνακας 2.3 Συγκεντρωτικός πίνακας εξοπλισμού της διεργασίας καταλυτικής οξειδωσης φαινόλης.

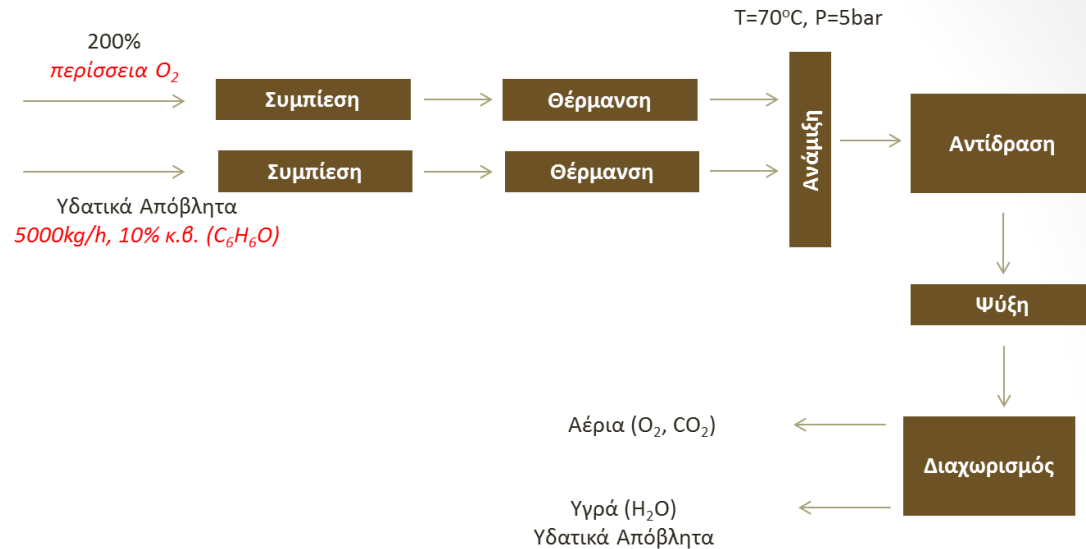
Αντλίες	P-501 (A/B)	P-502 (A/B)
Μαζική παροχή (kg/h)	5000	4956
Πυκνότητα ρευστού (kg/m <sup>3</sup> )	1014	986
Ισχύς (kW)	0.7	0.7
Τύπος / Κινητήρας	Φυγοκεντρική / ηλεκτρικός	
Απόδοση (%)	75	75
Υλικό κατασκευής	SS304	SS304
Θερμοκρασία εισόδου (°C)	25	52.8
Πίεση εισόδου (bar)	1	1
Πίεση εξόδου (bar)	5	1.2
Συμπιεστής	C-501	
Μαζική παροχή (kg/h)	3570	
Πυκνότητα ρευστού (kg/m <sup>3</sup> )	3.88	
Ισχύς (kW)	56.2	
Τύπος / Κινητήρας	Φυγοκεντρικός / ηλεκτρικός	
Απόδοση (%)	75 (αδιαβατική)	
Υλικό κατασκευής	SS304	
Θερμοκρασία εισόδου (°C)	25	
Πίεση εισόδου (bar)	3	
Πίεση εξόδου (bar)	5	
Αντιδραστήρας / Δοχεία	R-501	V-501
Θερμοκρασία (°C)	70	52.8
Πίεση (bar)	5	1
Υλικό κατασκευής	SS304	SS304
Προσανατολισμός	Κατακόρυφο	Κατακόρυφο
Ύψος (m)	2.2	2
Διάμετρος (m)	0.25	0.8
Εσωτερικό	Καταλόγης - ύψος 2 m	Κατακρήση σταγονιδίων

Το ρεύμα (10) με θερμοκρασία 52.82°C, πίεση 1bar και συνολική ροή 4098,7kg/hr διαχωρίζεται. Το ρεύμα (10) περιέχει O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O και CO<sub>2</sub>.

