

# Ενεργειακές Τεχνολογίες

## Απόσταξη Πετρελαίου



# Αναγκαιότητα Απόσταξης Αργού Πετρελαίου

- Το αργό πετρέλαιο δε χρησιμοποιείται ως έχει για τρεις κυρίως λόγους
  - Οι σύγχρονοι κινητήρες απαιτούν προϊόντα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ποιότητας, που δεν ικανοποιούνται από το αργό πετρέλαιο
  - Οι διάφοροι τύποι αργού διαφέρουν μεταξύ τους, οπότε ακόμη και εάν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί κάπου το αργό ως έχει, δε θα μπορούσε να γίνει εναλλαγή μεταξύ διαφορετικών τύπων
  - Λόγοι ασφαλείας απαγορεύουν τη χρήση ελαφρών συστατικών σε εγκαταστάσεις χρήσης βαρέων καυσίμων όπως οι λέβητες (το αργό περιέχει πολλά ελαφρά συστατικά)
- Επιβεβλημένη η διυλιστηριακή επεξεργασία του αργού για την παραλαβή των επιθυμητών προϊόντων
  - Διαχωρισμός σε κλάσματα
  - Χημική μετατροπή σε προϊόντα με τις επιθυμητές ιδιότητες
  - Εξευγενισμός και ανάμιξη των τελικών προϊόντων

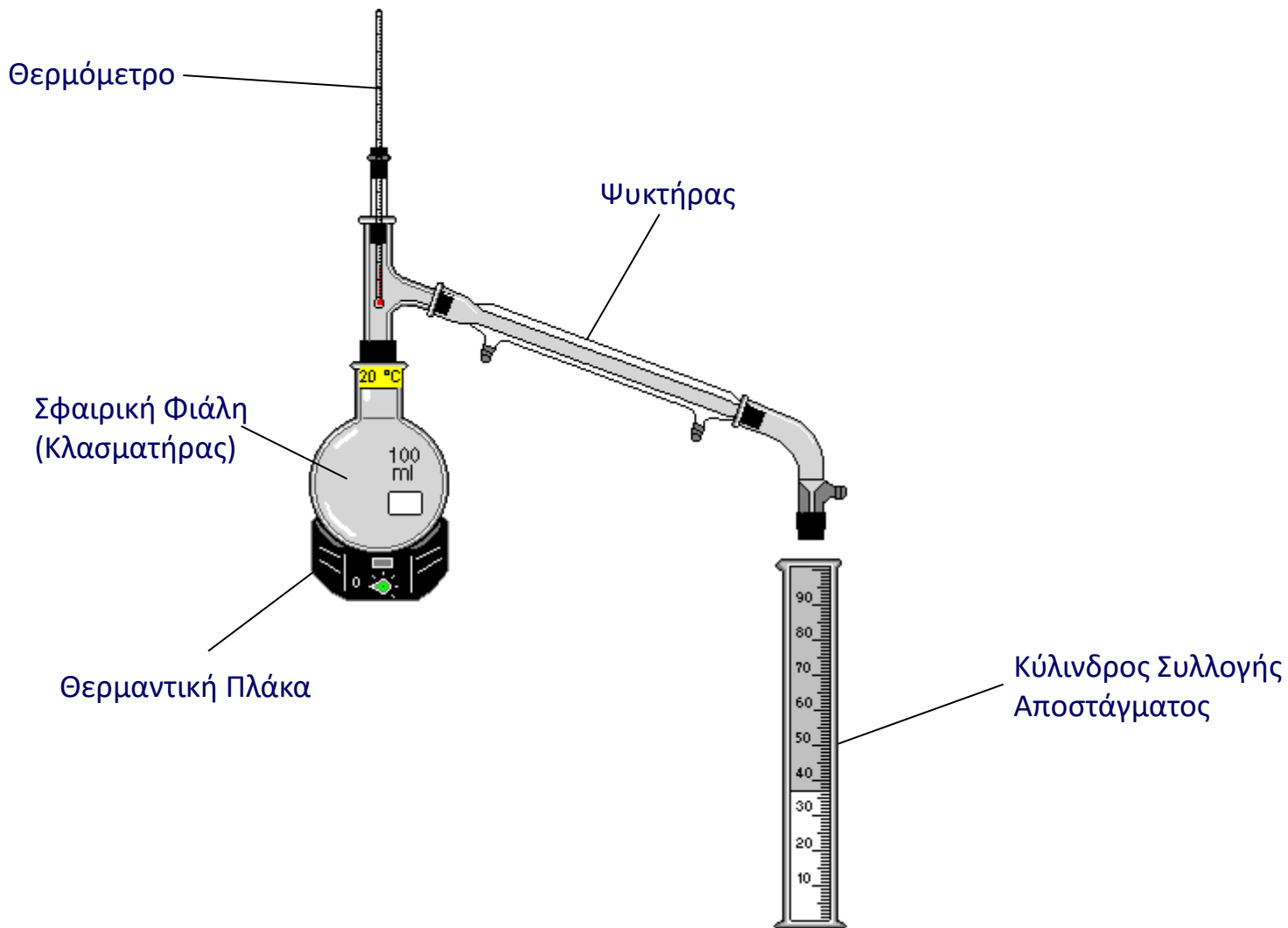


# Απόσταξη

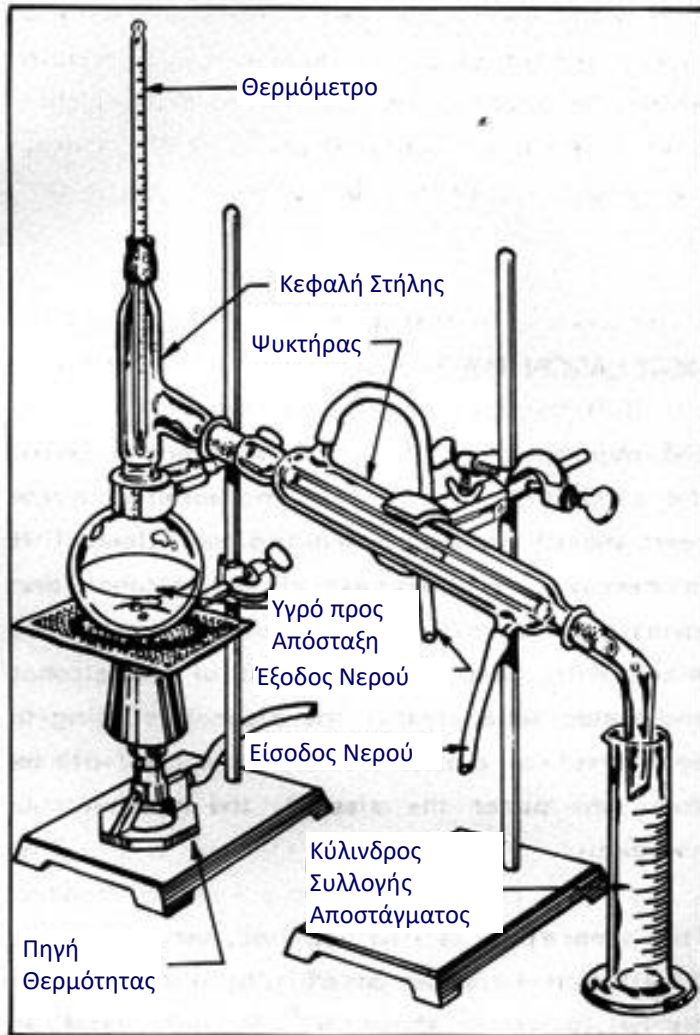
- Φυσική διεργασία διαχωρισμού
- Βασίζεται στη διαφορά πτητικότητας (σημεία βρασμού) των συστατικών
- Η πιο συνήθης βιομηχανική διεργασία διαχωρισμού
- Προϊόντα
  - Προϊόν Κορυφής: το ελαφρύτερο συστατικό
  - Προϊόν Πυθμένα: το βαρύτερο συστατικό
- Απαιτούνται:
  - Θερμή τροφοδοσία που μέρος της να εξατμίζεται στη στήλη απόσταξης
  - Συνεχής ροή υγρού από την κορυφή προς τα κάτω
  - Συνεχής ροή ατμών από κάτω προς τα πάνω



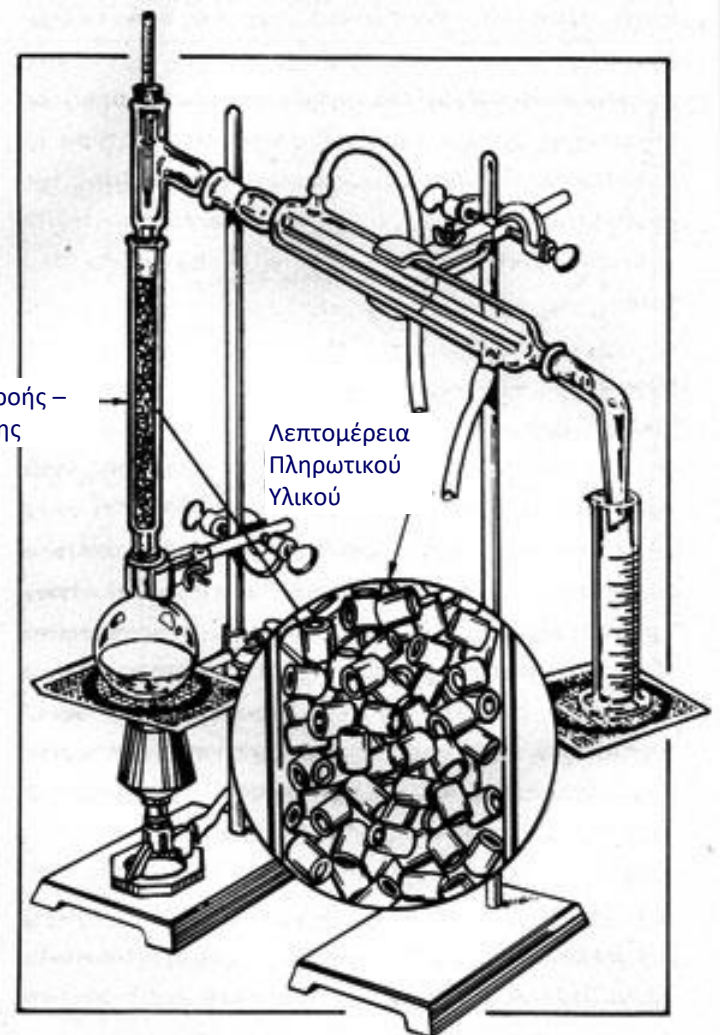
# Βασικά Χαρακτηριστικά Εργαστηριακής Συσκευής Απόσταξης



