



ΙΔΕΠ

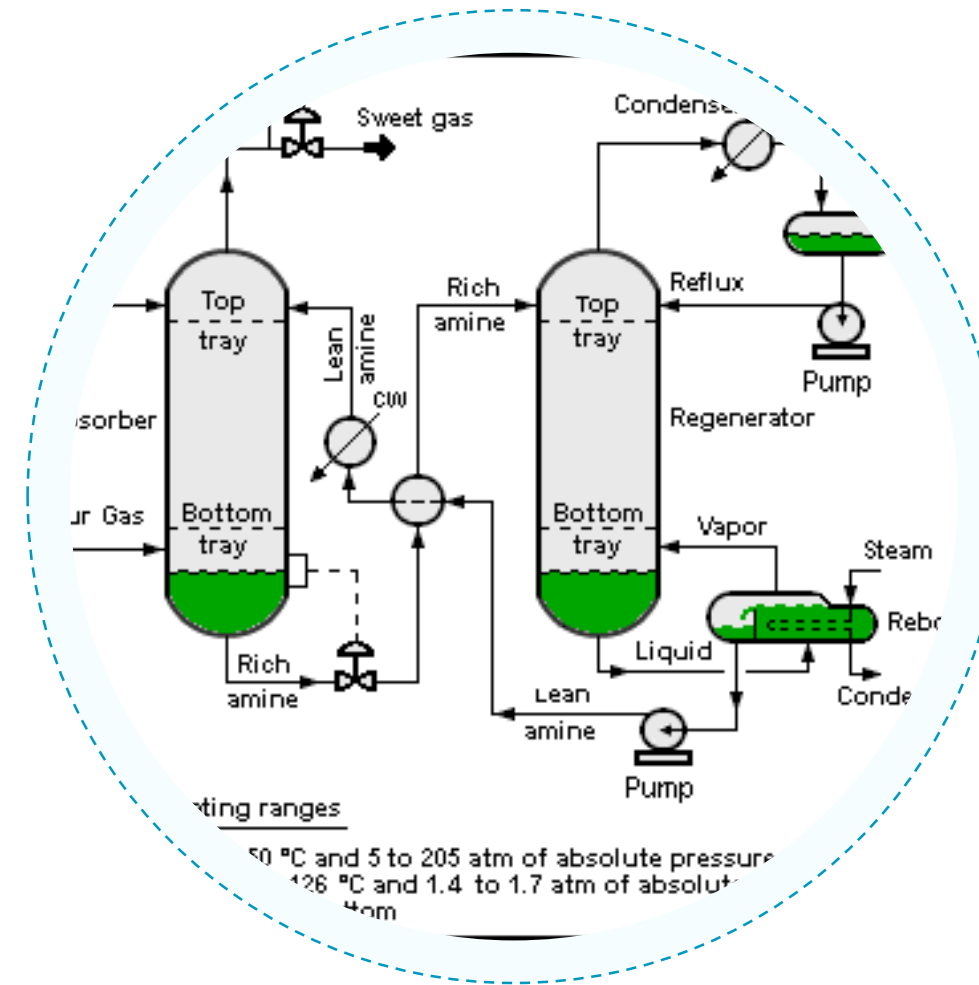
Ινστιτούτο
Χημικών
Διεργασιών και
Ενεργειακών
Πόρων

Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

Σχεδιασμός Χημικών Εγκαταστάσεων II

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

Χειμερινό εξάμηνο 2019-2020



Διάγραμμα ροής

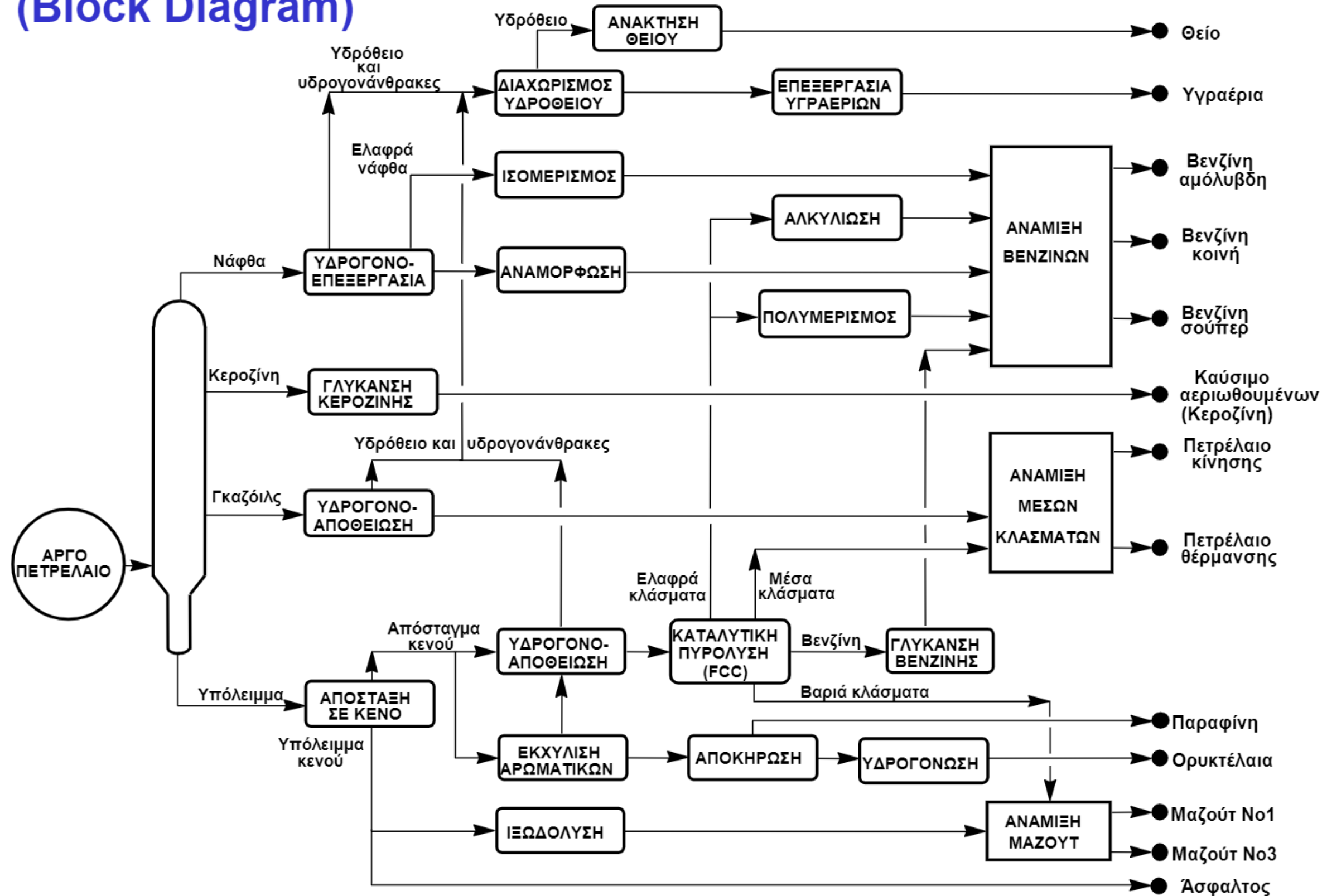
Διαγράμματα ροής – Process flow diagrams, PFDs

- Το διάγραμμα ροής επικοινωνεί πληροφορία.
- Χρησιμοποιεί μία γλώσσα → σύμβολα
- Χαρακτηρίζεται από μία αλληλουχία και διασύνδεση συμβόλων για να αποτυπώσει όλες τις αλληλεπιδράσεις.
- Η συνολική αυτή σύνθεση είναι το διάγραμμα ροής



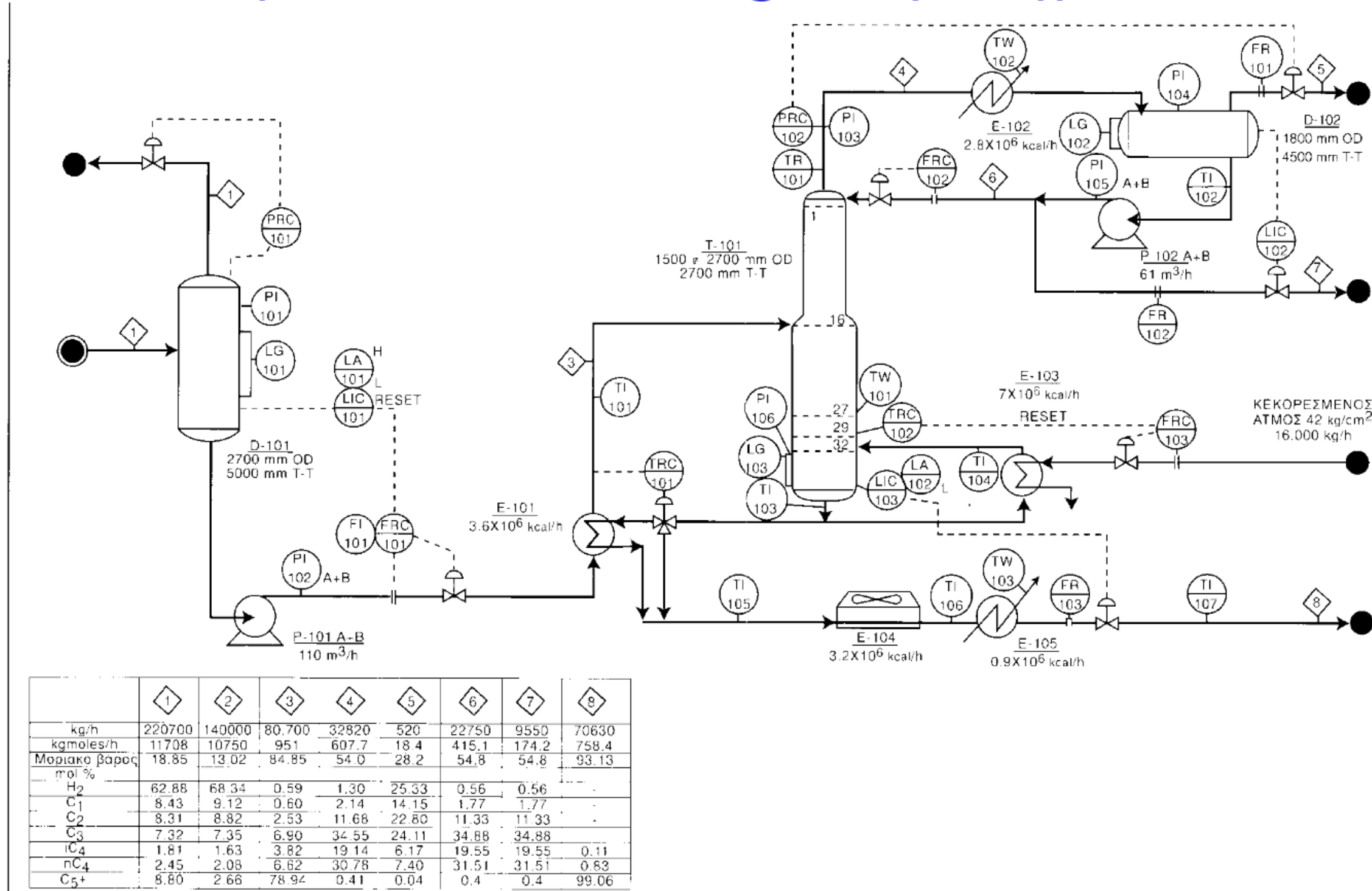
Διάγραμμα βαθμίδων

ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΒΑΘΜΙΔΩΝ (Block Diagram)



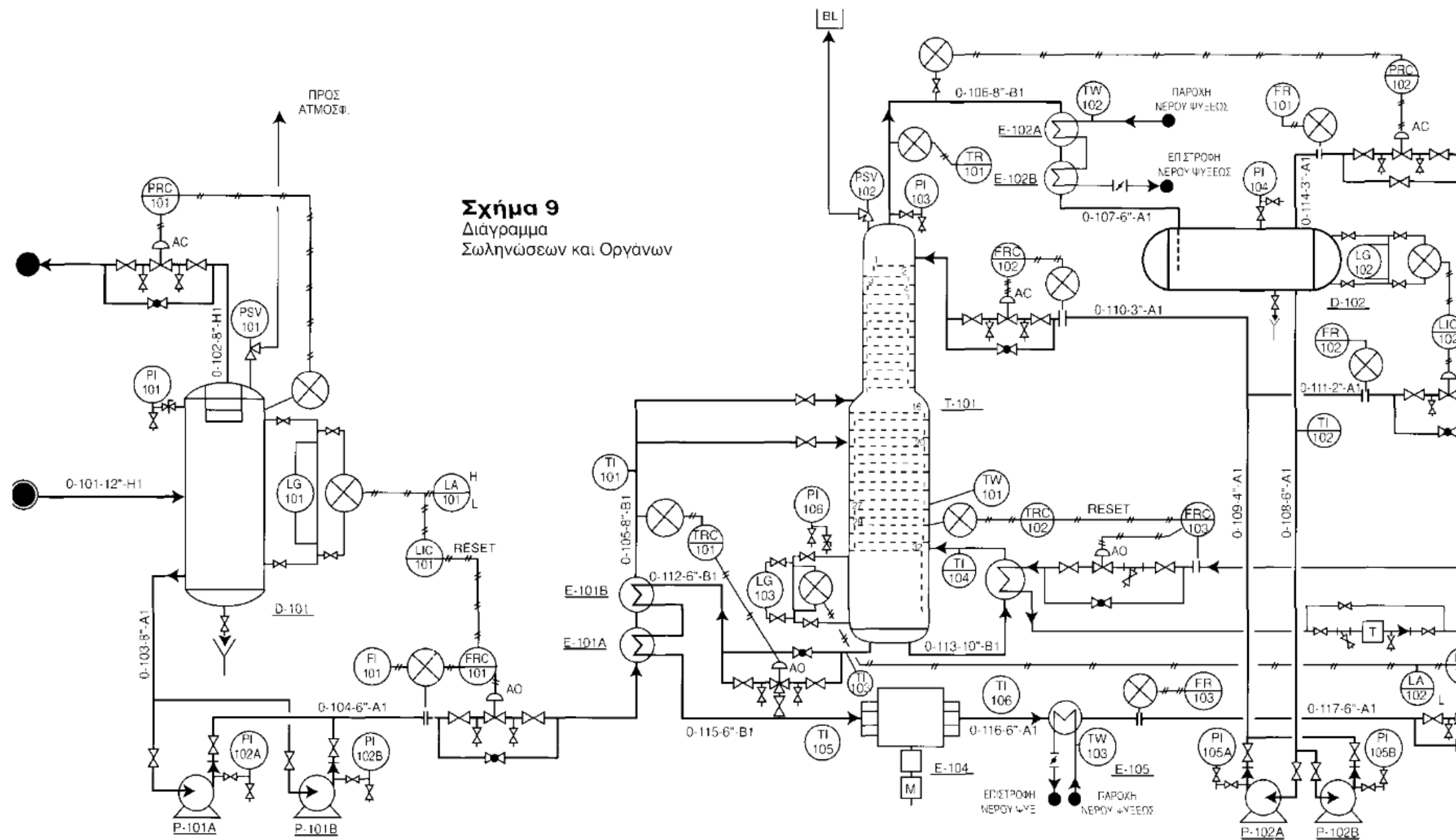
Διάγραμμα ροής – Process flow diagrams, PFDs