Το ρεύμα (9) με θερμοκρασία 52.82°C, πίεση 1bar και συνολική ροή 4955,9kg/hr διαχωρίζεται. Το ρεύμα (9) περιέχει H<sub>2</sub>O και ίχνη CO<sub>2</sub>.



# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής



## Διάγραμμα Βαθμίδων (block diagrams, BD)

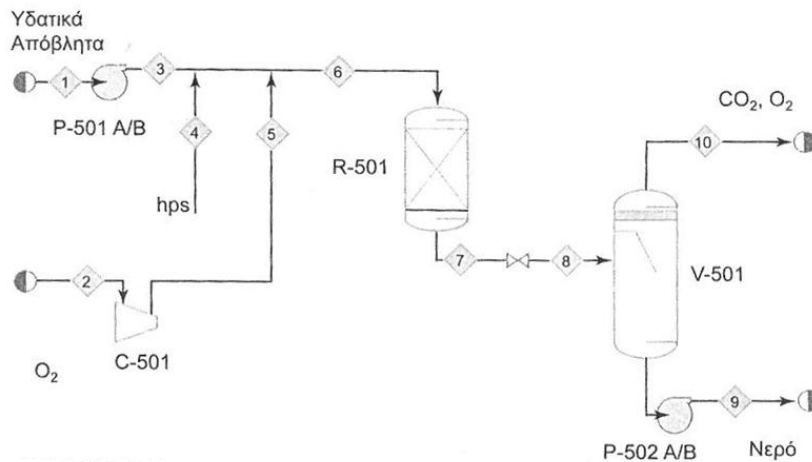
P-501 A/B  
Αντλία  
Τροφοδοσίας  
Αποβλήτων

C-501 A/B  
Συμπιεστής  
Οξυγόνου

R-501  
Αντιδραστήρας

V-501  
Δοχείο  
Διαχωρισμού

P-502 A/B  
Αντλία  
Προϊόντος



## Μεθοδολογικό Διάγραμμα Ροής (process flow diagrams, PFD)



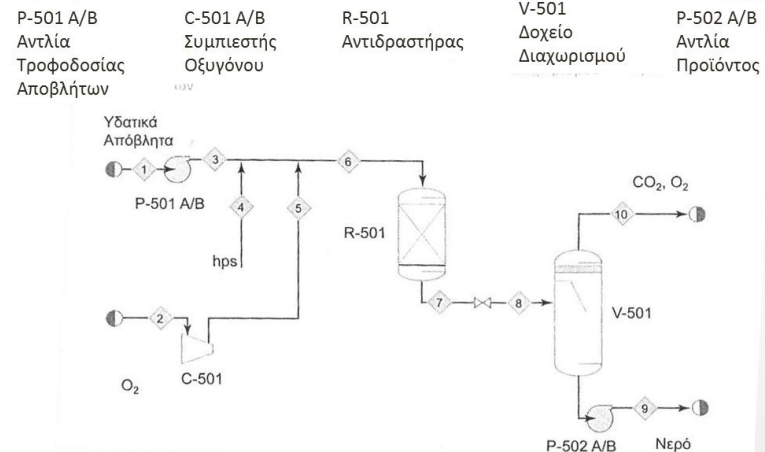
# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

Συστατικά/ Ενώσεις	Μοριακά Βάρη	kg/hr (αρχ.)	kgmol/hr (αρχ.)	kgmol/hr (τελ.)	kg/hr (τελ.)
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	94	500	5.32	<b>0</b>	<b>0</b>
O <sub>2</sub> *	32	<b>3575,47</b>	<b>111.70</b>	<b>74.47</b>	<b>2382,98</b>
CO <sub>2</sub>	44	--	--	<b>31.91</b>	<b>1404,26</b>
H <sub>2</sub> O	18	4500	250	<b>15.96 (+250)</b>	<b>287.23 (+4500)</b>