# Σύγκριση Απλής με Κλασματική Απόσταξη



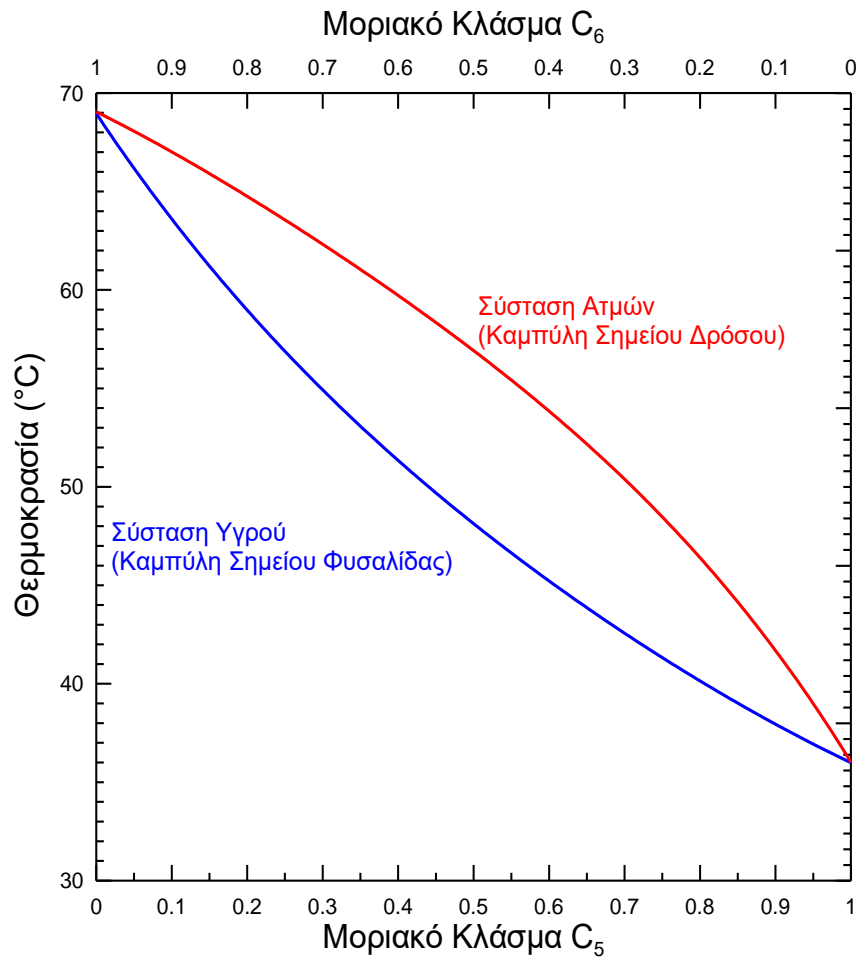
Απλή Απόσταξη



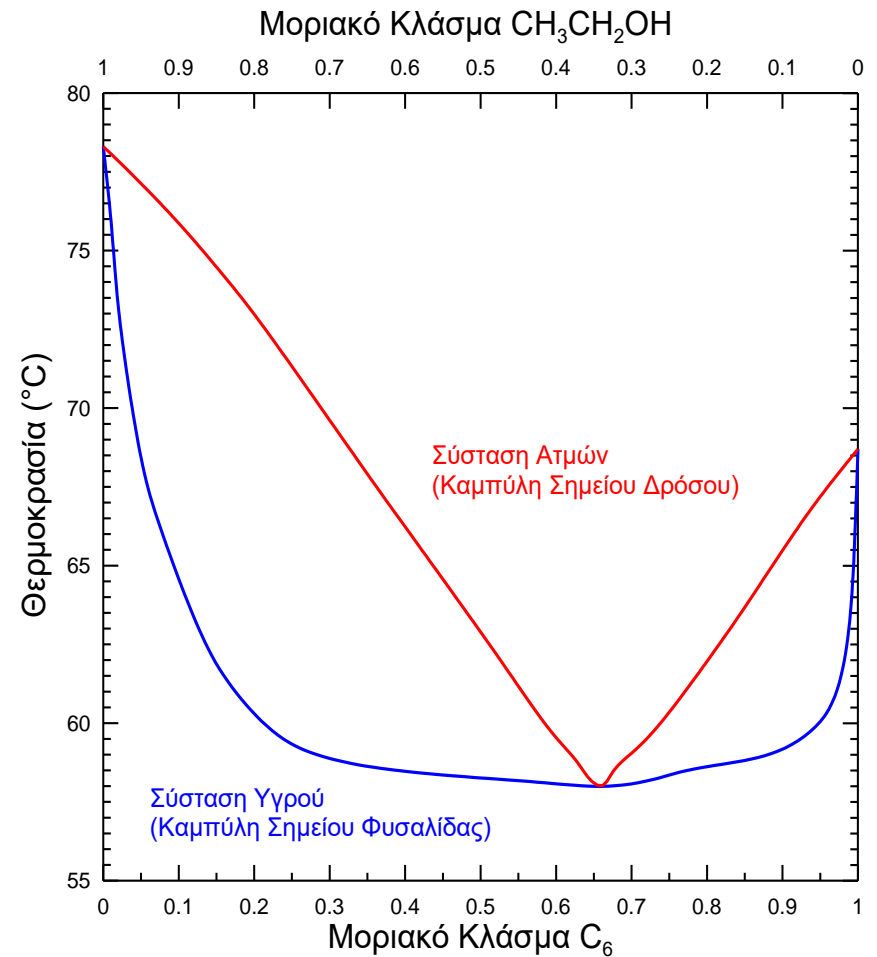
Κλασματική Απόσταξη



# Ιδανικά – Μη Ιδανικά Μίγματα



Ιδανικό Μίγμα

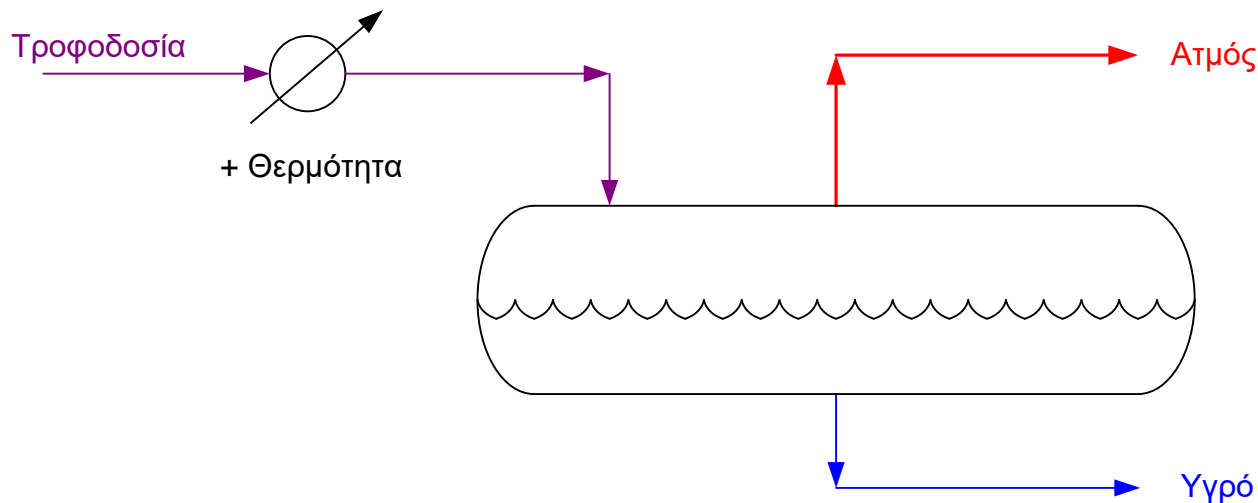


Μη Ιδανικό Μίγμα  
(Αζεότροπο)



# Βασικά Στοιχεία Κλασμάτωσης

- Η κλασμάτωση διαχωρίζει συστατικά με βάση τις διαφοροποιήσεις στα σημεία βρασμού
- Τύποι Κλασμάτωσης
  - Απλή εκτόνωση (flash) (μιας βαθμίδας)
    - Η υγρή τροφοδοσία εξατμίζεται μερικώς σε μια συνεχή διεργασία ενός σταδίου. Ο ατμός διαχωρίζεται από το εναπομένον υγρό, συνήθως σε ένα κυλινδρικό δοχείο που ονομάζεται δοχείο εκτόνωσης (flash drum)
    - Φτωχός Διαχωρισμός
      - Οι ατμοί περιέχουν σημαντικό μέρος βαρύτερων συστατικών, και το υγρό περιέχει ελαφρά συστατικά



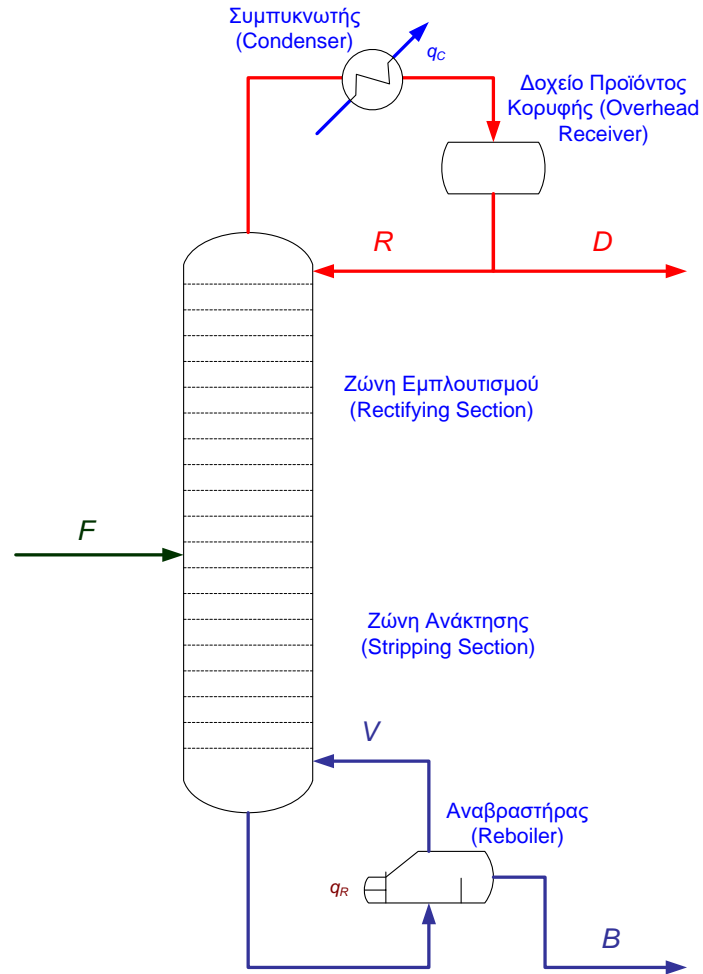
# Κλασματική Απόσταξη (Πολυβάθμια)

- Κλασματική απόσταξη (πολυβάθμια)
  - Ο διαχωρισμός πραγματοποιείται σε κυλινδρικές κολώνες που ονομάζονται στήλες.
    - Κάθε δίσκος (βαθμίδα) λειτουργεί ως δοχείο εκτόνωσης που περιέχει και υγρό και ατμούς
    - Απόδοση
      - Καλός Διαχωρισμός
      - Οικονομική Λειτουργία

