

Διαχείριση Παράκτιων Υδατικών Συστημάτων

Μάθημα 5 – Ταξινόμηση και Δυναμική Παράκτιων
Υδατικών Συστημάτων

Δρ. Γιώργος Συλαίος
Ωκεανογράφος – Καθηγητής ΤΜΠ-ΔΠΘ

Φυσικά Όρια της Παράκτιας Ζώνης

Η παράκτια ζώνη αποτελείται από μία σειρά μοναδικών οικοσυστημάτων, που λειτουργούν προσαρμοσμένα στις υψηλές ροές ενέργειας, θρεπτικών αλάτων και ιζημάτων με αποτέλεσμα την υψηλή βιολογική παραγωγικότητα και την έντονη βιοποικιλότητα ειδών οργανισμών.

Έντονες φυσικές δυνάμεις ενεργούν στη παράκτια ζώνη μεταβάλλοντας διαρκώς τη μορφολογία, διαφοροποιώντας τη σύνθεση των οικοσυστημάτων αλλά θέτοντας και σε κίνδυνο τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Στη βιβλιογραφία δεν υπάρχει ένας απλός και ρητός ορισμός των φυσικών ορίων της παράκτιας ζώνης. Ένας κοινός εμπειρικός κανόνας αναφέρει ότι θα πρέπει να περιλάβουμε στην ανάλυσή μας χερσαίες περιοχές έως και 100 χλμ μακριά από τη παράκτια ζώνη.

Τελευταίες εκτιμήσεις του παράκτιου πληθυσμού και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων θεωρούν ότι η παράκτια ζώνη θα πρέπει να περιλαμβάνει το χερσαίο τμήμα με ανύψωση έως τα +200 μ και σε απόσταση έως 100 χλμ από την ακτογραμμή. Το θαλάσσιο όριο προσδιορίζεται με βάση διάφορους παράγοντες, ο κυριότερος από τους οποίους είναι η βαθυμετρία. Το όριο συνήθως τοποθετείται στην ισοβαθή των 200 μ βάθους.

Θεωρώντας τα παραπάνω φυσικά όρια για τη παράκτια ζώνη, εκτιμούμε ότι είναι η περιοχή:

- που καταλαμβάνει <20% της επιφάνειας της Γης,
- που περιλαμβάνει >45% του ανθρώπινου πληθυσμού της Γης,
- που περιλαμβάνει το 75% των μεγα-πόλεων με πληθυσμό >10 εκ. κατοίκων,
- που παράγει το 90% της παγκόσμιας αλιευτικής παραγωγής,
- που αποτελεί τη κύρια ζώνη απόθεσης των ιζημάτων,
- που αποτελεί τη κύρια περιοχή έντονων βιογεωχημικών διεργασιών,
- που χαρακτηρίζεται από έντονη χωρική ετερογένεια, και δυναμική μεταβλητότητα στο χρόνο,
- που διαθέτει στο εσωτερικό της έντονες βαθμίδες μεταβλητότητας και έντονη ποικιλότητα.

Φυσικά Όρια των Παράκτιων Συστημάτων

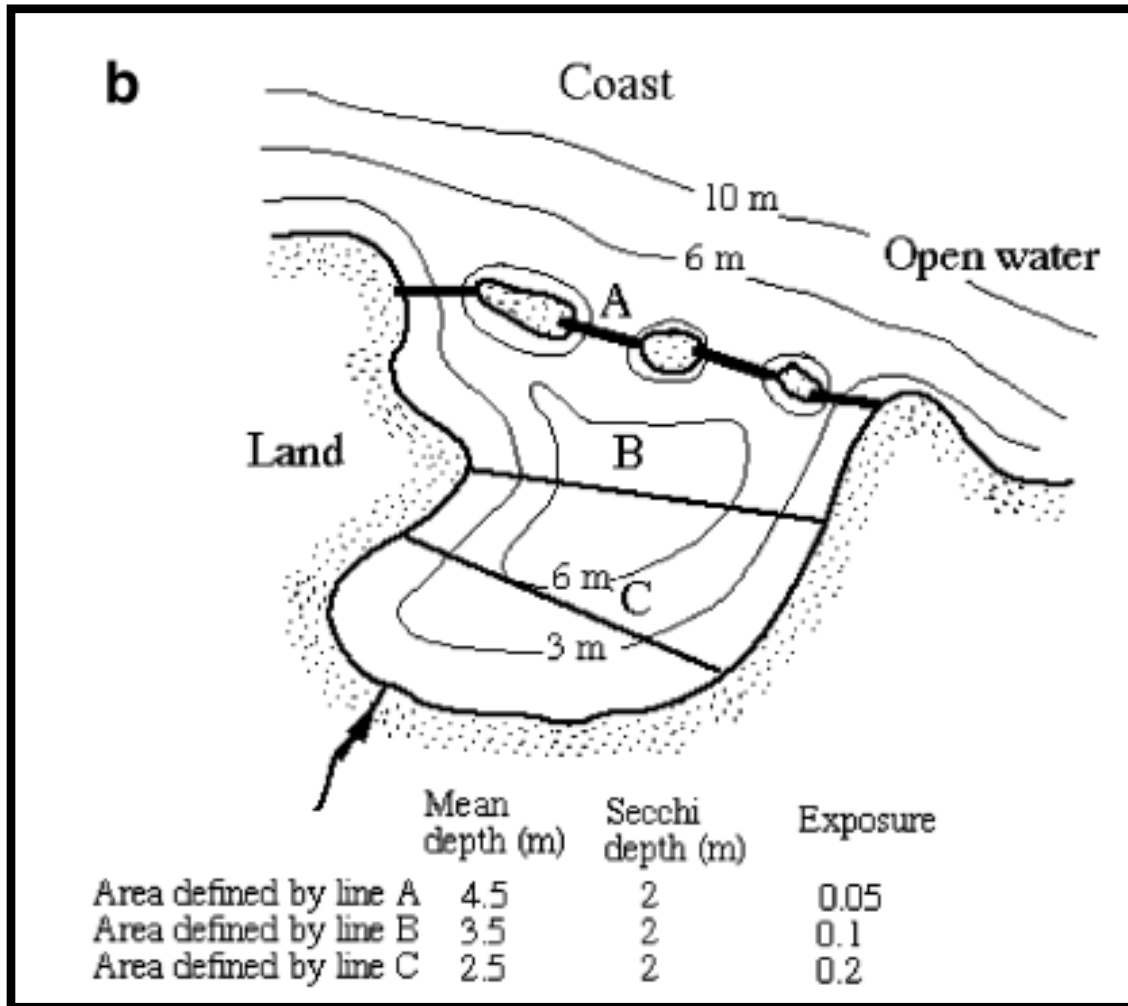
Η μορφομετρία της παράκτιας περιοχής, δηλ. το μέγεθός της και τα μορφολογικά της χαρακτηριστικά επηρεάζουν το ρυθμό ανανέωσης της εισερχόμενης σε αυτή μάζας.

Έτσι, η μορφολογία της περιοχής επηρεάζει τη δυναμική των ιζημάτων και τη παρουσία των ρύπων σε αυτή.

Συντελεστής Έκθεσης ΠΥΣ

Η μεθοδολογία που έχει αναπτυχθεί για το βέλτιστο καθορισμό των φυσικών ορίων του παράκτιου συστήματος χρησιμοποιεί το **συντελεστή έκθεσης (exposure ratio, E_x)** ο οποίος εκφράζει το λόγο μεταξύ του εμβαδού της οριακής διατομής και του εμβαδού της παράκτιας περιοχής.

$$\text{Συνεπώς, } E_x = (A_t / \text{Area}) \times 100$$



Χρησιμοποιώντας το λόγο E_x για διάφορες οριακές γραμμές της παράκτιας περιοχής, ορίζουμε ως το όριό της τη γραμμή με την οποία το E_x αποκτά την ελάχιστη τιμή του

Μόλις καθορίσουμε τη παράκτια περιοχή, μπορούμε να προσδιορίσουμε σημαντικές παραμέτρους για το ισοζύγιο μάζας, όπως ο **όγκος νερού της περιοχής**, το **μέσο βάθος** και το **εμβαδόν** της περιοχής.

Συστήματα Ταξινόμησης Παράκτιων Υδατικών Συστημάτων

Για τη ταξινόμηση των παράκτιων συστημάτων υπάρχουν διεθνώς τρία γενικά συστήματα:

- α) το μορφολογικό σύστημα,
- β) το γεωμορφολογικό σύστημα, και
- γ) το σύστημα στρωματοποίησης.

Το μορφολογικό σύστημα βασίζεται στα μορφολογικά χαρακτηριστικά της παράκτιας περιοχής, όπως ο παράγοντας έκθεσης, το εμβαδόν και το σχήμα της.

Η γεωμορφολογική κατάταξη βασίζεται στα τοπογραφικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά του κάθε συστήματος, καθώς και στη δυναμική ιζημάτων που εισέρχονται σε αυτό.

Το σύστημα στρωματοποίησης αναφέρεται στην ύπαρξη στρωμάτων (layers) νερού με διαφορετική πυκνότητα

Μορφολογικό Σύστημα Ταξινόμησης

Σε σχέση με το **μορφολογικό σύστημα ταξινόμησης**, χρησιμοποιείται η παράμετρος έκθεσης E_x .

Παράκτιες περιοχές με τιμές E_x μικρότερες του 0.002 θεωρούνται 'πολύ κλειστά παράκτια συστήματα'.

Παράκτιες περιοχές με τιμές μεγαλύτερες του 1.3 θεωρούνται 'ανοικτά παράκτια συστήματα'.

Τέλος, παράκτιες περιοχές με τιμές E_x μεταξύ του 0.002 και 1.3 θεωρούνται 'ημίκλειστα παράκτια συστήματα'.

Μορφολογική ταξινόμηση παράκτιων συστημάτων με βάση τη παράμετρο έκθεσης του συστήματος (Lindgren and Hakanson, 2007).

Τιμή E_x	Χαρακτηρισμός Συστήματος	Τυπικά Συστήματα
0-0.002	Κλειστά έως πολύ κλειστά συστήματα	Οι περισσότερες λιμνοθάλασσες
0.002-1.3	Ημίκλειστα συστήματα	Κόλποι, φιόρδς
>1.3	Ανοικτά συστήματα	Ανοικτές ακτές

Άλλη μορφολογική παράμετρος είναι το εμβαδόν της παράκτιας περιοχής. Το εμβαδόν μαζί με το μέσο βάθος ορίζουν τον όγκο νερού της παράκτιας περιοχής. Με βάση το εμβαδόν, οι περιοχές κατατάσσονται σε:

	Χαρακτηρισμός περιοχής
Εμβαδόν παράκτιας περιοχής (km ²)	
> 10.000	Πολύ μεγάλη
1.000-10.000	Μεγάλη
100-1.000	Ενδιάμεση
10-100	Μικρή
< 10	Πολύ μικρή

Άλλη σημαντική μορφολογική παράμετρος είναι το σχήμα της παράκτιας περιοχής. Επηρεάζει

- α) τη ποσότητα των ιζημάτων που θα συγκεντρωθούν στο πυθμένα της περιοχής,
- β) τη φόρτιση του συστήματος σε αιωρούμενα υλικά, και
- γ) την ανάπτυξη μακροφυκών και βενθικής άλγης και συνεπώς τη παραγωγικότητα του συστήματος

Γενικά, οι μεγάλοι βάθους ακτές σχήματος U έχουν μικρότερο εμβαδόν ευφωτικής ζώνης.

Όσο μεγαλύτερο το εμβαδόν της ευφωτικής ζώνης, τόσο υψηλότερη είναι η πρωτογενής παραγωγικότητα της περιοχής σε φυτοπλαγκτόν, βενθική άλγη και μακροφύκη, άρα και υψηλότερη η βιολογική αξία και τα απαιτούμενα μέτρα προστασίας της περιοχής.

Ο παράγοντας σχήματος της περιοχής V_d εκφράζεται ως:

$$V_d = \frac{3D_m}{D_{\max}}$$

Όπου D_{\max} (σε μ) είναι το μέγιστο βάθος της παράκτιας περιοχής.

Μορφολογική ταξινόμηση παράκτιων συστημάτων με βάση τη παράμετρο έκθεσης του συστήματος (Håkanson, 2004).

Σχήμα Περιοχής	Συμβολισμός Συστήματος	Τιμή V_d
Εξαιρετικά κυρτή	VCx	0.05 – 0.33
Κυρτή	Cx	0.33 – 0.67
Ελαφρά κυρτή	SCx	0.67 – 1.00
Γραμμική	L	1.00 – 1.33
Κοίλη	C	1.33 – 2.00

Τέλος, ο δυναμικός λόγος DR είναι μία παράμετρος που περιγράφει τη κατανομή του βάθους στη παράκτια περιοχή.

$$DR = \frac{\sqrt{A}}{D_m}$$

Όπου area είναι το εμβαδόν της παράκτιας περιοχής (σε km²) και D_m το μέσο βάθος (σε μ).

