



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΜΠ535 – Παράκτια Μηχανική

Παράκτια ιζήματα

Κάθετη στην ακτή ιζηματομεταφορά

Παράλληλη στην ακτή ιζηματομεταφορά

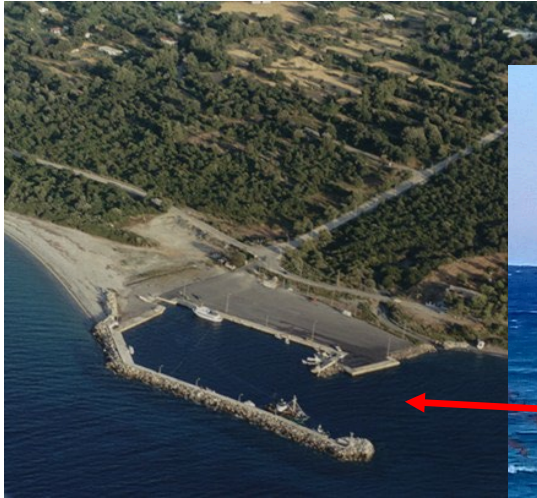
Εισαγωγή

- Οι ακτές και ο πυθμένας των παράκτιων περιοχών μεταβάλλεται συνεχώς κάτω από την επίδραση της θάλασσας. Οι χρονικές κλίμακες μεταβολής ποικίλουν:
 - Βραχύδεις περιοχές → Μεταβολές σε χρονική κλίμακα αιώνων
 - Αμμώδεις περιοχές → Μεταβολή σε κλίμακα ωρών έως αιώνων.
- Η αποσταθεροποίηση των υλικών του πυθμένα από τους κυματισμούς και σε συνέχεια τα κυματογενή ρεύματα μπορούν να προκαλέσουν μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ιζήματος.

Εισαγωγή

- Τα παράκτια έργα διαταράσσουν τη προυπάρχουσα δυναμική ισορροπία, επηρεάζουν τη φυσική κυκλοφορία και τελικά το ρυθμό της στερεομεταφοράς, με πιθανές δυσμενείς συνέπειες:
 - Τη προσάμμωση ενός λιμενικού έργου
 - Τη διάβρωση μιας ακτής

Εισαγωγή



Θέρμα Σαμοθράκης

Εισαγωγή



προσάμμιση

Λιμάνι Λευκίμμης Κέρκυρας

Παράκτια Ιζήματα

Ταξινόμηση

**Μέγεθος
κόκκων**

**Εύρος
Κοκκομετρίας**

**από
Άργιλο**

**έως
Βράχους**

Μέγεθος

Διάμετρος

Διάμετρος

**Μέγεθος οπής
κόσκινου**

**Ταχύτητα
Κατακρήμνισης**

Ταξινόμηση μεγέθους ιζήματος

	<u>Grain size</u>	<u>Boundary</u>
ογκόλιθος	boulder	256 mm
κροκάλα	cobble	64 mm
βότσαλο	pebble	2 mm
άμμος	sand	0.0625 mm
ιλύς	silt	0.004 mm
άργιλος	clay	

Ταξινόμηση μεγέθους ιζήματος

Grain size Boundary

boulder

cobble

pebble

sand

silt

clay

256 mm

64 mm

2 mm

0.0625 mm

0.004 mm

Sediment-Texture
Classification

Particle size Diameter (mm)

Clay άργιλος	Clay	< 0.004
	Very Fine Silt	0.004 - 0.008
	Fine Silt	0.008 - 0.016
	Medium Silt	0.016 - 0.032
	Coarse Silt	0.032 - 0.064
Sand άμμος	Very Fine Sand	0.064 - 0.125
	Fine Sand	0.125 - 0.25
	Medium Sand	0.25 - 0.5
	Coarse Sand	0.5 - 1.0
	Very Coarse Sand	1.0 - 2.0
Gravel χαλίκι	Granule	2.0 - 4.0
	Pebble	4.0 - 64
	Cobble	64 - 255
	Boulder	255 - 1000