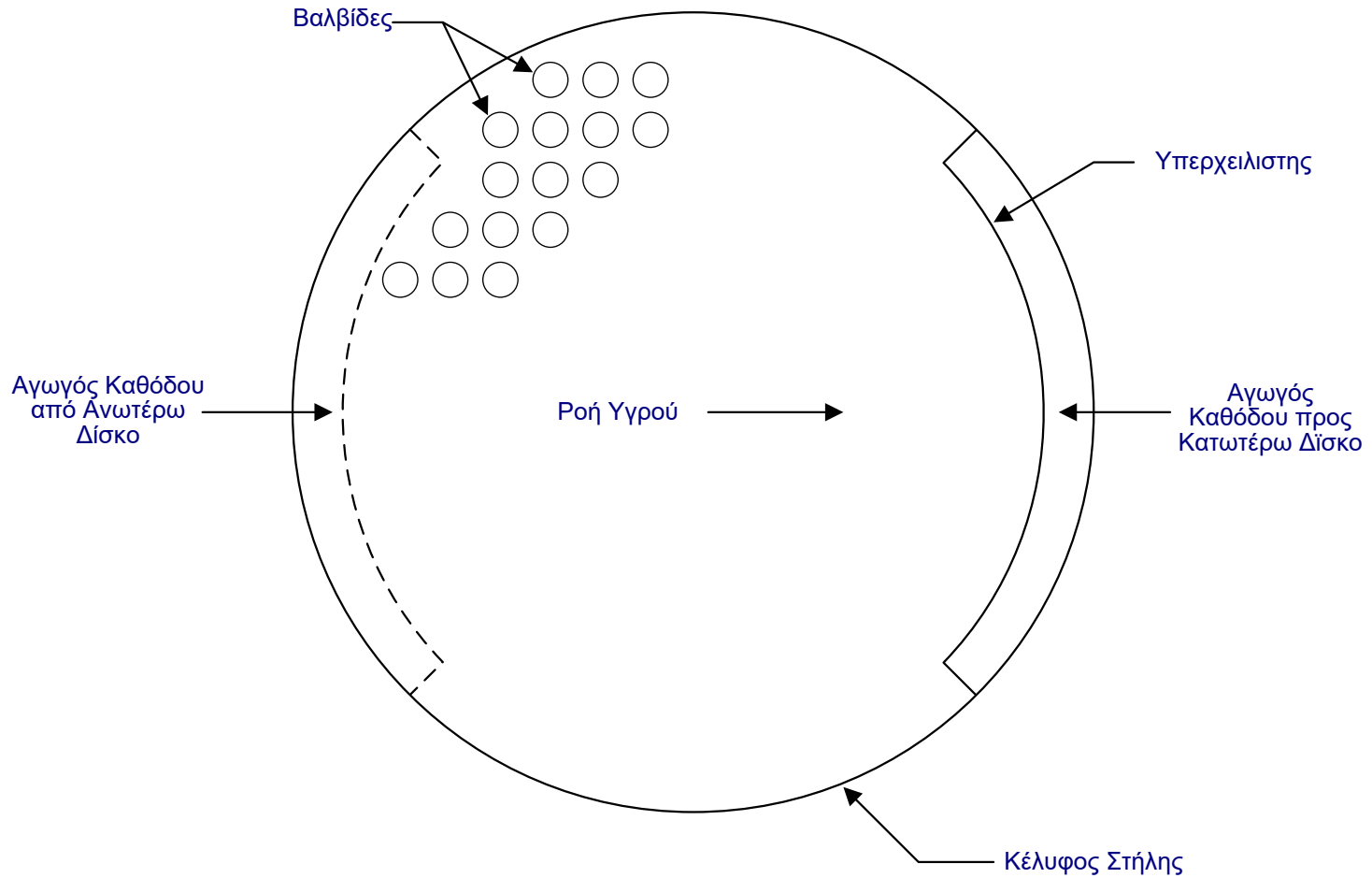




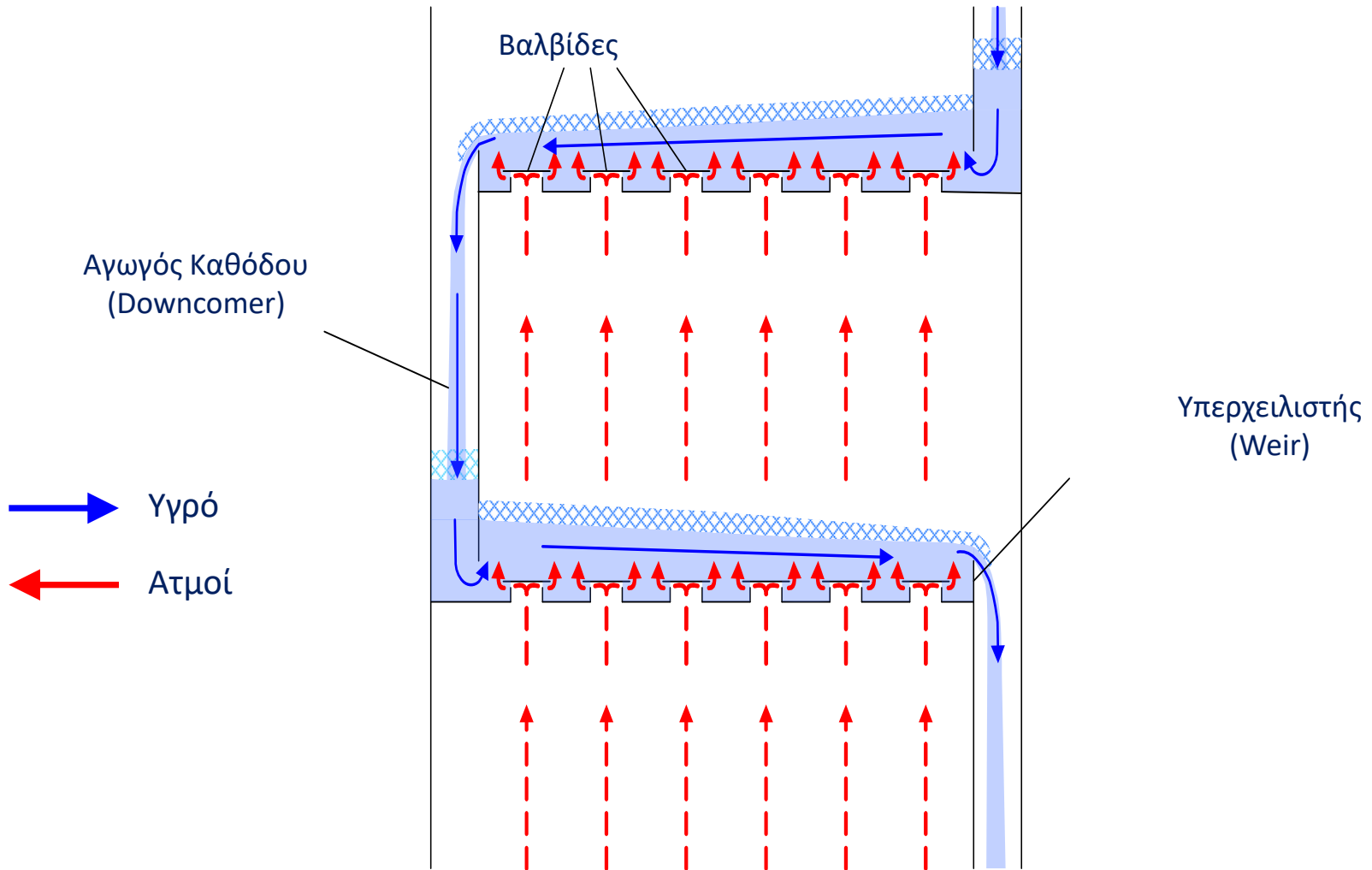
# Διαμόρφωση Στήλης Απόσταξης



# Κάτοψη Δίσκου



# Λειτουργία Δίσκου Αποστακτικής Στήλης



# Απόσταξη Αργού Πετρελαίου

- Στήλες Απόσταξης Πετρελαίου
  - Ιστορικά, η παλιότερη διεργασία επεξεργασίας πετρελαίου
  - Αποτελεί το πρώτο μόνο στάδιο της επεξεργασίας
- Σκοπός
  - Ανάκτηση ελαφρών συστατικών
  - Κλασμάτωση σε κλάσματα συγκεκριμένων περιοχών βρασμού
- Διαμόρφωση — Μπορεί να υπάρχουν έως τρεις στήλες σε σειρά
  - Στήλη Αρχικής Κλασμάτωσης – Διαχωρισμού Ελαφρών  
Μείωση των ελαφρών κλασμάτων στη Στήλη Ατμοσφαιρικής Απόσταξης
  - Στήλη Ατμοσφαιρικής Απόσταξης
  - Στήλη Απόσταξης υπό Κενό  
Μειωμένη πίεση – Θερμοκρασίες κάτω από 345 °C



# Περιοχές Βρασμού Κλασμάτων

- Οι τυπικές περιοχές βρασμού των κλασμάτων απόσταξης του πετρελαίου είναι:

Κλάσμα	Περιοχές Βρασμού, °C	
	ASTM	TBP
Βουτάνια και ελαφρύτερα		
Ελαφριά Νάφθα (LSR)	32 – 105	32 – 88
Βαριά Νάφθα (HSR)	82 – 200	88 – 190
Κηροζίνη	150 – 280	190 – 270
Ελαφρύ Gasoil (LGO)	215 – 330	270 – 320
Βαρύ Gasoil (HGO)	285 – 400	320 – 380
Gasoil Κενού (VGO)	410 – 565	380 – 565
Υπόλειμμα Κενού (VR)	+565	+565



# Χρήσεις Προϊόντων Απόσταξης Πετρελαίου

Προϊόν	Περιοχή Βρασμού (°C)	Άτομα C	Χρήσεις
Ελαφρά Αέρια, CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	-162 – -42	C <sub>1</sub> – C <sub>2</sub>	Καύσιμο διυλιστηρίου, πετροχημικά
Προπάνιο (Propane) C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-32	C <sub>3</sub>	Υγραέρια (LPG), πετροχημικά
Βουτάνιο (Butane) C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	-12 – 0	C <sub>4</sub>	Υγραέριο, πετροχημικά, βενζίνη
Ελαφριά Νάφθα (Light Naphta, Light Straight Run)	25 – 130	C <sub>5</sub> – C <sub>7</sub>	Βενζίνη, διαλύτες
Βαριά Νάφθα (Heavy Naphta)	80 – 200	C <sub>6</sub> – C <sub>10</sub>	Βενζίνη, διαλύτες, καύσιμα αεροπορίας
Κηροζίνη (Kerosene)	150 – 250	C <sub>9</sub> – C <sub>15</sub>	Καύσιμα αεροπορίας, διαλύτες
Ελαφρύ Gasoil (Light Gasoil)	200 – 320	C <sub>13</sub> – C <sub>18</sub>	Ντήζελ κίνησης, πετρέλαιο θέρμανσης
Βαρύ Gasoil (Heavy Gasoil)	260 – 400	C <sub>16</sub> – C <sub>25</sub>	Ντήζελ κίνησης, πετρέλαιο θέρμανσης
Gasoil Κενού (Vacuum Gasoil)	400 – 565	C <sub>22</sub> – C <sub>40</sub>	Τροφοδοσία μονάδων πυρόλυσης, λιπαντικά
Ατμοσφαιρικό Υπόλειμμα (Atmospheric Residue)	+400	C <sub>24</sub> <sup>+</sup>	Μαζούτ (fuel oil), τροφοδοσία απόσταξης υπό κενό
Υπόλειμμα Κενού (Vacuum Residue)	+565	C <sub>40</sub> <sup>+</sup>	Μαζούτ, άσφαλτος



# Αφαλάτωση

Ο αφαλατωτής είναι απαραίτητος επειδή όλοι σχεδόν οι τύποι αργού περιέχουν άλατα τα οποία εάν δεν απομακρυνθούν δημιουργούν αποθέσεις σε αυλούς εναλλακτών και φούρνων και διασπώνται και σχηματίζουν διαβρωτικά συστατικά. Η αφαλάτωση πραγματοποιείται με την προσθήκη 3 – 5% νερού στο αργό, διέλευση του μίγματος μέσω βάνας ανάμιξης (mix valve) για να βελτιωθεί η ανάμιξη και στη συνέχεια να διασπαστεί το γαλάκτωμα με τη βοήθεια ηλεκτροστατικού πεδίου υψηλής τάσης. Το νερό προστίθεται λίγο πριν τη βάνα ανάμιξης για να αποφευχθεί η εναπόθεση αλάτων στους εναλλάκτες του ψυχρού συρμού. Η πίεση στον αφαλατωτή είναι περίπου 13,8 bar (200 psi). Συνήθως προστίθεται μικρή ποσότητα απογαλακτωματοποιητή (demulsifier) (περίπου 1 l ανά 1000 bbl αργού) που υποβοηθά τη διάσπαση του γαλακτώματος. Η άλμη που περιέχει τα άλατα καθιζάνει στον αφαλατωτή και απομακρύνεται για διαχωρισμό (απομάκρυνση αργού που έχει παρασυρθεί) και αποστέλλεται στο σύστημα επεξεργασίας υδατικών αποβλήτων (συνήθως API Separator). Ο βαθμός απόδοσης του αφαλατωτή πρέπει να είναι πάνω από 95% (προϊόν κάτω από 3 ptb [lb/1000 bbl]).



# Αφαλάτωση Αργού Πετρελαίου

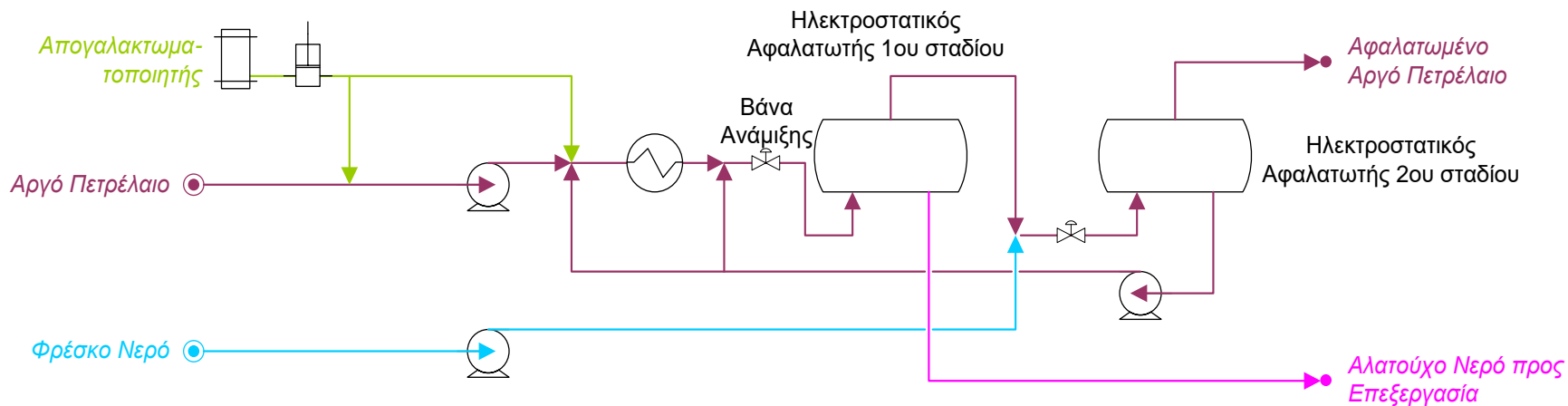
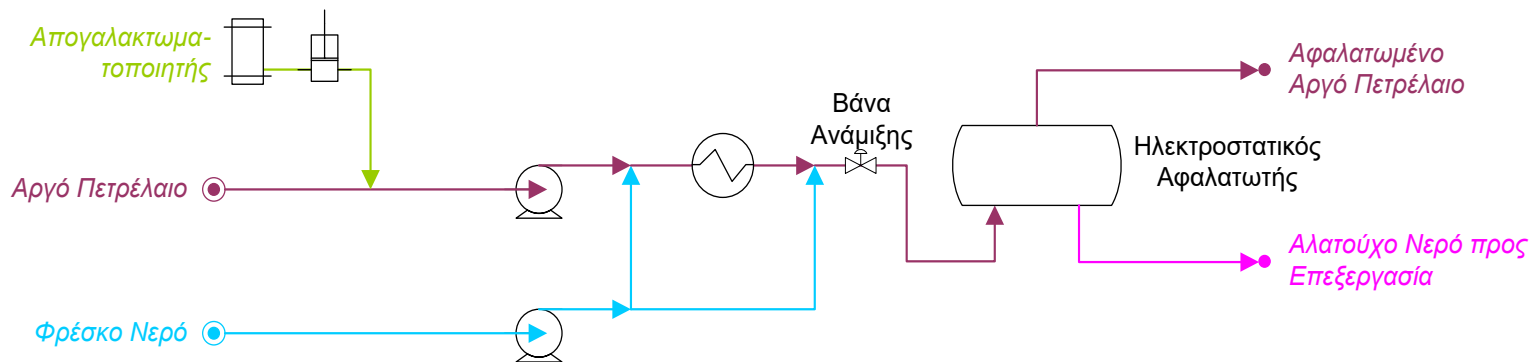
- Απομάκρυνση αλάτων (διαβρωτικά συστατικά) και αιωρούμενων στερεών
  - Όλοι οι τύποι αργού πετρελαίου περιέχουν άλατα.
  - Τυπικά άλατα: NaCl, MgCl<sub>2</sub>, κλπ.
  - Τα άλατα περιέχονται στο γαλακτωματοποιημένο νερό.
  - Προσθήκη νερού.
  - Προσθήκη απογαλακτωματοποιητή.
  - Υψηλή Τάση (12 – 35 kV).
  - Επιλογή θέσης ώστε να μην υπάρξει εξάτμιση του νερού.
  - Για ελαφρά αργά πετρέλαια (<0,825 g/ml, ή >40 °API) στους 120 °C).
  - Για ελαφρά αργά πετρέλαια (>0,875 g/ml, ή <30 °API) στους 150 °C).
  - Τα άλατα μπορούν να προκαλέσουν φθορά στον εξοπλισμό.
  - Δημιουργία αποθέσεων στους εναλλάκτες θερμότητας – μείωση βαθμού απόδοσης εναλλαγής θερμότητας.
  - Σχηματισμός HCl που μπορεί να προκαλέσει προβλήματα διάβρωσης.
  - Τα μέταλλα μπορεί να δηλητηριάσουν τους καταλύτες των μονάδων μετατροπής