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ (Process Flow Diagram (PFD))



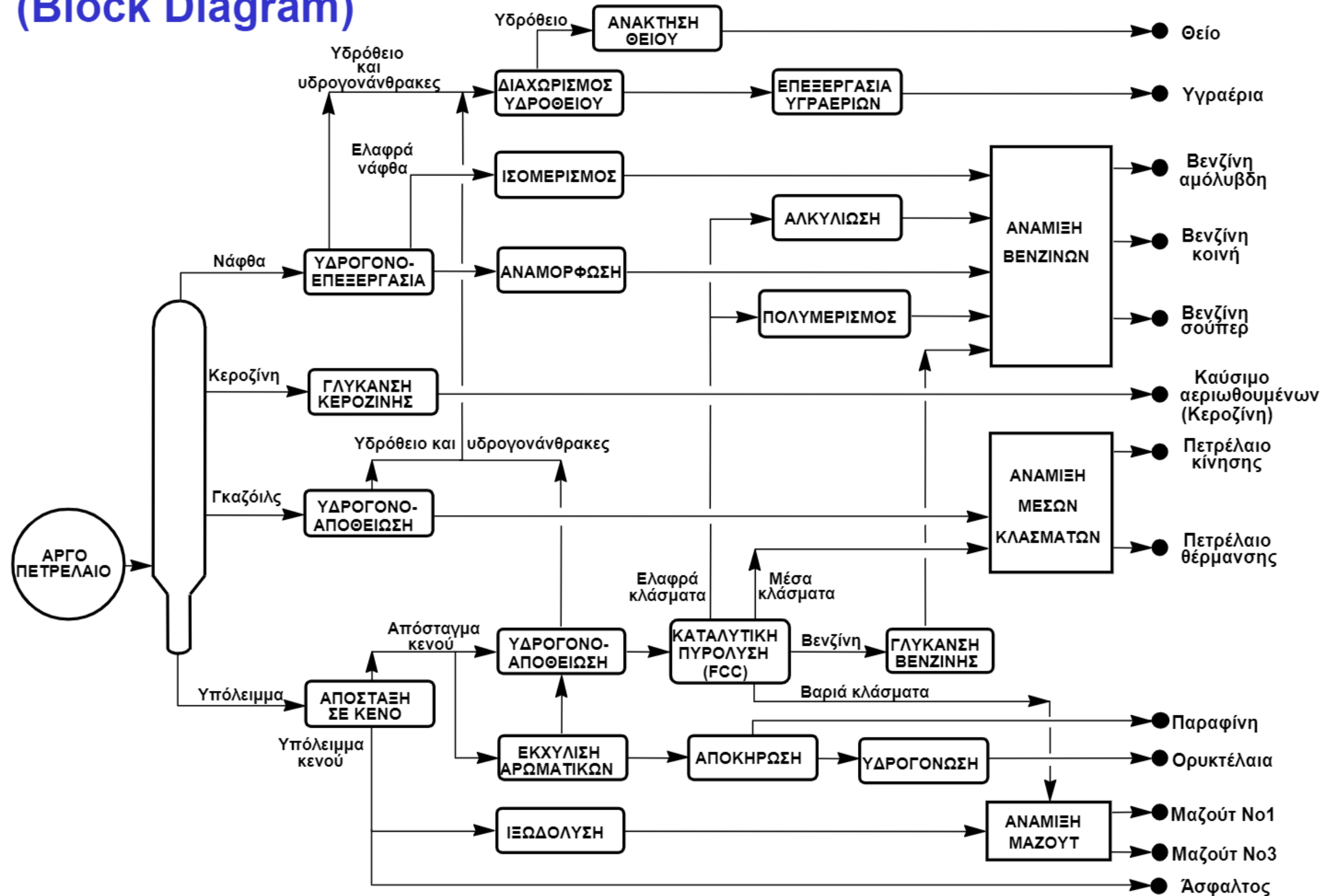
Διάγραμμα σωληνώσεων και οργάνων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΝ (Piping and Instrumentation Diagram (P&ID))

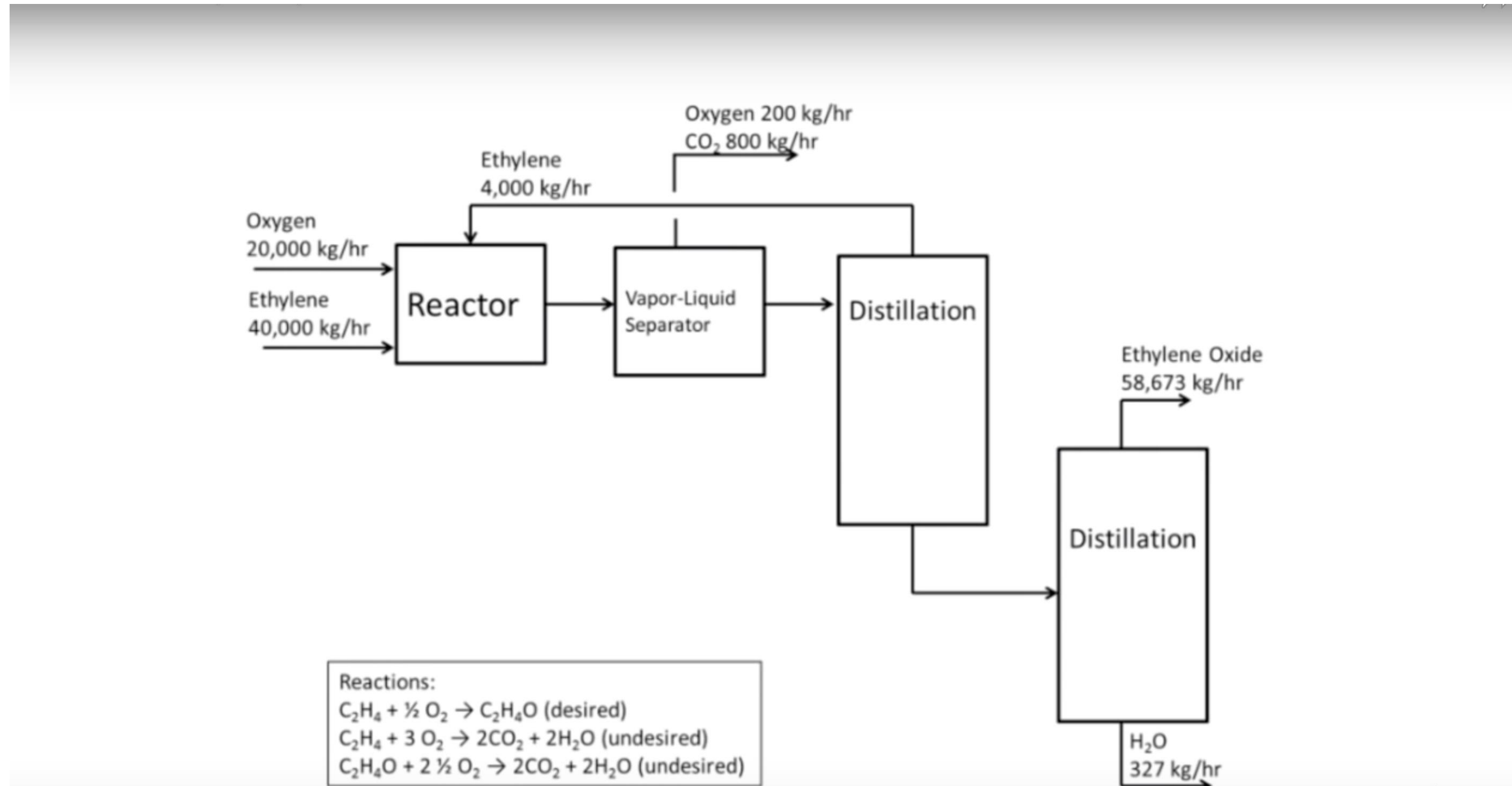


Διαγράμματα ροής – Process flow diagrams, PFDs

ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΒΑΘΜΙΔΩΝ (Block Diagram)

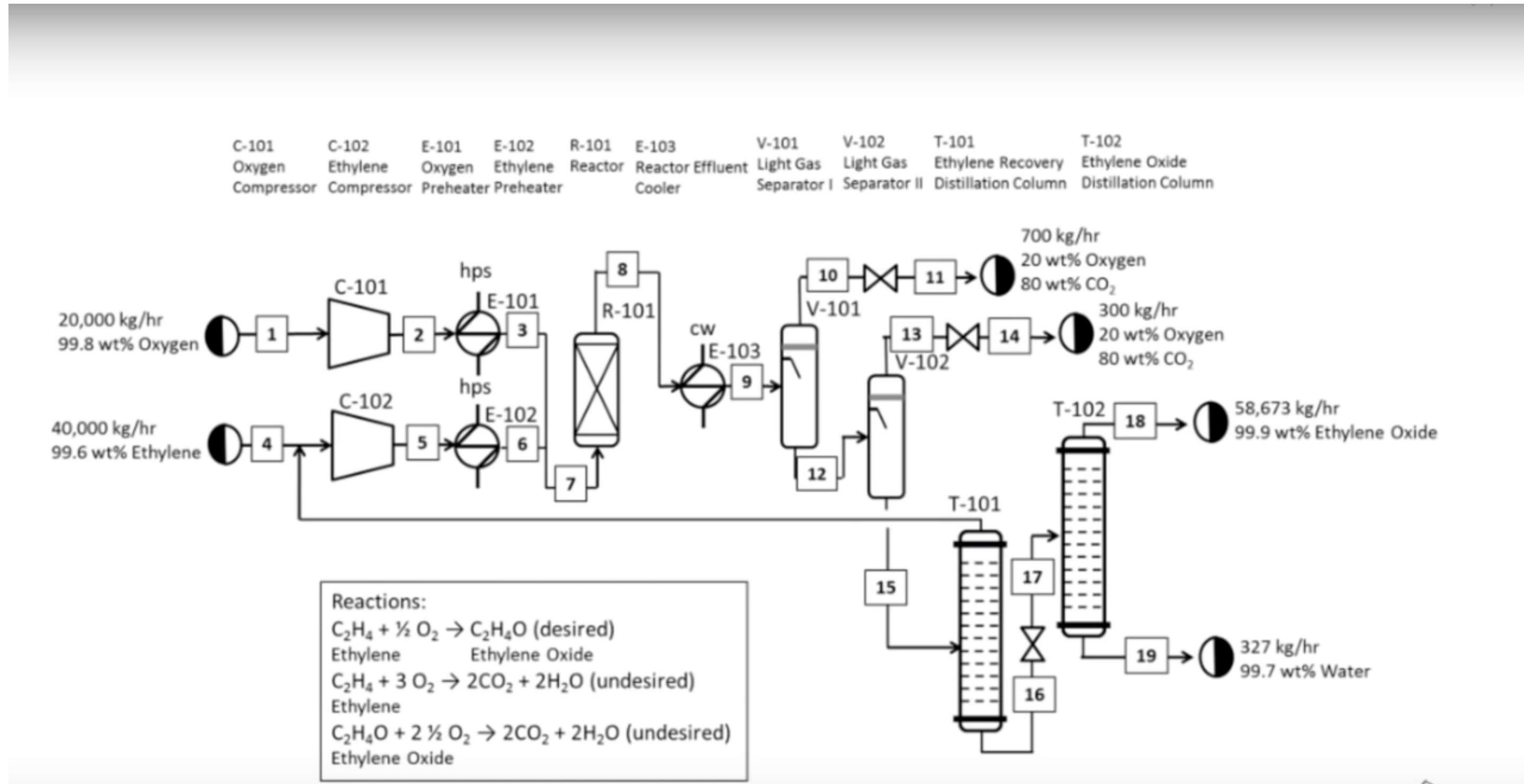


Βασικό διάγραμμα ροής – Block flow diagram, BFD



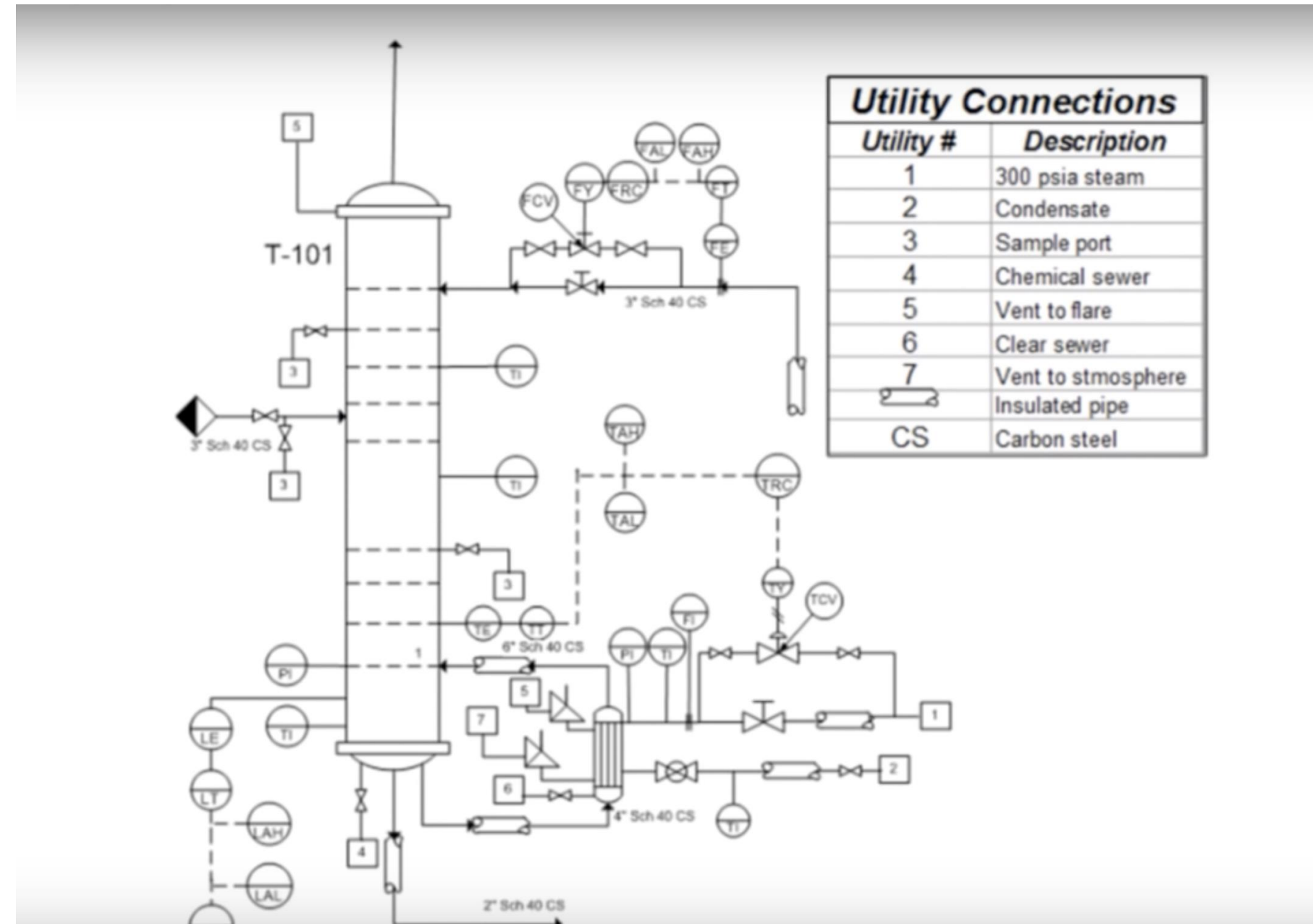
- Απλότητα – Έλλειψη λεπτομερειών
- Απεικόνιση διεργασίας - Όλες οι πληροφορίες σε μία σελίδα
- Απομόνωση κρίσιμων στοιχείων μόνο