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά άμμου

Αναγκαίος χαρακτηρισμός με μια διάμετρο

Χαρακτηριστική διάμετρος κόκκων ή **Διάμεση** διάμετρος
 D_{50}

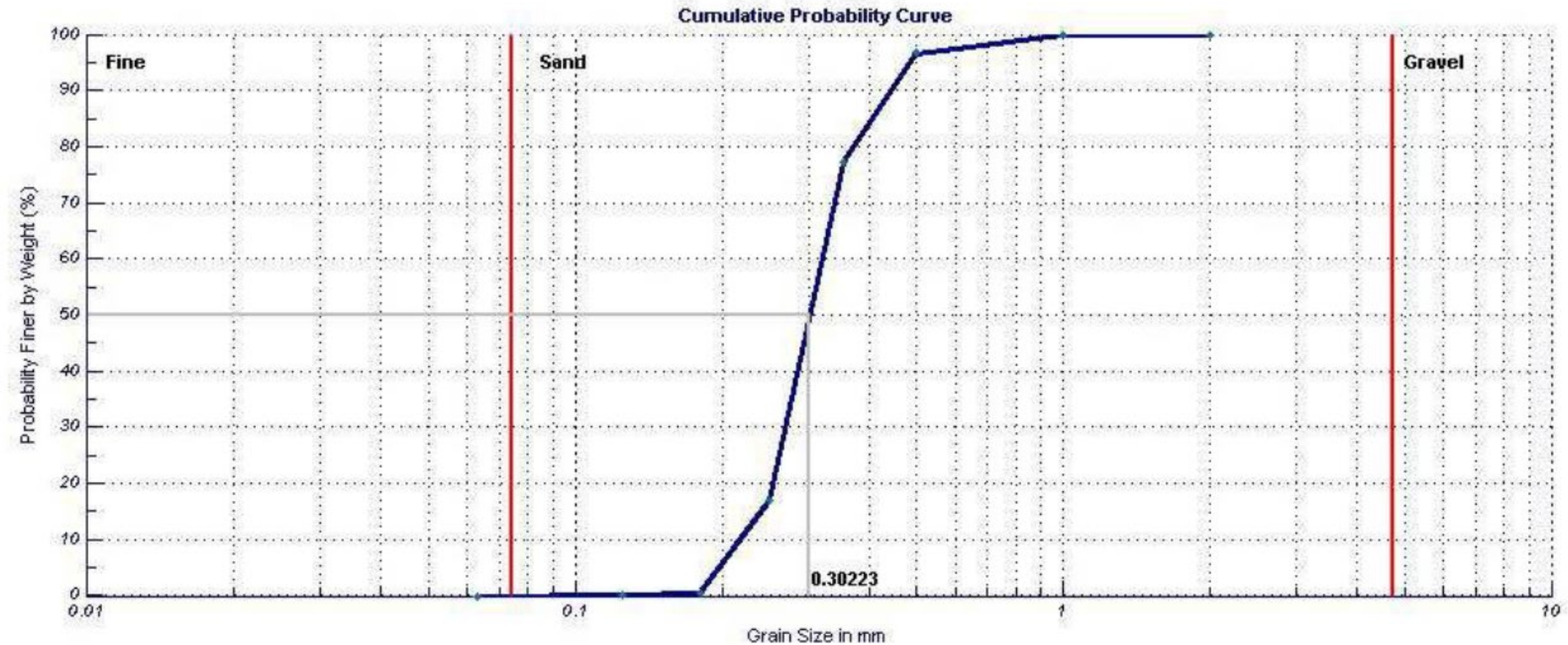
D_{50} είναι η διάμετρος όπου

Τα μισά (σε βάρος)
σωματίδια
μεγαλύτερης
διάμετρο



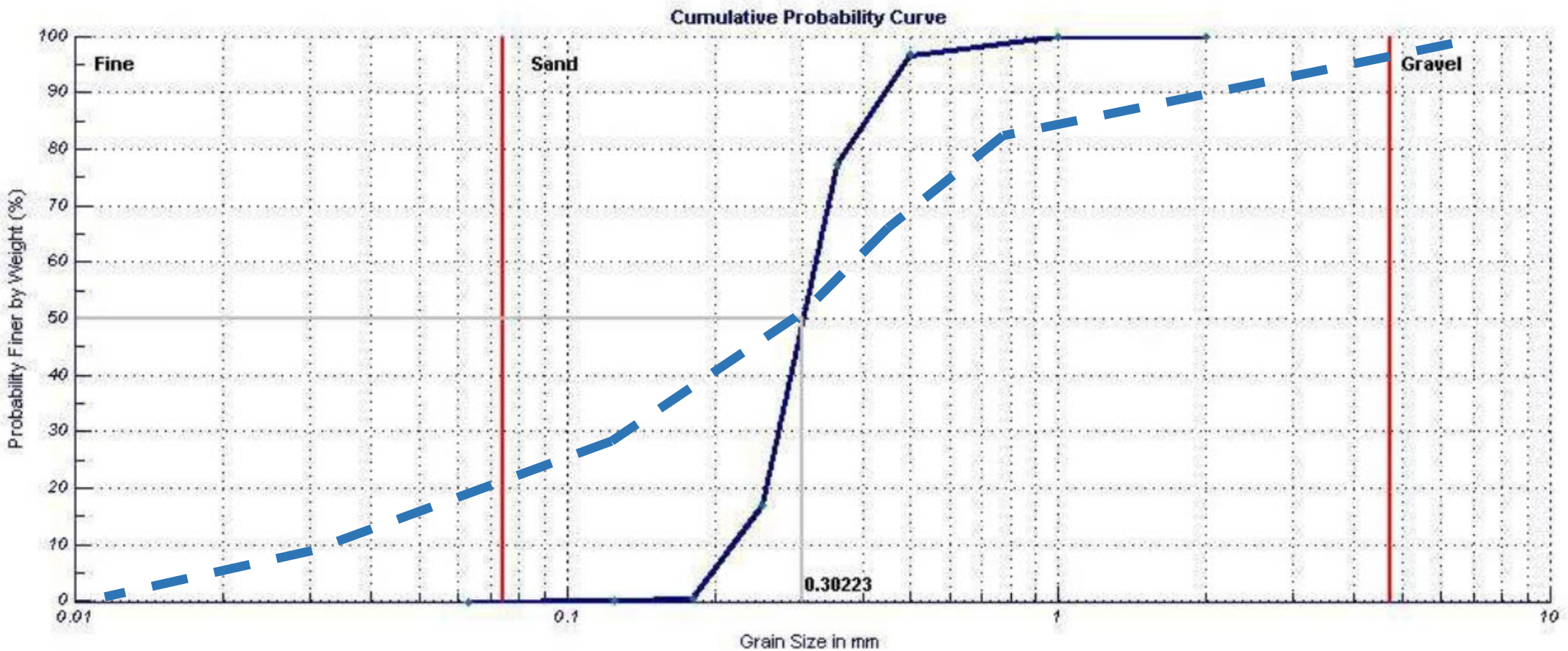
Τα άλλα μισά (σε
βάρος) σωματίδια
μικρότερης
διάμετρο

Δείγμα Ιζήματος Παραλίας Κουμ Καπί, Χανιά 12/2011



$$D_{50} = 0.30mm \quad D_m = 0.30mm$$

Δείγμα Ιζήματος Παραλίας Κουμ Καπί, Χανιά 12/2011



$$D_{50} = 0.30mm \quad D_m = 0.30mm$$

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά άμμου

$$\text{ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ } \varphi = -\log_2(D)$$

$$\varphi_{50} = -\log_2(D_{50})$$

$$\text{Μέση διάμετρος κόκκων } M\varphi = (\varphi_{84} + \varphi_{50} + \varphi_{16}) / 3$$

$$\text{Τυπική απόκλιση κόκκων } \sigma\varphi = (\varphi_{84} - \varphi_{16}) / 2$$

Ταχύτητα καθίζησης

$$W_f = \left(\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) g \right)^{0.7} \frac{D_{50}^{1.1}}{6 \nu^{0.4}}$$

Για $39 < \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) \frac{g D_{50}^3}{\nu^2} < 10000$

όπου ν είναι το κινηματικό ιξώδες του υγρού

Χαρακτηριστικά του υλικού των ακτών

Πυκνότητα, ρ_s

Άμμος συνήθως
χαλαζιακή

$$\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$$

Table III-1-4
Densities of Common Coastal Sediments

Mineral	Density kg/m ³
Quartz	2,648
Feldspar	2,560 - 2,650
Illite	2,660
Montmorillonite	2,608
Kaolinite	2,594
Calcite	2,716
Aragonite	2,931
Dolomite	2,866

Χαρακτηριστικά του υλικού των ακτών

Ειδικό βάρος, γ_s

$$\gamma = \rho * g$$

$$\gamma_s = 2650 \text{ kg/m}^3 * 9.81 \text{ m/s}^2 = 26000 \text{ kg*m/m}^3\text{s}^2 \text{ ή } 26 \text{ kN/m}^3$$

Εντός του νερού το βάρος αλλάζει λόγω άνωσης

$$\gamma_s - \gamma_{\text{νερού}} = (26 - 10.25) \text{ kN /m}^3 = 15.75 \text{ kN /m}^3$$

Επίσης η άμμος έχει πορώδες n (~ 40% πόροι ανά μονάδα όγκου)

$$\begin{aligned} \text{Βυθισμένο ειδικό βάρος} &= \\ (\gamma_s - \gamma_{\text{νερού}})(1-n) &= (26 - 10.25) * (1-0.4) \\ &= 9.45 \text{ kN /m}^3 \end{aligned}$$

Χαρακτηριστικά του υλικού των ακτών

Ειδική βαρύτητα, s_s

Ειδικό βάρος άμμου / ειδικό βάρος νερού

$$s_s = \rho_s / \rho_w$$

Δειγματοληψία Ιζήματος

Κατανομή
μεγέθους αλλάζει

- Χωρικά
- Χρονικά

Χρονικά

- Χειμερινούς μήνες – Αδρόκοκκες + Ελάχιστα διαβαθμισμένες

Χωρικά,

- Μεγαλύτερη ποικιλότητα σε χαρακτηριστικά σε Παραλία και Υποθαλάσσιες θίνες
- Μικρότερη ποικιλότητα σε χαρακτηριστικά Αμμοθίνες, Ανοιχτά της περιπαράλιας ζώνης