Πυκνότητα, g/ml (°API)		Νερό Έκπλυσης, % κ.ό.	Θερμοκρασία, °C (°F)
< 0,825	(>40)	3 – 4	115 – 125 (240 – 260)
0,825 – 0,875	(30 – 40)	4 – 7	125 – 140 (260 – 280)
> 0,875	(<30)	7 – 10	140 – 150 (280 – 330)





# Αφαλάτωση Αργού Πετρελαίου



# Αντιδιαβρωτική Προστασία

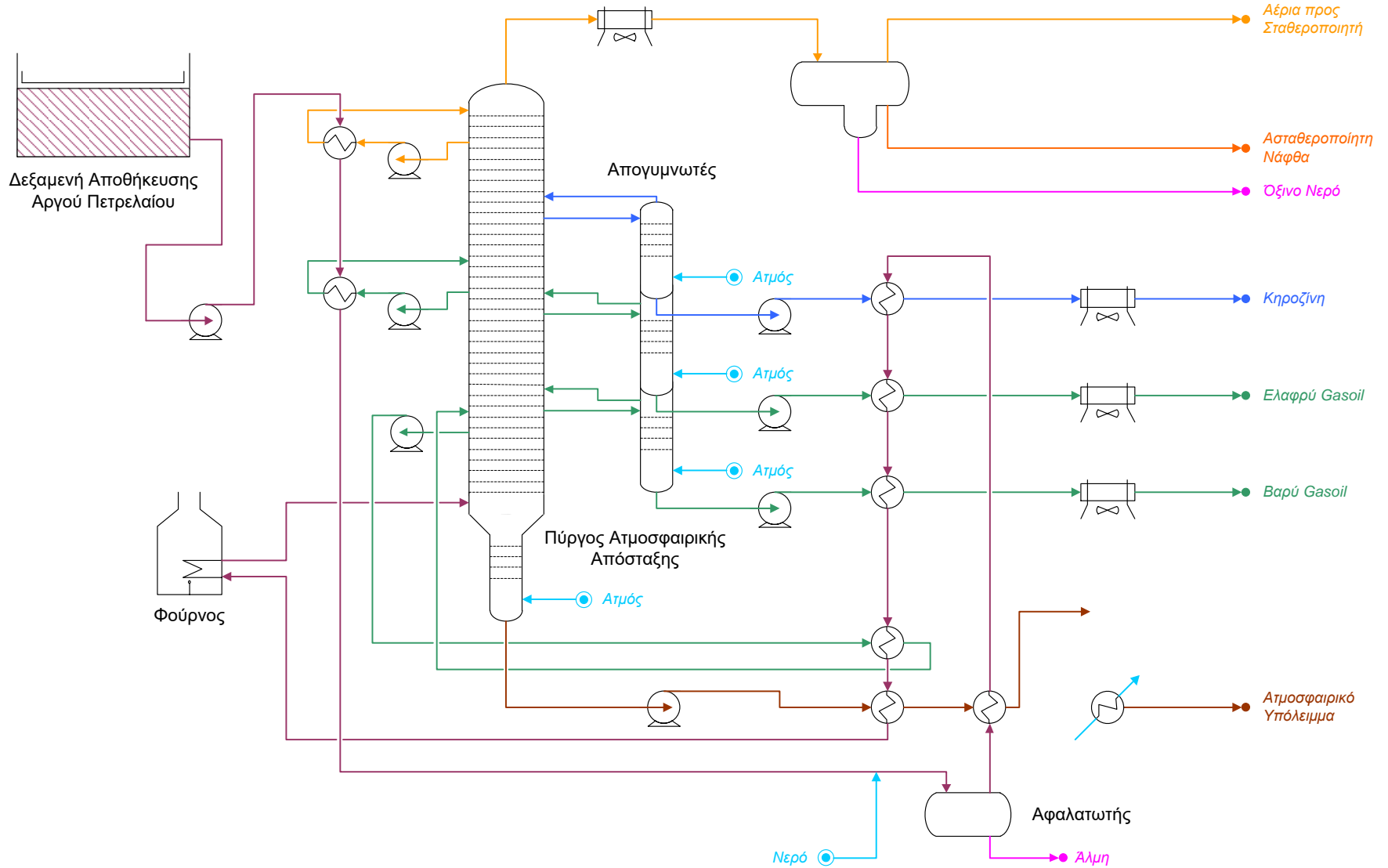
- Η καλή λειτουργία του αφαλατωτή μειώνει σε μεγάλο βαθμό την περιεκτικότητα του αργού σε άλατα
  - Ελαχιστοποίηση της πιθανότητας σχηματισμού διαβρωτικού περιβάλλοντος (HCl) στην κορυφή της στήλης απόσταξης
- Παρά την αφαλάτωση, ο κίνδυνος σχηματισμού HCl δεν εξαλείφεται πλήρως
  - Ο βαθμός απόδοσης του αφαλατωτή δεν είναι ποτέ 100%
- Προσθήκη διαλύματος καυστικού νατρίου (NaOH) στην έξοδο του αργού από τον αφαλατωτή
- Χρησιμεύει για την εξουδετέρωση του HCl που δημιουργείται στην κορυφή της στήλης κλασμάτωσης



- Η προσθήκη NaOH δεν πρέπει να γίνεται σε περίσσεια, επειδή το πλεόνασμα συσσωρεύεται στο υπόλειμμα (μαζούτ) και δημιουργεί προβλήματα αποθέσεων κατά τη χρήση του μαζούτ (σχηματισμός ευτηκτικών οξειδίων με τα οξείδια του βαναδίου)



# Διάγραμμα Ροής Ατμοσφαιρικής Απόσταξης



# Διαμόρφωση Ατμοσφαιρικής Απόσταξης

## Διαμόρφωση Στήλης

- Συμπυκνωτής κορυφής
  - Μερικός συμπυκνωτής εάν δεν υπάρχει Στήλη Σταθεροποίησης (Stabilizer).
  - Ολικός συμπυκνωτής εάν υπάρχει Σταθεροποιητής για την απομάκρυνση των ελαφρών κλασμάτων.
- Δεν υπάρχει αναβραστήρας
- Συρμός Εναλλακτών Προθέρμανσης Αργού Πετρελαίου
  - Όλη η απαραίτητη θερμότητα στη στήλη προέρχεται από τη θερμή τροφοδοσία.
  - Αξιοποίηση της θερμότητας των προϊόντων τα οποία πρέπει να ψυχθούν.
  - Μέχρι και 50% του εισερχόμενου αργού πετρελαίου μπορεί να εξατμιστεί.
- Πλευρικές Ανακυκλοφορίες (Pumparounds)
  - Χρησιμοποιούνται για την απαγωγή θερμότητας από τη στήλη.
  - Το υγρό επιστρέφει επάνω από το δίσκο απόληψης της ανακυκλοφορίας.
- Προϊόντα
  - Προϊόν κορυφής (αέρια και νάφθα)
  - Πλευρικές απολήψεις με απογυμνωτές (κηροζίνη και gasoil)
  - Προϊόν πυθμένα (ατμοσφαιρικό υπόλειμμα)



# Διαμόρφωση Ατμοσφαιρικής Απόσταξης

- Ατμός Απογύμνωσης
  - Μείωση της μερικής πίεσης των υδρογονανθράκων.
  - Συμπυκνώνεται και απομακρύνεται ως δεύτερη υγρή φάση από το δοχείο προϊόντος κορυφής.
  - Οι συνθήκες ρυθμίζονται ώστε να μην υπάρχει συμπύκνωση μέσα στη στήλη.
  - Μπορεί να προκαλέσει προβλήματα αφρισμού.
  - Το συμπύκνωμα είναι όξινο ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ )
- Συρμός Εναλλακτών Προθέρμανσης Αργού Πετρελαίου
  - Εναλλαγή θερμότητας με τα θερμά ρεύματα που εξέρχονται από τη στήλη.
  - Η ανάκτηση θερμότητας είναι πολύ σημαντική για την οικονομική λειτουργία της απόσταξης
  - Αρχικά αξιοποιείται μέρος της θερμότητας του προϊόντος κορυφής ή της ανακυκλοφορίας κορυφής.
  - Στη συνέχεια, εναλλαγή με τα υγρά ρεύματα, ξεκινώντας από το πιο πάνω (ψυχρότερο) ρεύμα.
  - Η τελική θέρμανση πραγματοποιείται σε φούρνο.
  - Η θερμοκρασία εισόδου στο φούρνο είναι περίπου  $240 - 250 \text{ }^\circ\text{C}$ .
  - Η θερμοκρασία εξόδου από το φούρνο είναι πάντα κάτω από τους  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ .
  - Ελαχιστοποίηση προβλημάτων πυρόλυσης.



# Διαμόρφωση Ατμοσφαιρικής Απόσταξης

- Ζώνη Εκτόνωσης (Flash Zone)
  - Η περιοχή εισόδου της θερμής τροφοδοσίας στη στήλη απόσταξης.
  - Απαιτείται χώρος γιατί λόγω της απότομης μείωσης της πίεσης, εξατμίζεται μέρος της τροφοδοσίας.
- Ζώνη Έκπλυσης (Wash Zone)
  - Οι δίσκοι μεταξύ της ζώνης εκτόνωσης (flash zone) και της απόληψης του βαρέος gasoil.
  - Χρησιμοποιείται αναρροή για την έκπλυση – απομάκρυνση βαρύτερων συστατικών που υποβαθμίζουν την ποιότητα των μέσων κλασμάτων.
- Δοχείο Προϊόντος Κορυφής
  - Λειτουργεί σε πίεση 3,5 – 140 kPa (0,5 – 20 psig).
  - Εξισορροπιστική λειτουργία:  
Χαμηλές πιέσεις μειώνουν την τη συμπίεση στο σύστημα κορυφής  
Υψηλές πιέσεις μειώνουν την εξάτμιση αλλά αυξάνουν τη θερμοκρασία της ζώνης εκτόνωσης και τη θερμικό φορτίο του φούρνου.
  - Επηρεάζει τις αποδόσεις στα προϊόντα.

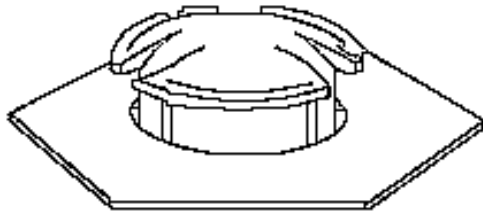


# Διαμόρφωση Ατμοσφαιρικής Απόσταξης

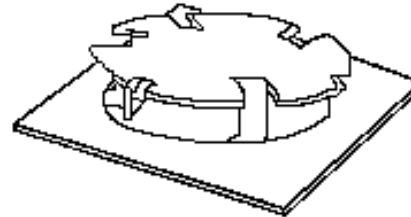
- Ανακυκλοφορίες (Pumparounds)
  - Μειώνουν το φορτίο του συμπυκνωτή κορυφής και επιτυγχάνουν πιο ομοιόμορφες θερμικές φορτίσεις της στήλης.
  - Παρέχουν την απαιτούμενη ροή υγρού κάτω από τους δίσκους απόληψης προϊόντων.
- Απολήψεις και Απογυμνωτές
  - Οι θερμοκρασίες απόληψης (cut point) σχετίζονται με το τελικό σημείο βρασμού του αντίστοιχου προϊόντος.
  - Οι πλευρικοί απογυμνωτές απομακρύνουν ελαφρά συστατικά από τα προϊόντα και τα επιστρέφουν στη στήλη.
  - Κλασσικοί απογυμνωτές με ατμό.
  - Απογυμνωτές με αναβραστήρα για μείωση του καταναλισκόμενου ατμού και του προκύπτοντος όξινου νερού.
- Δίσκοι
  - Τυπικά σε μια στήλη υπάρχουν 30 – 35 δίσκοι.
  - Πτώση πίεσης 0,7 – 1,4 kPa (0,1 – 0,2 psi) ανά δίσκο.
  - Πτώση πίεσης στο συμπυκνωτή και το δοχείο προϊόντος κορυφής 20 – 70 kPa (3 – 10 psi).
  - Διατήρηση στάθμης υγρού στο δοχείο προϊόντος κορυφής.
  - Πτώση πίεσης κατά μήκος της στήλης 40 – 110 kPa (6 – 16 psi).