Διάγραμμα ροής διεργασίας – Process flow diagram, PFD

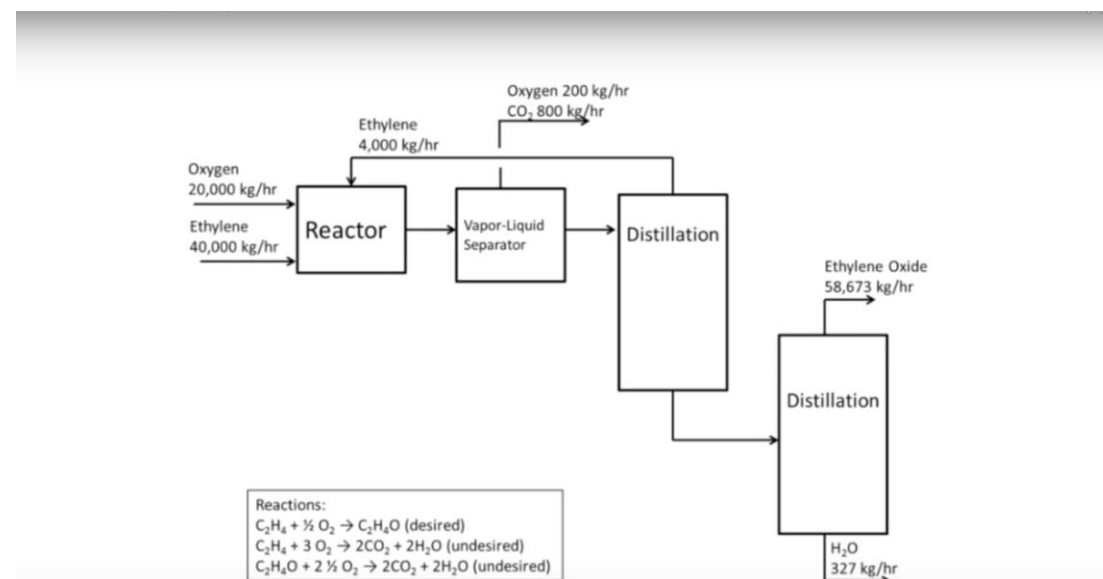
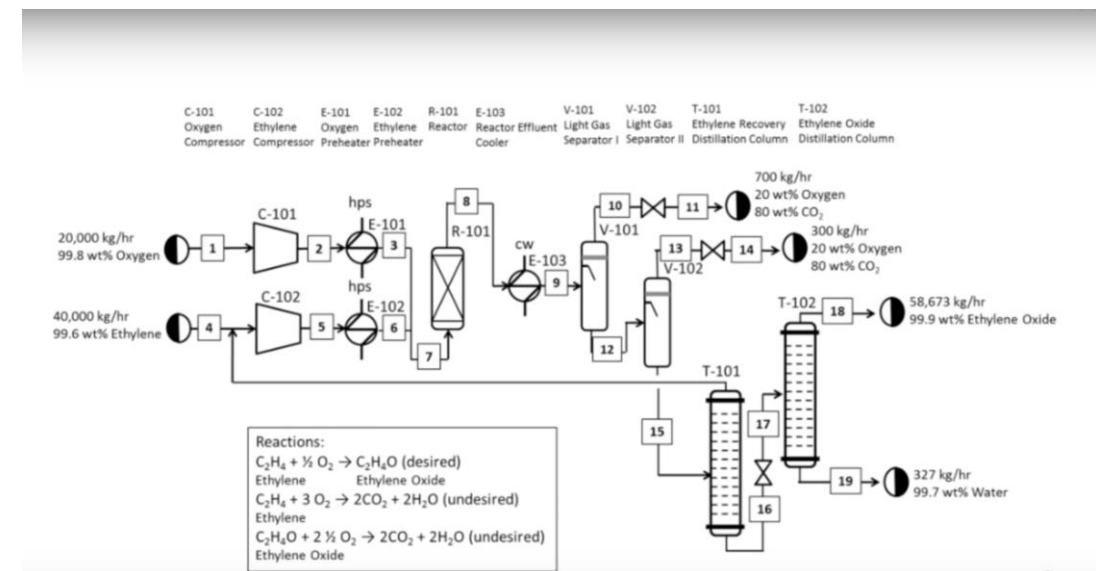
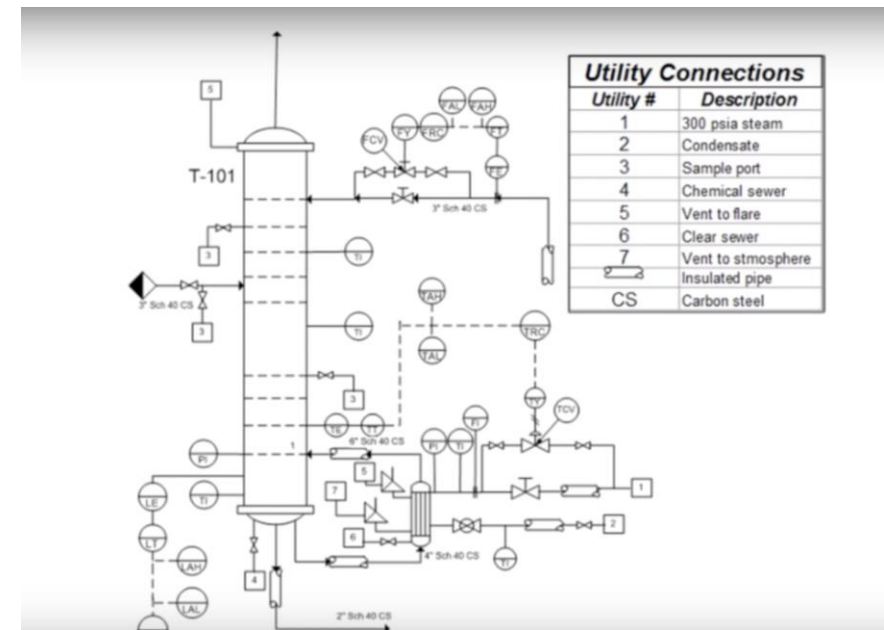


- Περισσότερος εξοπλισμός και πληροφορίες
- Απεικόνιση διεργασίας αναλυτικά - Όλες οι πληροφορίες σε μία σελίδα

Διάγραμμα σωληνώσεων και οργάνων – Process and instrumentation diagram, P&ID

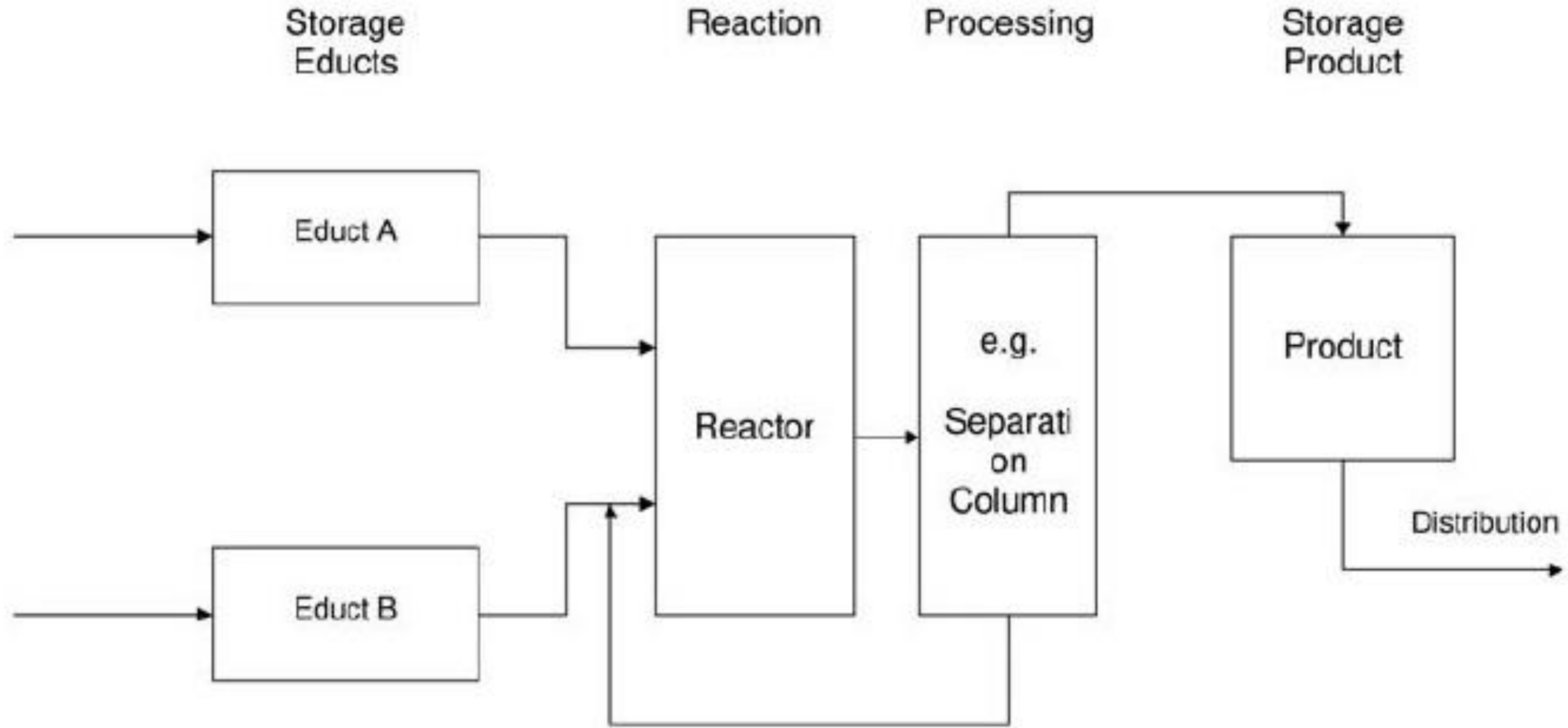


- Μέγιστη δυνατή πληροφορία και λεπτομέρεια
- Απεικόνιση διεργασίας τμηματικά λόγω όγκου πληροφοριών



