

Παράκτια Υδραυλική & Τεχνολογία

Μηχανική Φλεβών και Πλουμίων

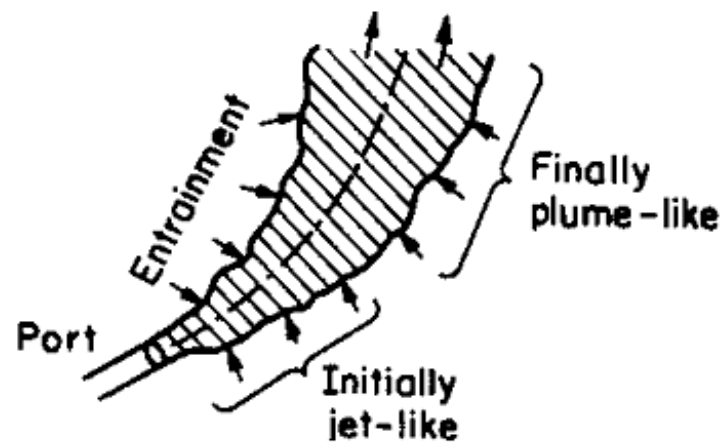
Δρ. Γιώργος Συλαίος
Ωκεανογράφος – Επ. Καθηγητής ΤΜΠ-ΔΠΘ

Η μελέτη της μηχανικής της διασποράς των αστικών λυμάτων και των βιομηχανικών αποβλήτων μέσα στη θάλασσα παρουσιάζει ενδιαφέρον, καθώς αποτελεί το αναγκαίο υπόβαθρο για τον μελετητή μηχανικό, που αναζητεί απάντηση στα παρακάτω ερωτήματα:

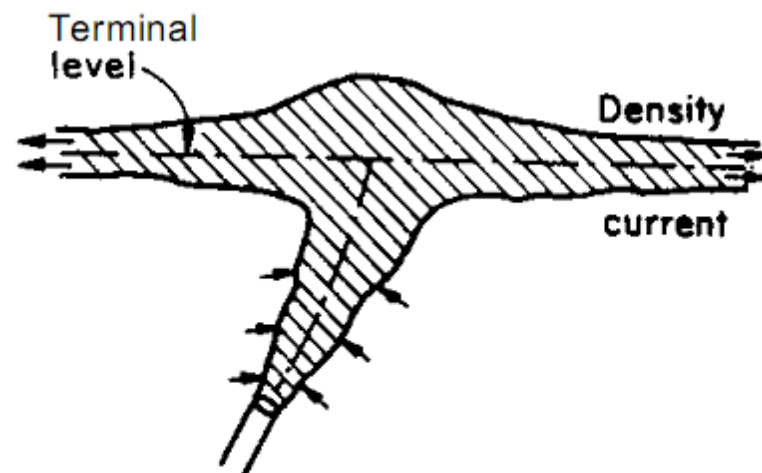
- Πόσο μακριά από την ακτή πρέπει να γίνεται η διοχέτευση των λυμάτων στη θάλασσα, ώστε οι ακτές να μη μολύνονται και να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κολύμβηση κ.λ.π.
- Σε ποιο βάθος πρέπει να γίνει η εκροή των λυμάτων.
- Ποιος είναι ο αναγκαίος βαθμός καθαρισμού των λυμάτων πριν τη διάθεσή τους στη θάλασσα.

Τα οικιακά λύματα και τα βιομηχανικά απόβλητα είναι συνήθως ελαφρύτερα του θαλασσινού νερού (πυκνότητα περίπου 1.025 gr/cm^3), γιατί βασικά η πυκνότητά τους είναι περίπου η πυκνότητα του γλυκού νερού (πυκνότητα περίπου 1.0 gr/cm^3), με αποτέλεσμα το λύμα να υφίσταται άνωση λόγω διαφοράς πυκνότητας από το θαλασσινό περιβάλλον τους και ανέρχεται προς την επιφάνεια της θάλασσας.