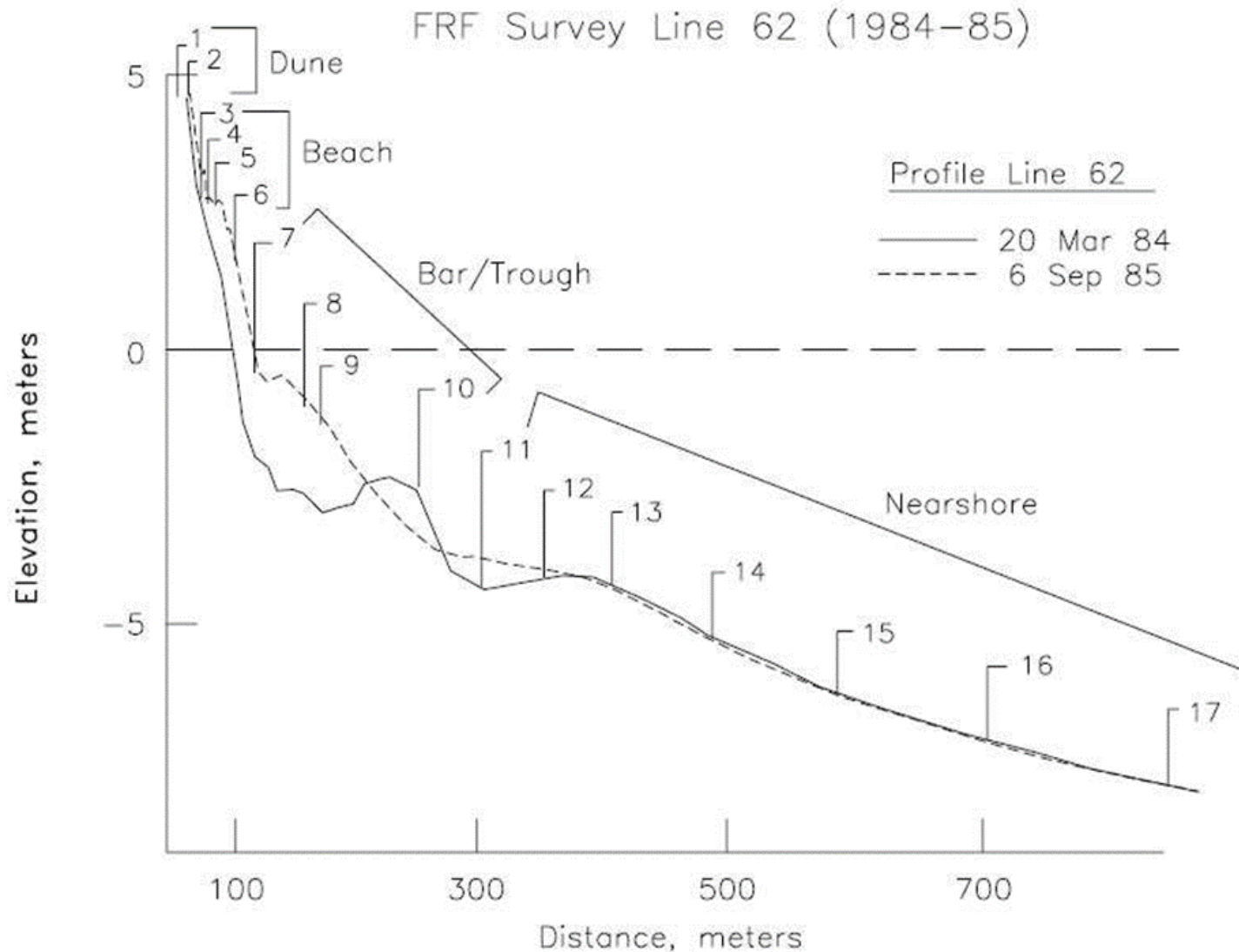
Ένα δείγμα

- «Χοντρικός» χαρακτηρισμός
- Συνήθως ομάδα δειγμάτων

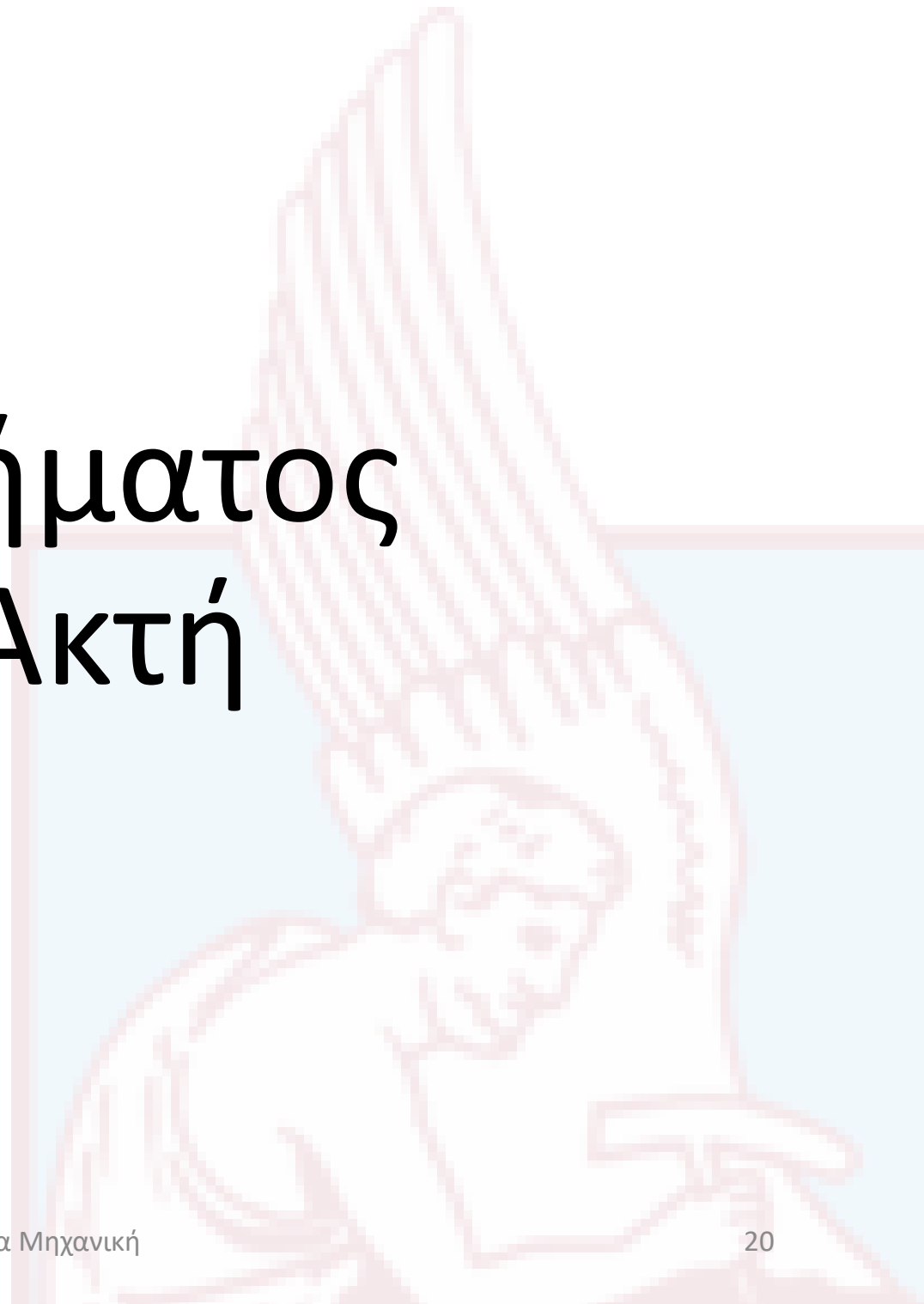
Συνδυασμός
δειγμάτων (κάθετη
τομή παραλίας)

- Μείωση μεταβλητότητας χωρικής κατανομής μεγέθους

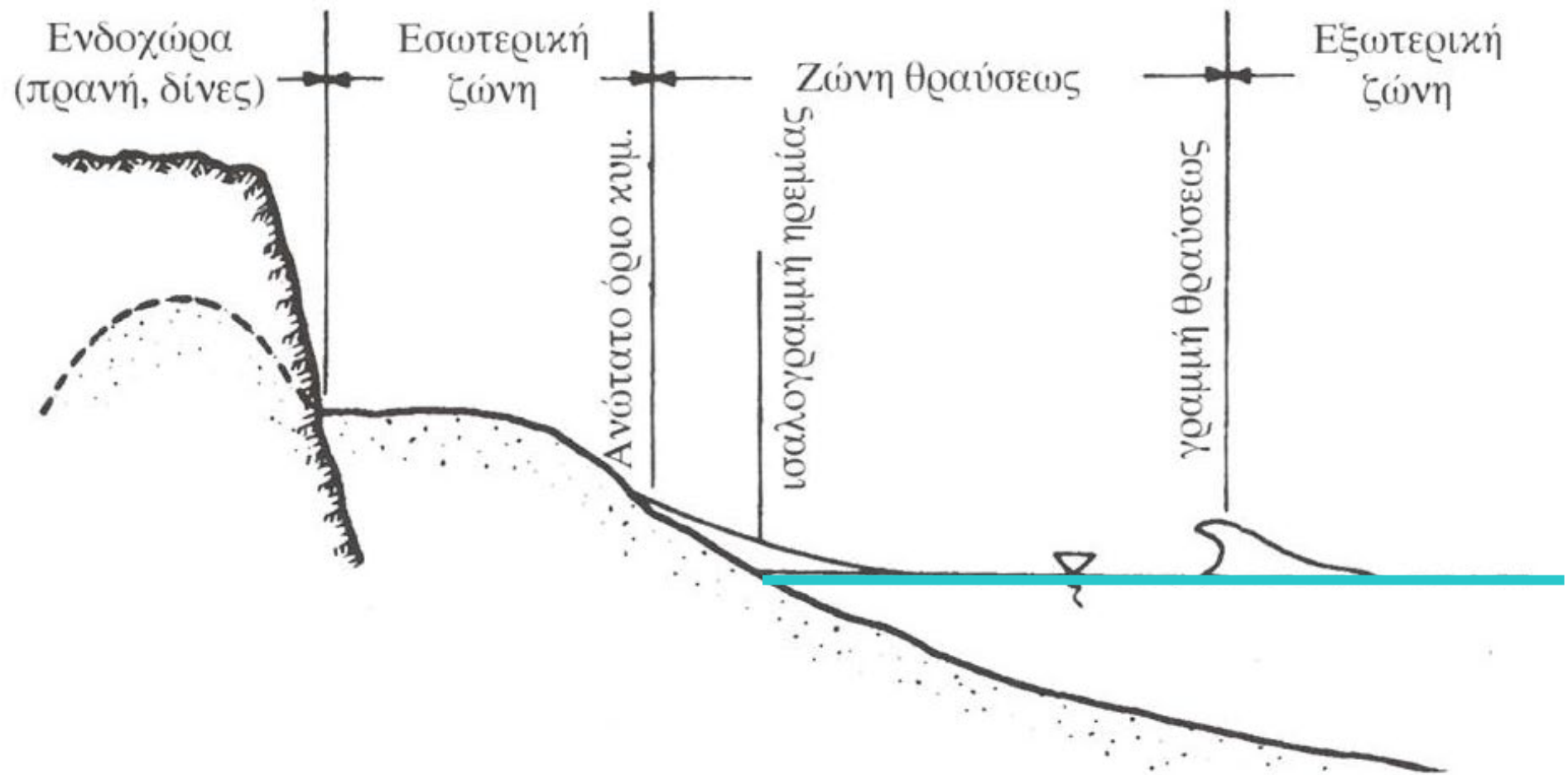
Προτεινόμενες Ομάδες Δειγμάτων Ιζήματος ενός Τυπικού Προφίλ