Βαθμός λεπτομέρειας

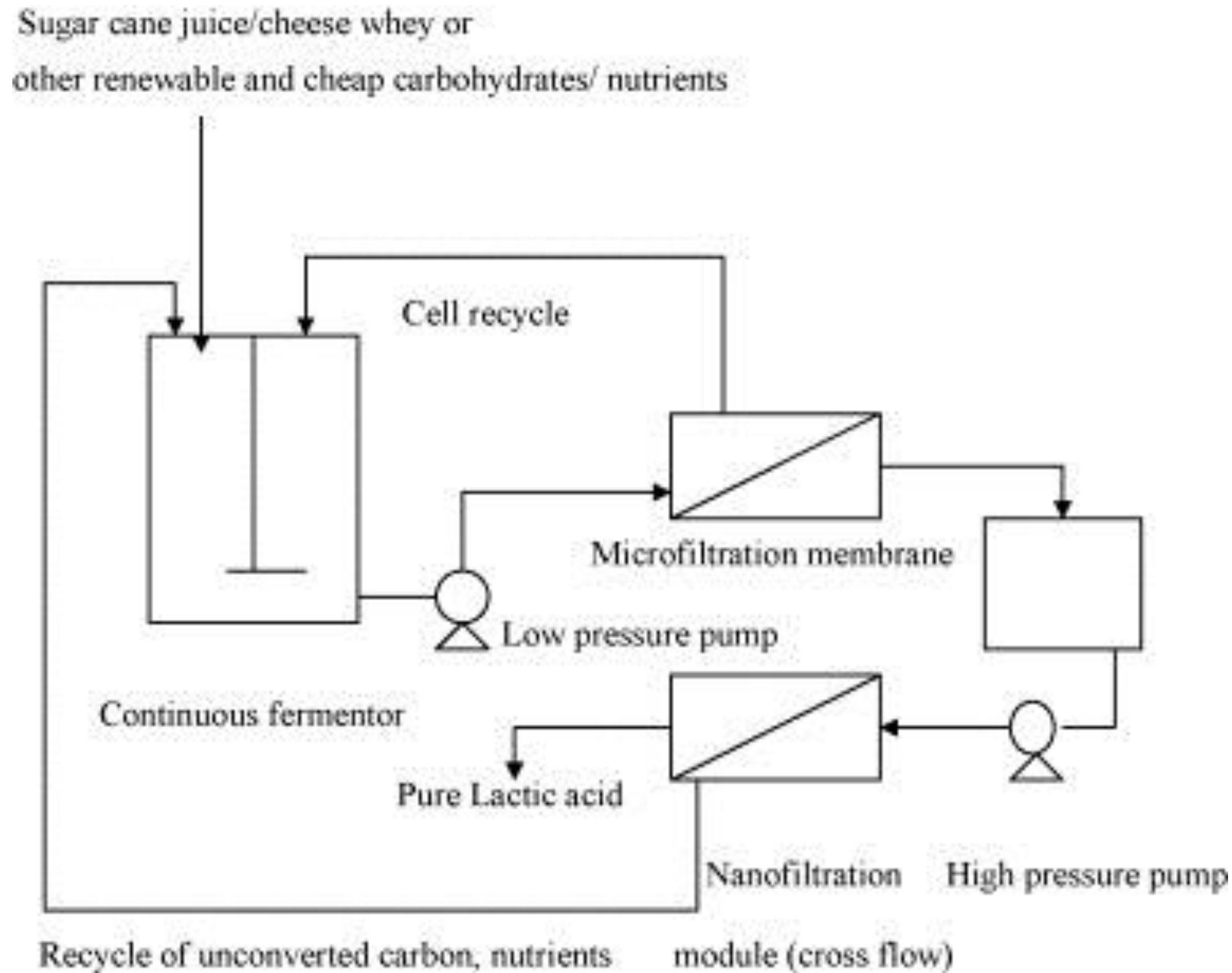
Βασικό διάγραμμα ροής



Βασικό διάγραμμα ροής

- Οι διεργασίες απεικονίζονται ως απλά γεωμετρικά σχήματα, τυπικά κουτιά (ορθογώνια ή τετράγωνα).
- Οι κύριες γραμμές μεταφοράς απεικονίζονται με βέλη σε μία συνολική διεύθυνση ροής.
- Ελαφρά (από πλευράς πτητικότητας) ρεύματα μπαίνουν στο πάνω μέρος του διαγράμματος.
- Βαριά (από πλευράς πτητικότητας) ρεύματα μπαίνουν στο κάτω μέρος του διαγράμματος.
- Μας δίνει τις πιο καίριες πληροφορίες της αντίδρασης, μπορεί να περιλαμβάνει και τις βασικές αντιδράσεις/αντιδρώντα.
- Δίνονται και απλά ισοζύγια μάζας υπο τη μορφή ενδεχομένως παροχών
- Συνοδεύεται πάντα από λεζάντα, αριθμό και περιγραφή-τίτλο.

Βασικό διάγραμμα ροής



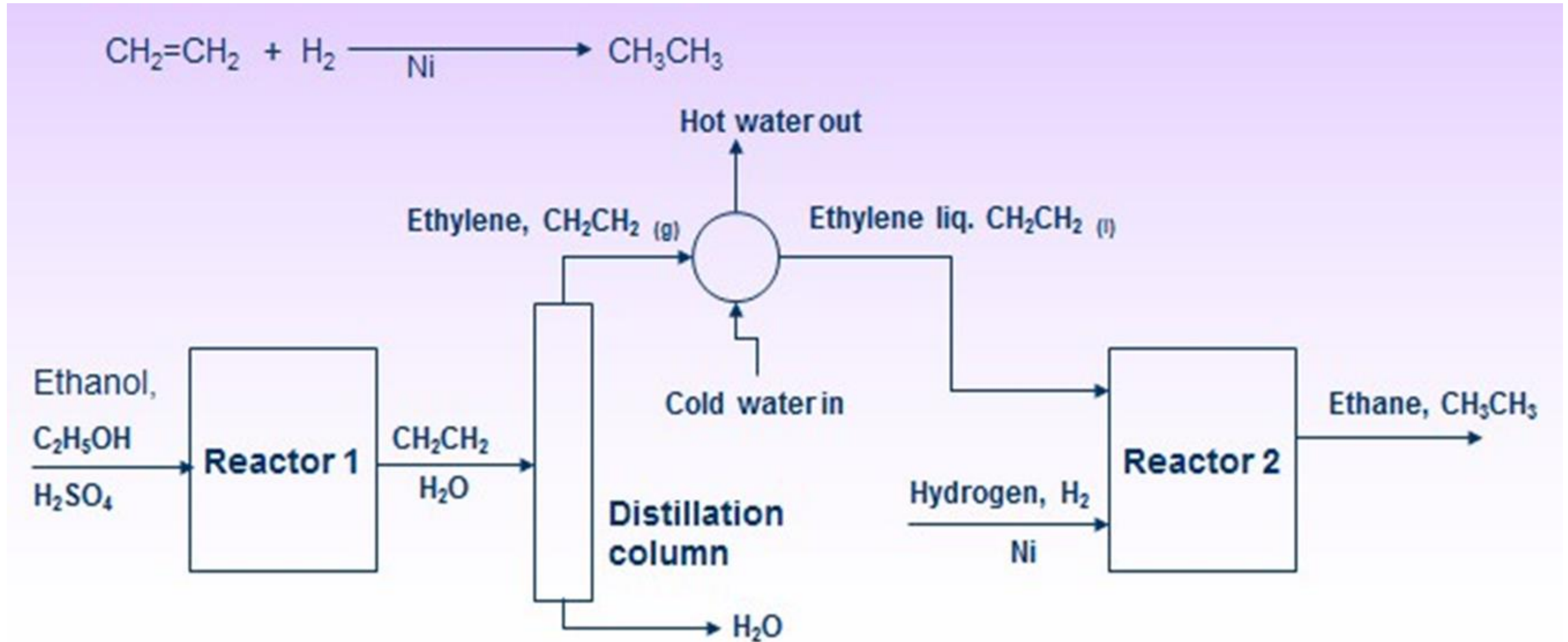
Παραγωγή Αιθανίου από Αιθανόλη

Η Αιθανόλη είναι τροφοδοσία σε συνεχή αντιδραστήρα, παρουσία Θεϊϊκού οξέος που δρά ως καταλύτης, προς τελικό προϊόν Αιθάνιο. Στην απόσταξη επιτυγχάνεται διαχωρισμός του μίγματος Νερό-Αιθυλένιο.

Λαμβάνουμε Αιθυλένιο στην κορυφή της στήλης και έπειτα το συμπυκνώνουμε σε υγρή μορφή.

Σε επόμενο αντιδραστήρα λαμβάνει χώρα η υδρογόνωση του Αιθυλενίου παρουσία καταλύτη Νικελίου προς το τελικό προϊόν Αιθάνιο.

Διάγραμμα ροής Αιθανόλη προς Αιθάνιο



Διάγραμμα ροής - Process flow diagram (PFD)

- Αποτυπώνει όλες τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ροών υλικών, ενέργειας και εξοπλισμού.
- Μεταξύ άλλων περιέχει και τις παρακάτω πληροφορίες:
 - ✓ Το σύνολο του εξοπλισμού, όπως αντλίες, βάνες, συμπιεστές, στήλες.
 - ✓ Αριθμημένα ρεύματα.
 - ✓ Όλες τις βοηθητικές παροχές όπως γραμμές ατμού, συμπιεσμένος αέρας, ρεύματα ψύξης, κτλ.
 - ✓ Όλες τις ροές υλικών: χαρακτηρίζονται από κάποιο αριθμό, συνθήκες (πίεση, θερμοκρασία), χημική σύσταση.
 - ✓ Βασικούς βρόγχους ελέγχου: αποτυπώνουν τη στρατηγική ελέγχου.

Διάγραμμα ροής - Process flow diagram (PFD)

Επιπρόσθετα μπορεί να αποτυπώνει:

- ✓ Τοπολογία της διεργασίας: θέση εξοπλισμού και συνδεσμολογία των ρευμάτων.
- ✓ Πληροφορίες ρευμάτων: συνθήκες, συστάσεις....
- ✓ Πληροφορίες για τον εξοπλισμό: υλικό κατασκευής, είδος, διαστάσεις.

Αποτύπωση Διαγράμματος ροής

- Χρήση λογισμικού για βασική αποτύπωση, πχ AUTOCAD, VISIO
- Αυτού του είδους το λογισμικό έχει αναπτυχθεί και για μηχανική διεργασιών
- Τυπικά δεδομένα του λογισμικού:
 - ✓ Ταυτότητα οργάνου/εξοπλισμού
 - ✓ Αριθμός ταυτοποίησης
 - ✓ Διαστάσεις

Αποτύπωση εξοπλισμού

Ο εξοπλισμός που αποτυπώνεται σε ένα διάγραμμα ροής έχει μία ταυτότητα ή όνομα που τον ξεχωρίζει το οποίο αποτελείται από δύο μέρη ένα γράμμα και ένα αριθμό, π.χ. R-101, όπου:

Το γράμμα δηλώνει το είδος του εξοπλισμού:

- **R** – **R**eactor
- **E** – **E**xchanger
- **P** – **P**ump
- **C** – **C**ompressor

Αποτύπωση εξοπλισμού

Οι αριθμοί έχουν αύξουσα σειρά.

Όταν το διάγραμμα χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα, αντιστοιχεί μια δεκάδα (10, 20, 30) ή εκατοντάδα (100, 200, 300) σε κάθε τμήμα.

Έτσι:

- **R** – 101 είναι ο πρώτος κατά σειρά αντιδραστήρας στο τμήμα 100
- **E** – 203 είναι ο τρίτος εναλλάκτης στο τμήμα 200

*τυπικά τα τμήματα είναι τα σημεία του χημικού εργοστασίου όπου λαμβάνουν χώρα συγκεκριμένες διεργασίες, πχ στο τμήμα 100 γίνονται οι αντιδράσεις, στο τμήμα 200 ανάκτηση θερμότητας από τα θερμά ρεύματα εξόδου των αντιδραστήρων, στο τμήμα 300 γίνεται διαχωρισμός προϊόντων και παραπροϊόντων κοκ.

Διάγραμμα σωληνώσεων και οργάνων – Process and instrumentation diagram, P&ID

Περιλαμβάνουν

- Καταγραφικά
- Ρυθμιστές
- Χαρακτηριστικά σωληνώσεων

Δε περιλαμβάνουν

- Παροχές
- Τεχνικές λεπτομέρειες που αφορούν καθαρά στη χημική διεργασία, πχ είδος καταλύτη
- Συνθήκες λειτουργίας
- Λεπτομέρειες για τις σωληνώσεις που αφορούν σε: μήκη, λεπτομέρειες διαδρομών
- Θεμελίωση και μηχανική στήριξη του εξοπλισμού

Σύμβολα – Αρίθμηση οργάνων μέτρησης/ρύθμισης

- Τυπικά τα όργανα συμβολίζονται με κύκλο όπου δίνεται ο αριθμός και το είδος του οργάνου
- Δίνεται 1 αριθμός και 2 ή 3 λατινικοί χαρακτήρες
- Το πρώτο γράμμα δηλώνει τη μετρούμενη/ελεγχόμενη μεταβλητή:
 - (T)emperature = θερμοκρασία
 - (P)ressure = πίεση
 - (L)evel = στάθμη
 - (F)low = ροή
- Το δεύτερο/τρίτο γράμμα (εφόσον υπάρχουν) δηλώνουν τη λειτουργία του οργάνου:
 - (I)ndicator = ένδειξη
 - (R)ecorder = καταγραφή
 - (C)ontroller = ρύθμιση
 - (A)larm = σήμα κινδύνου
- Όπου τα ρυθμιστικά όργανα μπορεί να είναι:
 - Τυφλά
 - Ενδεικτικά
 - Καταγραφικά

Σύμβολα – Αρίθμηση οργάνων μέτρησης/ρύθμισης

Τα γράμματα ορίζουν ποιό είναι το μετρούμενο μέγεθος και ο σκοπός του οργάνου:

- Το πρώτο γράμμα δηλώνει τη μετρούμενη μεταβλητή (μέγεθος)
- Το δεύτερο γράμμα δηλώνει το λειτουργικό σκοπό του οργάνου

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

- PI (Pressure Indicator) – Ενδεικτικό πίεσης
- TI (Temperature Indicator) – Ενδεικτικό θερμοκρασίας
- FI (Flow Indicator) – Ενδεικτικό ροής
- LI (Level Indicator) – Ενδεικτικό στάθμης

Τα γράμματα ορίζουν ποιό είναι το μετρούμενο μέγεθος και ο σκοπός του οργάνου

Κατά αναλογία υπάρχουν οι:

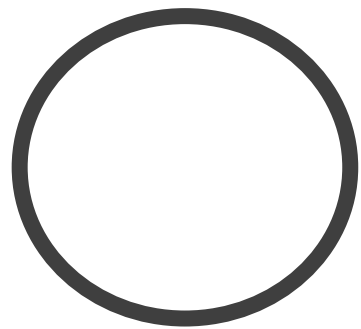
- **Ρυθμιστές** πίεσης (Pressure Controller – PC) και ακολούθως οι TC, FC, LC.
- **Ρυθμιστές** πίεσης με **ένδειξη** (Pressure Indicator & Controller – PIC), TIC, FIC, LIC.
- **Καταγραφικοί Ρυθμιστές** πίεσης (Pressure Recorder & Controller – PRC), TRC, FRC, LRC.

Σύμβολα – Αρίθμηση οργάνων μέτρησης/ρύθμισης

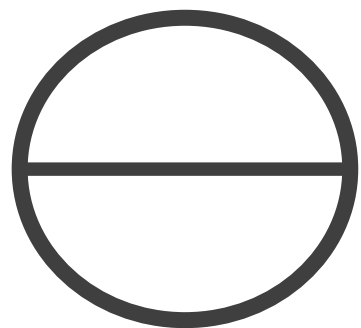
Το γεωμετρικό σχήμα, πχ κύκλος, που συμβολίζει το όργανο εμπεριέχει και τον αριθμό του οργάνου:

Η αρίθμηση των οργάνων ακολουθεί τους ίδιους κανόνες που ακολουθεί και η αρίθμηση του εξοπλισμού.

Αν σχηματίζεται βρόχος οργάνων, δηλαδή ένα κλειστό υποσύστημα οργάνων, πχ ρυθμιστής πίεσης που συνδέεται με βάννα εκτόνωσης, τότε στον ίδιο βρόχο όλα τα διαφορετικά όργανα παίρνουν τον ίδιο αριθμό.