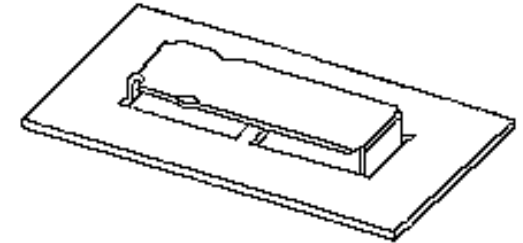
# Τύποι Βαλβίδων Δίσκων Απόσταξης



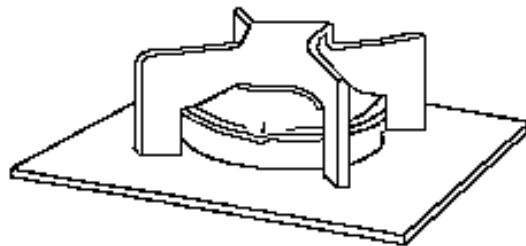
Koch Τύπου A



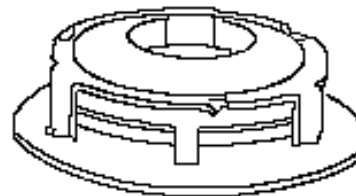
Glitsch V-1



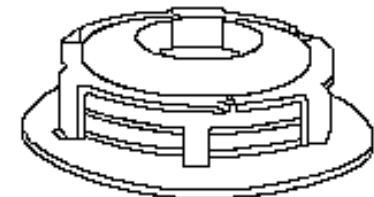
Nutter BDP



Koch Τύπου T



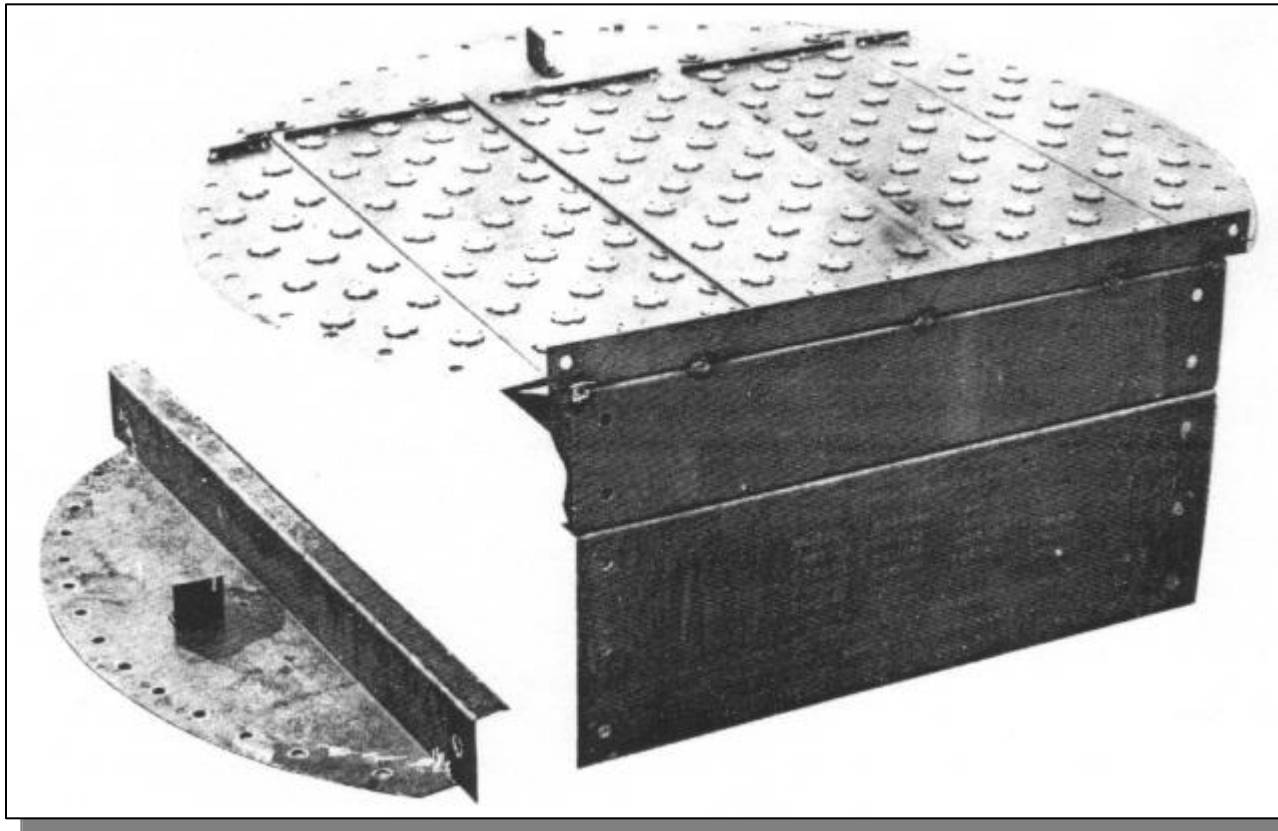
Glitsch A-2



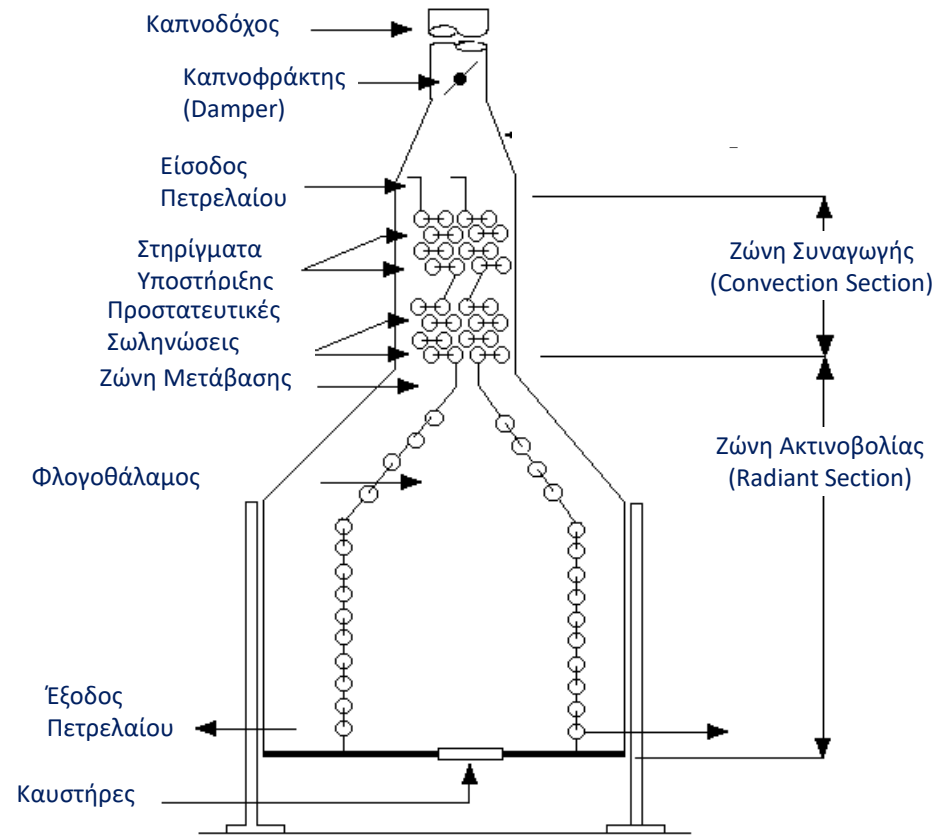
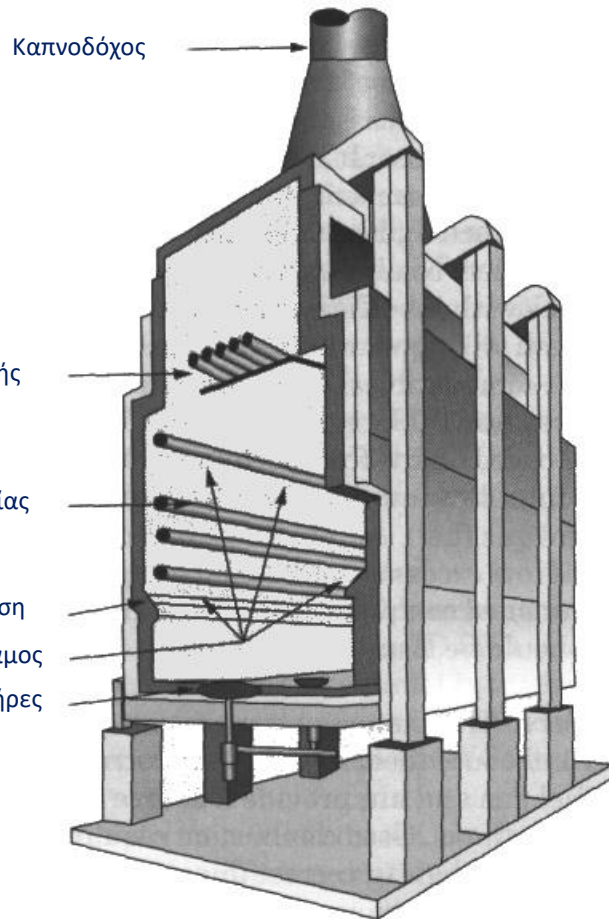
Glitsch Διπλής Έδρας A-1



# Δίσκος Στήλης Ατμοσφαιρικής Απόσταξης



# Φούρνος Θέρμανσης Πετρελαίου



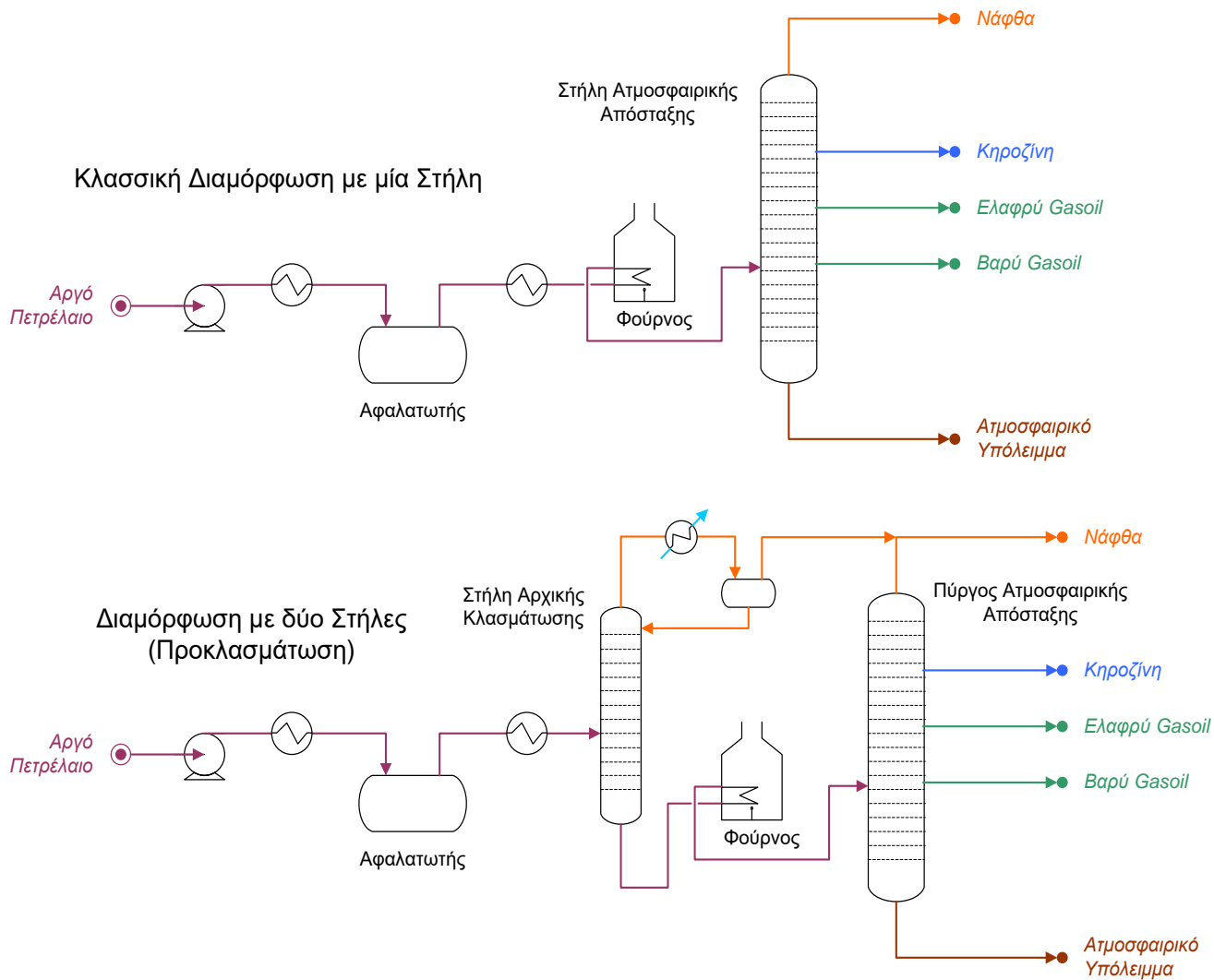
# Απογυμνωτές – Αναρροές

Κάθε πλευρικό προϊόν οδηγείται σε μια μικρή εξωτερική στήλη με 4 δίσκους όπου με τη βοήθεια υπέρθερμου ατμού απομακρύνονται τα ελαφρά συστατικά που έχουν παρασυρθεί κι επιστρέφουν στη στήλη κλασμάτωσης. Οι στήλες αυτές (μία ανά προϊόν) ονομάζονται απογυμνωτές (strippers). Μετά τον απογυμνωτή κάθε πλευρικό προϊόν διέρχεται μέσω εναλλακτών θερμότητας και ψυκτήρων (με αέρα ή/και νερό) και οδηγούνται στις αντίστοιχες δεξαμενές.