Μεταφορά Ιζήματος Κάθεται στην Ακτή

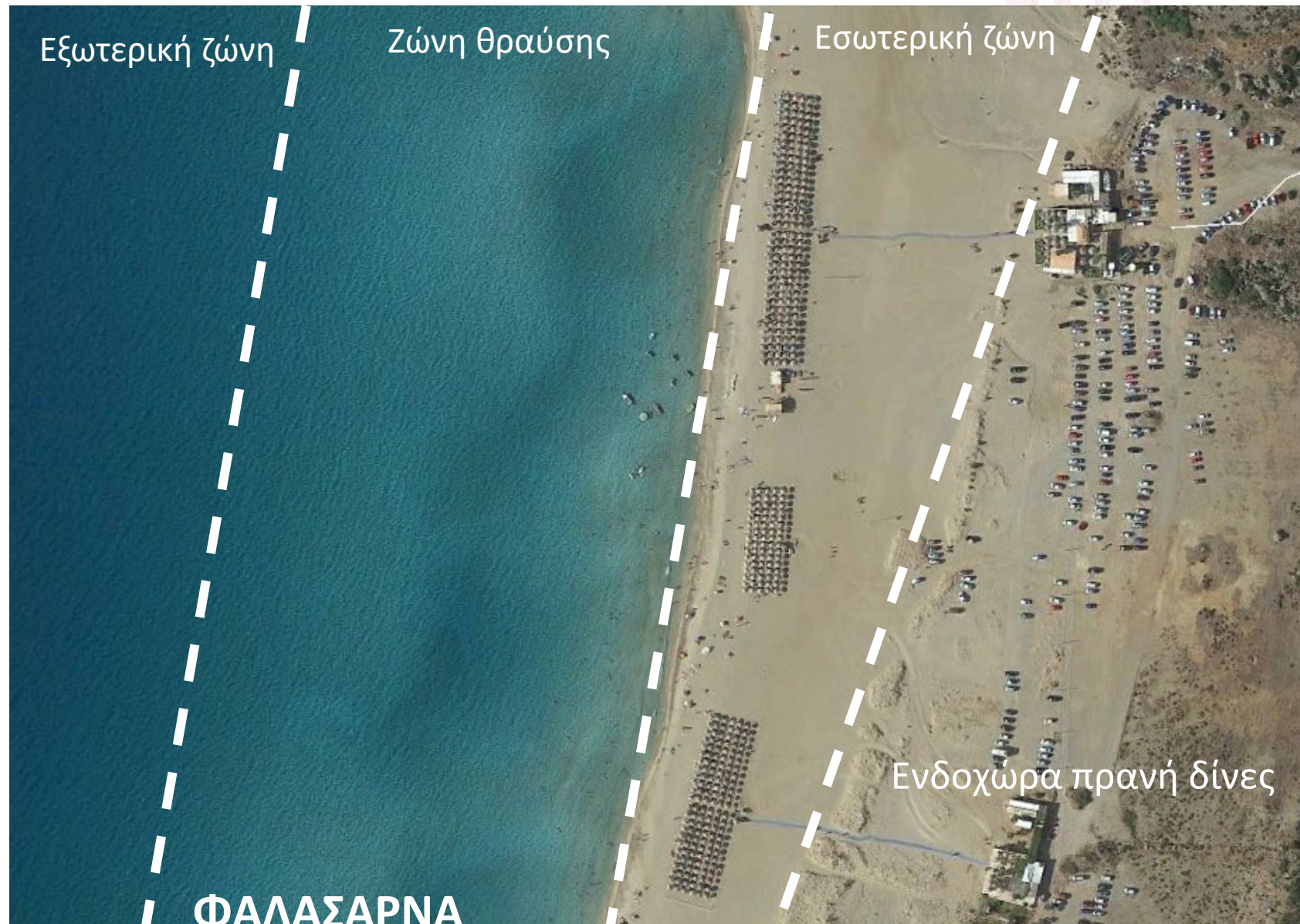


Προφίλ ακτής



Σχ. 10.6.

Προφίλ ακτής



Κάθετη στην Ακτή Ιζηματομεταφορά

Μετακίνηση
του ιζήματος

- Προς τα ανοιχτά
- Προς την ακτή

Προς τα
ανοιχτά

- Καταιγίδες

Προς την
ακτή

- Ήπιες κυματικές συνθήκες

Έννοια - Παραλιακό Προφίλ Ισορροπίας (Equilibrium Beach Profile)

Μεταβολή

- βάθους με απόσταση προς τα ανοιχτά από την ακτογραμμή

Αποτέλεσμα
εξισορρόπησης

- καταστροφικών (destructive)
- δημιουργικών (constructive) δυνάμεων

Καταστροφικές Δυνάμεις του προφίλ

Βαρύτητα

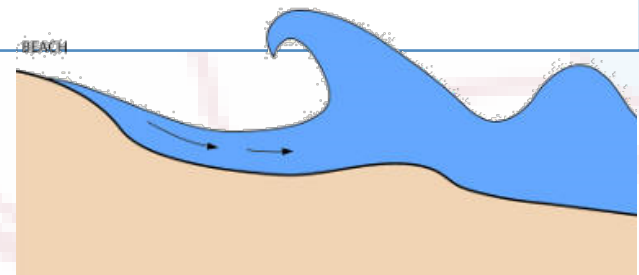
- Κάτω και ανοιχτά
- Ομαλοποιεί ακανόνιστες μορφές
- Οριζόντιο προφίλ ισορροπίας

Τύρβη (ζώνη θραύσης)

- Οργανωμένη κυματική ενέργεια
- Χαοτικές μεταβολές τύρβης
- Σωματίδια ιζήματος πυθμένα προς τα ανοιχτά

Αντιρρέυμα (undertow)

- Προς τα ανοιχτά - αιωρούμενο ίζημα



Δημιουργικές Δυνάμεις του προφίλ

Διατμητικές τάσεις στον πυθμένα προς την ακτή

Περιοδικές αιωρήσεις & επιλεκτική μεταφορά

- Εάν χρόνος κατακρήμνισης $< \frac{1}{2}$ κυματικής περιόδου
- ολική ιζηματομεταφορά (net transport) προς την ακτή

Και γενικότερα

Εάν χρόνος κατακρήμνισης $< \frac{1}{2}$ κυματικής περιόδου

- ολική ιζηματομεταφορά (net transport) προς την ακτή

Εάν χρόνος κατακρήμνισης $> \frac{1}{2}$ κυματικής περιόδου
αλλά μικρότερη από αυτήν $\left(\frac{T}{2} < \frac{H}{w_f} < T \right)$