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΣΟΖΥΓΙΩΝ ΜΑΖΑΣ

Ρεύμα	1	2	3	4	5	6	7	9	10
Θερμοκρασία (°C)	25	25	25.04	254.30	86.60	70	70	52.82	52.82
Πίεση (bar)	1	3	5	42	5	5	5	1	1
Παροχή μάζας (kg/h)	5000	3570.2	5000	484.40	3570.2	9054.6	9054.6	4955.9	4098.7
Γραμμμοριακή παροχή (kmol/h)	255.1	111.57	255.10	26.89	111.57	393.56	398.87	275.06	173.81
Γραμμμοριακή παροχή συστατικών									
CO <sub>2</sub>	5.3	--	5.31	--	--	5.31	--	--	--
O <sub>2</sub>	--	111.57	--	--	111.57	111.57	74.38	--	74.38
H <sub>2</sub> O	249.8	--	249.8	26.89	--	276.68	292.62	275.05	17.57
CO <sub>2</sub>	--	--	--	--	--	--	31.87	0.92	31.85

Γιατί έχουμε απόκλιση στο H<sub>2</sub>O.....?



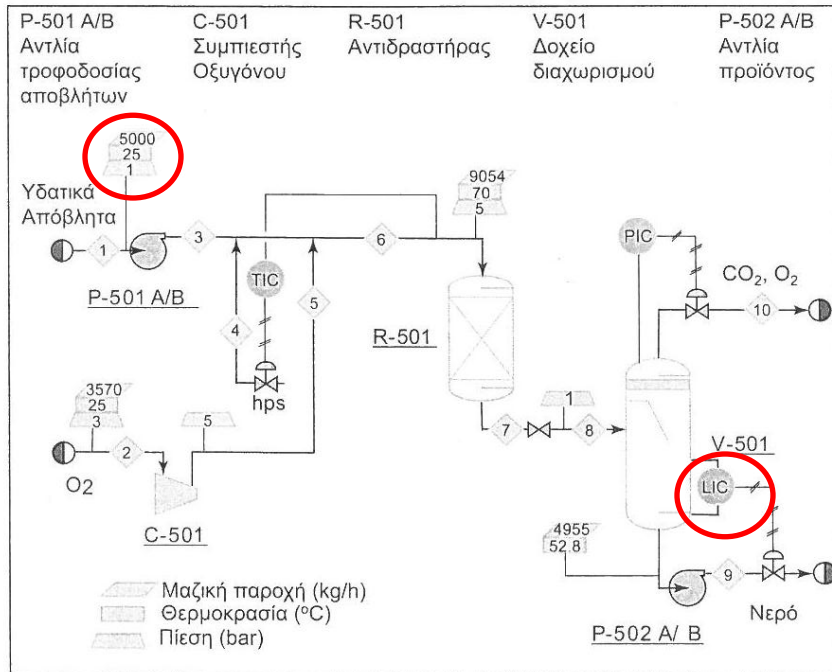
Σχήμα 2.2 Βασικό μεθοδολογικό διάγραμμα ροής της διεργασία καταλυτικής οξειδωσης φαινόλης.





# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής

- Ορισμένα μεθοδολογικά διαγράμματα ροής περιέχουν επιπλέον πληροφορίες. Τέτοιες αφορούν τους βασικούς βρόχους αυτόματου ελέγχου/ρύθμισης (όργανα μέτρησης και ρύθμισης) καθώς και τις τιμές της θερμοκρασίας, πίεσης και μαζικής παροχής.



Σχήμα 2.3. Μεθοδολογικό διάγραμμα ροής της διεργασία καταλυτικής οξείδωσης φαινόλης.

Πίνακας 2.4. Συνομογραφίες και λοιπά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στη παρουσίαση των βρόχων αυτόματης ρύθμισης.