Ο λόγος αυτός συνδέεται με την επαναιώρηση και την απόθεση ιζημάτων και μέσω αυτών τη φόρτιση ή τη βύθιση των θρεπτικών αλάτων σε μία παράκτια περιοχή.

Σε κάθε παράκτια περιοχή υπάρχει μία ρηχή ζώνη όπου η δυναμική πυθμένα επηρεάζεται από τα ρεύματα και τα κύματα, με αποτέλεσμα τη μεταφορά και διάβρωση των ιζημάτων.

Συνήθως η ζώνη αυτή έχει εμβαδόν μεγαλύτερο του 15% της περιοχής, αντιστοιχώντας σε τιμή $DR = 0.25$. Αυτό σημαίνει ότι οι περιοχές απόθεσης ιζήματος καταλαμβάνουν περίπου το 85% της συνολικής παράκτιας περιοχής.

Άρα, η ρηχή ζώνη είναι ζώνη μεταφοράς ιζημάτων, άρα διάβρωσης

Η ζώνη μεγάλου βάθους είναι ζώνη απόθεσης ιζημάτων

Σχετικά ρηχές περιοχές ($DR > 0.25$),

- Σημαντική επίδραση του ανέμου και των κυμάτων**
- Καλύτερη οξυγόνωση του πυθμένα,**
- Μεγαλύτερη επαναιώρηση ιζημάτων, και**
- Φόρτιση υδάτινης στήλης σε θρεπτικά άλατα.**

Περιοχές σχετικά μεγαλύτερου βάθους ($DR < 0.25$),

- Αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης ανοξικών συνθηκών,**
- Αυξημένος χρόνος ανανέωσης του νερού πυθμένα,**
- Δυσμενής επιβίωση και ανάπτυξη της βενθικής χλωρίδας και πανίδας, και**
- Διαλυτοποίηση του φωσφόρου των ιζημάτων.**

Μορφολογική ταξινόμηση παράκτιων συστημάτων με βάση το δυναμικό λόγο του συστήματος.

Χαρακτηρισμός Περιοχής	Τιμή DR	Περιγραφή
Πολύ μεγάλου βάθους	<0.064	Περιοχές με έντονες κλίσεις πυθμένα, και έντονες διεργασίες μεταφοράς και διάβρωσης ιζημάτων
Μεγάλου βάθους	0.064 – 0.25	Περιοχές με σχετικά υψηλές κλίσεις πυθμένα, όπου συμβαίνουν διεργασίες διάβρωσης, μεταφοράς και απόθεσης λεπτόκοκκων ιζημάτων
Ενδιάμεσου βάθους	0.25 – 4.1	Περιοχές επηρεαζόμενες από τις ανεμογενείς και κυματικές διεργασίες όπου συμβαίνουν διεργασίες διάβρωσης, μεταφοράς και απόθεσης λεπτόκοκκων ιζημάτων
Μικρού βάθους	> 4.1	Περιοχές επηρεαζόμενες από τις ανεμογενείς και κυματικές διεργασίες όπου συμβαίνουν διεργασίες διάβρωσης

Σε σχέση με τη δυναμική των ιζημάτων πυθμένα, διακρίνουμε τις παρακάτω διεργασίες:

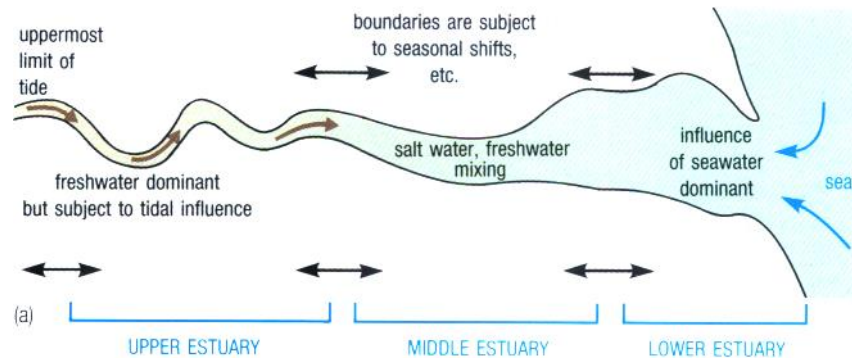
➤ **Περιοχές διάβρωσης (Erosion Areas)**, όπου δεν συμβαίνει απόθεση αλλά κυριαρχεί η μεταφορά λεπτόκοκκων ιζημάτων. Έχουν συνήθως σκληρό υπόστρωμα, από αδρομερή άμμο, χαλίκια και συμπαγείς βράχους με χαμηλό οργανικό υλικό και χαμηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων και ρύπων.

➤ **Περιοχές μεταφοράς (Transportation Areas)**, όπου επικρατούν τα λεπτομερή ιζήματα τα οποία αποτίθενται περιοδικά. Χαρακτηρίζονται από μεικτά λεπτόκοκκα και αδρομερή ιζήματα και εμφανίζονται σε περιοχές όπου η ανεμογενής – κυματική δράση αντισταθμίζεται από τις συνθήκες δυναμικής πυθμένα. Στις περιοχές αυτές είναι δύσκολο να διακρίνουμε περιοχές διάβρωσης από αυτές της απόθεσης.

➤ **Περιοχές απόθεσης (Accumulation Areas)**, όπου επικρατεί η συνεχής απόθεση των λεπτόκοκκων ιζημάτων. Χαρακτηρίζονται από λεπτόκοκκα ιζήματα, όπου όμως εμφανίζονται υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων.

Σύστημα Γεωμορφολογικής Ταξινόμησης

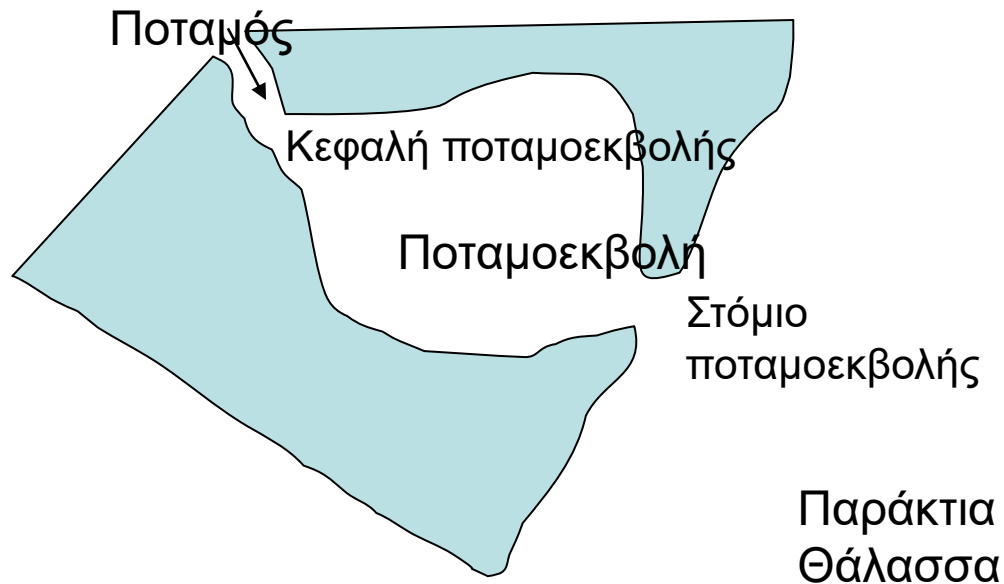
Η γεωμορφολογική κατάταξη βασίζεται στα τοπογραφικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά του κάθε συστήματος, καθώς και στη δυναμική ιζημάτων που εισέρχονται σε αυτό.



Land-Ocean Interactions:

Παράκτια Κυκλοφορία

Ποταμοεκβολή: ημίκλειστο υδάτινο σώμα σε επικοινωνία με την ανοιχτή θάλασσα, εντός του οποίου λαμβάνει χώρα διάλυση του αλμυρού θαλασσινού νερού από το γλυκό, χερσαίας προέλευσης νερό (Pritchard, 1963)



Γεωμορφολογικό Σύστημα Ταξινόμησης Παράκτιων Υδατικών Συστημάτων

Τα παράκτια υδατικά συστήματα χρονολογούν την ύπαρξή τους από τη τελευταία μεσοπαγετώδη περίοδο (περίπου 20.000 χρόνια πριν), όταν η στάθμη της θάλασσας ανήλθε κατά περίπου 120 μέτρα.

Οι κύριες γεωμορφολογικές ομάδες παράκτιων υδατικών συστημάτων είναι:

α) Οι πλημμυρισμένες ποταμοεκβολές (drowned river valleys),

Πρόκειται για λεκάνες που προέκυψαν από τη επέκταση της θάλασσας σε μία υπάρχουσα ποτάμια κοιλάδα, οπότε τα χερσαία όρια του συστήματος είναι μία ισούψης καμπύλη της παλαιάς υδρολεκάνης.

Τα συστήματα αυτά έχουν συνήθως ένα σχήμα V από το ποτάμιο κανάλι, και είναι μικρού βάθους (>20 μ.) και διαθέτουν ομαλές πλευρικές κλίσεις.

Γεωμορφολογικό Σύστημα Ταξινόμησης Παράκτιων Υδατικών Συστημάτων

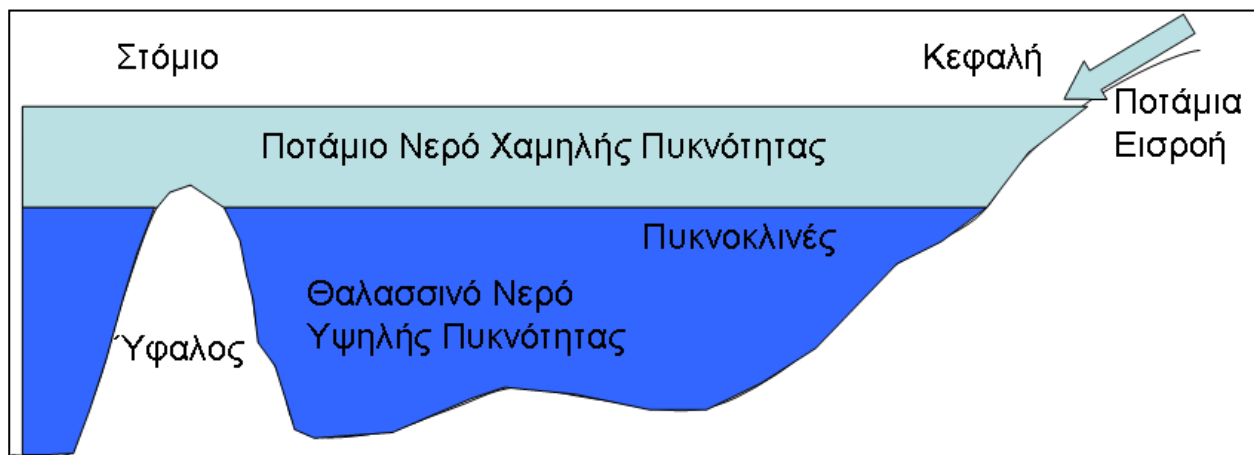
β) τα φιόρδ (fjords)

Είναι πλημμυρισμένες παγετώδεις κοιλάδες που πλημμύρισαν με θαλασσινό νερό. Χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη ενός ύφαλου, προερχόμενου από το υλικό διάβρωσης του παγετώνα το οποίο αποτίθεται κοντά στο στόμιό τους, και από την εισροή ποταμού στη κεφαλή τους.