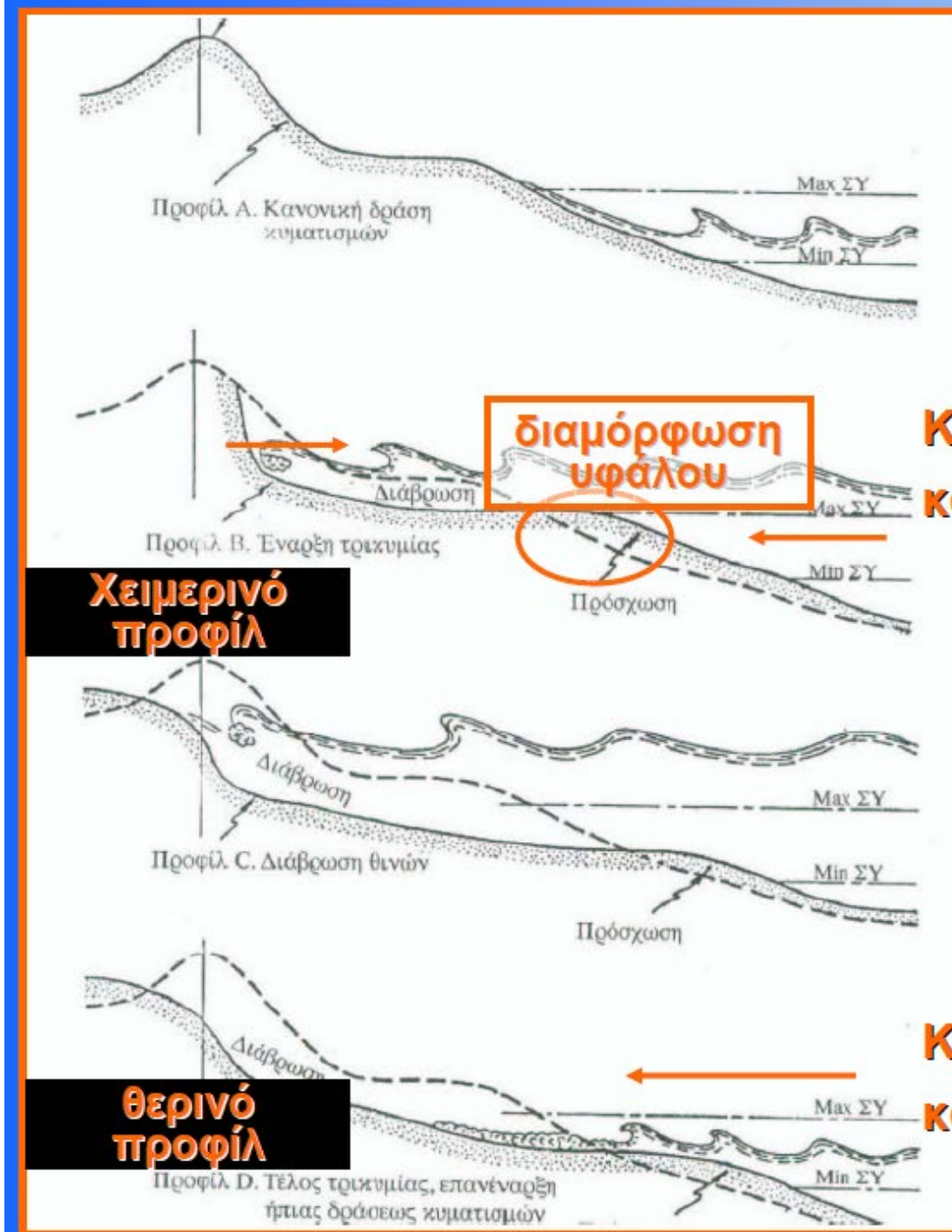
- ολική ιζηματομεταφορά προς τα ανοιχτά

Κάθετη Ιζηματομεταφορά - Προφίλ Ισορροπίας

Διάκριση χειμερινού και θερινού
προφίλ ακτής ανάλογα με την
καμπυλότητα του κύματος
(↑ τον χειμώνα ↓ το θέρος)

Κύματα με μεγάλη
καμπυλότητα H_o/L_o

Κύματα με μικρή
καμπυλότητα H_o/L_o



Βασικά Χαρακτηριστικά του Προφίλ Ισορροπίας

Κοίλο προς τα κάτω

Κλίσεις ηπιότερες στα λεπτόκοκκα ιζήματα

Κλίσεις πιο ομαλές για κυματισμούς μεγάλης κλίσης

Πιο αδρόκοκκα στα ρηχότερα νερά

- ↑ βάθος → λεπτόκοκκα

Ακτογραμμή υποχωρεί απότομα σε έντονα κυματικά γεγονότα

- αυξάνει βαθμιαία με ήπια κυματική δραστηριότητα

Παραδοχές - Επικρίσεις

Έννοια
προφίλ
ισορροπίας

- Επικρίσεις - Φυσικές δυνάμεις αλλάζουν συνεχώς

Βασική
παραδοχή

- απουσία κατά μήκος ιζηματομεταφοράς
- δεν υπάρχει απώλεια ιζήματος μόνο αναδιανομή

Διατήρηση
όγκου
ιζήματος

- διάβρωση παραλιακού μετώπου
 - απόθεση ιζήματος σε βάθος
- πρόσχωση ιζήματος στην παραλία
- διάβρωση ιζήματος στη ζώνη θραύσης

Μέγιστο Βάθος Ανατάραξης Ιζημάτων (Closure Depth, D_oC)

Ανάγκη οριοθέτησης σημείου

- Σημαντική ιζηματομεταφορά
- Αναπλήρωση ακτών
- Ορισμός closure depth

Ως μέγιστο βάθος ανατάραξης για μια χρονική περίοδο, είναι το πιο κοντινό βάθος στην ακτή πέρα από το οποίο δεν υπάρχει σημαντική αλλαγή στην ανύψωση του πυθμένα και συγχρόνως σημαντική ιζηματομεταφορά (Kraus et al., 1998).

Βάσει του παραπάνω Ορισμού

- Αξιόπιστος προσδιορισμός DoC
 - Παρακολούθηση προφίλ για μερικά χρόνια
- Διαχωρίζει
 - διεργασίες στην παραλία και περιπαράλια
 - διεργασίες στα ανοιχτά και υφαλοκρηπίδα
- Σημαντικότητα του προσδιορισμού εξαρτάται
 - χρονική κλίμακα
 - τοπικούς παράγοντες
 - κυματικό καθεστώς
 - χαρακτηριστικά ιζήματος

Εκτίμηση DoC

- Από εργαστηριακά δεδομένα και μετρήσεις πεδίου, ο Hallermeier (1978, 1981) έδωσε την παρακάτω σχέση για την εκτίμηση του DoC, η οποία ισχύει για αμμώδη ιζήματα σε θαλασσινό νερό,

$$D_c = 2,28H_e - 68,5 \left(\frac{H_e^2}{gT_e^2} \right)$$

- όπου D_c το DoC, H_e **το σημαντικό ύψος κύματος που υπερβαίνεται 12 ώρες το χρόνο** και T_e η αντίστοιχη περίοδος. Το H_e μπορεί να υπολογιστεί μέσω του μέσου ετήσιου κύματος και της τυπικής του απόκλισης από τη σχέση

$$H_e = \bar{H} + 5,6\sigma_H$$

Εκτίμηση DoC

- Ο Birkemeier (1985) αξιολόγησε την σχέση του Hallermeier χρησιμοποιώντας καλύτερης ποιότητας δεδομένα πεδίου και πρότεινε μια ελαφρώς αλλαγμένη εκδοχή

$$D_c = 1,75H_e - 57,9 \left(\frac{H_e^2}{gT_e^2} \right)$$

- ενώ κατέληξε ότι και η παρακάτω απλοποιημένη προσέγγιση προσαρμοζόταν το ίδιο καλά στα δεδομένα

$$D_c = 1,57H_e$$

Μαθηματική Περιγραφή του Παραλιακού Προφίλ (σχέση απόστασης από την ακτή και βάθους)

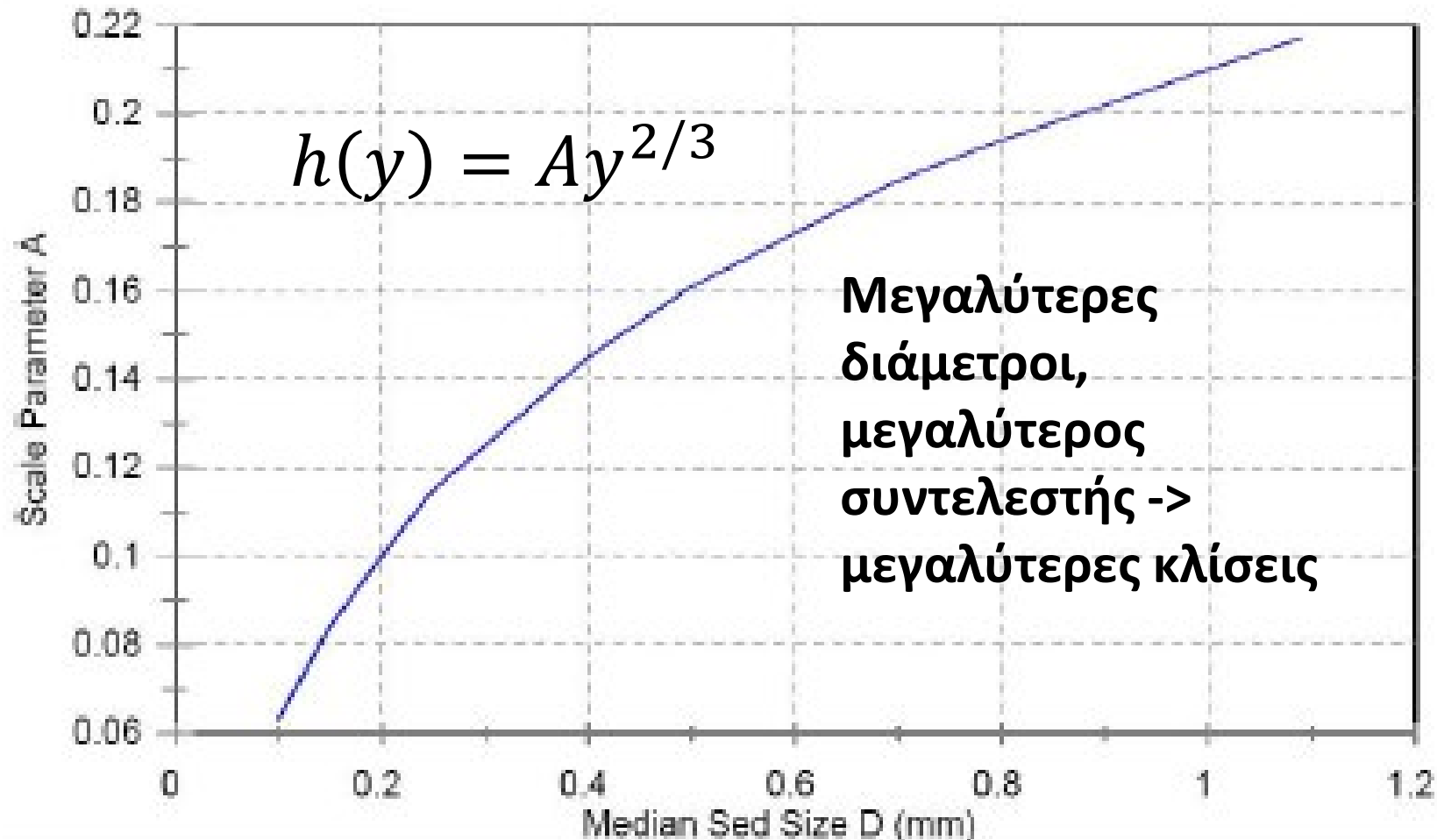
- Ο Bruun (1954) δεδομένα από Δανία και Καναδά πρότεινε

$$h(y) = Ay^{2/3}$$

- όπου h το βάθος σε απόσταση y από την ακτογραμμή και A είναι συντελεστής εξαρτώμενος από την διάμετρο του ιζήματος