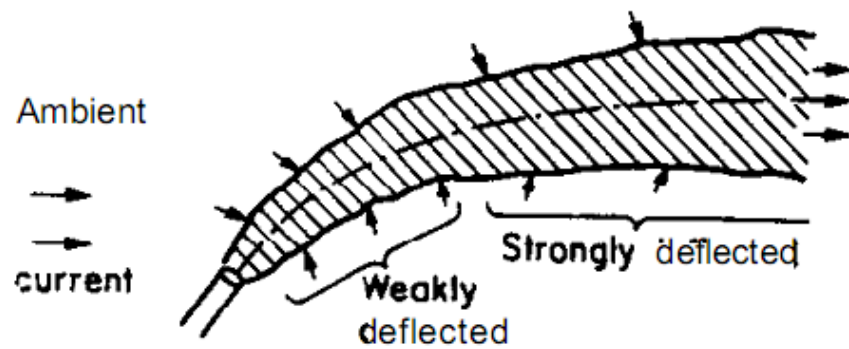
Η ροή που δημιουργείται ονομάζεται **φλέβα (jet)** όταν έχουμε εκροή ενός ρευστού από το στόμιο ενός διαχυτήρα σε έναν αποδέκτη παρόμοιου ρευστού, ή **πλούμιο (plume)**, όταν το εκρέον ρευστό διαθέτει θετική ή αρνητική άνωση σε σχέση με το περιβάλλον ρευστό.



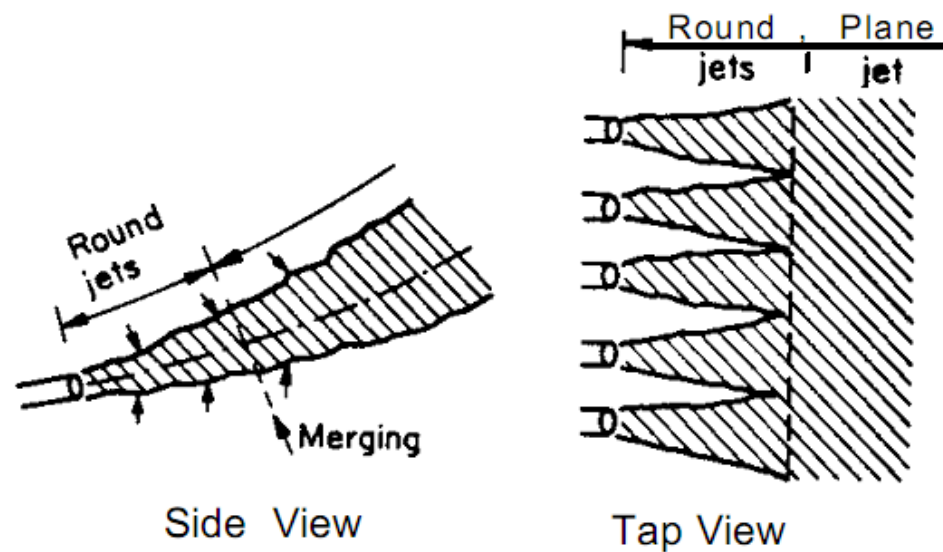
a) Buoyant Jet in Stagnant Uniform Ambient



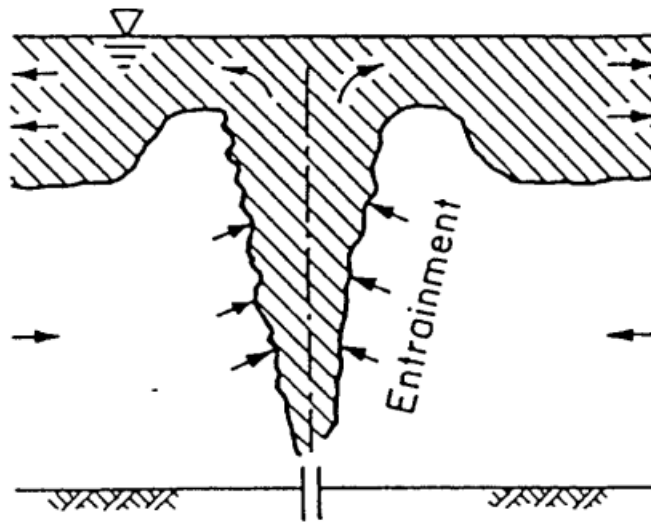
c) Buoyant Jet in Stagnant Stratified Ambient



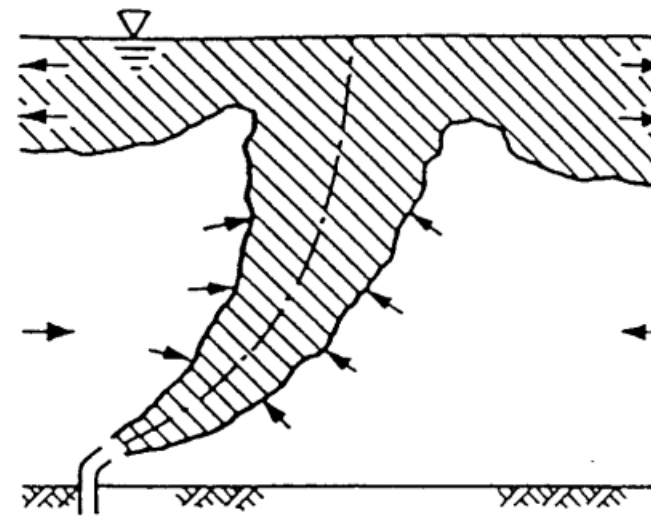
b) Buoyant Jet in Uniform Ambient Cross-Current