Είναι βαθύτερα συστήματα,

Διαθέτουν απότομες πλαγιές,

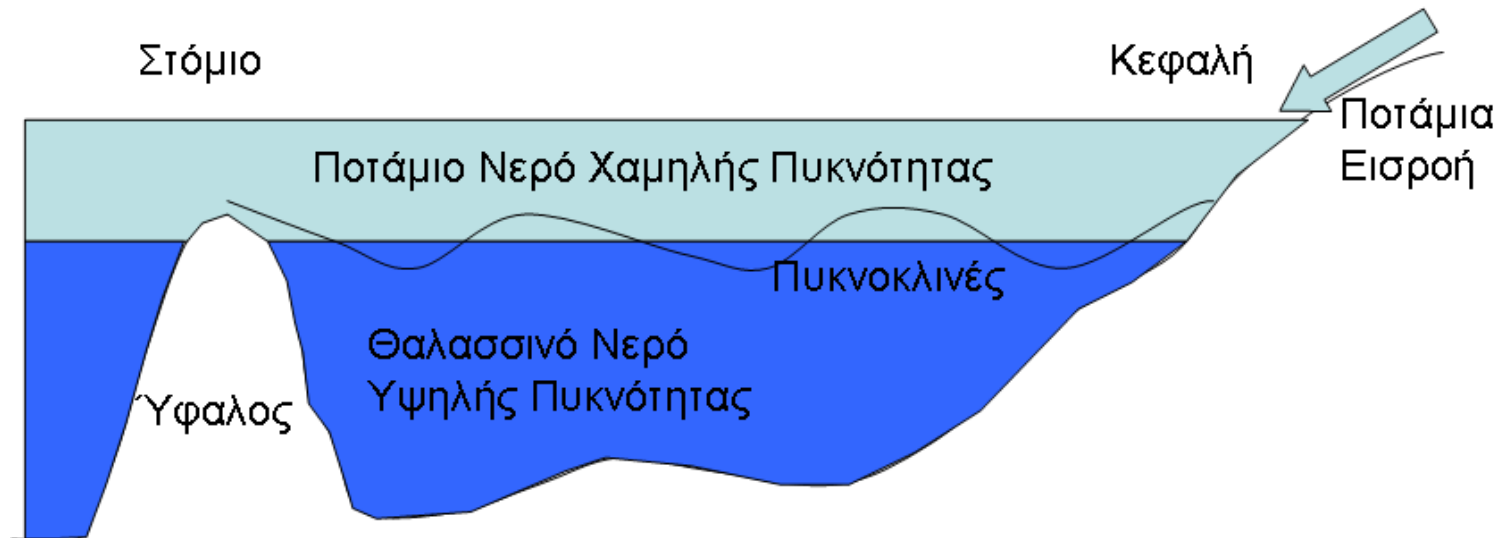
Είναι συνήθως στρωματοποιημένα, με το βαρύτερο θαλασσινό νερό να εγκλωβίζεται στο πυθμένα πίσω από τον ύφαλο που ενεργεί ως φυσικό φράγμα



Γεωμορφολογικό Σύστημα Ταξινόμησης Παράκτιων Υδατικών Συστημάτων

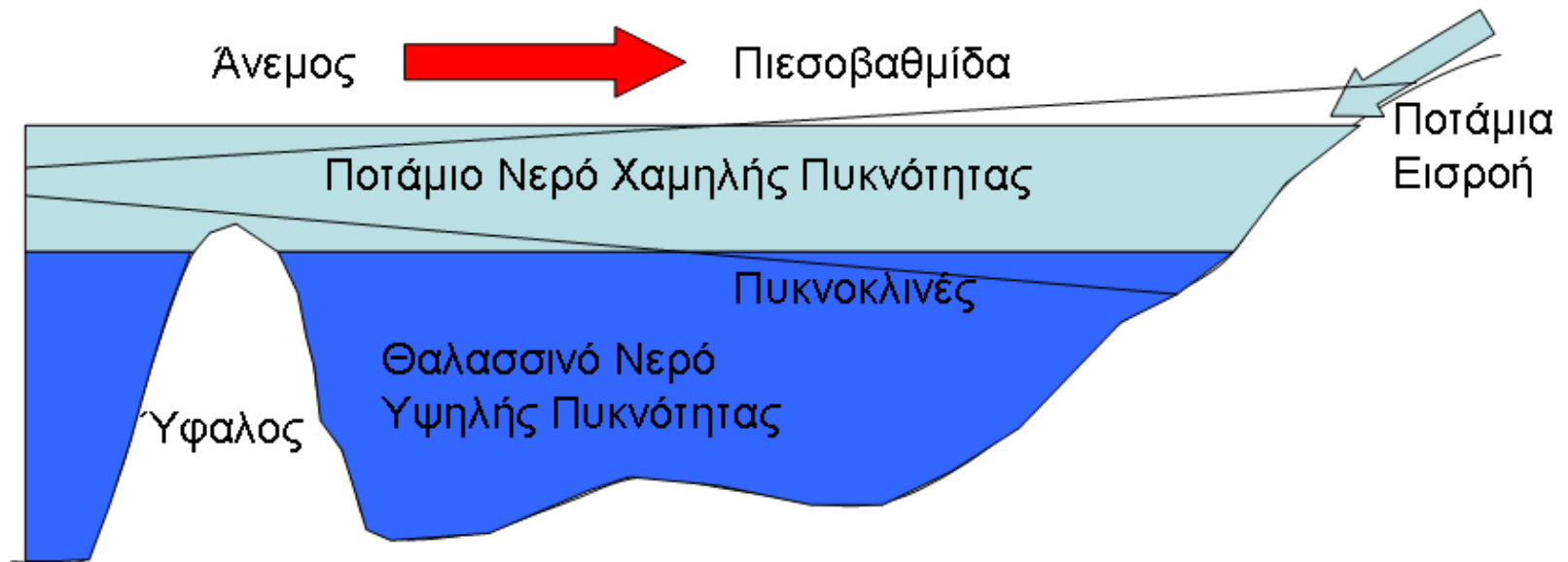
Η ανανέωση του νερού στο πυθμένα του φιόρδ μπορεί να προέλθει από δύο μηχανισμούς:

α) εάν το όριο διαχωρισμού του νερού χαμηλής και υψηλής πυκνότητας (το οποίο ονομάζεται πικνοκλινές) βρίσκεται κοντά στη κορυφή του υφάλου, τότε παράγονται εσωτερικά κύματα (internal waves) τα οποία συμβάλουν στη μεταφορά νερού πυθμένα πάνω από τον ύφαλο και έξω από τη λεκάνη του φιόρδ



Γεωμορφολογικό Σύστημα Ταξινόμησης Παράκτιων Υδατικών Συστημάτων

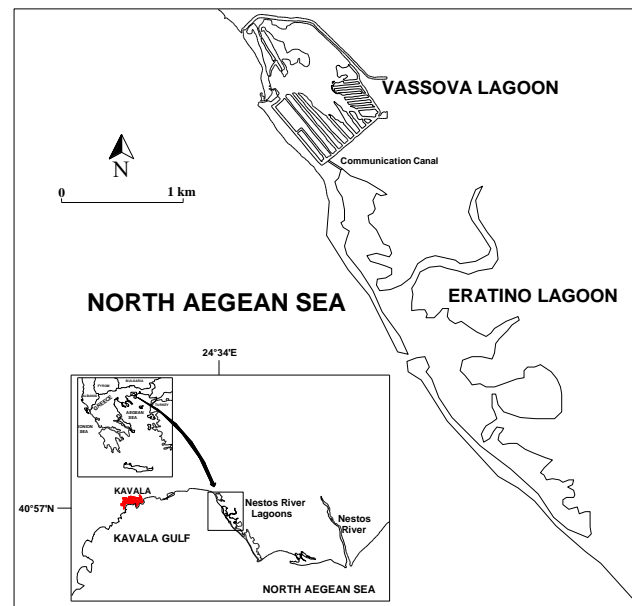
β) Η επίδραση του ανέμου είναι δυνατόν αν μεταφέρει νερό πάνω από τον ύφαλο, καθώς ο άνεμος που κινείται από το στόμιο προς τη κεφαλή του φιόρδ, αυξάνει τη στάθμη της θάλασσας στη κεφαλή. Η πιεσοβαθμίδα που προκαλείται με φορά από τη κεφαλή προς το στόμιο, εξισορροπείται από την άνοδο του πυκνοκλινούς στη περιοχή του στομίου, ένα φαινόμενο που ονομάζεται upwelling



Γεωμορφολογικό Σύστημα Ταξινόμησης Παράκτιων Υδατικών Συστημάτων

γ) οι παράκτιες λιμνοθάλασσες (bar-built estuaries & coastal lagoons)

Πρόκειται για ρηχές λεκάνες που οφείλουν τον ημίκλειστο χαρακτήρα τους στην προέκταση ενός αμμώδους συνήθως βραχίονα (spit, sand bar) που τροφοδοτείται με ίζημα από τα διαμήκη παράκτια ρεύματα. Η λεκάνη δημιουργείται κατά την έξοδο στη θάλασσα ενός ή περισσοτέρων ποταμών. Το μέγεθος του ανοίγματος που επιτρέπει ο βραχίονας εξαρτάται από τη ποτάμια ροή ή τη παλιρροιακή κυκλοφορία, και σε πολλές περιπτώσεις η λεκάνη αποκλείεται κατά περιόδους



Γεωμορφολογικό Σύστημα Ταξινόμησης Παράκτιων Υδατικών Συστημάτων

Οι λεκάνες των συστημάτων αυτών είναι συνήθως ρηχές (μερικά μέτρα βάθος). Το στόμιο του συστήματος έχει τη μορφή στενού καναλιού που παράγει έντονα παλιρροιακά ρεύματα (0.15 m/s ή μεγαλύτερα), με μεγέθη ικανά να μεταφέρουν ιζήματα ακόμη και μεγάλης κοκκομετρικής διαμέτρου.

Το παλιρροιακό στόμιο συνήθως περιορίζει την επίδραση των παλιρροιών στο εσωτερικό της λεκάνης, προκαλώντας μία διαφορά φάσης μεταξύ της ημίκλειστης λεκάνης και της παρακείμενης ανοικτής θάλασσας που μπορεί να φθάσει τις 90° σε πολύ στενά κανάλια. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η άνοδος της στάθμης στη λεκάνη είναι σχεδόν μηδενική όταν η ωκεάνια στάθμη βρίσκεται στο μέγιστο ή στο ελάχιστό της.

Σύστημα Ταξινόμησης Στρωματοποίησης

Γενικά το γλυκό νερό που εισέρχεται στα παράκτια αυτά συστήματα δημιουργεί ένα ανώτερο στρώμα νερού χαμηλής πυκνότητας που καλύπτει την επιφάνεια του συστήματος και εξέρχεται προς την ανοικτή θάλασσα.

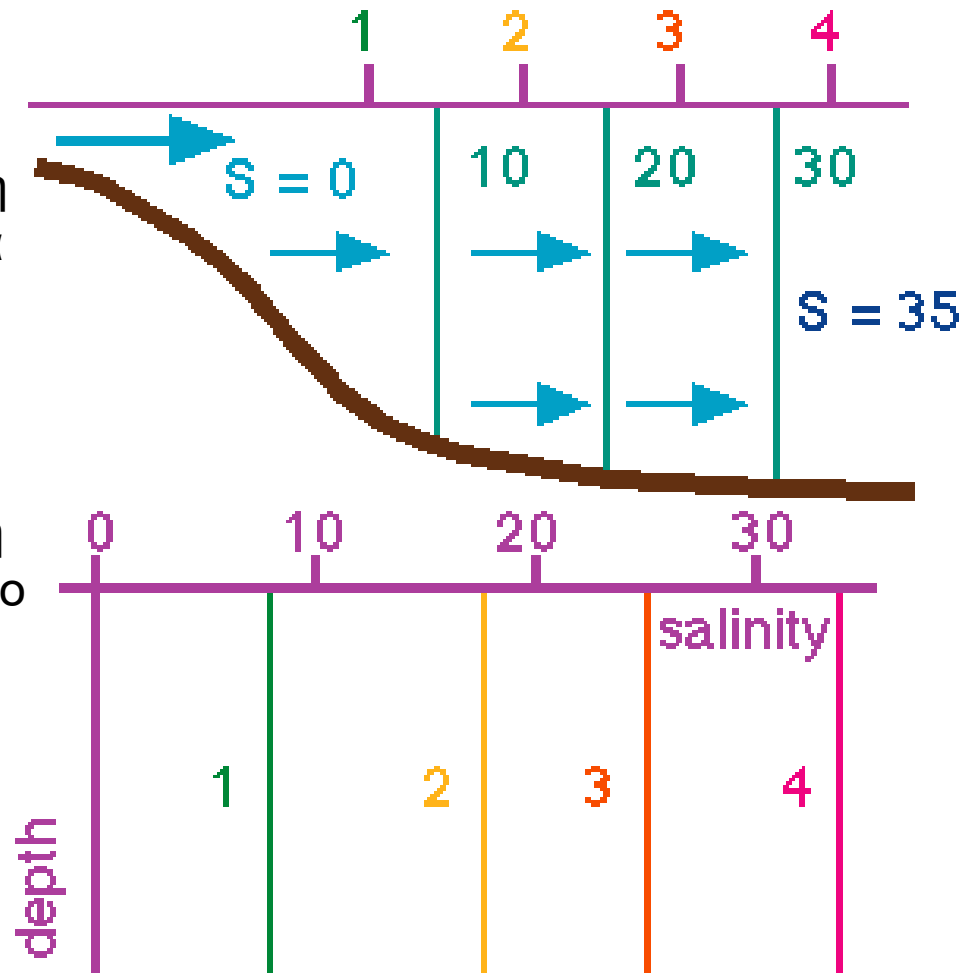
Ταυτόχρονα, συμβαίνει η εισροή ωκεάνιου νερού με μεγαλύτερη πυκνότητα που καταλαμβάνει το κατώτερο στρώμα του συστήματος. Η παρουσία των δύο διαφορετικών στρωμάτων συνοδεύεται από την εμφάνιση της μεταξύ τους διεπιφάνειας, μέσω της οποίας γίνεται η μείξη των δύο υδάτινων μαζών. Η ταξινόμηση αυτή σχετίζεται με το βαθμό στρωματοποίησης – μείξης των δύο αυτών στρωμάτων, η οποία προσδιορίζει και τη κατανομή των λοιπών παραμέτρων νερού και ρύπων στο σύστημα.