Παράμετρος A

Η παράμετρος A ως συνάρτηση του διάμεσου D



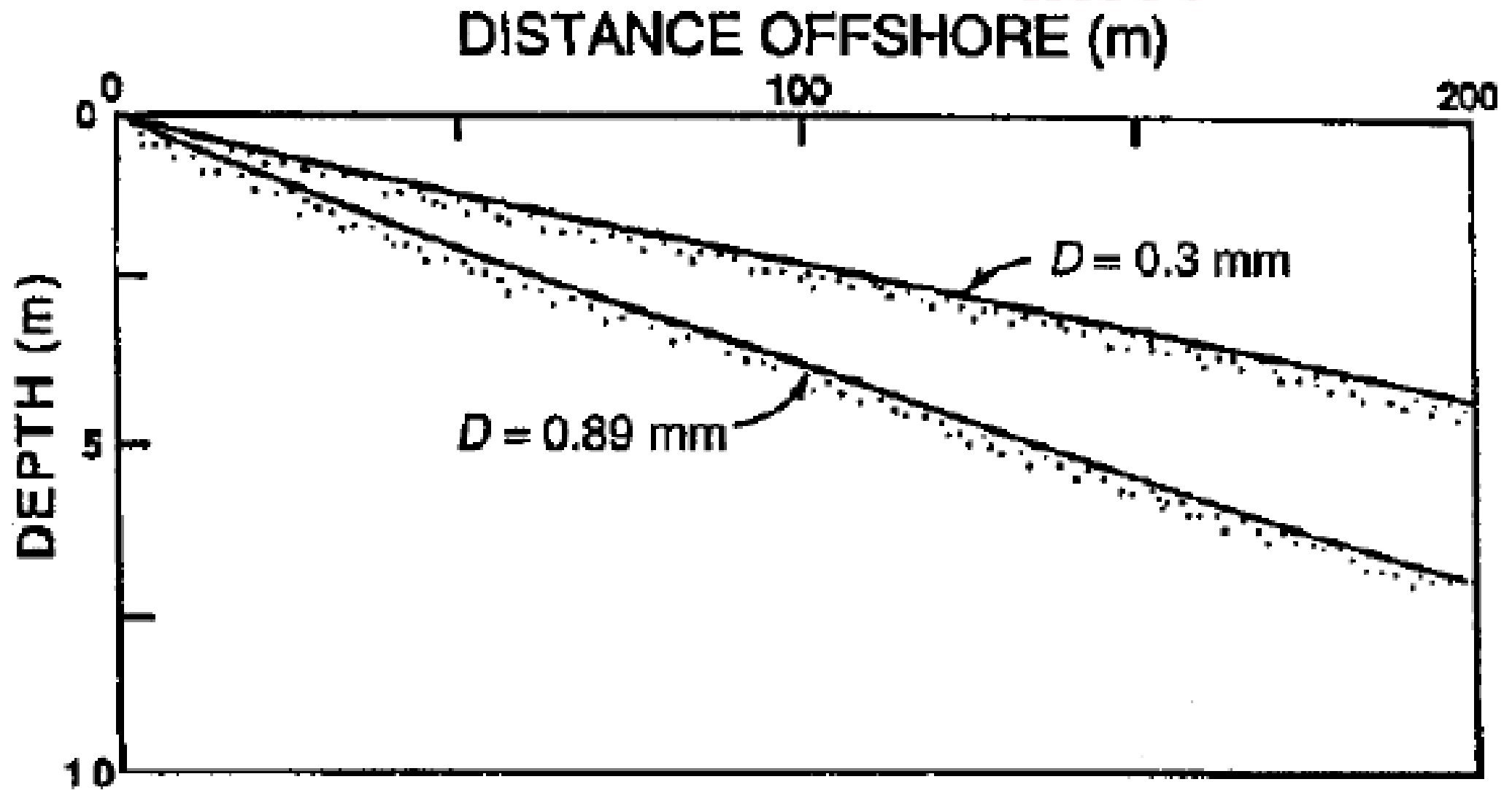
Εκτίμηση A

- Ο Dean (1987) συνέδεσε παράμετρο A και ταχύτητα κατακρήμνισης w_f

$$A = 0,067 w_f^{0,44}$$

- όπου A σε $m^{1/3}$ και w_f σε cm/s

Διαφορά Προφίλ Λεπτόκοκκα – Αδρόκοκκα Ιζήματα



Μεταφορά Ιζήματος **Κ**ατά **Μ**ήκος της **Α**κτής (κμα)