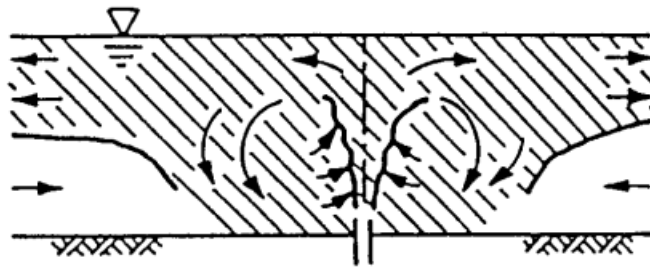
d) Jet Merging for Unidirectional Multipart Diffuser Forming Plane Buoyant Jet



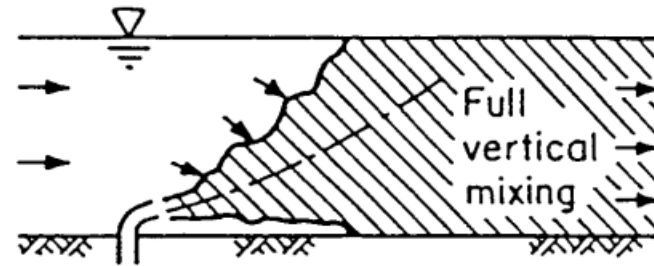
a) Deep Water, High Buoyancy,
Vertical: Stable Near-Field



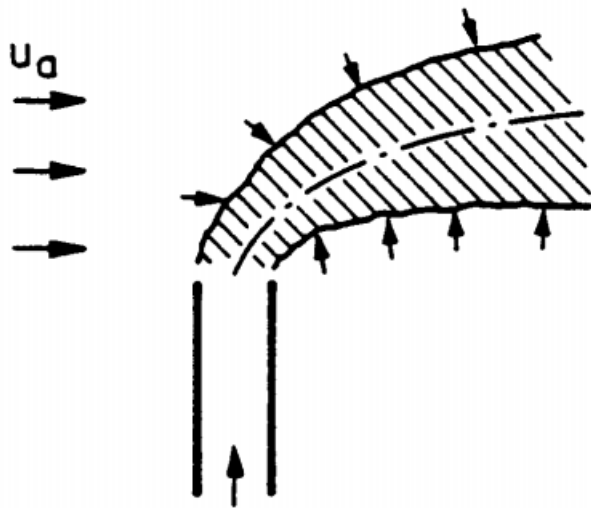
c) Deep Water, High Buoyancy,
Near-Horizontal: Stable Near-Field



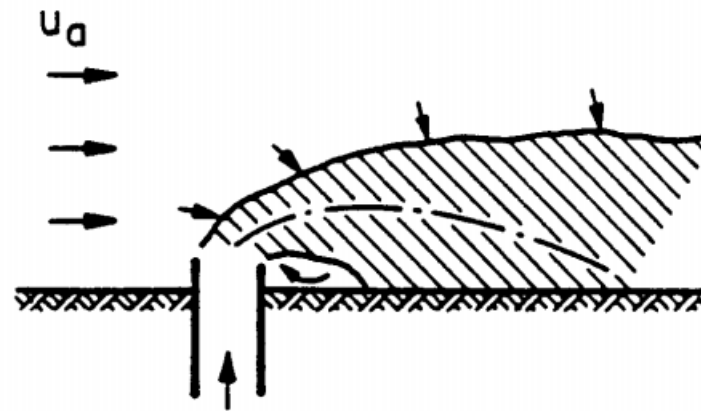
b) Shallow Water, Low Buoyancy,
Vertical: Unstable Near-Field
with Local Mixing and
Restratification



d) Shallow Water, Low Buoyancy,
Near-Horizontal: Unstable Near-Field
with Full Vertical Mixing



i) Free Deflected Jet/Plume
in Cross-flow



ii) Wake Attachment of
Jet/Plume

a) Wake Attachment

Η συμπεριφορά μίας φλέβας ή ενός πλουμίου εξαρτάται από:

- Τις παραμέτρους εκροής της φλέβας ή του πλουμίου,
- Τις επικρατούσες περιβαλλοντικές παραμέτρους, και
- Τους σχεδιαστικούς γεωμετρικούς παράγοντες.