Πρώτος χαρακτήρας	Δεύτερος & τρίτος χαρακτήρας					
	Όργανα μέτρησης		Όργανα ρύθμισης			
	Ενδεικτικά (Indicating)	Καταγραφικά (Recording)	Ενδεικτικά (Indicating)	Καταγραφικά (Recording)	Χωρίς ένδειξη	
	I	R	IC	RC	C	
Θερμοκρασία	T	TI	TR	TIC	TRC	TC
Ροή	F	FI	FR	FIC	FRC	FC
Πίεση	P	PI	PR	PIC	PRC	PC
Στάθμη	L	LI	LR	LIC	LRC	LC
Σύσταση	A	AI	AR	AIC	ARC	AC
// // Πνευματικό σήμα						
_____ Τριχοειδές σήματος οργάνων						
- - - - - Ηλεκτρικό σήμα						
○			⊖			
Όργανο εγκατεστημένο στη μονάδα			Όργανο εγκατεστημένο στον κεντρικό πίνακα ελέγχου			



# Διαγράμματα Σωληνώσεων και Οργάνων

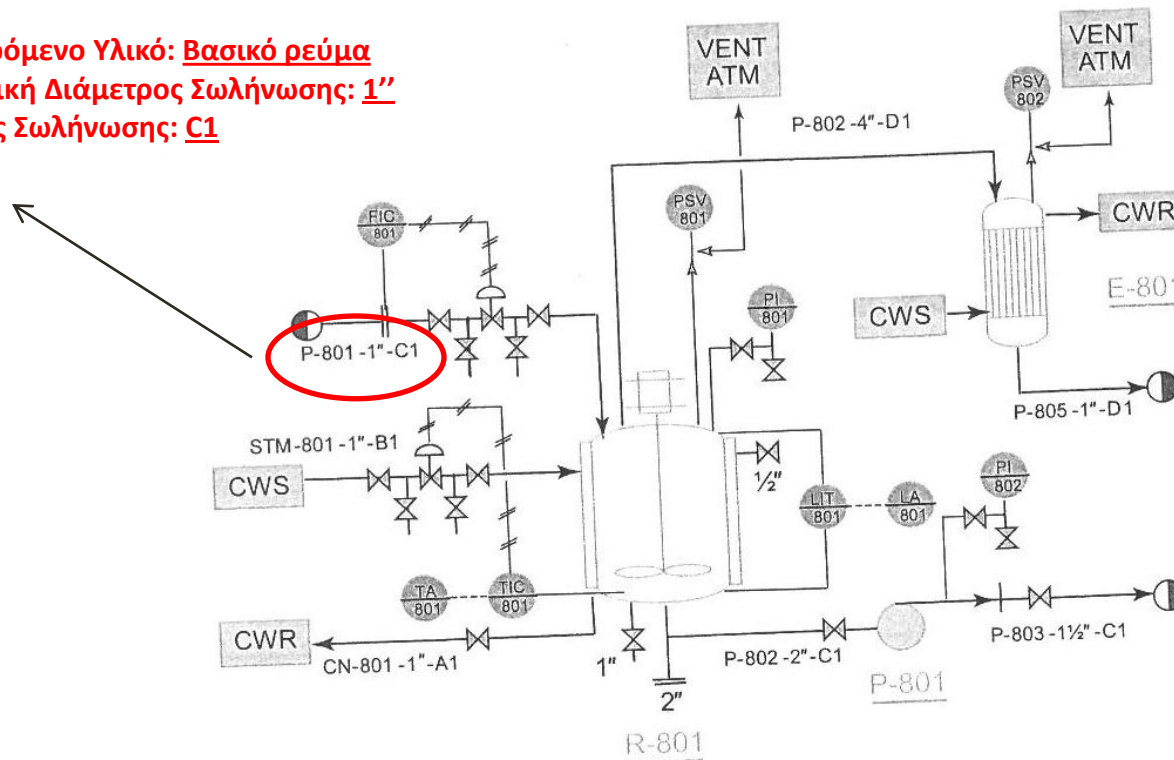
- Το διάγραμμα σωληνώσεων και οργάνων περιέχει όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται **για την έναρξη κατασκευής της μονάδας**.
- Το διάγραμμα σωληνώσεων και οργάνων απαιτείται για την επικοινωνία μεταξύ της ομάδας μηχανικών και της ομάδας που θα αναλάβει την κατασκευή (π.χ. κατασκευαστική εταιρία).
- Κάθε διάγραμμα αυτής της μορφής περιέχει:
  - Όλα τα στοιχεία του εξοπλισμού (κύρια και εφεδρικά)
  - Σωληνώσεις, βάνες και τυχόν μόνωση αυτών
  - Όργανα μετρήσεων και ελέγχου