Παράλληλη στην Ακτή Ιζηματομεταφορά

2 μηχανισμοί

Συρόμενη
κίνηση στη
ζώνη
διαβροχής

Μεταφορά
στη ζώνη
θραύσης

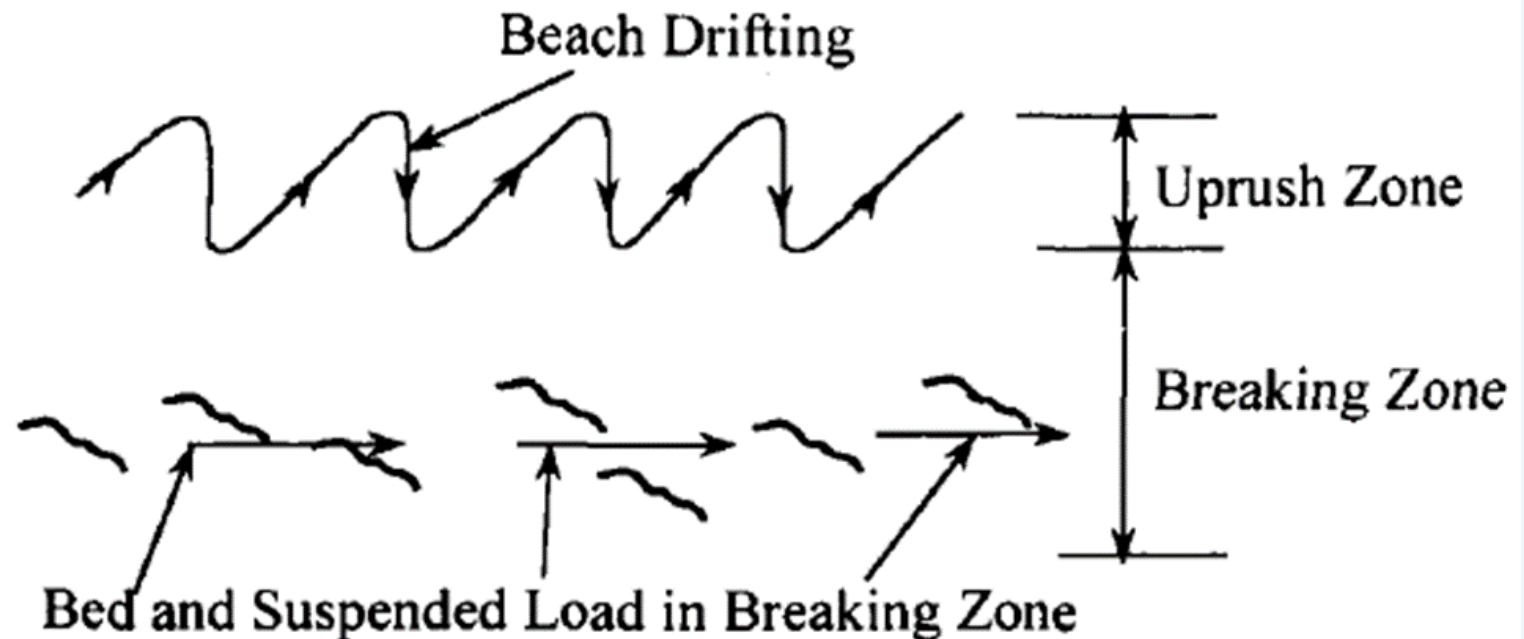
Κυματισμοί



Υπό
γωνία

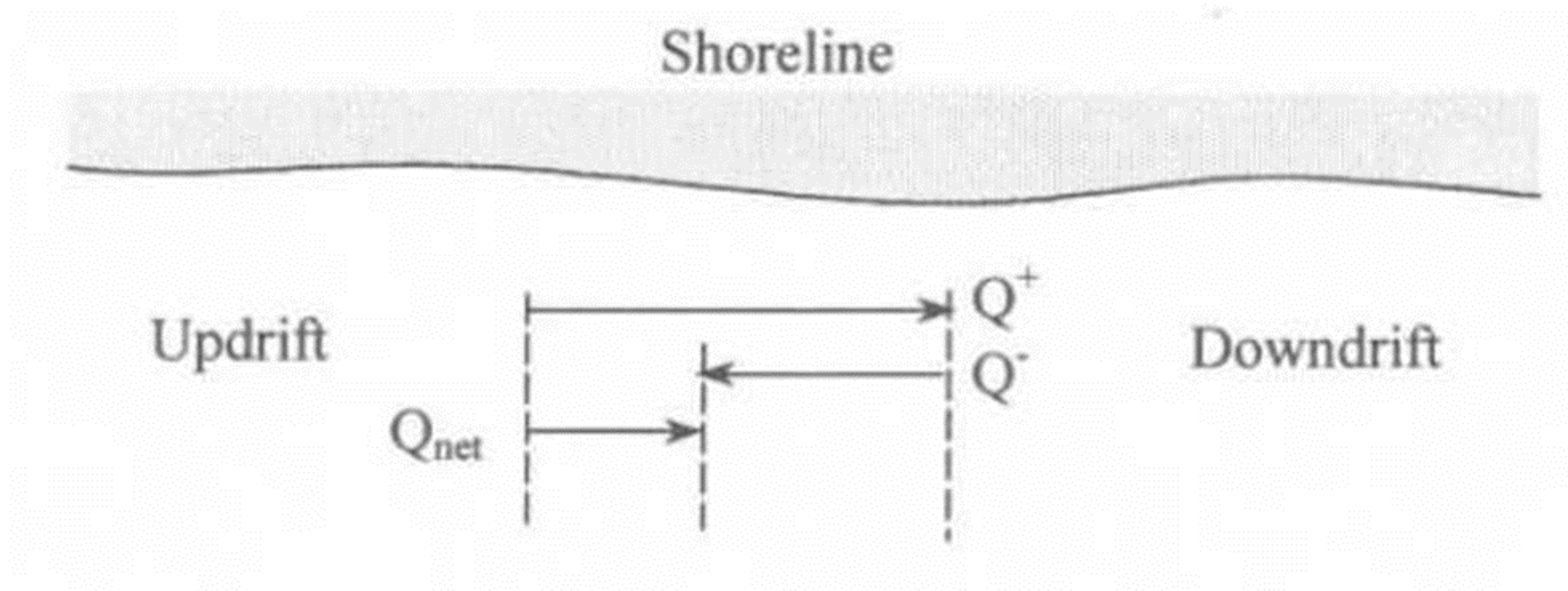


Ίζημα
κμα



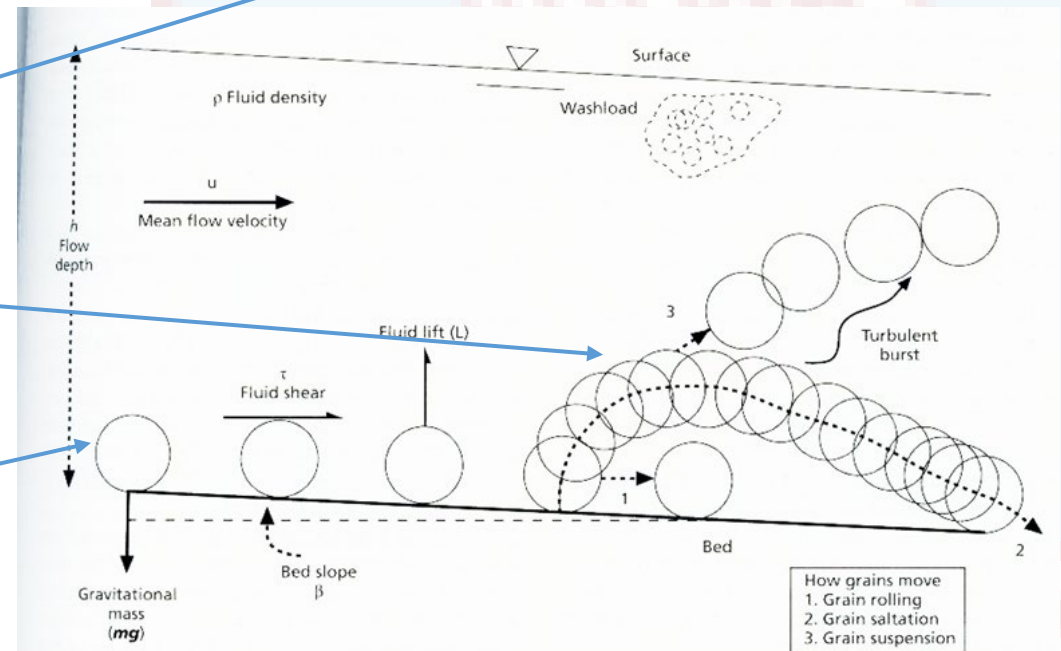
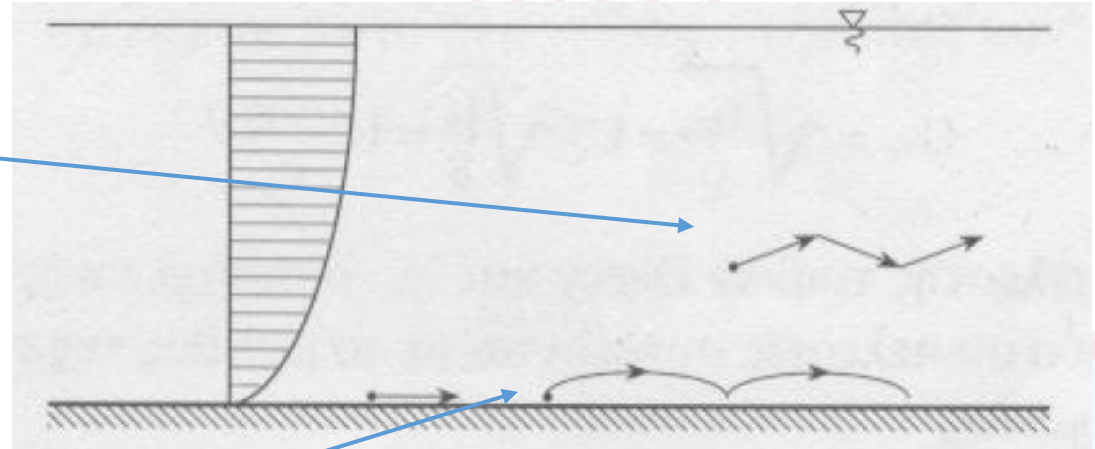
Παράλληλη Ιζηματομεταφορά

- Και προς τις δύο διευθύνσεις
- Έστω θετική φορά προς τα δεξιά, Q^+ αρνητική προς τα αριστερά, Q^-
 - καθαρή μεταφορά (Q_{net}): $Q_{net} = Q^+ + Q^-$
 - ολική μεταφορά (Q_{gross}): $Q_{gross} = Q^+ + |Q^-|$



Τρόποι Ιζηματομεταφοράς

- Υδάτινη στήλη
 - αιώρηση ιζήματος (suspended sediment transport)
 - τυρβοειδείς στρόβιλοι
- Πυθμένα (bed-load sediment transport)
 - μεταφέρονται με άλματα (saltation)
 - κόκκοι κυλίσουν (rolling)



Μετρήσεις πεδίου

- Χρήση ιχνηλατών (tracers) όπως
 - (a) φωσφορίζουσα άμμο (fluorescent sand tracers),
 - (b) χαλίκια αλουμινίου (aluminium pebbles) ($\rho = 2,7 \text{ g/cm}^3$)
 - (c) ηλεκτρονικά χαλίκια (electronic pebbles)