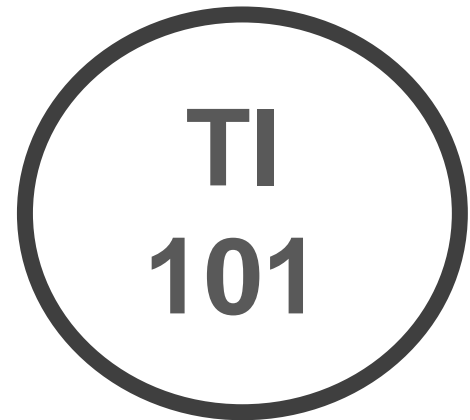
Τοπικό όργανο



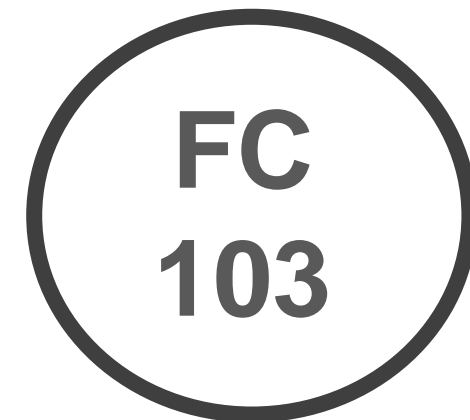
Όργανο που βρίσκεται στον κεντρικό θάλαμο ελέγχου (control room)

Σύμβολα – Αρίθμηση οργάνων μέτρησης/ρύθμισης

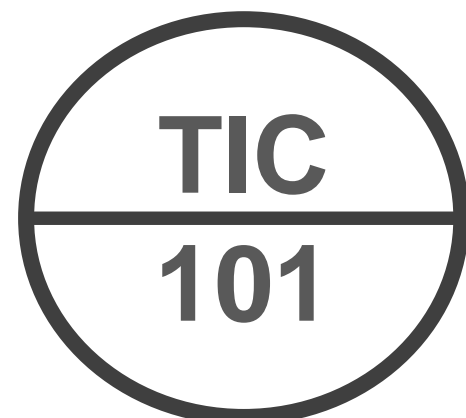
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ



Ενδεικτικό θερμοκρασίας.
Είναι το πρώτο στη σειρά.
Εγκατεστημένο στο σημείο μέτρησης.



Ρυθμιστής ροής.
Τρίτος ρυθμιστής στη σειρά.
Εγκατεστημένος στο σημείο μέτρησης.



Ενδεικτικός ρυθμιστής θερμοκρασίας.
Πρώτος ενδεικτικός ρυθμιστής θερμοκρασίας.
Εγκατεστημένος στον κεντρικό θάλαμο ελέγχου.

Σύμβολα – Αρίθμηση οργάνων μέτρησης/ρύθμισης

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ



Γραμμή σύνδεσης κύριας σωλήνωσης ή δοχείου με όργανο.



Σωληνώσεις σήματος αέρος οργάνων – πνευματικό σήμα.



Γραμμή ηλεκτρικού σήματος οργάνων.



Τριχοειδείς σωληνώσεις οργάνων.



Υδραυλικό σήμα οργάνων.



Μετατροπέας πνευματικού σήματος σε ηλεκτρικό.



Μετατροπέας ηλεκτρικού σήματος σε πνευματικό.

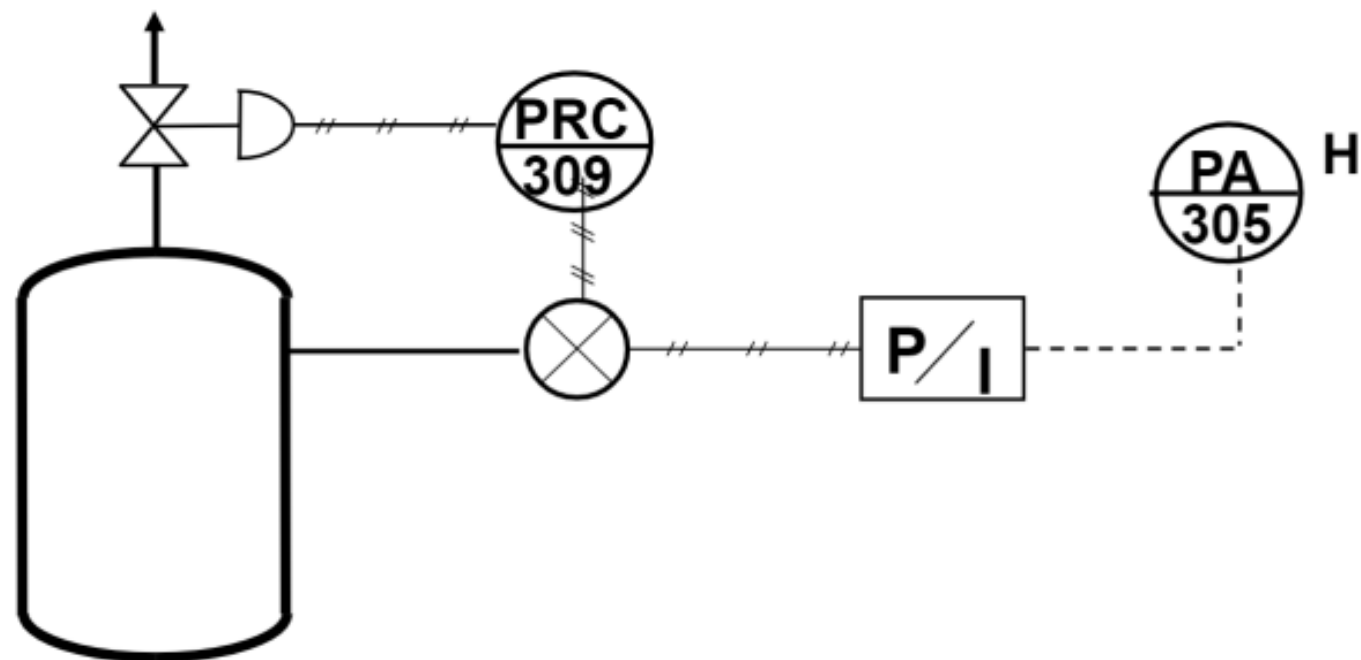
Σύμβολα – Αρίθμηση οργάνων μέτρησης/ρύθμισης

Οι βασικές μεταβλητές ρύθμισης μίας διεργασίας είναι τυπικά 4:

- Θερμοκρασία
- Πίεση
- Ροή
- Στάθμη

Τα συστήματα ρύθμισης αποτελούνται από 3 βασικά μέρη:

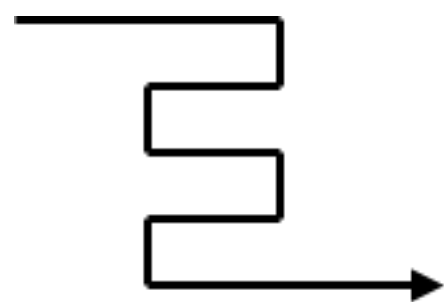
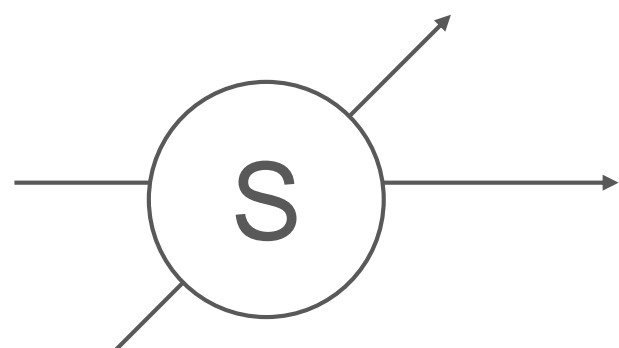
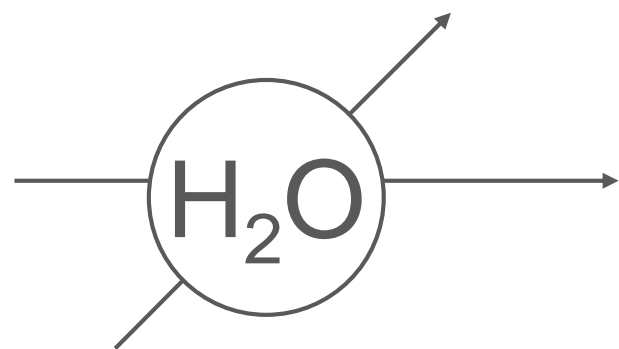
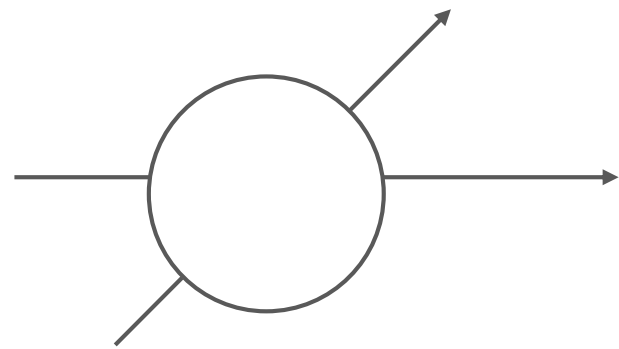
- Το όργανο μέτρησης του αντίστοιχου μεγέθους/μεταβλητής
- Τον ρυθμιστή
- Το τελικό όργανο που είναι υπεύθυνο για το φυσικό κομμάτι του ελέγχου, πχ μία βάνα



Η βάνα είναι τύπου PRCV, Pressure recorder control valve.

Σύμβολα Διαγράμματος ροής

Σύμβολο



Περιγραφή

Εναλλάκτης θερμότητας

Ψύκτης νερού

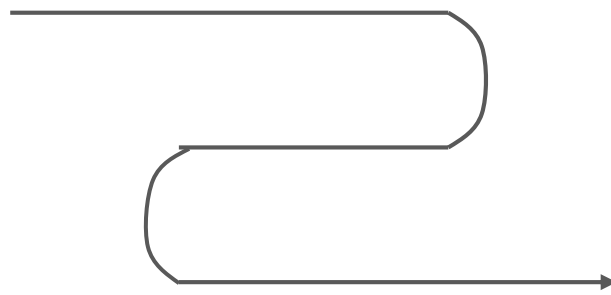
Θέρμανση με ατμό

Σπείρα ψύξης

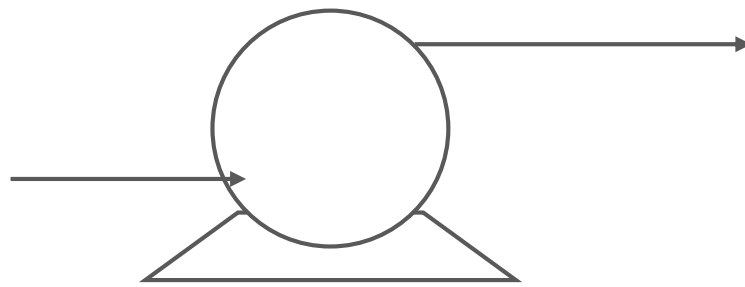
Σύμβολα Διαγράμματος ροής

Σύμβολο

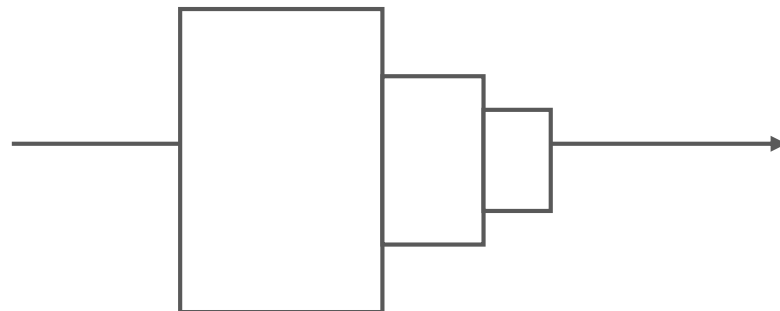
Περιγραφή



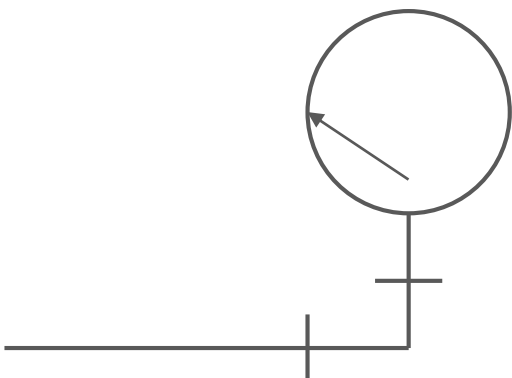
Σπείρα θέρμανσης



Φυγοκεντρική αντλία

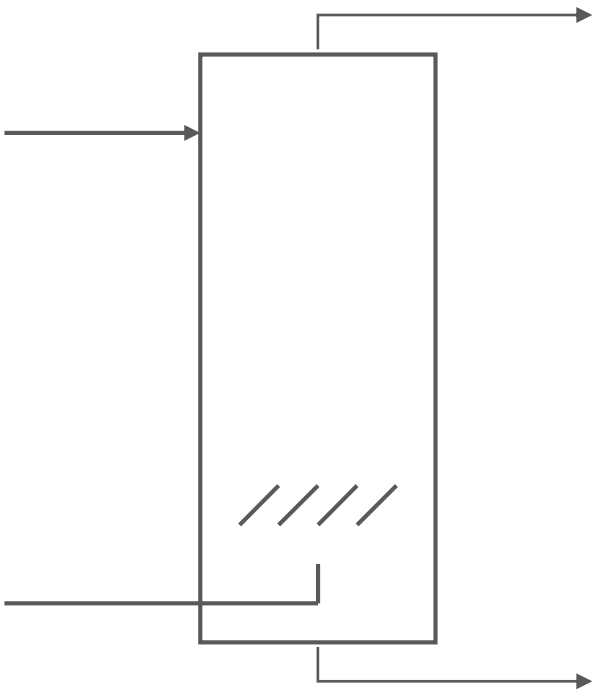
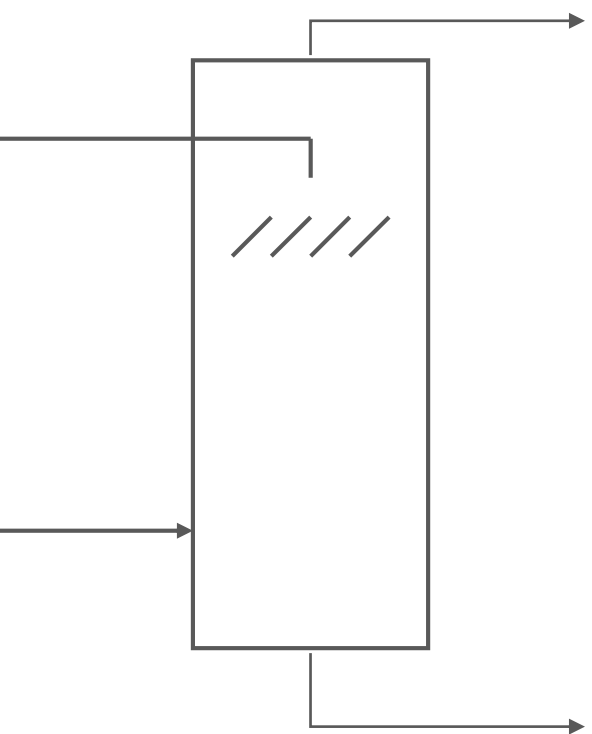