Η ανάκτηση θερμότητας και η αναρροή κορυφής προέρχονται από τη συμπύκνωση του μεγαλύτερου μέρους των ατμών της κορυφής της στήλης, και επιστροφής μέρους του συμπυκνώματος στον 1<sup>ο</sup> δίσκο. Το ρεύμα αυτό ονομάζεται αναρροή κορυφής (reflux). Επιπλέον, για λόγους οικονομίας και καλής λειτουργίας υπάρχουν και άλλα κυκλώματα απομάκρυνσης θερμότητας. Μέρος του 3<sup>ου</sup> πλευρικού επιστρέφει στη στήλη αφού έχει ψυχθεί προθερμαίνοντας το αργό, και ονομάζεται πλευρική αναρροή (side reflux). Υπάρχει και άλλη πλευρική αναρροή σε υψηλότερο σημείο (2<sup>ο</sup> πλευρικό), όπου το υγρό που κατέρχεται στη στήλη απομακρύνεται, διέρχεται μέσω εναλλακτών θερμότητας κι επιστρέφει στο δίσκο πάνω από το σημείο απόληψης. Αυτές οι αναρροές μειώνουν τη φόρτιση σε ατμούς των ανώτερων περιοχών της στήλης και δίνουν έναν πιο αποτελεσματικό τρόπο ρύθμισης θερμοκρασίας (άρα και ποιότητας προϊόντων) και ανάκτησης θερμότητας σε σχέση με την αναρροή κορυφής και μόνο.

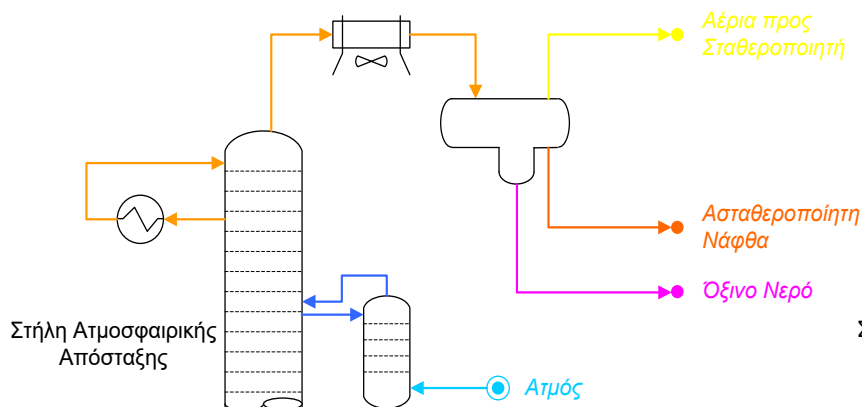


# Διαμορφώσεις Ατμοσφαιρικής Απόσταξης

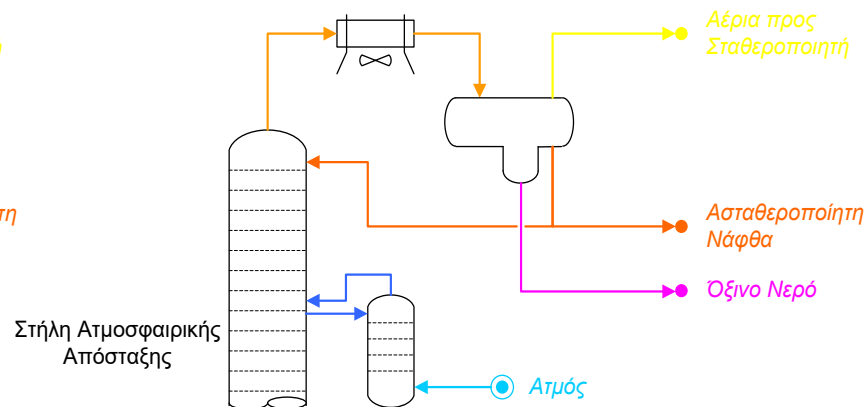


# Διαμορφώσεις Συστημάτων Αναρροής

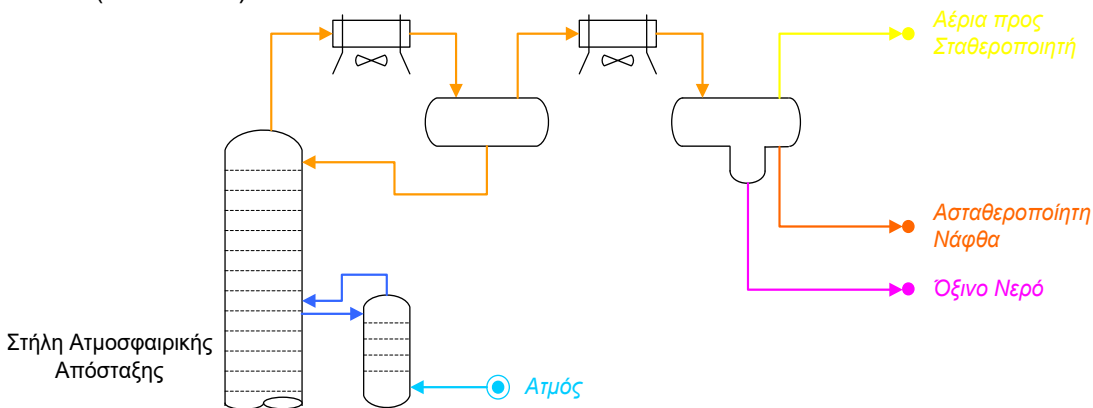
Σύστημα Αναρροής με Ανακυκλοφορία  
(Pumparound Reflux)



Σύστημα Ψυχρής Αναρροής  
(Cold Reflux)



Σύστημα Θερμής Αναρροής  
(Hot Reflux)



# Διαχωρισμός Ελαφρών Κλασμάτων

- Ο διαχωρισμός του προϊόντος κορυφής της ατμοσφαιρικής απόσταξης πραγματοποιείται στις στήλες κλασμάτωσης της Μονάδας Διαχωρισμού Ελαφρών Κλασμάτων (Light Ends Recovery Plant)
  - Οι στήλες είναι απλούστερες από τη στήλη ατμοσφαιρικής απόσταξης, με προϊόν κορυφής και προϊόν πυθμένα μόνο (δεν υπάρχουν πλευρικά προϊόντα)
  - Οι αναβραστήρες προϊόντων πυθμένα χρησιμοποιούν ενέργεια χαμηλής θερμοκρασίας (ατμό, hot oil ή εναλλαγή θερμότητας)
- Η κλασμάτωση των ελαφρών συστατικών χρησιμοποιείται σε όλες σχεδόν τις μονάδες επεξεργασίας ενός διυλιστηρίου
  - Διαχωρισμός και απομάκρυνση των αερίων από υγρά προϊόντα για να μπορεί να γίνει ασφαλής αποθήκευση
- Η βέλτιστη ανάκτηση θερμότητας στη μονάδα ελαφρών κλασμάτων είναι ένα κρίσιμο θέμα για το σχεδιασμό και τη λειτουργία της μονάδας διαχωρισμού ελαφρών κλασμάτων
  - Συνδυασμός μεταξύ αποτελεσματικής χρήσης ενέργειας και διασύνδεσης μονάδων



# Διεργασίες Διαχωρισμού Ελαφρών Κλασμάτων

- Ο όρος "ελαφρά" (light ends), όπως χρησιμοποιείται στα διυλιστήρια, αναφέρεται στα συστατικά που είναι αέρια σε συνθήκες περιβάλλοντος και περιλαμβάνουν βουτάνιο ή πεντάνιο ( $C_4$  ή  $C_5$ ) και ελαφρύτερα συστατικά. Σε πιο ευρεία κλίμακα, η μονάδα ελαφρών κλασμάτων περιλαμβάνει και τα συστατικά στην περιοχή της βενζίνης, επειδή η πρώτη ύλη της (νάφθα) περιλαμβάνει  $C_4$  και ελαφρύτερα συστατικά.
- Τα ελαφρά κλάσματα παράγονται σε μεγάλο όγκο από τις διεργασίες πυρόλυσης. Η ποιότητα των παραγόμενων κλασμάτων διαφέρει, ανάλογα με τη διεργασία προέλευσής τους.
- Οι διεργασίες που χρησιμοποιούνται είναι διεργασίες διαχωρισμού και διακρίνονται σε δύο συστήματα σε όλα τα διυλιστήρια. Ο λόγος είναι ότι οι ολεφίνες που παράγονται από τις διεργασίες πυρόλυσης είναι συνήθως υψηλότερης αξίας από τις αντίστοιχες κορεσμένες ενώσεις. Στα μεγάλα διυλιστήρια, οι μονάδες ελαφρών κλασμάτων είναι συνήθως διακριτές: μία για ελαφρά κλάσματα ατμοσφαιρικής απόσταξης (κορεσμένα) και μία για ελαφρά κλάσματα από μονάδες πυρόλυσης. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα ενσωμάτωσης της μονάδας ελαφρών στη μονάδα ατμοσφαιρικής απόσταξης ή στη μονάδα πυρόλυσης. Η τελική διαμόρφωση διαφέρει από διυλιστήριο σε διυλιστήριο.



# Διεργασίες Διαχωρισμού Ελαφρών Κλασμάτων

Τα περισσότερα από τα ελαφρά κλάσματα που δεν ανακτώνται στις στήλες κλασμάτωσης ή απορρόφησης (υπολειμματικό αέριο ή residue gas) χρησιμοποιούνται ως καύσιμο διυλιστηρίου ή στέλλονται σε μονάδα χημικών για ανάκτηση  $C_2$  και βαρύτερων συστατικών. Το μεγαλύτερο μέρος αυτών των αερίων οδηγείται σε πύργους πλύσης με αμίνη όπου δεσμεύεται το σύνολο σχεδόν των  $H_2S$  και  $CO_2$  που περιέχουν. Αυτά τα ρεύματα υπολειμματικού αερίου οδηγούνται στο σύστημα αερίου καυσίμου του διυλιστηρίου κι από εκεί στις κατά τόπους καταναλώσεις. Η παραγωγή υπολειμματικού αερίου μπορεί να ενισχυθεί με φυσικό αέριο ή LPG.

Υπάρχει μια σύμβαση για την ονομασία των στηλών της μονάδας διαχωρισμού ελαφρών κλασμάτων. Η στήλη ονομάζεται ως προς το βαρύτερο από τα συστατικά που απομακρύνονται με το προϊόν κορυφής. Για παράδειγμα, η στήλη διαχωρισμού μεταξύ  $C_4$  και ελαφρύτερων στην κορυφή και  $C_5$  και βαρύτερα στον πυθμένα ονομάζεται αποβουτανιωτής (debutanizer). Ο διαχωριστής  $C_3$  και ελαφρύτερων στην κορυφή ονομάζεται αποπροπανιωτής (depropanizer). Ο διαχωριστής (splitter) είναι η στήλη που χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό της νάφθας σε ελαφριά και βαριά. Ο σταθεροποιητής (stabilizer) διαχωρίζει συστατικά που δε μπορούν να υγροποιηθούν ( $C_4$  και ελαφρύτερα) από βαρύτερα υγροποιούμενα συστατικά (στην ουσία είναι αποβουτανιωτής).