Παράμετροι εκροής της φλέβας ή του πλουμίου

Περιλαμβάνουν:

- α) την αρχική κατανομή ταχύτητας της φλέβας,
- β) το επίπεδο της τύρβης,
- γ) την πυκνότητα του ρευστού της φλέβας, και
- δ) την ύπαρξη οποιουδήποτε άλλου φυσικού χαρακτηριστικού, όπως είναι η θερμοκρασία και η αλατότητα, που επηρεάζουν την πυκνότητα.

Περιβαλλοντικές παράμετροι

Περιλαμβάνουν: α) τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος ρευστού, όπως ο βαθμός της τύρβης και η στρωμάτωση της πυκνότητάς του, β) η ταχύτητα του περιβάλλοντος ρευστού.

Αυτοί οι παράγοντες συνήθως αρχίζουν να επηρεάζουν τη συμπεριφορά της φλέβας σε κάποια απόσταση από το στόμιο της φλέβας (σημείο εξόδου του υπό διάλυση ρευστού στο περιβάλλον)

Γεωμετρικοί παράμετροι

Είναι:

- α) το σχήμα της φλέβας,
- β) ο προσανατολισμός της,
- γ) η πιθανή αλληλεπίδρασή της με παρακείμενη φλέβα,
- δ) τα στερεά όρια,
- ε) αν η φλέβα είναι βυθισμένη,
- στ) η σχέση της φλέβας με κάθε είδους ελεύθερη επιφάνεια κ.λ.π.

Θεωρούμε έναν υποβρύχιο αγωγό με μια κυκλική οπή διαμέτρου D από όπου εκρέει συνεχώς ρευστό πυκνότητας ρ_0 με ομοιόμορφη ταχύτητα U_0 και συγκέντρωση ρυπαντών c_0 μέσα σε ένα ηρεμούν ρευστό πυκνότητας ρ_a (ή ρ_a , ambient density), που έχει συγκέντρωση ρυπαντών c_a . Υποθέτουμε ότι $\rho_0 < \rho_a$, δηλ. το ρευστό εκροής είναι ελαφρύτερο του περιβάλλοντος ρευστού και άρα υφίσταται άνωση. Τότε:

1. Η ροή μάζας της φλέβας, δηλ. η ποσότητα μάζας που διέρχεται από μία διατομή της ανά μονάδα χρόνου ορίζεται ως:

$$\rho\mu = \int_A \rho w dA$$

2. Η ροή ορμής της φλέβας, δηλ. η ποσότητα της ορμής που διέρχεται από μία διατομή της ανά μονάδα χρόνου ορίζεται ως:

$$\rho m = \int_A \rho w^2 dA$$

3. Η ροή άνωσης της φλέβας, δηλ. το ανωστικό βάρος του ρευστού που διέρχεται από μία διατομή της ανά μονάδα χρόνου ορίζεται ως:

$$\rho\beta = \int_A g \Delta\rho w dA$$

Όπου A το εμβαδόν της διατομής, w η κατακόρυφη ταχύτητα της φλέβας, μ η ειδική ροή μάζας ή ροή όγκου της φλέβας, m η ειδική ροή ορμής, Δρ η διαφορά πυκνότητας μεταξύ του ρευστού της φλέβας και του περιβάλλοντος ρευστού και β η ειδική ανωστική ροή.

Για μία απλή κυκλική φλέβα ορίσουμε τις αρχικές τιμές της ροής όγκου, της ειδικής ροής ορμής και της ειδικής ανωστικής ροής ως Q, M και B

$$Q = \frac{1}{4} \pi D^2 W$$

$$M = \frac{1}{4} \pi D^2 W^2 = QW$$

$$B = g \left(\frac{\Delta\rho_o}{\rho} \right) Q = g'_o Q$$

Όπου D είναι η διάμετρος της φλέβας και W η μέση ταχύτητα εκροής θεωρούμενη ως σταθερή σε ολόκληρη τη πορεία της φλέβας και g'_o είναι η αρχική φαινόμενη επιτάχυνση της βαρύτητας.

Η συγκέντρωση του εκρέοντος ρύπου ακολουθεί τη κανονική Gauss κατανομή η οποία ορίζεται:

$$C = C_m \exp \left[-k(x/z)^2 \right]$$

Όπου m αναφέρεται στη τιμή του C κατά μήκος του άξονα της φλέβας, z η απόσταση κατά μήκος του άξονα και x η ακτινική απόσταση εγκάρσια στον άξονα της φλέβας.