Συμπιεστής τουρμπίνας



Μετρητής πίεσης

Σύμβολα Διαγράμματος ροής

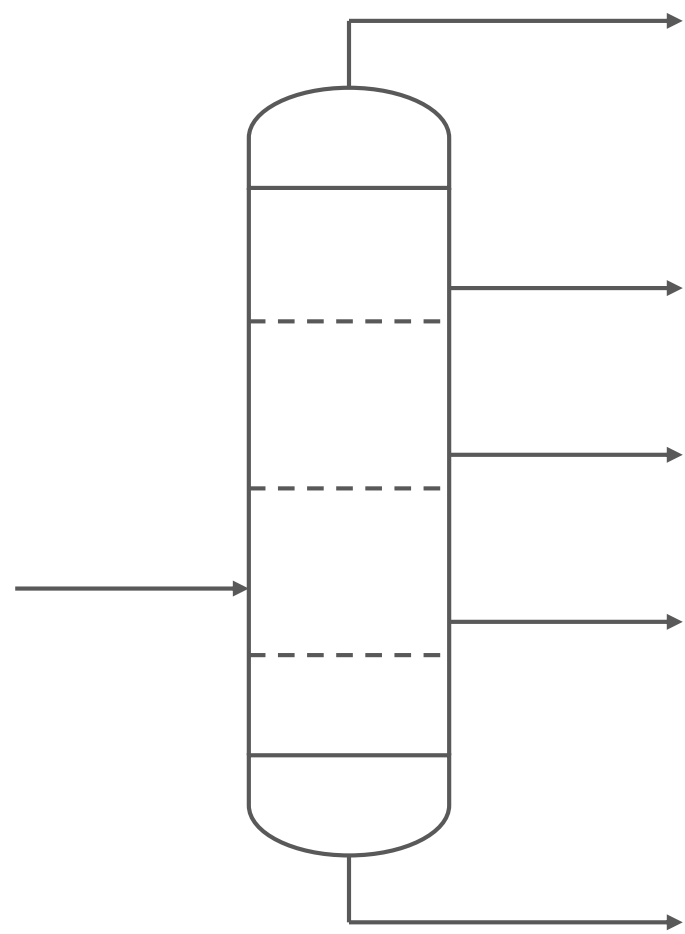
<u>Σύμβολο</u>	<u>Όνομα</u>	<u>Περιγραφή</u>
	Απογυμνωτής Stripper	Αφαίρεση συστατικού από υγρό ρεύμα με βοήθεια αέριου ρεύματος Πχ καθαρισμός νερού (sour water)
	Στήλη απορρόφησης Absorber	Αφαίρεση συστατικού από αέριο ρεύμα με βοήθεια υγρού ρεύματος Πχ H_2S από ελαφριούς υδρογονάνθρακες

Σύμβολα Διαγράμματος ροής

Σύμβολο

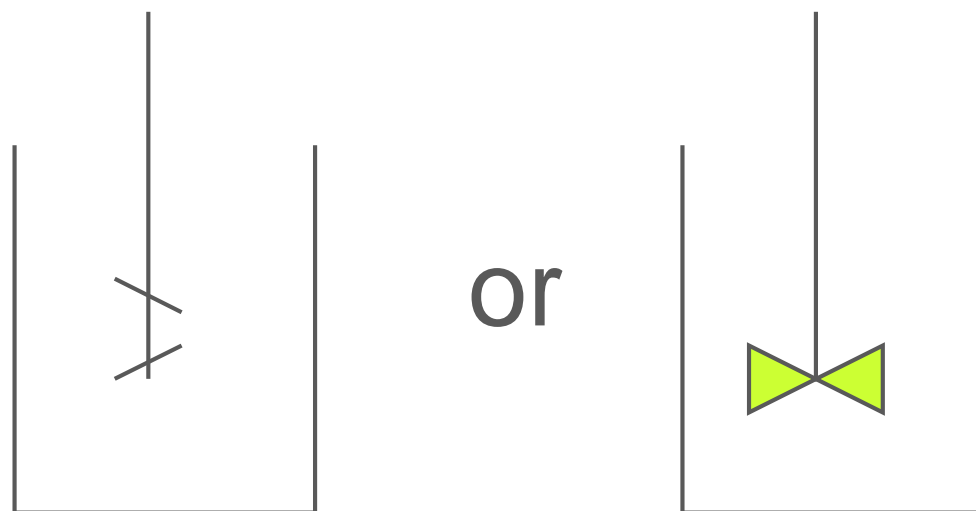
Όνομα

Περιγραφή



Στήλη απόσταξης
Distillation column

Διαχωρισμός υγρού ρεύματος σε κλάσματα

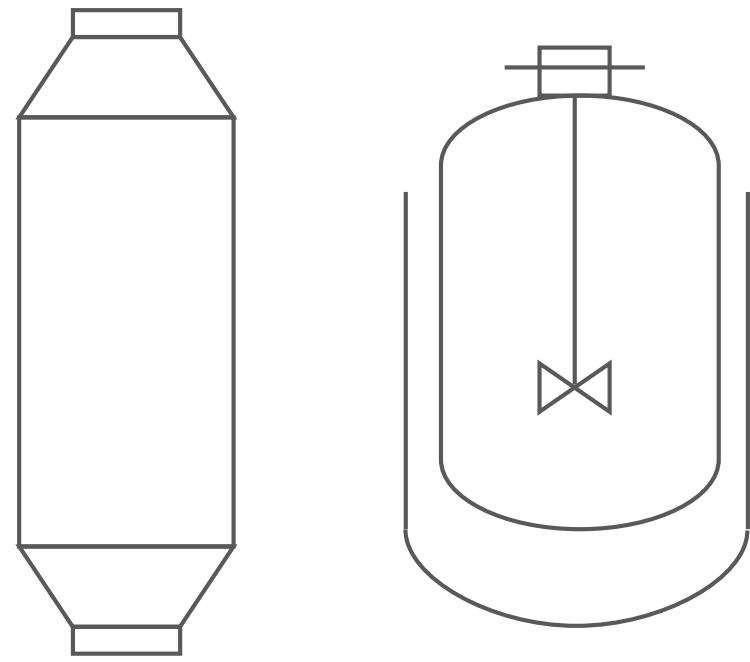


Αναμίκτης υγρών
Liquid mixer

Ανάμιξη διαφορετικών υγρών ρευμάτων

Σύμβολα Διαγράμματος ροής

Σύμβολο



Όνομα

Αντιδραστήρες

Περιγραφή

Σημείο όπου λαμβάνει χώρα χημική αντίδραση ή διεργασία



Οριζόντιο δοχείο ή κύλινδρος

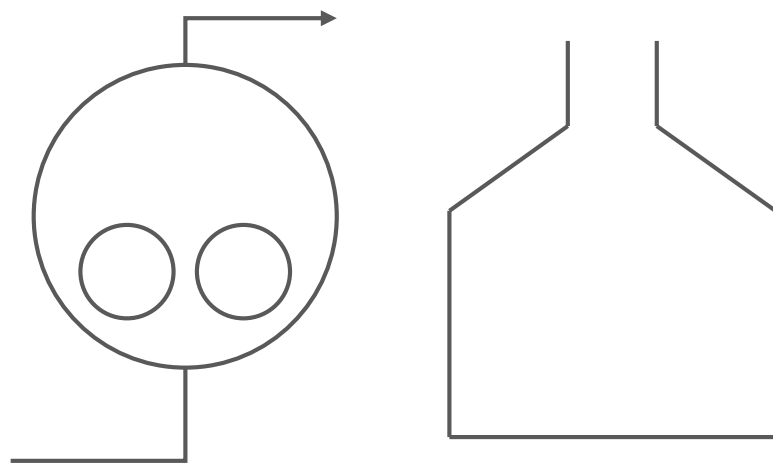
Αποθήκευση υγρού ή αερίου

Σύμβολα Διαγράμματος ροής

Σύμβολο

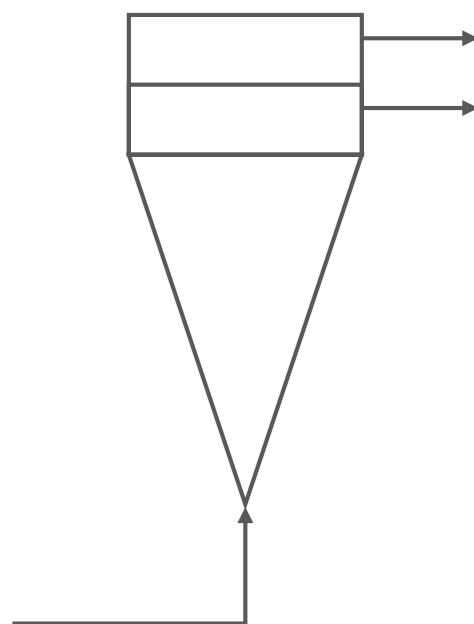
Όνομα

Περιγραφή



Μπόιλερ

Καλύπτει ανάγκες θέρμανσης



Φυγόκεντρος

Φυσική διεργασία διαχωρισμού
Πχ έλαιο-νερό

Σύμβολα Διαγράμματος ροής

Σύμβολο

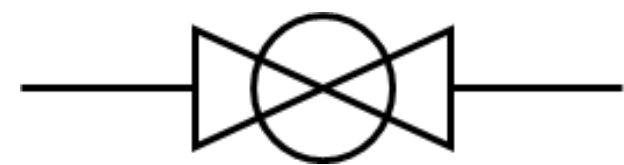
Όνομα



Gate Valve



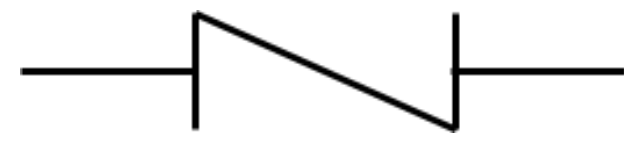
Globe Valve



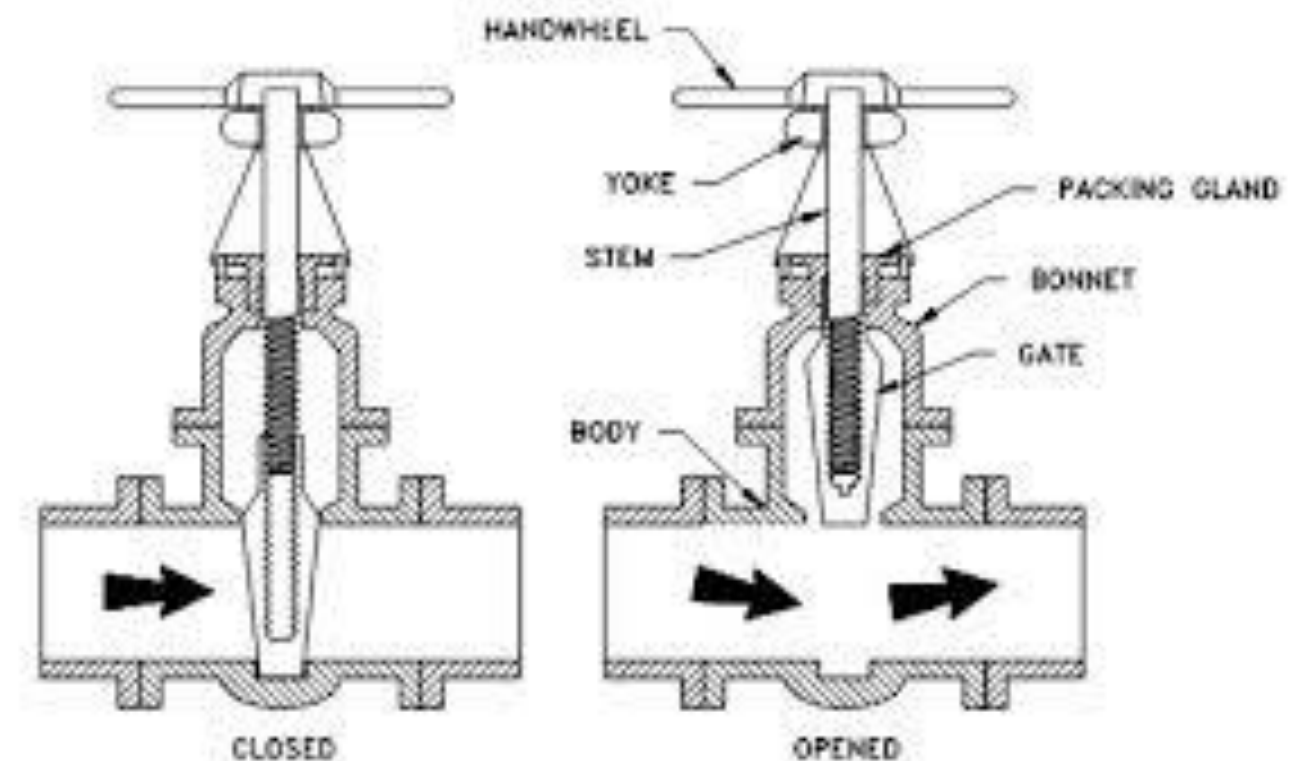
Ball Valve



Check Valve



Butterfly Valve



Σύμβολα Διαγράμματος ροής

Σύμβολο

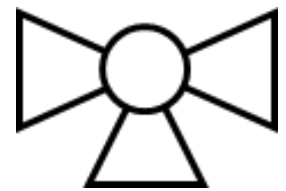
Όνομα



Needle Valve (a)



Butterfly Valve (b)