# Διεργασίες Διαχωρισμού Ελαφρών Κλασμάτων

Οι βασικές διεργασίες διαχωρισμού ελαφρών κλασμάτων είναι η απόσταξη και η απορρόφηση. Η απόσταξη μοιάζει πολύ με την ατμοσφαιρική απόσταξη. Οι κύριες διαφορές είναι:

- Στην απόσταξη αργού πετρελαίου η τροφοδοσία περιέχει χιλιάδες συστατικά. Στην περίπτωση των ελαφρών κλασμάτων η τροφοδοσία περιέχει συνήθως λιγότερα από 30 συστατικά, και σε κάποιες περιπτώσεις μόνο 3 ή 4. Επομένως, στο διαχωρισμό ελαφρών κλασμάτων η ποιότητα τροφοδοσίας και προϊόντων περιγράφεται με την περιεκτικότητα σε συγκεκριμένο συστατικό.
- Δεν υπάρχουν (εκτός σπανίων περιπτώσεων) πλευρικά προϊόντα. Ο διαχωρισμός πρέπει να είναι πολύ καλύτερος από αυτόν που επιτυγχάνεται όταν υπάρχουν πλευρικά προϊόντα.
- Τα προϊόντα πυθμένα πρέπει να κλασματωθούν καλά. Επομένως, η απογύμνωση δεν είναι επαρκής και πρέπει να χρησιμοποιηθούν αναβραστήρες (reboilers). Ο αναβραστήρας είναι είτε εναλάκτης κελύφους – σωλήνων είτε φούρνος με φλογοθάλαμο, που εξατμίζει μέρος του προϊόντος πυθμένα και επιστρέφει τους ατμούς στη στήλη.

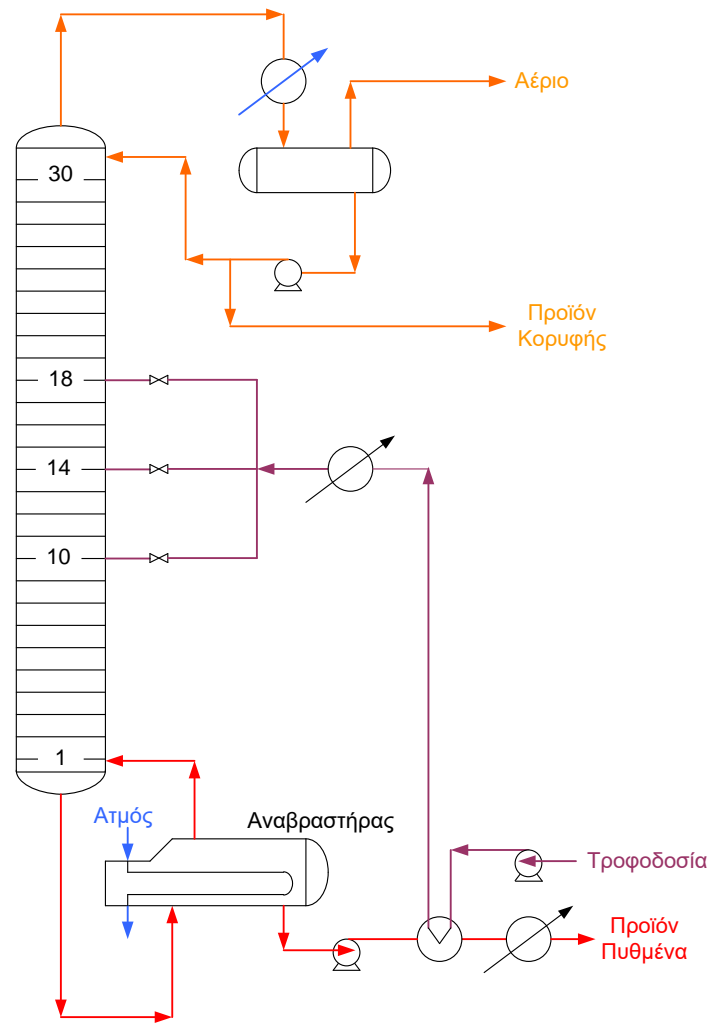


# Διεργασίες Διαχωρισμού Ελαφρών Κλασμάτων

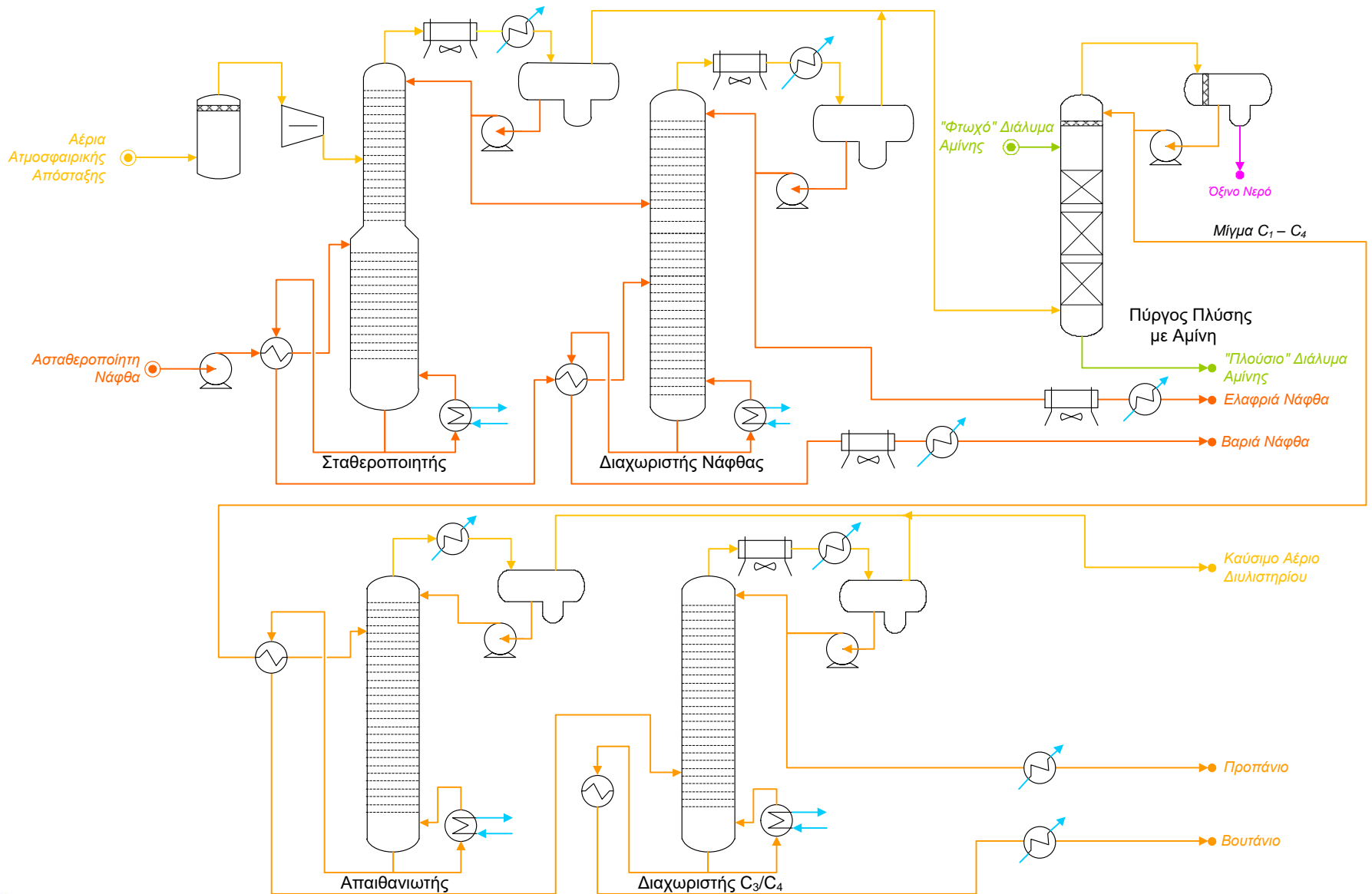
- Οι στήλες διαχωρισμού ελαφρών κλασμάτων λειτουργούν συνήθως σε σχετικά υψηλές πιέσεις. Για να λειτουργήσει μια στήλη απόσταξης πρέπει το υγρό να βρίσκεται στο σημείο βρασμού του. Σε ατμοσφαιρική πίεση, τα σημεία βρασμού είναι πολύ χαμηλά και θα χρειαζόταν κρυογενικός εξοπλισμός για να συμπυκνώσει τους ατμούς. Είναι επομένως πιο πρακτικό (και οικονομικό) να αυξηθεί η πίεση της στήλης, και να χρησιμοποιηθεί για τη συμπύκνωση νερό ψύξης ή αεροψυγεία.
- Η τροφοδοσία μιας στήλης διαχωρισμού ελαφρών κλασμάτων εισέρχεται συνήθως πάνω από το μέσο της στήλης. Με δεδομένο ότι η κύρια πηγή θερμότητας δεν είναι η τροφοδοσία αλλά ο αναβραστήρας, η τροφοδοσία εισέρχεται σε δίσκο ή σύσταση του οποίου μοιάζει με τη σύσταση της τροφοδοσίας. Συχνά, μία στήλη τροφοδοτείται με δύο ή περισσότερα ρεύματα, τα οποία εισέρχονται σε διαφορετικά σημεία.



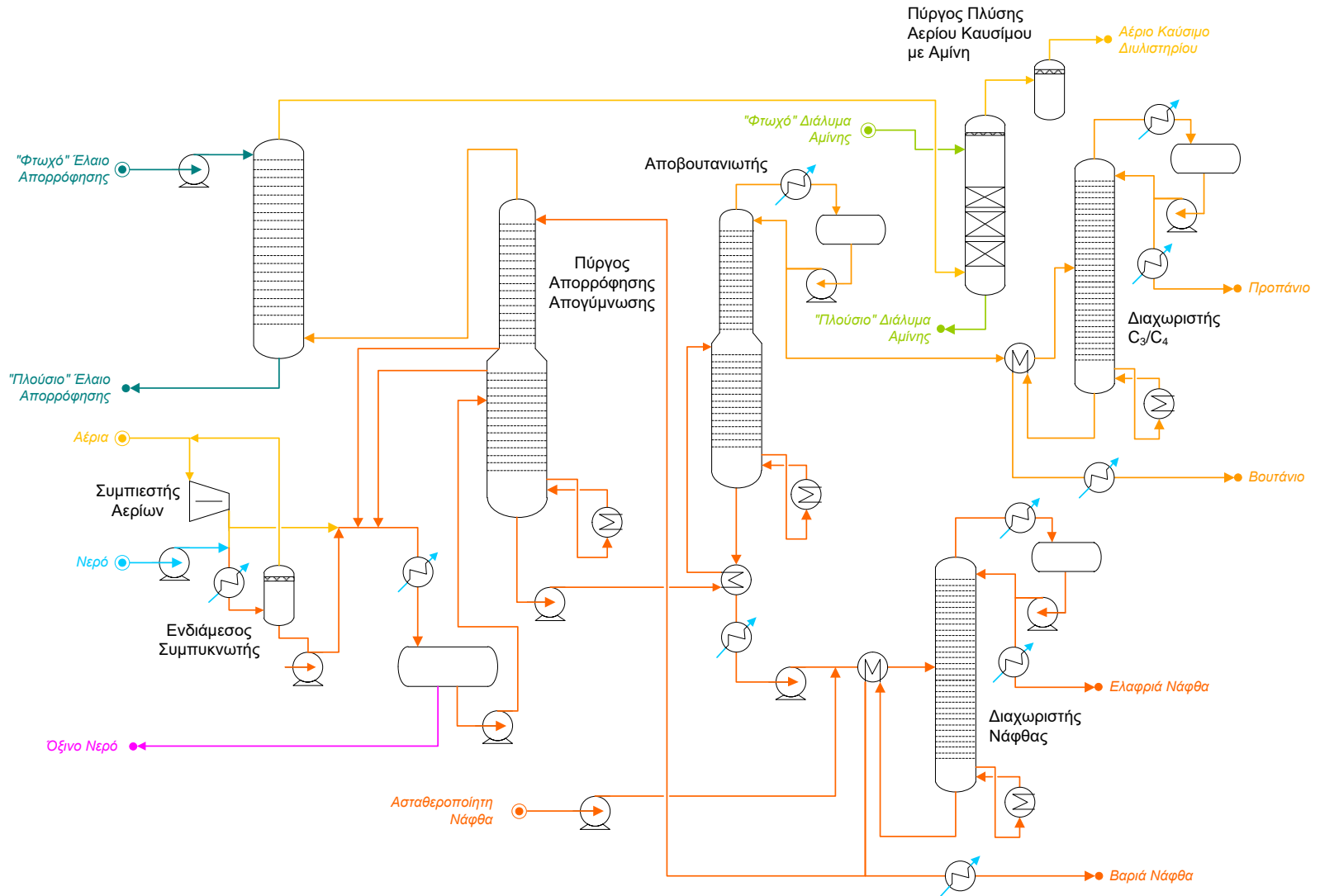
# Τυπική Στήλη Κλασμάτωσης Διαχωρισμού Ελαφρών Κλασμάτων



# Διάγραμμα Ροής Μονάδας Διαχωρισμού Ελαφρών Κλασμάτων



# Διάγραμμα Ροής Μονάδας Διαχωρισμού Ελαφρών Κλασμάτων



# Απόσταξη υπό Κενό

Η απόσταξη μπορεί να συνεχιστεί σε ελαττωμένη πίεση. Το υπόλειμμα της ατμοσφαιρικής απόσταξης περιέχει συστατικά τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν και να αποφέρουν περισσότερα έσοδα απ' ό,τι το υπόλειμμα ως μαζούτ. Συμφέρει επομένως ο διαχωρισμός αυτών των συστατικών εάν είναι εφικτό. Αφού η πυρόλυση είναι το περιοριστικό στοιχείο για τη συνέχιση της ατμοσφαιρικής απόσταξης, και αφού η πυρόλυση ευνοείται από υψηλές θερμοκρασίες και μεγάλο χρόνο παραμονής, και αφού τα υγρά βράζουν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες υπό χαμηλή πίεση, μια σωστά σχεδιασμένη στήλη κενού θα αποδώσει περισσότερα αποστάγματα από την ατμοσφαιρική στήλη.