# Διαγράμματα Σωληνώσεων και Οργάνων

- Στο διάγραμμα σωληνώσεων και οργάνων περιγράφονται α) το μεταφερόμενο υλικό (P- βασικό ρεύμα, A-αέρας, STM-ατμός κ.ο.κ.), β) η ονομαστική διάμετρος των σωληνώσεων σε in (π.χ. 1", 4") και γ) η κλάση της σωλήνωσης (D1, A1, κ.ο.κ.) που θα μας δώσει ο κατασκευαστής.

- A) Μεταφερόμενο Υλικό: Βασικό ρεύμα
- B) Ονομαστική Διάμετρος Σωλήνωσης: 1"
- Γ) Κλάση της Σωλήνωσης: C1



Σχήμα 2.4. Αντιπροσωπευτικό διάγραμμα σωληνώσεων και οργάνων.

# Ανασκόπηση 4<sup>ου</sup> Μαθήματος



- *Κατηγορίες διαγραμμάτων ροής*
  - *Διάγραμμα Βαθμίδων (block diagrams, BD)*
  - *Μεθοδολογικό Διάγραμμα Ροής (process flow diagrams, PFD)*
  - *Διάγραμμα Σωληνώσεων και Οργάνων (piping and instrumentation diagrams, P&IDs)*
- *Περιγραφή επιμέρους διαγραμμάτων ροής και χαρακτηριστικά*
- *Παραδείγματα και συζήτηση*



# Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση περιβαλλοντικών συστημάτων Ι