Σύστημα Ταξινόμησης Στρωματοποίησης Παράκτιων Υδατικών Συστημάτων

α) συστήματα πλήρους ανάμειξης

Ρηχά συστήματα μικρού όγκου, όπου η αλατότητα σε κάθε σημείο είναι σχετικά ομοιόμορφη από την επιφάνεια ως το πυθμένα, (πλήρης τυρβώδης μείξη ποτάμιου και θαλασσινού νερού).

Η αλατότητα εμφανίζει διαμήκη αύξηση από τη κεφαλή του συστήματος προς το στόμιό του



Τα πλήρως αναμιγμένα συστήματα είναι εξαιρετικά σπάνια στη πραγματικότητα, ωστόσο αρκετά συστήματα προσεγγίζουν αυτές τις συνθήκες.

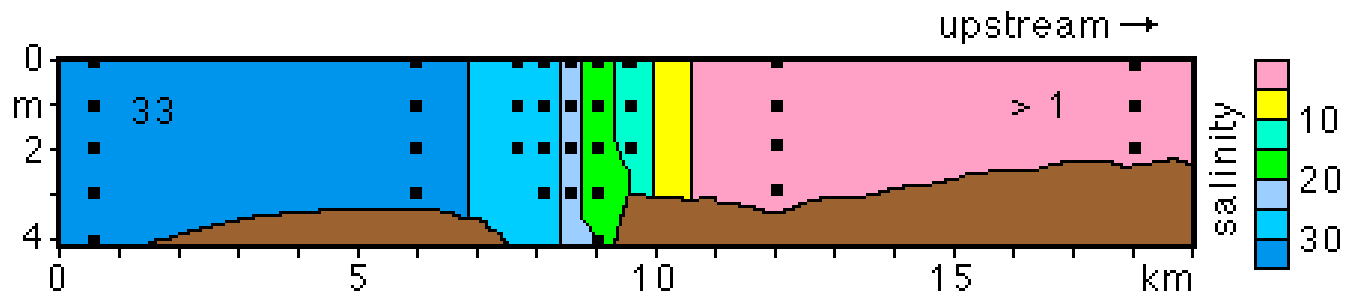
Για τη κατάταξή τους σε αυτή τη κατηγορία συγκρίνουμε το **λόγο R/V** , όπου R είναι ο όγκος γλυκού νερού που εισέρχεται στο σύστημα κατά τη διάρκεια ενός παλιρροιακού κύκλου (12.5 ώρες), και V ο παλιρροιακός όγκος δηλ. ο όγκος νερού που εισέρχεται από την ανοικτή θάλασσα στο σύστημα κατά τη φάση πλήμμης της παλίρροιας.

Τα συστήματα πλήρους ανάμειξης **χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλούς λόγους R/V , μικρότερους του 0.005.**

Αυτό σημαίνει ότι το γλυκό ποτάμιο νερό έχει όγκο πολλές τάξης μικρότερο αυτού της θαλάσσιας εισροής.

Συμβαίνει σε περιοχές με πολύ μεγάλο παλιρροιακό εύρος, όπου δημιουργούνται έντονα παλιρροιακά ρεύματα, τα οποία εισάγουν τύρβη στο σύστημα προκαλώντας τη πλήρη κατακόρυφη ανάμειξη.

Παραδείγματα Ταξινόμησης Παράκτιων Υδατικών Συστημάτων



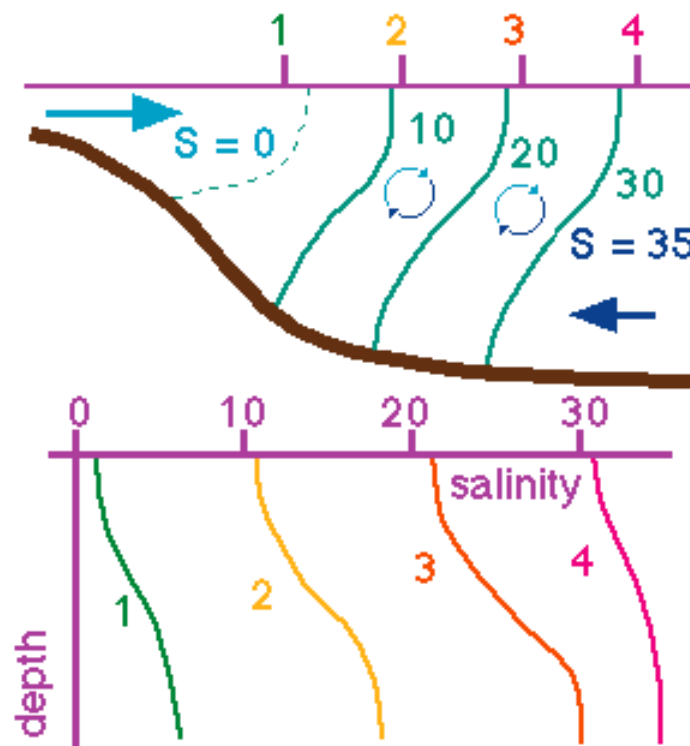
Κατανομή αλατότητας κατά μήκος του Myall River (Αυστραλία).

Σύστημα Ταξινόμησης Στρωματοποίησης Παράκτιων Υδατικών Συστημάτων

β) συστήματα μερικής ανάμειξης

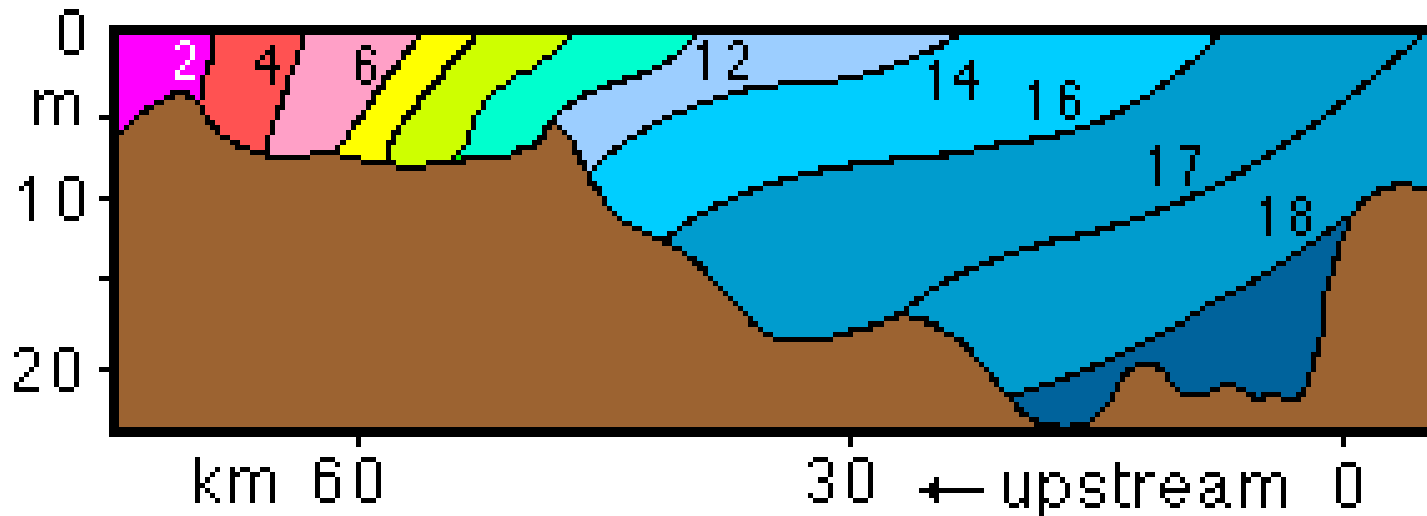
Ρηχά συστήματα όπου η αλατότητα αυξάνει σταδιακά από τη κεφαλή προς το στόμιο σε κάθε βάθος.

Αναγνωρίζονται δύο βασικά στρώματα νερού: το νερό χαμηλής αλατότητας που έχει ποτάμια προέλευση, και το θαλασσινό νερό που καταλαμβάνει το πυθμένα. Τα δύο στρώματα διαχωρίζονται από μία ζώνη μείξης.



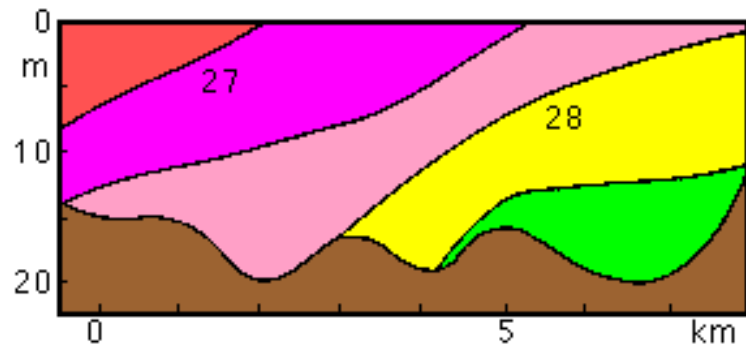
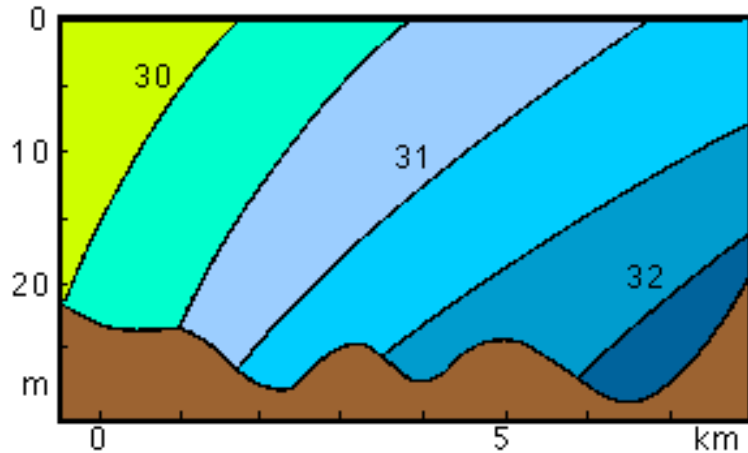
Τυπική κυκλοφορία ποταμοεκβολών (estuarine circulation), καθώς υπάρχει μία καθαρή επιφανειακή ροή προς τον ωκεανό και μία ροή αντίθετης φοράς του υπο-επιφανειακού θαλάσσιου νερού

Στα συστήματα μερικής ανάμειξης, **ο λόγος R/V είναι αυξημένος μεταξύ 0.005 – 0.1**. Τα παλιρροιακά ρεύματα είναι ιδιαίτερα έντονα ώστε το σύστημα γίνεται παντού τυρβώδες. Στα ρηχά συστήματα η τύρβη είναι το αποτέλεσμα της τριβής πυθμένα, δημιουργώντας διατμητικές τάσεις μέσα στην υδάτινη στήλη. Η τυρβώδης μείξη που αναπτύσσεται προκαλεί ανταλλαγή μάζας, ορμής και άλατος μεταξύ των δύο στρωμάτων και προς τις δύο κατευθύνσεις.



Κατανομή αλατότητας κατά μήκος του Chesapeake Bay.

Παραδείγματα Ταξινόμησης Παράκτιων Υδατικών Συστημάτων



Κατανομή αλατότητας κατά μήκος του Mersey River υπό συνθήκες πλήμμης (εισόδου θαλασσινού νερού) και άμπωτης (εξόδου θαλασσινού νερού).