Αντίστοιχα, η μέση κατανομή της ταχύτητας σε μία φλέβα δίνεται:

$$w = w_m f(x/b_w)$$

Όπου m αναφέρεται στη τιμή του C κατά μήκος του άξονα της φλέβας, x η ακτινική απόσταση εγκάρσια στον άξονα της φλέβας και b_w η τιμή του x στην οποία η ταχύτητα w είναι ίση με το $0.37 w_m$ (συνήθως $0.37 = e^{-1}$).

Η μορφή της συνάρτησης f είναι η γνωστή κατανομή Gauss, οπότε:

$$C = C_m \exp\left[-(x/b_T)^2\right]$$

$$w = w_m \exp\left[-(x/b)^2\right]$$

Όπου b , b_T είναι η τιμή του x για την οποία η ταχύτητα w και η συγκέντρωση C παίρνουν τιμές $0.37w_m$ και $0.37C_m$, αντίστοιχα

Πίνακας 1. Κύριες Ιδιότητες Τυρβωδών Φλεβών.

| Παράμετρος | Κυκλική Φλέβα | Επίπεδη Φλέβα |
|---|--|--|
| Αρχική Ροή Όγκου, Q | Διαστάσεις $[L^3 T^{-1}]$ | Διαστάσεις $[L^2 T^{-1}]$ |
| Αρχική Ροή Ορμής, M | Διαστάσεις $[L^4 T^{-2}]$ | Διαστάσεις $[L^3 T^{-2}]$ |
| Χαρακτηριστικό Μήκος, l_Q | $= Q/M^{1/2}$ | $= Q^2 / M$ |
| Μέγιστη κατακόρυφη ταχύτητα, w_m | $w_m \frac{Q}{M} = (7.0 \pm 0.1) l_Q / z$ | $w_m \frac{Q}{M} = (2.41 \pm 0.04) \left(\frac{l_Q}{z} \right)^{1/2}$ |
| Μέγιστη συγκέντρωση ρύπου, C_m | $\frac{C_m}{C_o} = (5.6 \pm 0.1) \left(\frac{l_Q}{z} \right)$ | $\frac{C_m}{C_o} = (2.38 \pm 0.04) \left(\frac{l_Q}{z} \right)^{1/2}$ |
| Μέση διάλυση, μ/Q | $\frac{\mu}{Q} = (0.25 \pm 0.01) \left(\frac{z}{l_Q} \right)$ | $\frac{\mu}{Q} = (0.50 \pm 0.02) \left(\frac{z}{l_Q} \right)^{1/2}$ |
| Μέση ταχύτητα κατά μήκος του άξονα $w_m(z)$ | $= 2.41 \sqrt{\frac{M}{z}}$ | $= \frac{7}{z} \sqrt{M}$ |

Παράδειγμα Εφαρμογής: Έστω τυρβώδης φλέβα παροχής $1 \text{ m}^3/\text{s}$ με ταχύτητα εκροής 3 m/s σε ρευστό με όμοια πυκνότητα. Να βρεθεί εντός της φλέβας η μέγιστη ταχύτητα ροής, η μέγιστη συγκέντρωση του ρύπου και η μέση διάλυση σε απόσταση 60 m από την οπή εκροής. Η αρχική συγκέντρωση του ρύπου είναι 1 kg/m^3 .

Εφόσον, $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$, $M = 3 \text{ m}^4/\text{s}^2$ και $l_Q = Q/M^{1/2} = 0.58 \text{ m}$.

Άρα σε απόσταση 60 m , ο λόγος $z/l_Q = 60/0.58 = 103.4$

Η μέγιστη κατακόρυφη ταχύτητα είναι:

$$w_m \frac{Q}{M} = (7.0 \pm 0.1) l_Q / z \Rightarrow w_m = \frac{7}{103.4} \frac{M}{Q} = 0.20 \text{ m/s}$$

Επίσης, η μέγιστη συγκέντρωση ρύπου

$$\frac{C_m}{C_o} = (5.6 \pm 0.1) \left(\frac{l_Q}{z} \right) \Rightarrow C_m = C_o \frac{5.6}{103.4} = 10^3 \times 0.054 = 5.4 \text{ ppm}$$

Τέλος η μέση διάλυση είναι:

$$\frac{\mu}{Q} = (0.25 \pm 0.01) \left(\frac{z}{l_Q} \right) = 0.25 \times 103.4 = 25.85$$