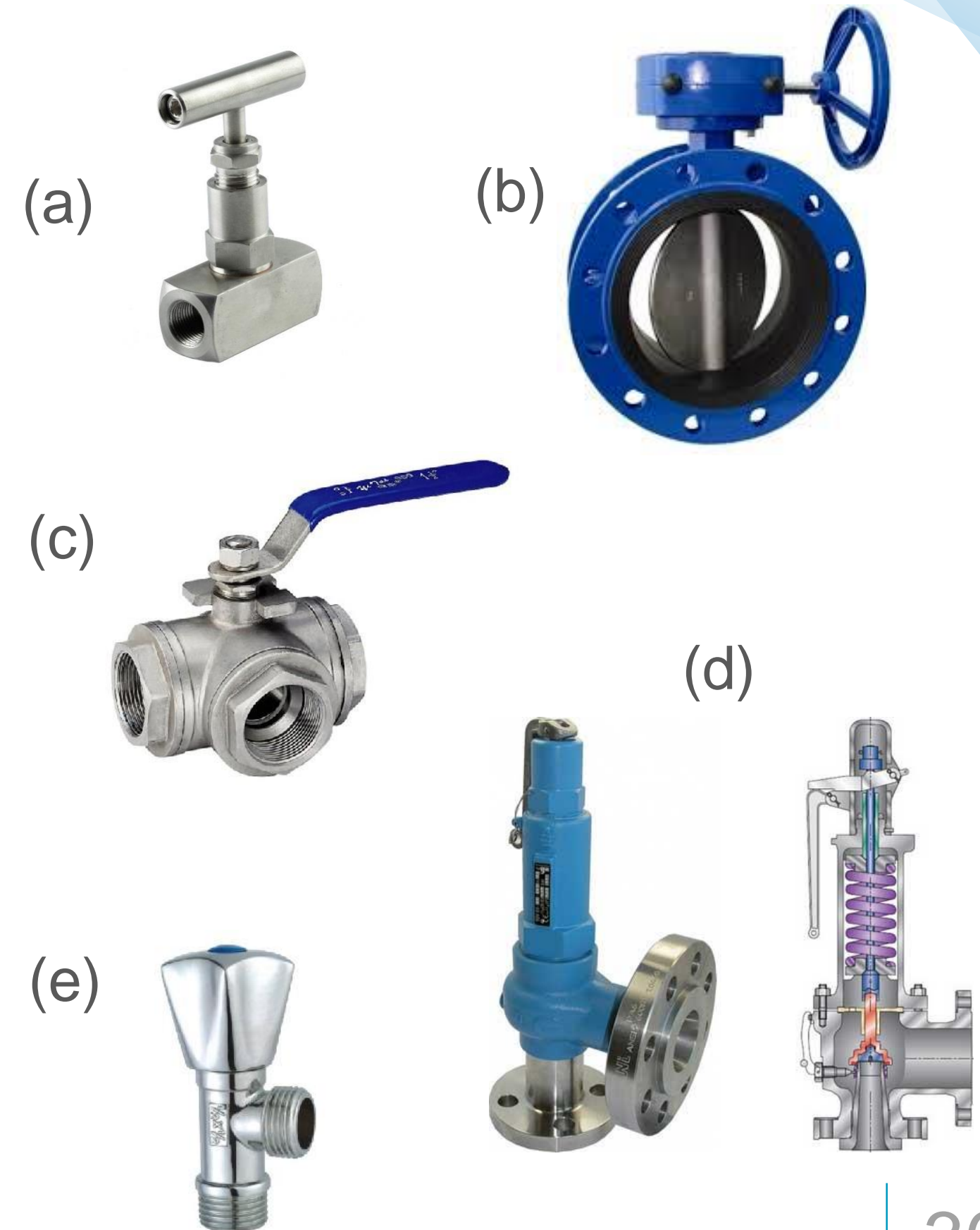
3-way Valve (c)



Relief Valve (d)



Angle Valve (e)

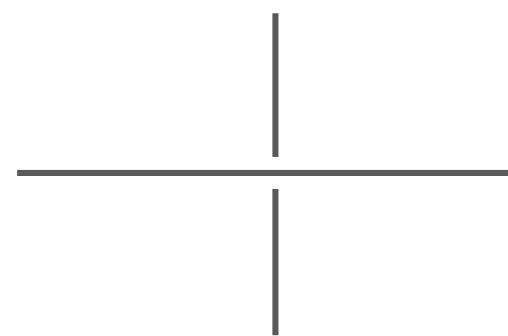


Αποτύπωση Διαγράμματος ροής

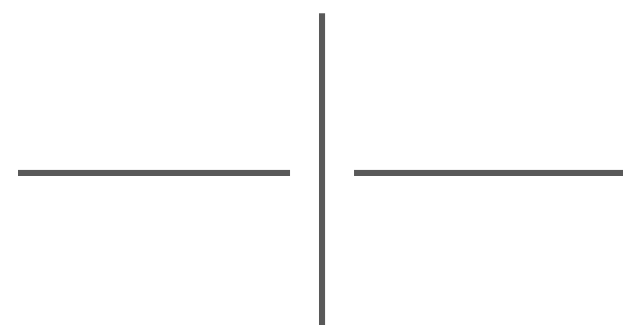
* Το διάγραμμα ροής αποτυπώνει όλες τις ροές υλικών: χαρακτηρίζονται από κάποιο αριθμό, συνθήκες (πίεση, θερμοκρασία), χημική σύσταση.

Γενικοί κανόνες για αρίθμηση και σχεδίαση γραμμών

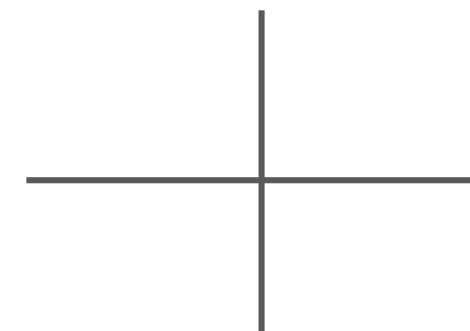
- Αύξοντες αριθμοί από αριστερά προς δεξιά
- Οι οριζόντιες γραμμές «κόβουν» τις κάθετες



NAI

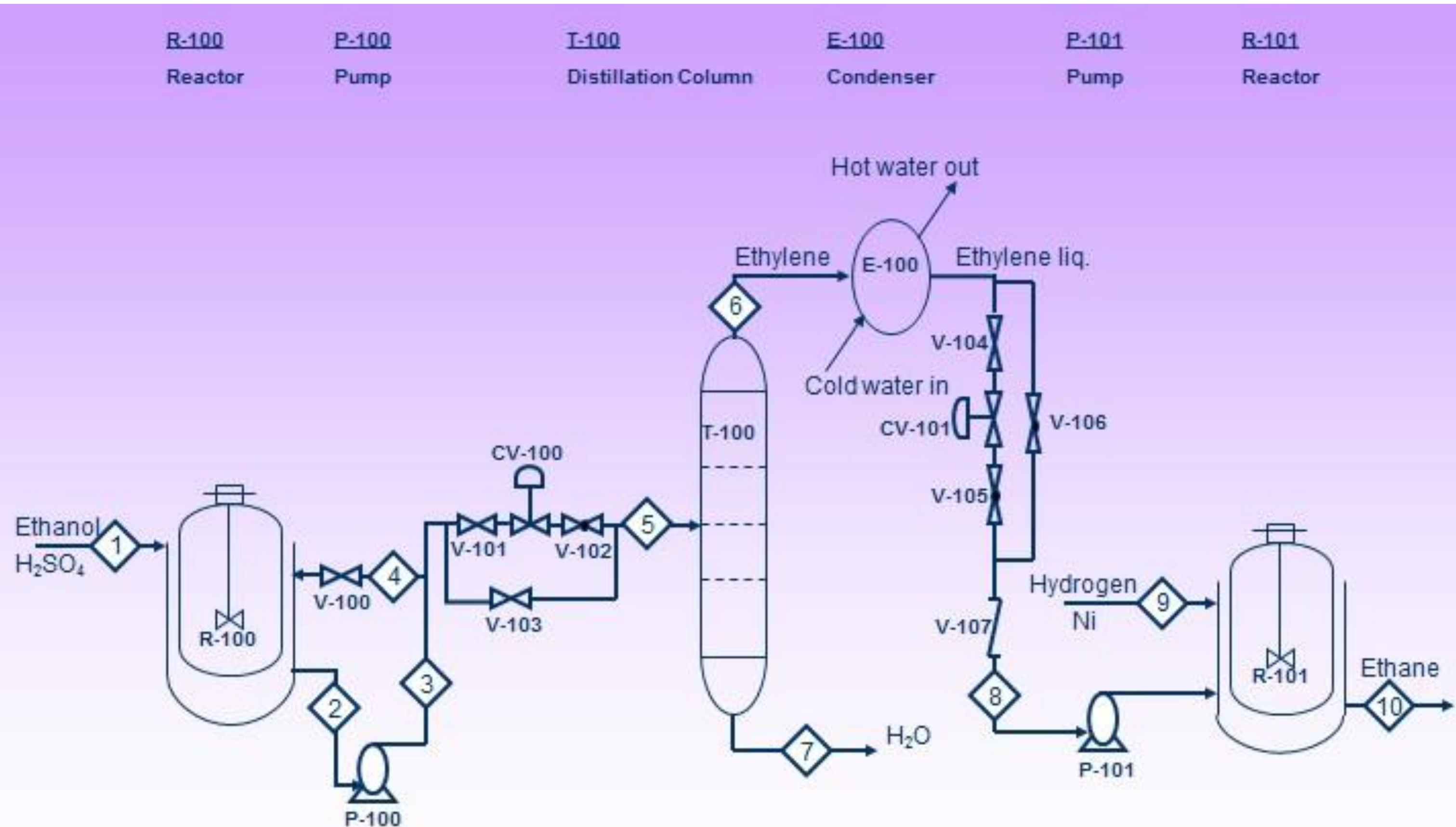


OXI



OXI

Παράδειγμα Διαγράμματος ροής



Αποτύπωση Διαγράμματος ροής

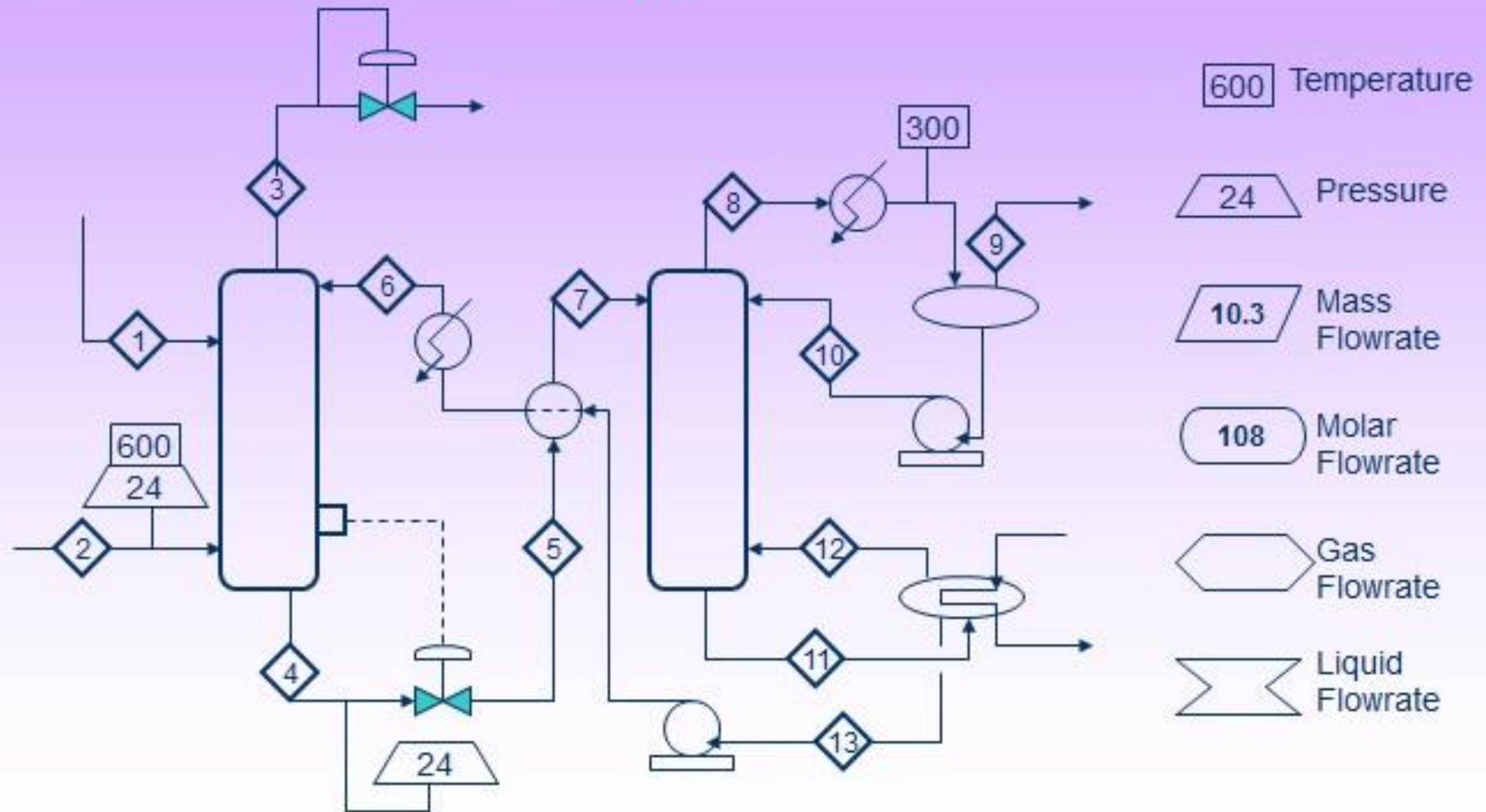
Περιγραφή ρευμάτων

Αφορά κυρίως σε αντιδραστήρες, πύργους ψύξης, κτλ.