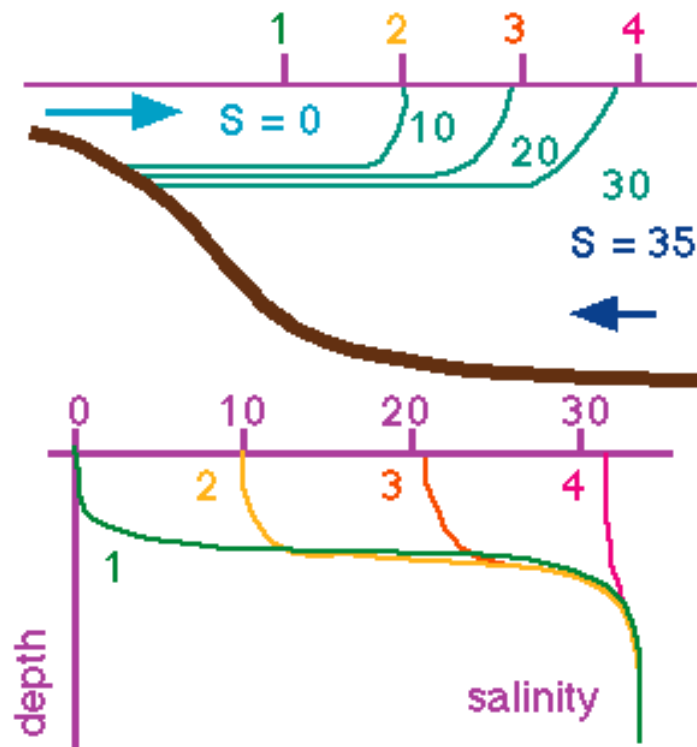
Σύστημα Ταξινόμησης Στρωματοποίησης Παράκτιων Υδατικών Συστημάτων

γ) συστήματα υψηλής στρωμάτωσης

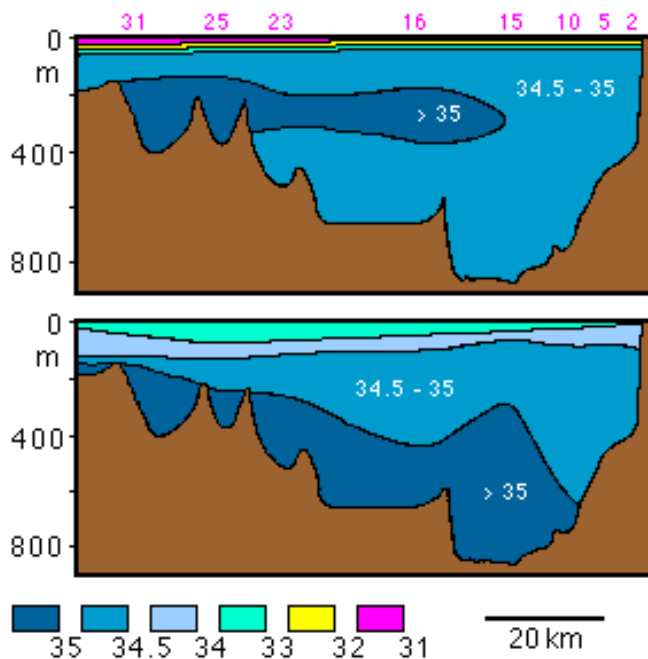
Τυπικά βαθιά συστήματα όπου η αλατότητα του ανώτερου στρώματος αυξάνει από τη κεφαλή προς το στόμιο, σε τιμή σχεδόν ίση με αυτή του ανοικτού ωκεανού. Το βαθύτερο στρώμα έχει σχετικά ομοιόμορφη ωκεάνια αλατότητα, σε κάθε βάθος σε όλο το μήκος του συστήματος.

Η καθαρή ροή των δύο στρωμάτων είναι όμοια με αυτή των μερικά αναμεμιγμένων συστημάτων, εκτός από το ότι η μείξη που συμβαίνει στην διεπιφάνεια προκαλεί εισροή πυθμιαίου νερού προς την επιφάνεια. Αντίθετα, το νερό χαμηλής αλατότητας δεν διαλυτοποιείται στο βαθύτερο στρώμα.

Στο εσωτερικό του συστήματος αναπτύσσεται ένα ισχυρό αλοκλινές στη διεπιφάνεια, με αλοβαθμίδα των 20‰



Η αύξηση του λόγου R/V στα επίπεδα των 0.1 – 1.0 μετατρέπει το σύστημα σε ισχυρά στρωματοποιημένο. Το επιφανειακό στρώμα γλυκού νερού κινείται αντίθετα σε σχέση με το παλιρροιακό ρεύμα δημιουργώντας έντονη διατμητική τάση στη διεπιφάνεια. Η τάση αυτή δημιουργεί αστάθειες με τη μορφή εσωτερικών κυμάτων που συχνά θραύονται τοπικά εκτοξεύοντας αλμυρό νερό στο ανώτερο στρώμα. Η διεργασία αυτή ονομάζεται εισδοχή (entrainment) και ορίζεται ως η μεταφορά μάζας και άλατος από το λιγότερο τυρβώδες στρώμα προς το στρώμα υψηλής τύρβης, επομένως η εισδοχή είναι διεργασία μονής κατεύθυνσης.



Κατανομή αλατότητας κατά μήκος του Hardanger Fjord το καλοκαίρι (πάνω διάγραμμα) και το χειμώνα (κάτω διάγραμμα).

Ισοζύγιο Άλατος:

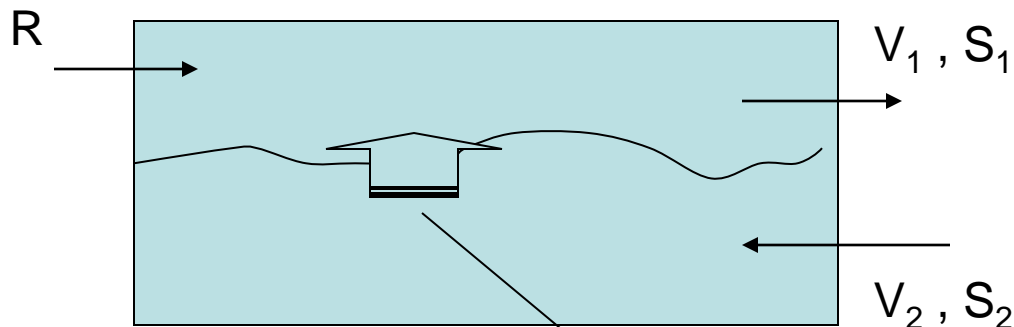
$$\text{Salt in} = V_1 S_1 + R S_0$$

$$\text{Salt out} = V_2 S_2$$

$$V_1 S_1 = V_2 S_2$$

(μέσο ισοζύγιο κατά τη διάρκεια πολλών παλιρροιακών κύκλων)

$$V_1 = V_2 S_2 / S_1$$



Κατακόρυφη
εισδοχή άλατος
(entrainment)

Ισοζύγιο Όγκου:

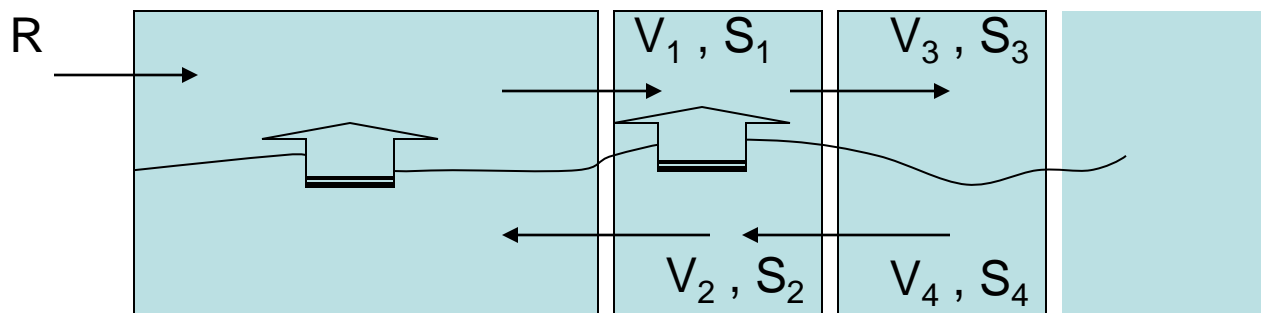
$$R + V_1 = V_2$$

$$R = V_2 - V_1$$

$$= V_2 - V_2(S_2/S_1)$$

$$= V_2(1 - S_2/S_1)$$

$$V_2 = R / (1 - S_2/S_1)$$



Η διαφορά μεταξύ του πάνω
και του κάτω στρώματος είναι
πάντα R

river water
input

river and ocean water outflow

2R

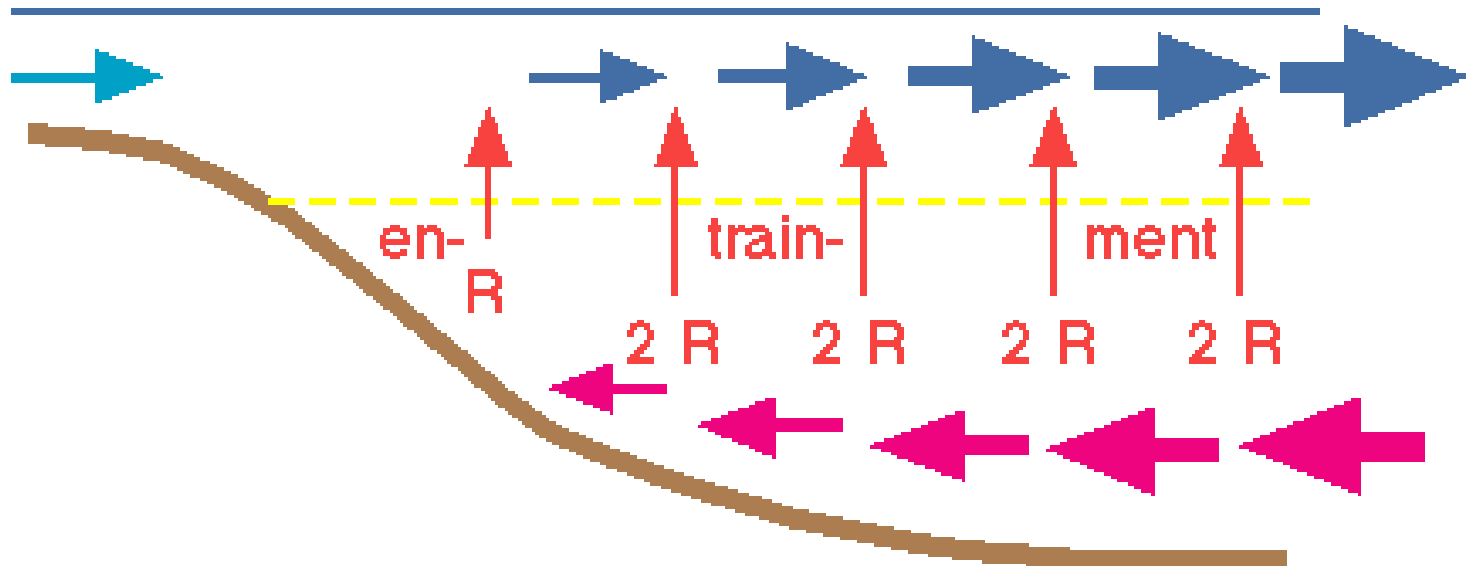
4R

6R

8R

10R

R



en-

R

2R

2R

2R

2R

R

3R

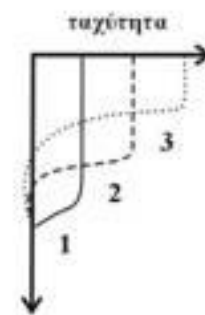
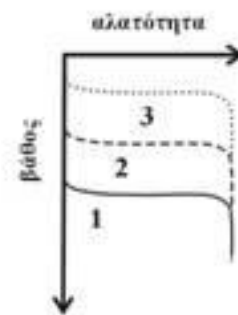
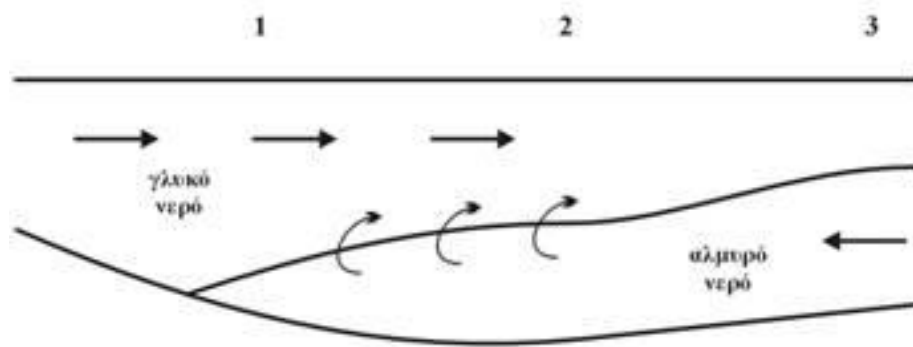
5R