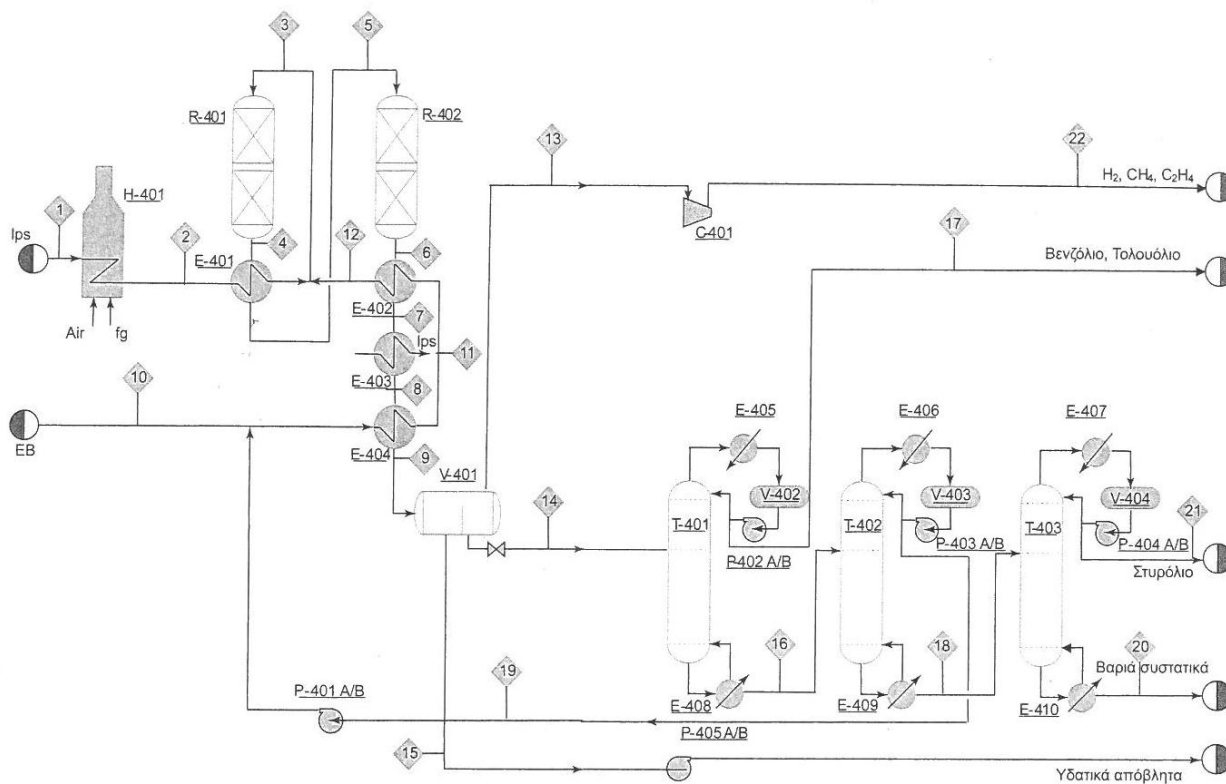
*Μάθημα 4<sup>ο</sup>*

*(Διαγράμματα Ροής)-Παράρτημα*

**Δρ. Ιψάκης Δημήτρης**

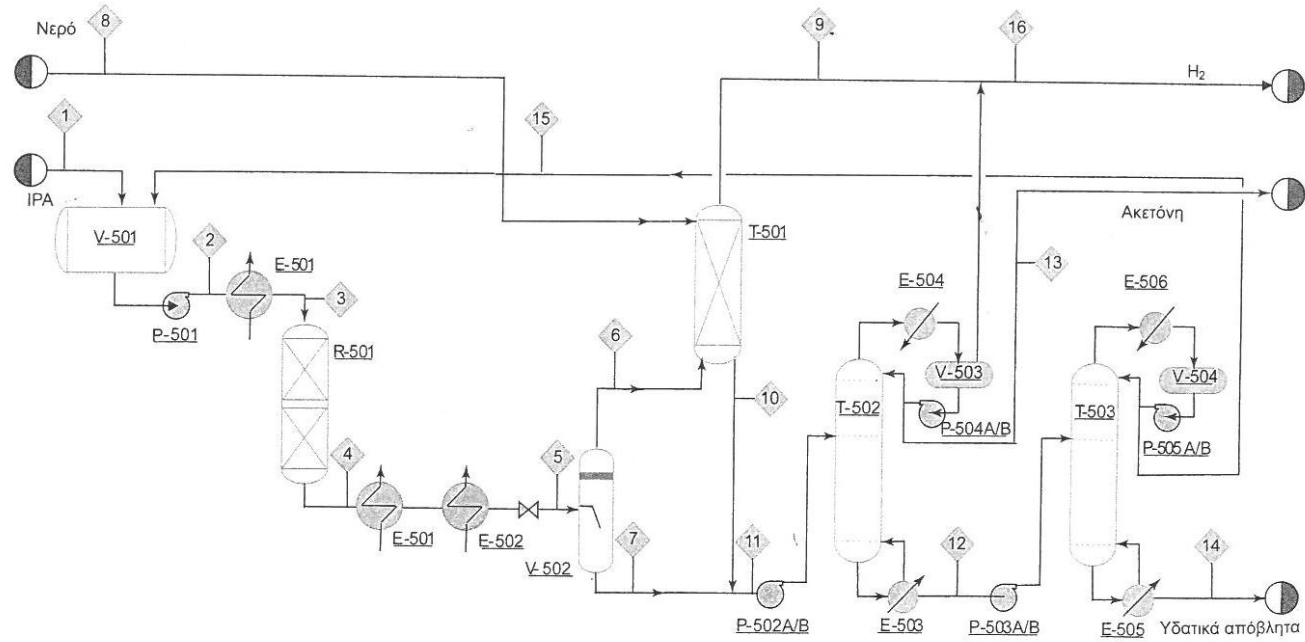
*Χημικός Μηχανικός, Έκτακτο Διδακτικό Προσωπικό ΠΔΜ*

# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής



Σχήμα 7.1. Διάγραμμα ροής μονάδας παραγωγής στυρολίου από αιθυλοβενζόλιο.

# Μεθοδολογικά Διαγράμματα Ροής



Σχήμα 7.2. Διάγραμμα ροής μονάδας παραγωγής ακετόνης από ισοπροπυλική αλκοόλη.