Η μονάδα κενού διαθέτει ειδικό εξοπλισμό για να απομακρύνει τα μη συμπυκνώσιμα αέρια από τη στήλη, μειώνοντας έτσι την πίεση στην κορυφή της στήλης σε περίπου 50 mmHg. Διαθέτει επίσης φούρνο που θερμαίνει την τροφοδοσία σε συντομότερο χρόνο, ενώ στην τροφοδοσία στην είσοδο του φούρνου προστίθεται ατμός που αυξάνει την ταχύτητα και μειώνει το χρόνο παραμονής.

Όταν η στήλη τροφοδοτείται με ζεστό ατμοσφαιρικό υπόλειμμα, η θερμοκρασία στην είσοδο του φούρνου είναι περίπου 340 °C (650 °F). Προστίθεται ατμός και η θερμοκρασία θερμαίνεται στο φούρνο στους 430 °C (810 °F). Στη συνέχεια, οδηγείται στη στήλη κενού όπου διαχωρίζεται στη ζώνη εκτόνωσης σε φάση υγρού και ατμών.



# Απόσταξη υπό Κενό

Η στήλη κενού διαθέτει λιγότερους δίσκους από την ατμοσφαιρική στήλη ενώ συνήθως δεν υπάρχουν πλευρικοί απογυμνωτές. Επίσης σε πολλές περιπτώσεις αντί δίσκων υπάρχει πληρωτικό υλικό (racking).

Η ανάκτηση θερμότητας γίνεται περισσότερο με πλευρικές ανακυκλοφορίες (rumparound) και η θερμοκρασία κορυφής διατηρείται στους 190 °C (370 °F) περίπου.

Το απαραίτητο κενό δημιουργείται με τζιφάρια ατμού (steam ejectors) και σε μερικές περιπτώσεις δευτεροβάθμιες αντλίες κενού.



# Στήλες Απόσταξης υπό Κενό

- Σύγκριση διαστάσεων στηλών απόσταξης για συγκεκριμένο διυλιστήριο: Στήλη αρχικής κλασμάτωσης (pre-flash tower): ύψος 18,5 m, διάμετρος 4 m. Στήλη ατμοσφαιρικής απόσταξης: ύψος 45 m, διάμετρος 4 m στην κορυφή, 4,9 m στο μέσο της στήλης και 3 m στη ζώνη απογύμνωσης. Στήλη κενού: ύψος 31 m, διάμετρος 5,2 m στην κορυφή, 6 m στο μέσο της στήλης και 2 m στη ζώνη απογύμνωσης. Η συνολική έκταση που καταλαμβάνει το συγκρότημα απόσταξης είναι περίπου 14 στρέμματα (14000 m<sup>2</sup>).
- Υπάρχει μεγάλη ποικιλία σχεδιασμών στηλών κενού, αλλά μόνο δύο γενικοί τύποι. Ο πιο κοινός τύπος είναι στήλη για παραγωγή καυσίμων όπου ο βασικός στόχος είναι η μείωση του υπολείμματος όσο το δυνατόν περισσότερο. Επομένως υπάρχουν λίγοι δίσκοι (για να ελαχιστοποιηθεί η πτώση πίεσης και να μειωθεί η πίεση στη ζώνη εκτόνωσης) και όλα τα πλευρικά προϊόντα ενώνονται σε ένα προϊόν που αποτελεί την τροφοδοσία της μονάδας καταλυτικής πυρόλυσης. Ως εκ τούτου, η καλή κλασμάτωση μεταξύ των πλευρικών προϊόντων δεν είναι σημαντική. Στις στήλες κενού για παραγωγή λιπαντικών πρέπει να υπάρχουν διακριτά πλευρικά προϊόντα με καλή κλασμάτωση μεταξύ τους. Ως αποτέλεσμα, υπάρχουν περισσότεροι δίσκοι, μεγαλύτερη πτώση πίεσης κατά μήκος της στήλης, και το εναπομένον υπόλειμμα είναι περισσότερο για τον ίδιο τύπο αργού (σε σχέση με στήλη κενού για καύσιμα). Η πίεση στη ζώνη εκτόνωσης για στήλη κενού παραγωγής καυσίμων είναι περίπου 90 mmHg, ενώ για στήλη κενού παραγωγής λιπαντικών περίπου 125 mmHg.





# Διαμόρφωση Απόσταξης υπό Κενό

## Διαμόρφωση Στήλης

- Συνθήκες κενού (χαμηλή πίεση) ως 3 kPa (0,4 psi) για να διατηρηθούν χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας
  - Στήλη μεγάλης διαμέτρου
  - Αέρια κορυφής πολύ χαμηλής πυκνότητας
  - Διαχωρισμός συστατικών υψηλού σημείου βρασμού σε χαμηλότερες θερμοκρασίες
  - Ελαχιστοποίηση θερμικής πυρόλυσης
- Συμπυκνωτής για τους υδρατμούς
  - Αναρροή υγρού μέσω πλευρικών ανακυκλοφοριών (pumparounds)
- Δεν υπάρχουν πλευρικοί απογυμνωτές
- Δεν υπάρχει αναβραστήρας
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ατμός απογύμνωσης
  - Απαραίτητος για τα πολύ βαριά VGO (+600 °C)
- Τροφοδοσία
  - Υπόλειμμα ατμοσφαιρικής απόσταξης
  - Όλοι οι ατμοί προέρχονται από τη θερμή τροφοδοσία



# Διαμόρφωση Απόσταξης υπό Κενό

- Προϊόντα
  - Διάφορα gasoil κενού (VGO)
    - Διαχωρισμός πλευρικών προϊόντων για αύξηση της ανάκτησης θερμότητας στη στήλη
    - Τα πλευρικά προϊόντα συνήθως ενώνονται σε ένα στη συνέχεια
    - Χρησιμοποιούνται ως τροφοδοσία μονάδων πυρόλυσης
  - Υπόλειμμα κενού
    - Χρησιμοποιείται για την παραγωγή ασφάλτου ή μαζούτ
    - Μπορεί να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία (θερμική πυρόλυση, εκχύλιση)
    - Η επιλογή εξαρτάται από τα προϊόντα και τους τύπους αργού πετρελαίου που χρησιμοποιούνται
- Ξηρή Λειτουργία
  - Θερμοκρασία απόληψης +565 °C και καθόλου ατμός απογύμνωσης
  - Στήλη μικρότερης διαμέτρου
  - Μειωμένη παραγωγή όξινου νερού
  - Συνθήκες λειτουργίας
    - Ζώνη εκτόνωσης: 20 – 25 mm Hg και θερμοκρασία 400 – 410 °C
    - Κορυφή στήλης: 10 mm Hg

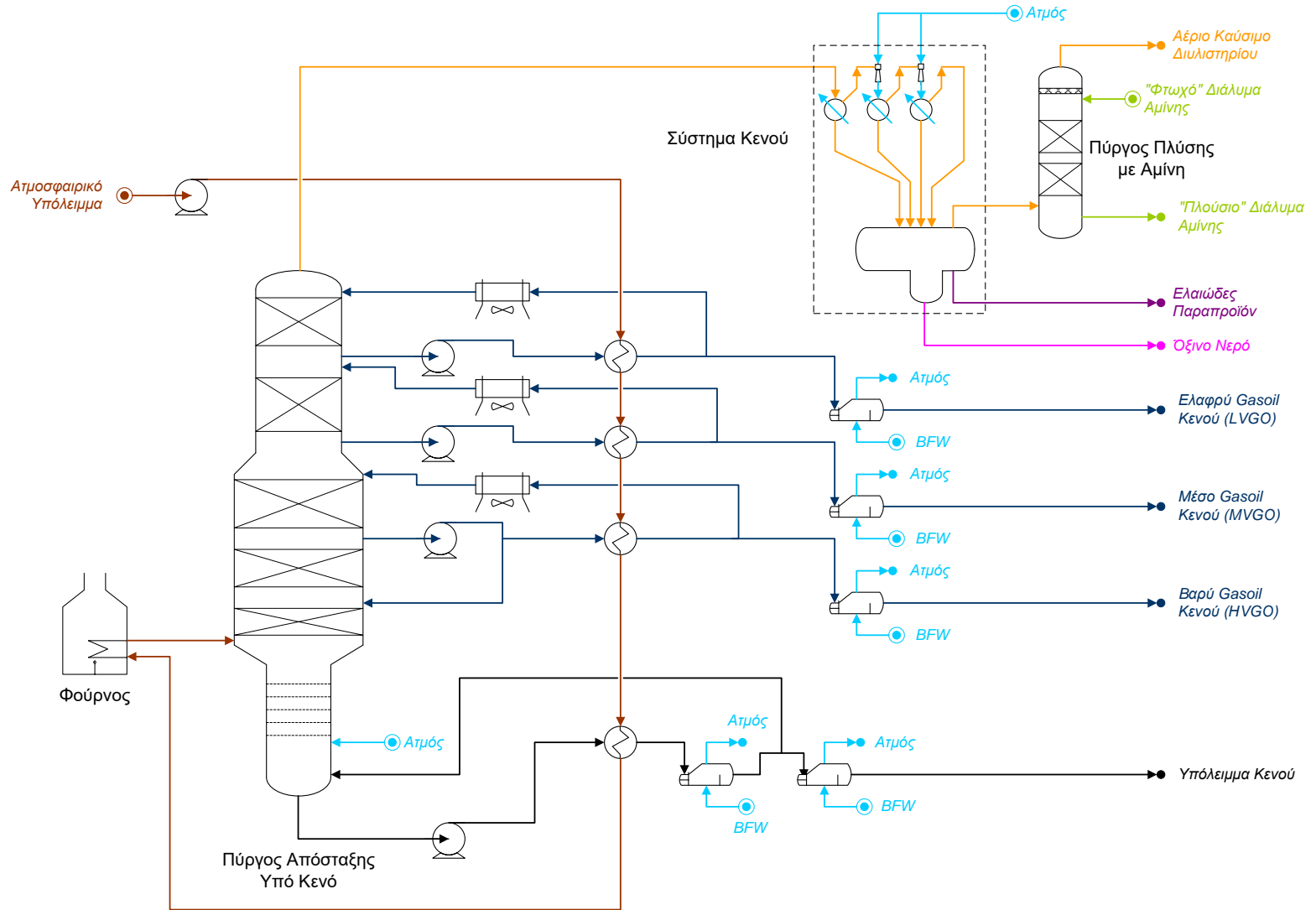


# Διαμόρφωση Απόσταξης υπό Κενό

- Λειτουργία Παραγωγής για Βαρύ VGO (Deep Cut System)
  - Θερμοκρασία απόληψης +600 °C και χρήση ατμού απογύμνωσης
  - Ο ατμός μειώνει τη μερική πίεση των υδρογονανθράκων
  - Συνθήκες λειτουργίας
    - Ζώνη εκτόνωσης: 30 mm Hg.
    - Μερική πίεση υδρογονανθράκων: 10 – 15 mm Hg
    - Κορυφή στήλης: 15 mm Hg
- Τζιφάρια Ατμού και Αντλίες Κενού
  - Το κενό διατηρείται στο σύστημα κορυφής της στήλης
  - Τα συστήματα ατμού θεωρούνται πιο αξιόπιστα
  - Ο χρησιμοποιημένος ατμός είναι όξινος και πρέπει να υποστεί επεξεργασία
  - Συνδυασμένα συστήματα: Το τελευταίο τζιφάρι ατμού αντικαθίσταται με αντλία κενού



# Διάγραμμα Ροής Απόσταξης υπό Κενό



# Ενοποιημένη Μονάδα Απόσταξης (Incorporated Crude Distillation Unit, ICDU)

- Συνδυασμός ατμοσφαιρικής απόσταξης με απόσταξη υπό κενό σε μια ενιαία μονάδα
  - Ο πιο ολοκληρωμένος σχεδιασμός περιλαμβάνει και στήλη αρχικής κλασμάτωσης (pre-flash tower)
- Καλύτερη ενεργειακή ολοκλήρωση
  - Εκμετάλλευση των θερμικών φορτίων υψηλής θερμοκρασίας της μονάδας απόσταξης υπό κενό για περαιτέρω προθέρμανση του αργού πετρελαίου
  - Πολλές φορές είναι προτιμότερη η προθέρμανση του αργού αντί της παραγωγής ατμού, ιδίως σε διυλιστήρια με μεγάλη επάρκεια σε παραγωγή ατμού



# Ενοποιημένη Μονάδα Απόσταξης (Incorporated Crude Distillation Unit, ICDU)