7R

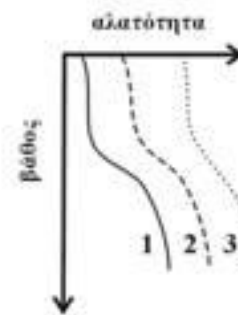
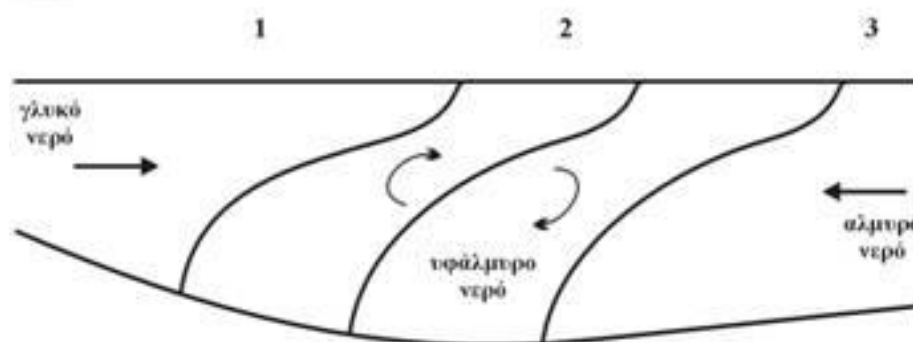
9R

ocean water inflow

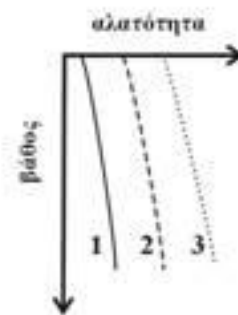
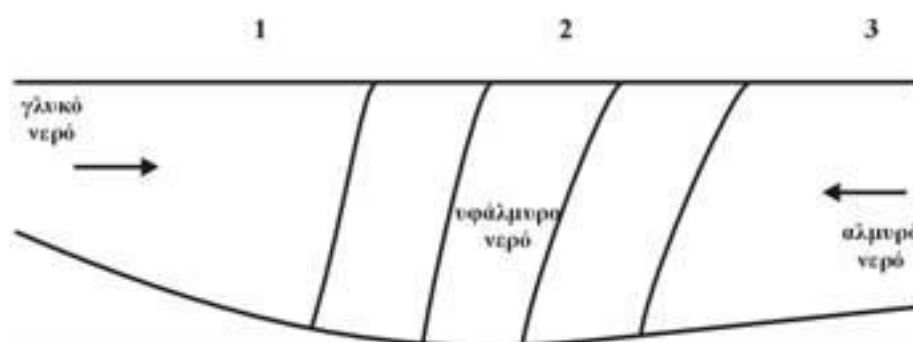
(i)



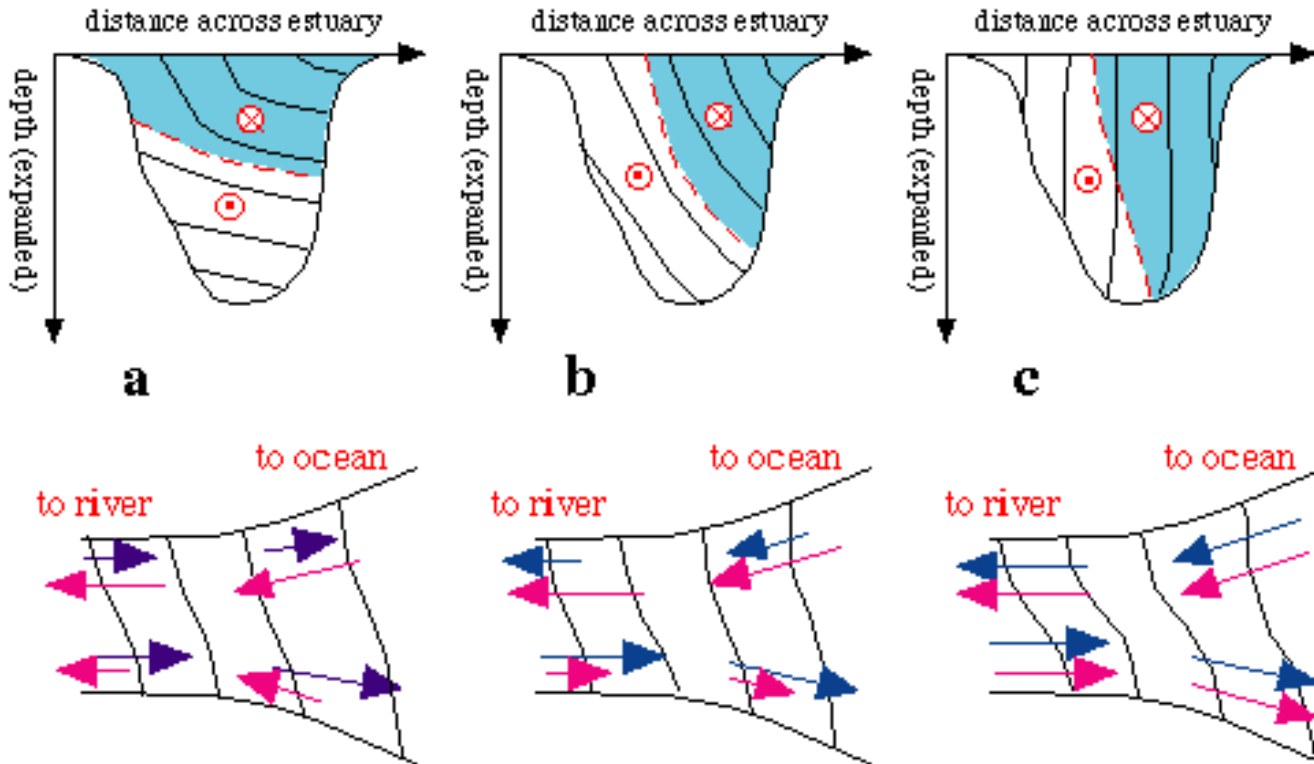
(ii)



(iii)



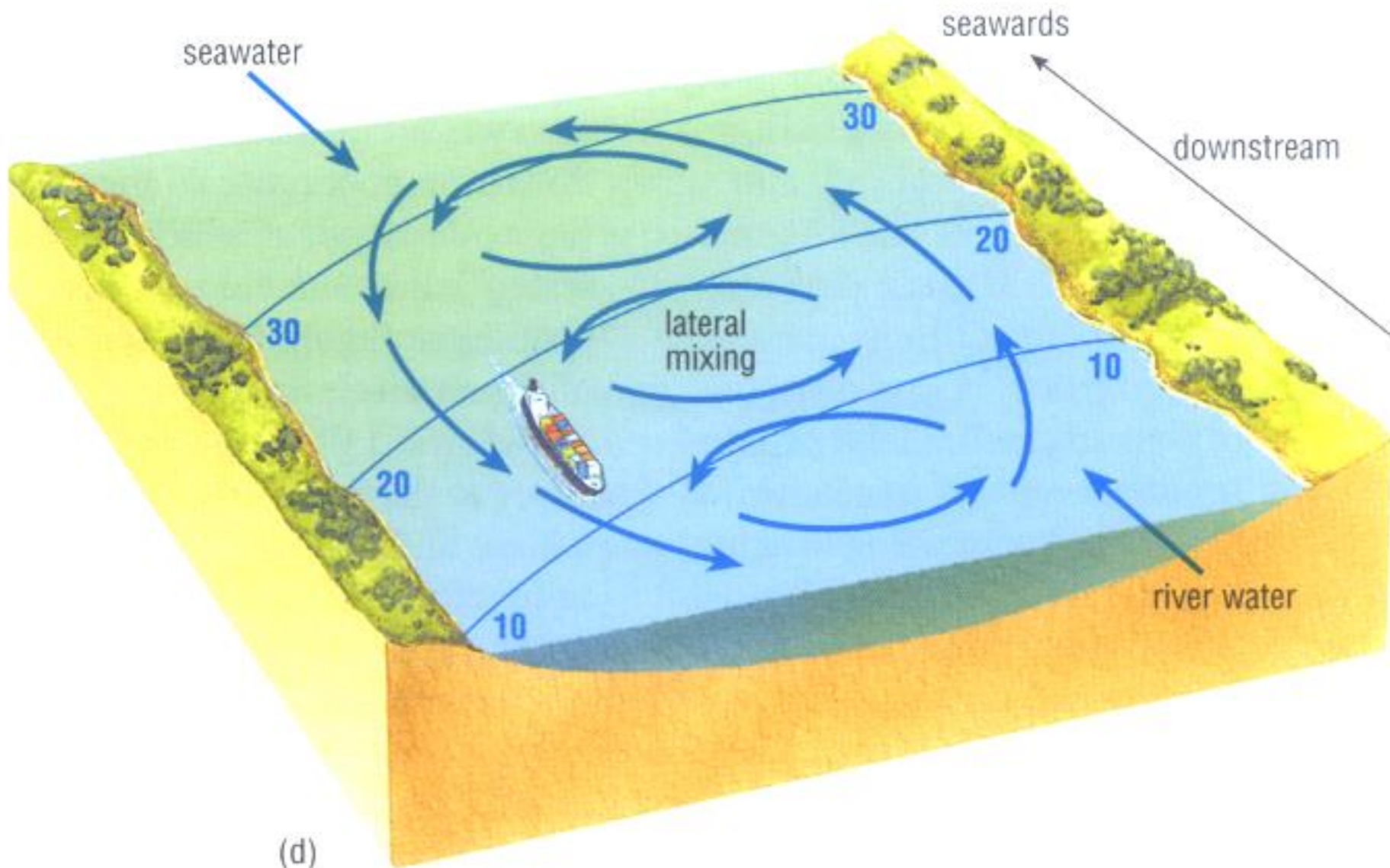
3-διάστατη κυκλοφορία



a. Μερικώς
στρωματοποιημέ
νες
ποταμοεκβολές
με ασθενή
επίδραση
δύναμης
Coriolis.

b. Μερικώς
στρωματοποιημέ
η ποταμοεκβολή
με ισχυρή
επίδραση
δύναμης
Coriolis.

c. Πλήρως
αναμιγμένες
ποταμοεκβολές
με επίδραση
Coriolis

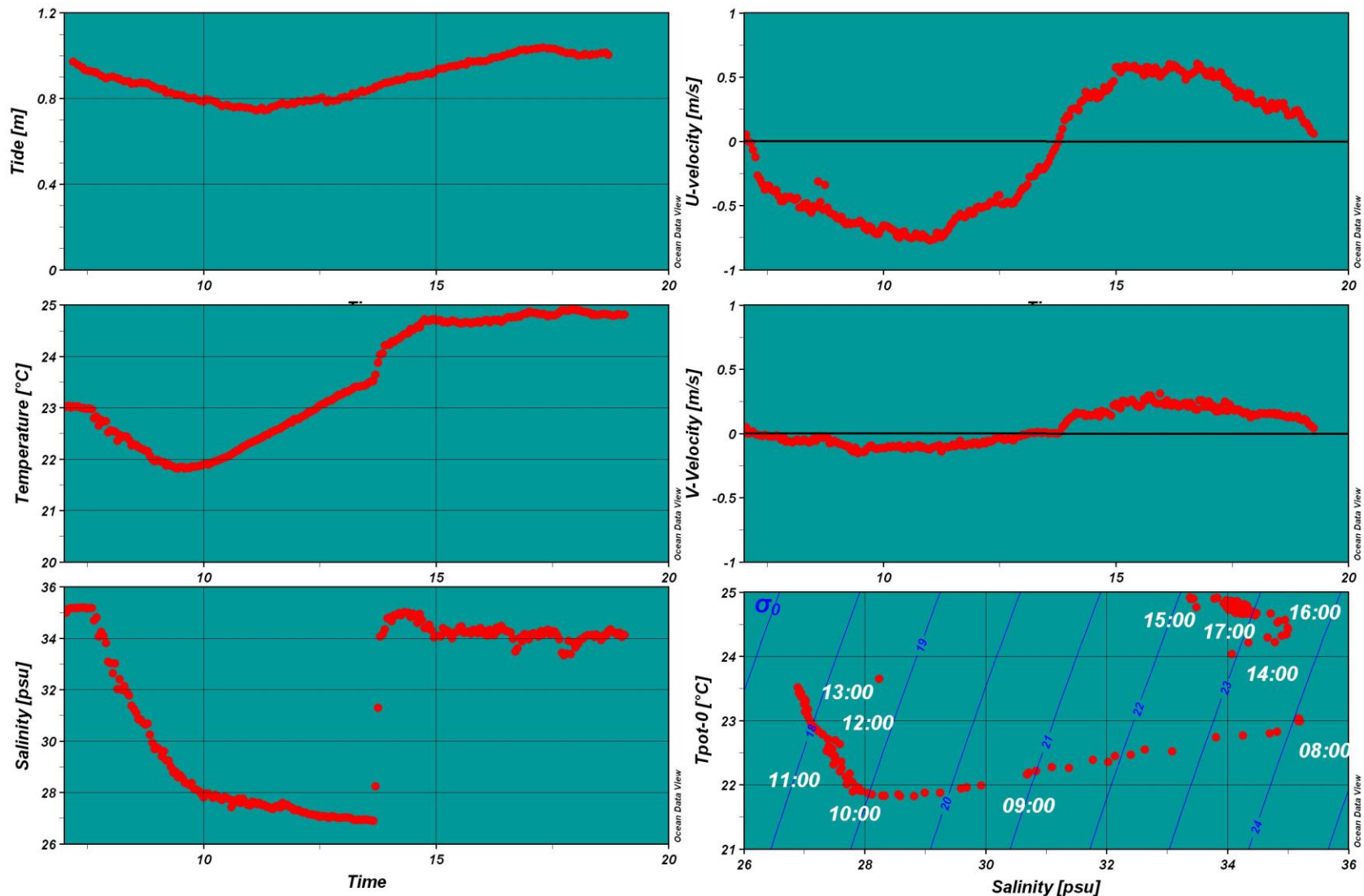


Κύριες Διεργασίες Παράκτιων Υδατικών Συστημάτων

A) Παλιρροιακά Ρεύματα (Tidal Currents)