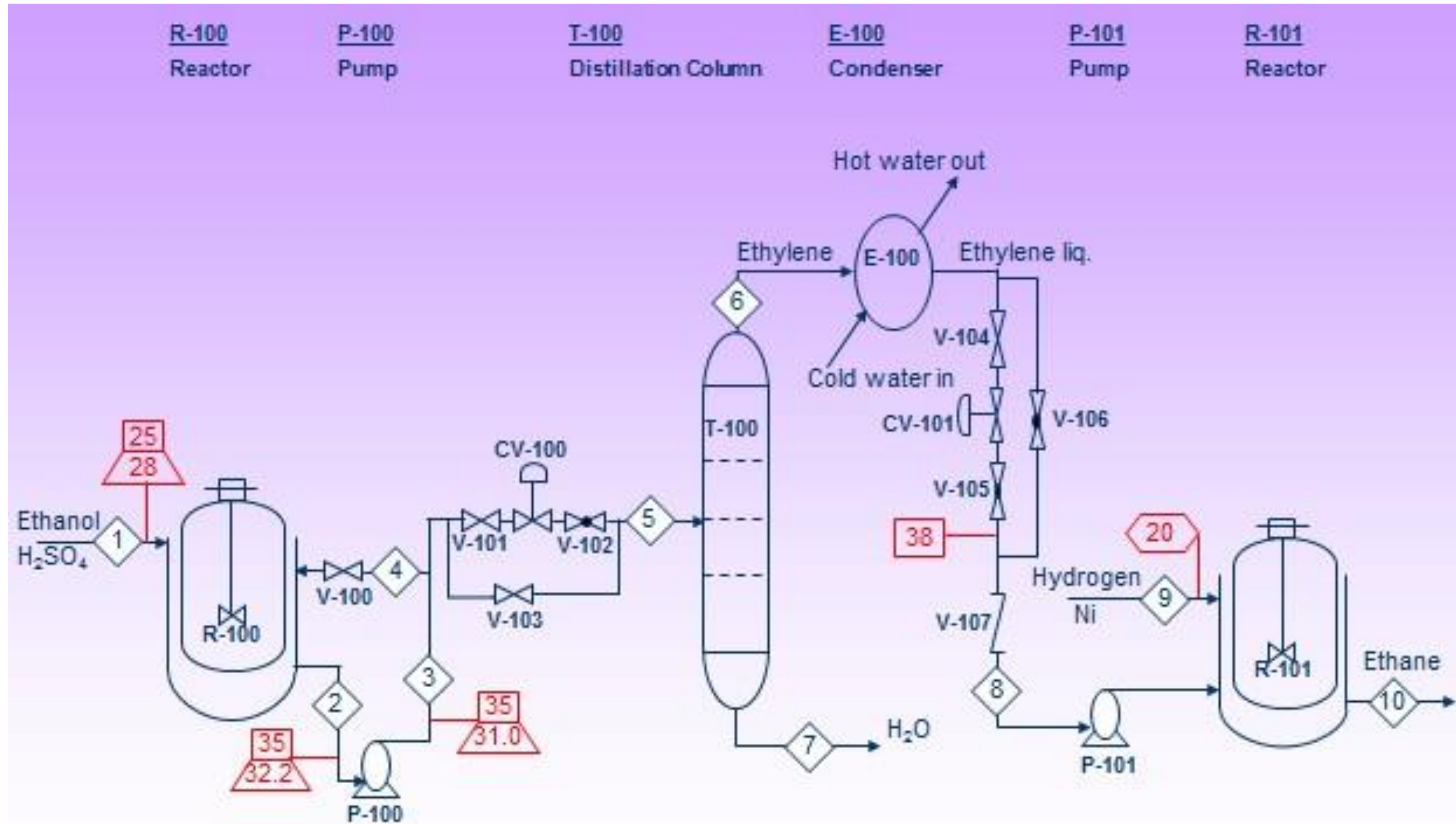
- Χρησιμοποιούμε επισημάνσεις (flags, labels) όπου χρειάζεται
- Μπορούμε να συμπεριλάβουμε και τα πλήρη δεδομένα

Παράδειγμα Διαγράμματος ροής

Stream Information - Flag



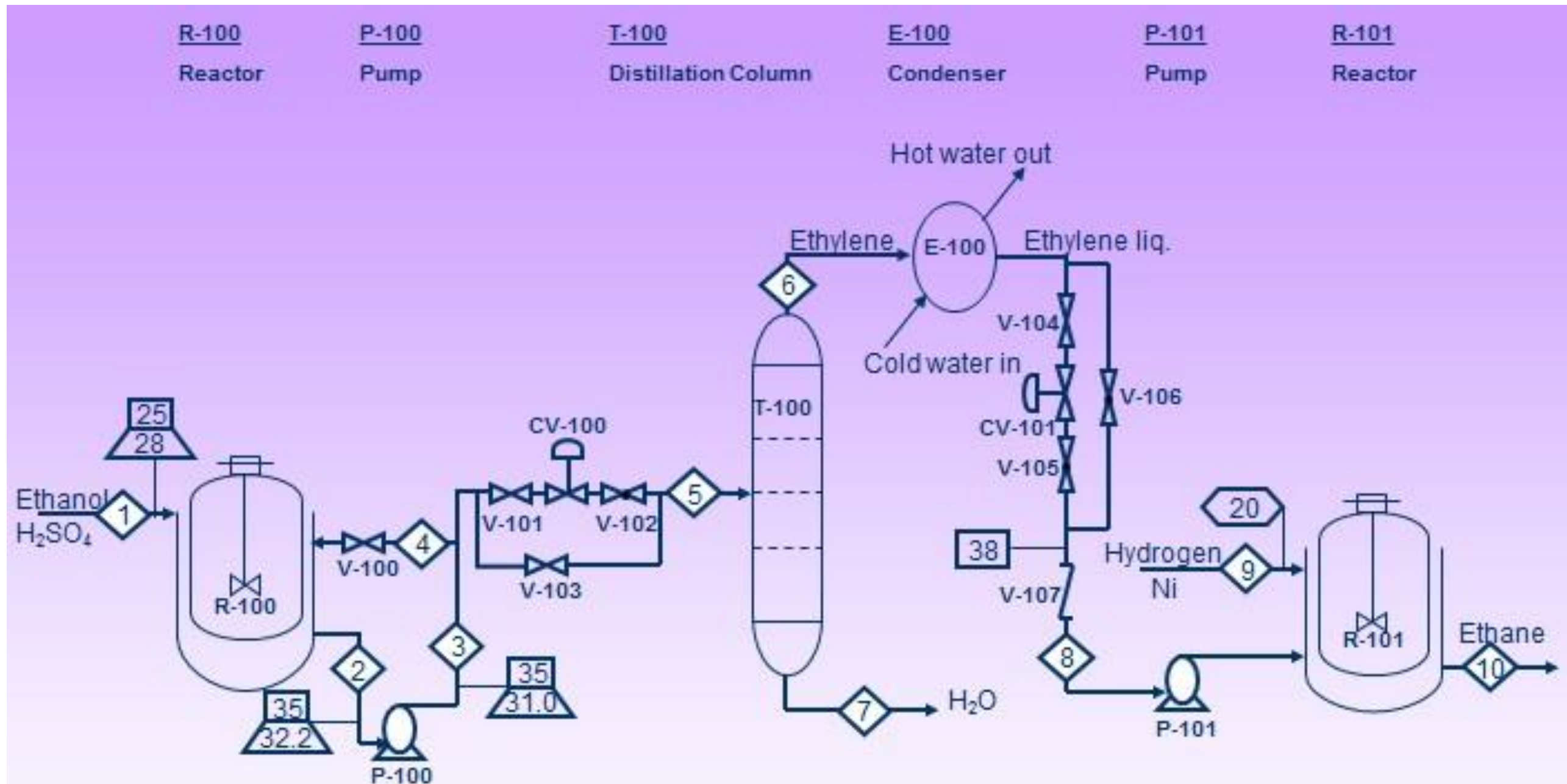
Παράδειγμα Διαγράμματος ροής



Πληροφορία και δεδομένα ρεύματος

Αριθμός ρεύματος	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Θερμοκρασία (°C)	25.0	35.0	35.0	35.0	35.0	60.3	41	38	54.0	45.1
Πίεση (psi)	28	32.2	31.0	31.0	30.2	45.1	31.3	24.0	39.0	2.6
Μερική πίεση										

Παράδειγμα Διαγράμματος ροής



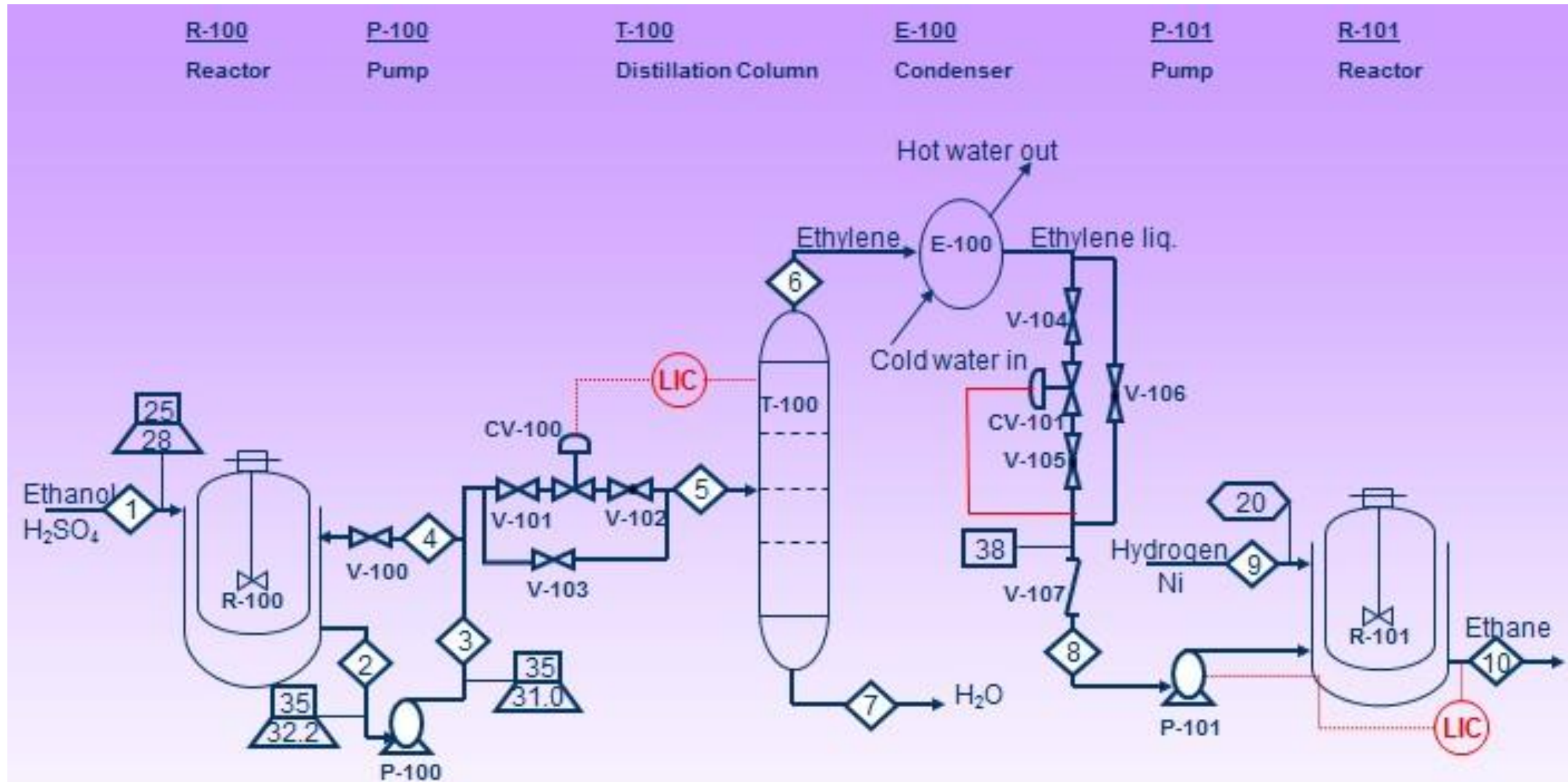
Stream Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperature (oC)	25.0	35.0	35.0	35.0	35.0	60.3	41	38	54	45.1
Pressure (psi)	28	32.2	31.0	31.0	30.2	45.1	31.3	24.0	39	2.6
Vapor fraction										
Mass flow (tonne/hr)	10.3	13.3	0.82	20.5	6.41	20.5	0.36	9.2	20.9	11.6
Mole flow (kmol/hr)	108	114.2	301.0	1204.0	758.8	1204.4	42.6	1100.8	142.2	244.0

Αποτύπωση Διαγράμματος ροής

Επιπρόσθετα, ένα διάγραμμα ροής πιθανώς να περιέχει επιπλέον πληροφορία που αφορά στο σύστημα ελέγχου της διεργασίας.

Μπορούμε να αποτυπώσουμε κάποιους βρόγχους ελέγχου.

Παράδειγμα Διαγράμματος ροής



Stream Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperature (oC)	25.0	35.0	35.0	35.0	35.0	60.3	41	38	54	45.1
Pressure (psi)	28	32.2	31.0	31.0	30.2	45.1	31.3	24.0	39	2.6
Vapor fraction										
Mass flow (tonne/hr)	10.3	13.3	0.82	20.5	6.41	20.5	0.36	9.2	20.9	11.6
Mole flow (kmol/hr)	108	114.2	301.0	1204.0	758.8	1204.4	42.6	1100.8	142.2	244.0

Σωληνώσεις και όργανα

Οι βασικές πληροφορίες χωρίζονται σε υποκατηγορίες:

- Διάφορες συσκευές και μηχανολογικός εξοπλισμός
- Σωληνώσεις και μέσα μεταφοράς (πχ ιμάντες)
- Βάνες
- Πληροφορίες για διαστάσεις, ονομαστικές πιέσεις, κατηγορίες υλικών
- Μονώσεις, ηλεκτρικοί μανδύες

Κύρια διεργασία - συσκευή

Βασικά βήματα για σχεδιασμό κύριας συσκευής:

1) Σχεδιασμός βάσει της διεργασίας

- Εφαρμοσμένη γνώση σε μηχανική θερμικών, χημικών, μηχανικών, βιολογικών διεργασιών
- Υδροδυναμική: διάμετρος και ύψος αντιδραστήρα, εναλλάκτες θερμότητας, σχεδιασμός συμπιεστών: θερμοδυναμικά δεδομένα
- Όλα τα αποτελέσματα αποτυπώνονται σε τεχνικό δελτίο (technical data sheet)

2) Σχεδιασμός βάσει απαιτούμενων ανοχών του συστήματος

- Υπολογισμοί για πάχη τοιχωμάτων

3) Σχεδιασμός βάσει αναγκών υλοποίησης της μονάδας

- Βάσει αναλυτικών σχεδίων
- Ανάθεση σε υπεργολάβους

Χωροταξία

- Σε γενικές γραμμές αρκετά πολύπλοκο ζήτημα
- Λαμβάνει χώρα μετά την υποβολή αναλυτικού P&I

ΣΑΣ ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ!

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ;

Κωνσταντίνος Καλογιάννης – kkalogia@cperi.certh.gr

<https://www.linkedin.com/in/konstantinos-kalogiannis/>

https://www.researchgate.net/profile/Konstantinos_Kalogiannis

<http://www.lefh.cperi.certh.gr/people>

NoWasteBioTech - <http://nowastebiotech.cperi.certh.gr>