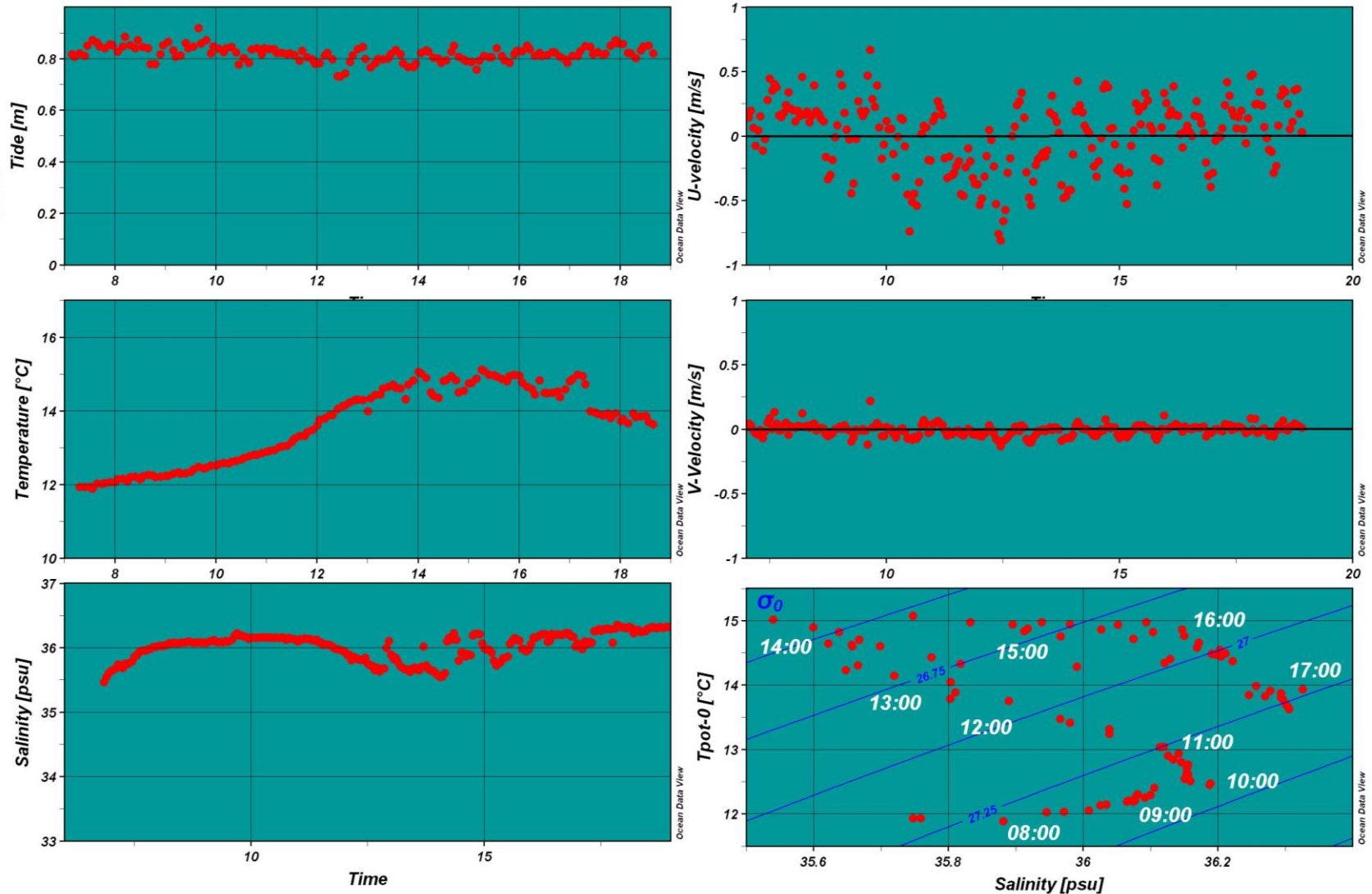
Η ένταση των παλιρροιακών ρευμάτων εξαρτάται από το λόγο του παλιρροιακού εύρους της στάθμης της θάλασσας προς το μέσο βάθος της παράκτιας λεκάνης. Συνήθως ο λόγος αυτός κυμαίνεται μεταξύ 10 και 100%. Αυτό σημαίνει ότι **τα παλιρροιακά ρεύματα στις παράκτιες λεκάνες είναι γενικά μεγάλης έντασης.**

Τα ρεύματα αυτά έχουν σημαντική επίδραση στη **μετακίνηση αιωρούμενου υλικού (σωματιδίων, όπως ρύποι, ιζήματα, πλαγκτόν, κλπ.)**, προκαλώντας την οριζόντια διασπορά τους ή/και τη κατακόρυφη μείξη τους. Τα έντονα παλιρροιακά ρεύματα μπορούν να **διαβρώσουν το θαλάσσιο πυθμένα** προκαλώντας την επανα-αιώρηση των ιζημάτων. Το μέσο παλιρροιακό εύρος στο Παγκόσμιο Ωκεανό είναι της τάξης του 1 μ, ωστόσο σε κάποιους ωκεανούς φθάνει τα 2-3 μ. Το εύρος αυτό ενισχύεται στις παράκτιες λεκάνες, όπου λόγω του φαινομένου του συντονισμού (resonance) παράγονται μακροπαλίρροιες (macrotides), δηλ. παλίρροιες με πολύ υψηλό εύρος. Μόνο σε πολύ περιορισμένες λεκάνες συναντούμε χαμηλά παλιρροιακά εύρη, της τάξης των περίπου 20 εκ., που καλούνται μικροπαλίρροιες (micro-tides).



Μεταβολή της στάθμης της θάλασσας (αριστερά πάνω), της θερμοκρασίας (αριστερά μέση), της αλατότητας (αριστερά κάτω), παλιρροιακού ρεύματος (δεξιά πάνω), στη λιμνοθάλασσα Βάσσοβα κατά τη διάρκεια ενός πλήρους παλιρροιακού κύκλου.

Αποτελέσματα Λ/Θ Βάσσοβας (21/3/02 – παλίρροια μικρού εύρους)



B) Εισροή Γλυκού Νερού (Freshwater Inflow)

Το γλυκό νερό εισέρχεται στις παράκτιες λεκάνες μέσω των ποταμών, των χειμάρρων, καθώς και πιθανών υπόγειων εκροών (π.χ., υποθαλάσσιων πηγών).

Η εισροή του προκαλεί την ανάπτυξη ενός επιφανειακού στρώματος χαμηλής πυκνότητας που κινείται από τη κεφαλή προς το στόμιο του συστήματος. Εισέρχεται επίσης στα παράκτια συστήματα μέσω της βροχόπτωσης.

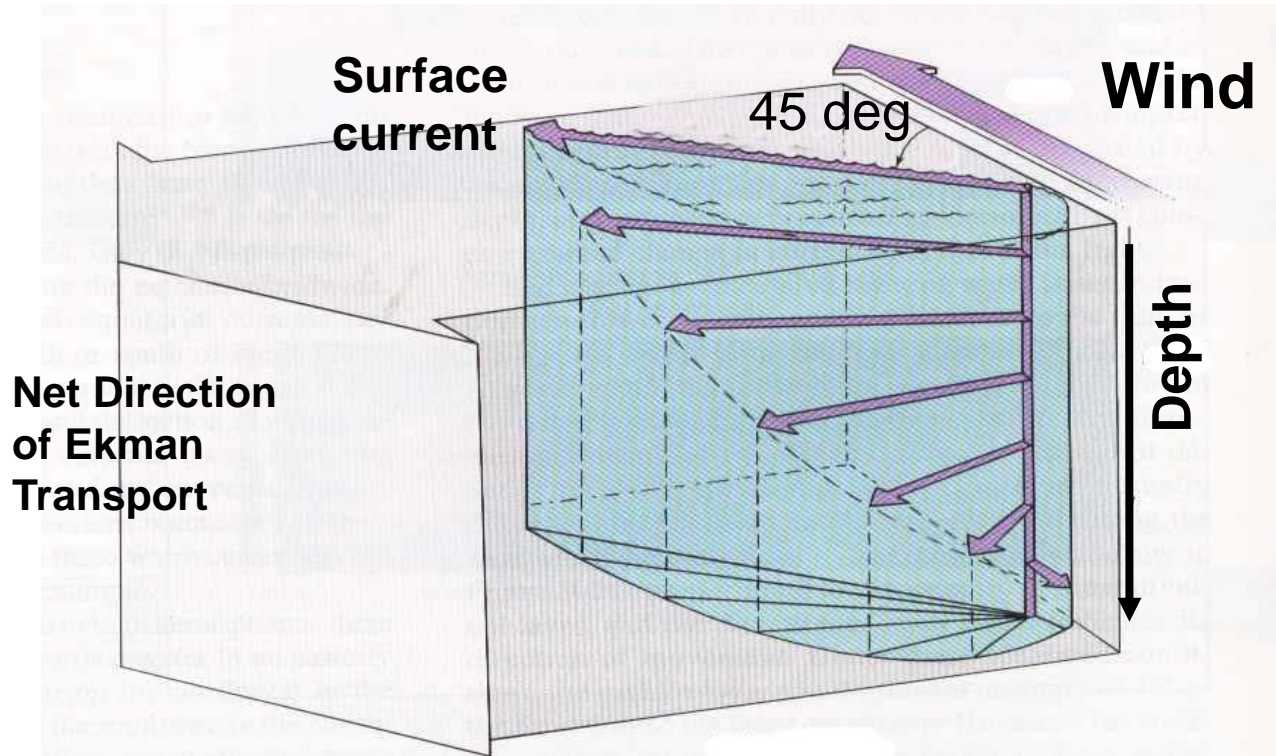
Το σχετικό μέγεθος της εισροής γλυκού νερού στα παράκτια συστήματα εξαρτάται από παράγοντες όπως το κλίμα, το χερσαίο ανάγλυφο, η αστικοποίηση, η απόληψη νερού για άρδευση, η βιομηχανική και ανθρώπινη χρήση νερού, κλπ. Η εισροή γλυκού νερού **επηρεάζει τη δυναμική της παράκτιας λεκάνης καθώς μεταβάλλει τη κατανομή της αλατότητας**, άρα και της πυκνότητας, ενώ **προκαλεί την έξοδο μεγάλων όγκων θαλασσινού νερού από το σύστημα προς την ανοικτή θάλασσα**.

Γ) Επίδραση Ανέμου (Wind Forcing)

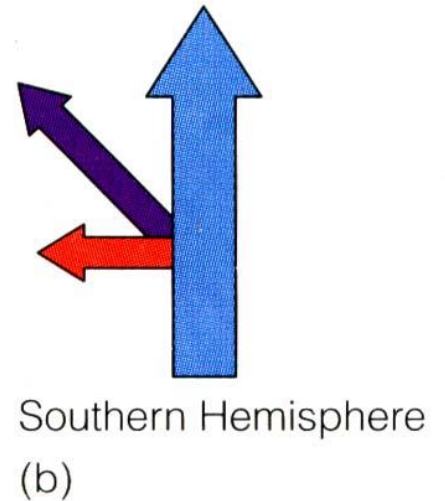
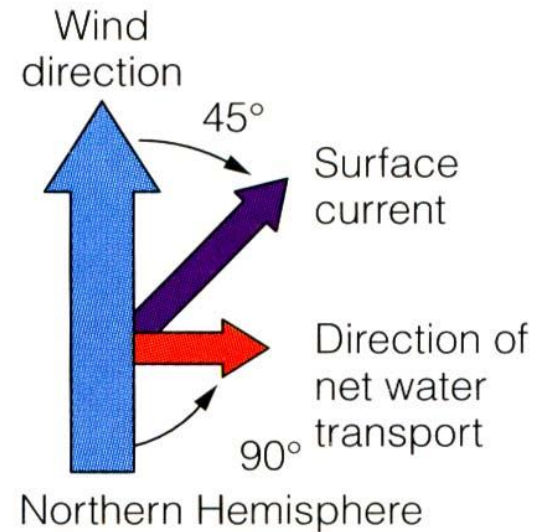
Η σημασία της επίδρασης του ανέμου αυξάνει στις παράκτιες λεκάνες λόγω του περιορισμένου βάθους της υδάτινης στήλης των λεκανών αυτών.

Έτσι, η επίδραση του ανέμου επηρεάζει σχεδόν ολόκληρη την υδάτινη στήλη και όχι μόνο το επιφανειακό στρώμα (στρώμα Ekman) που επηρεάζεται στη περίπτωση του ανοικτού ωκεανού. Ωστόσο, το παραγόμενο ανεμογενές ρεύμα (wind-induced current) έχει ένταση υψηλότερη στην επιφάνεια της θάλασσας η οποία βαίνει σταδιακά μειούμενη με το βάθος. Σύμφωνα με παρατηρήσεις πεδίου, η ένταση του ανεμογενούς ρεύματος είναι περίπου το 3% της έντασης του ανέμου που το δημιουργεί, η δε διεύθυνσή του εκτρέπεται κατά 45° δεξιόστροφα από τη διεύθυνση του ανέμου

Ekman Spiral



Ekman Spiral (Southern hemisphere)



Δ) Επίδραση Τριβής Πυθμένα (Bottom Friction)

Η τριβή πυθμένα θεωρείται σημαντική δύναμη στη δυναμική ισορροπία των παράκτιων λεκανών, λόγω και πάλι του περιορισμένου βάθους τους.

Αυτό οφείλεται σε δύο λόγους:

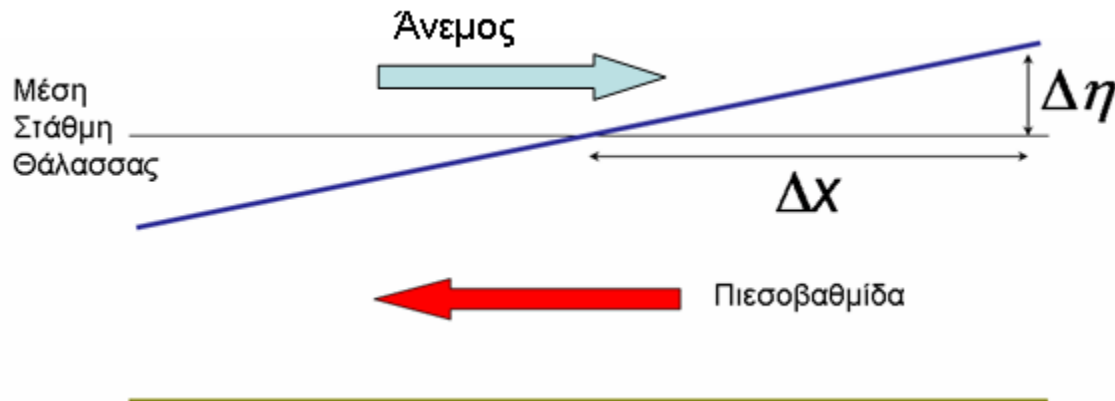
α) στο γεγονός ότι η πυθμιαία τριβή είναι μία επιφανειακή δύναμη, επομένως αυξάνει τη σχετική σημασία της όταν το βάθος μειώνεται, προκαλώντας σημαντική επίδραση στη φυσική και οικολογική δυναμικών των παράκτιων συστημάτων, σε αντίθεση με την ανοικτή θάλασσα όπου η τριβή πυθμένα θεωρείται ότι επιδρά σε σχεδόν αμελητέο τμήμα της υδάτινης στήλης.

β) η τριβή πυθμένα είναι σημαντική ώστε να αυξάνεται με το τετράγωνο της ταχύτητας του ρεύματος. Έτσι, καθώς οι παράκτιες λεκάνες εμφανίζουν πολύ υψηλότερα ρεύματα από την ανοικτή θάλασσα, η σημασία της τριβής πυθμένα στη παράκτια δυναμική αυξάνει.

Ε) Πιεσοβαθμίδα (Pressure Gradient)

Η κυρίαρχη δύναμη σε όλα τα ωκεάνια συστήματα είναι οριζόντια πιεσοβαθμίδα, η οποία προκαλείται από δύο διεργασίες: α) τη μεταβολή στη κλίση της στάθμης της θάλασσας, όταν το νερό είναι σταθερής πυκνότητας (βαροτροπική πιεσοβαθμίδα), και β) από τις οριζόντιες μεταβολές της πυκνότητας σε ένα δεδομένο επίπεδο βάθους της υδάτινης στήλης (βαροκλιτική πιεσοβαθμίδα).

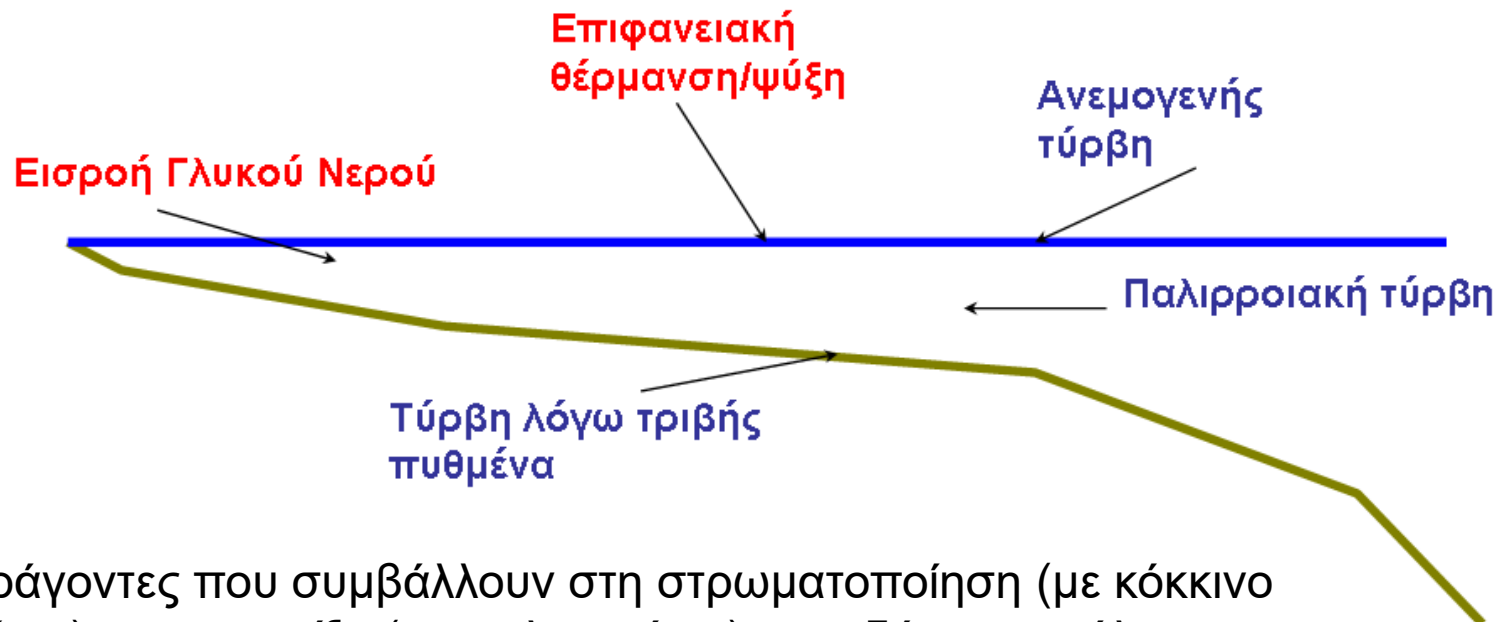
Η πιεσοβαθμίδα παράγεται άμεσα μέσω της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας που προκαλούν οι παλίρροιες, η επίδραση της περιστροφής της Γης (δύναμη Coriolis), ο άνεμος και τα θραυόμενα κύματα. Τέλος, παράγεται από διαφορές πυκνότητας της υδάτινης στήλης, λόγω διαφορών θερμοκρασίας και αλατότητας, ειδικά στις περιοχές εισροής γλυκού νερού στα παράκτια συστήματα.



ΣΤ) Στρωματοποίηση (Stratification)

Η στρωματοποίηση συμβαίνει στις παράκτιες λεκάνες λόγω της επιφανειακής θέρμανσης (κυρίως κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι), και της εισροής γλυκού νερού. Ταυτόχρονα, όπως είδαμε προηγουμένως, οι παράκτιες περιοχές έχουν αυξημένες ροές γλυκού νερού, περιορισμένο βάθος, εντονότερα παλιρροιακά και ανεμογενή ρεύματα. Τα έντονα παλιρροιακά και ανεμογενή ρεύματα προκαλούν μείωση της στρωματοποίησης και κατακόρυφη ανάμειξη

Προκύπτει λοιπόν ότι οι παράκτιες λεκάνες χαρακτηρίζονται από έντονες μεταβολές στο χώρο και το χρόνο στις συνθήκες στρωματοποίησης τους.



Παράγοντες που συμβάλλουν στη στρωματοποίηση (με κόκκινο χρώμα) και στη μείξη (με μπλε χρώμα) της υδάτινης στήλης

Z) Τοπογραφικές Επιδράσεις

Οι τοπογραφικές επιδράσεις κατηγοριοποιούνται σε:

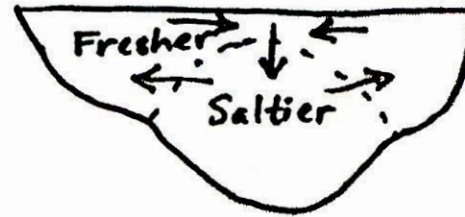
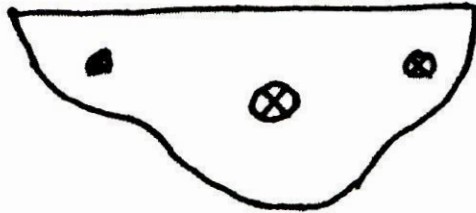
α) επίδραση στη κλασσική κυκλοφορία παράκτιας λεκάνης, η οποία είναι αντι-ωρολογιακή γύρω από τη λεκάνη στο Β. Ημισφαίριο και ωρολογιακή στο Ν. Ημισφαίριο. Πράγματι, στο Β. Ημισφαίριο το νερό κινείται δεξιόστροφα προς τη κοντινότερη ακτογραμμή (αντίστροφα στο Ν. Ημισφαίριο), δημιουργώντας μία περιδύνηση (gyre). Έτσι, το γλυκό νερό που εκρέει από ένα ποταμό σε μία παράκτια λεκάνη εκτρέπεται και κινείται δεξιόστροφα σχηματίζοντας προς αυτή τη διεύθυνση στρώμα μεγαλύτερου πάχους. Ταυτόχρονα, το νερό που εισέρχεται στη λεκάνη κατά τη διάρκεια μίας παλίρροιας κινείται και αυτό δεξιόστροφα (αντίθετα από το γλυκό νερό), καταλαμβάνοντας μεγαλύτερο πάχος στρώματος κατά τη διεύθυνση αυτή

Δευτερεύουσα Κυκλοφορία

Tidal flow is faster in the deeper parts of an estuary and slower on the shallower banks. This leads to a density difference across the channel.

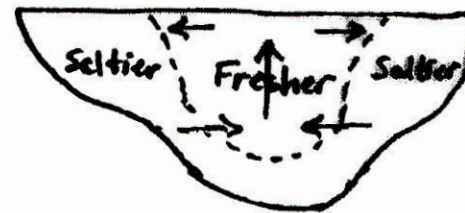
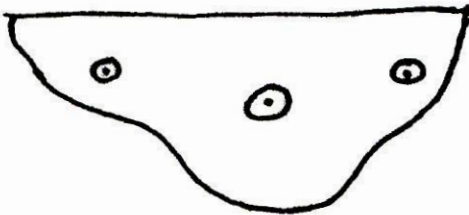
On the flood tide, the deeper parts become saltier.

FLOOD



On the ebb tide, the deeper parts become fresher.

EBB



During flooding tides, floating debris is pulled to the middle of the channel and forms a scum line. This can be seen in many estuaries and can stretch for kilometers.