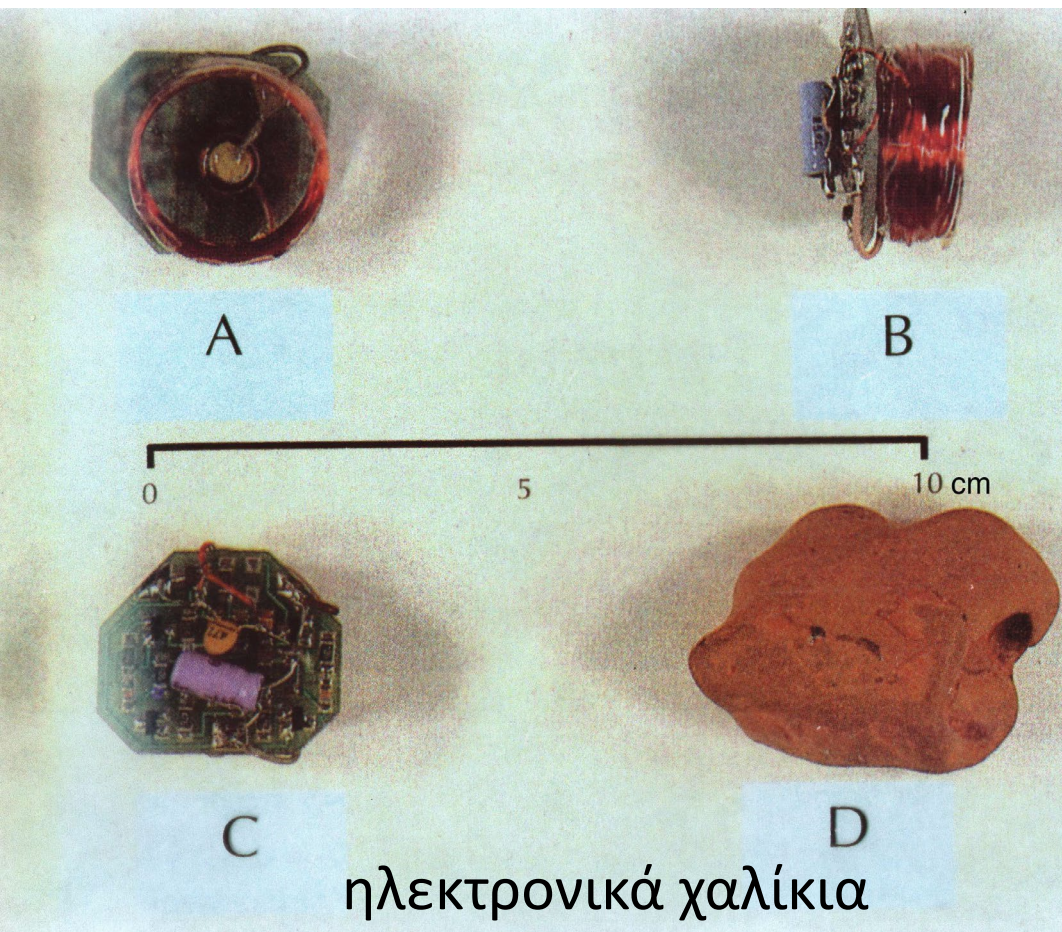
Τοποθετούνται σε συγκεκριμένα σημεία & κατόπιν δείγματα συλλέγονται για να βρεθεί η διασπορά τους και άρα ένταση και διεύθυνση ιζηματομεταφοράς

- Ρευματογράφοι
- Κυματομετρητές
- Ιζηματοπαγίδες
- Όργανα που καταγράφουν ιζήματα σε αιώρηση

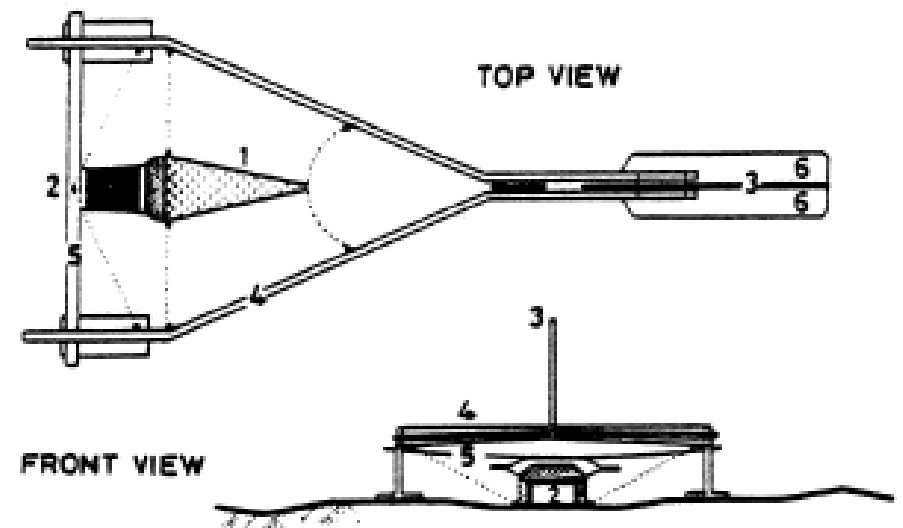
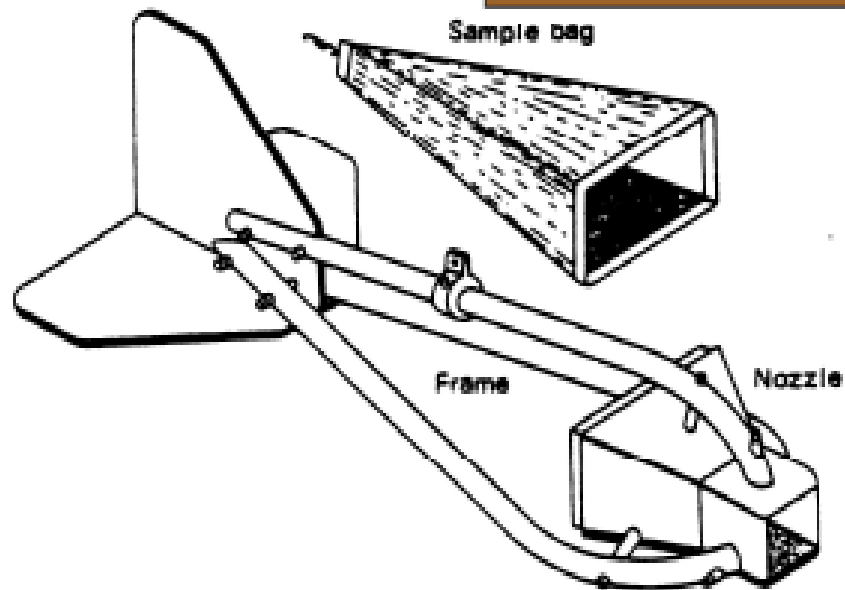
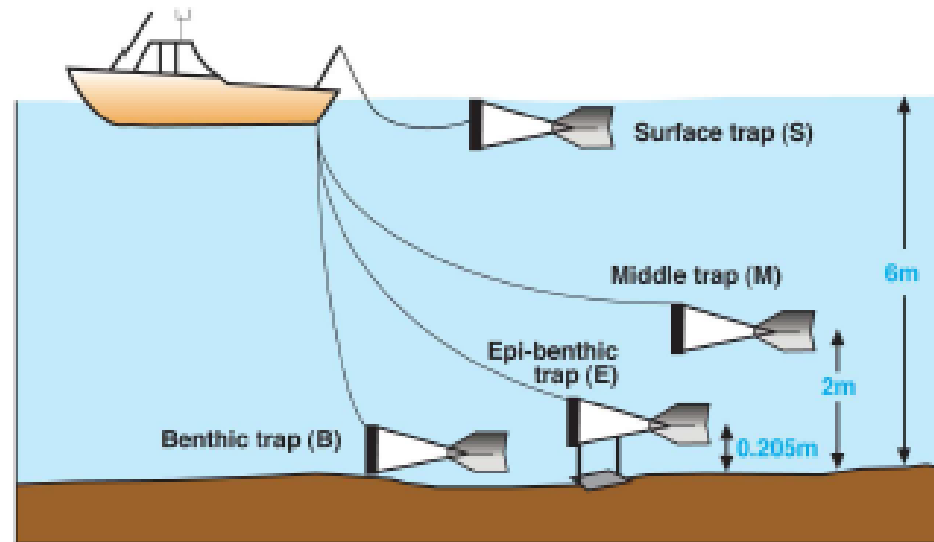


«φωσφορίζουσα» άμμος





Ιζηματοπαγίδες



Μέθοδοι υπολογισμού παράλληλης προς την ακτή ιζηματομεταφοράς

CERC (1984)

- Ρυθμός παράλληλης προς την ακτή ιζηματομεταφοράς, $Q_{longshore}$

$$Q_l = \frac{I_l}{(\rho_s - \rho)g(1-n)} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Όπου

- ρ_s πυκνότητα μάζας των κόκκων ιζήματος
- ρ η πυκνότητα μάζας του νερού
- g η επιτάχυνση της βαρύτητας
- n συντελεστής πορώδους του υλικού ($n \sim 0.4$)
- I_l βυθισμένη παροχή βάρους (immersed weight transport rate)

CERC (1984)

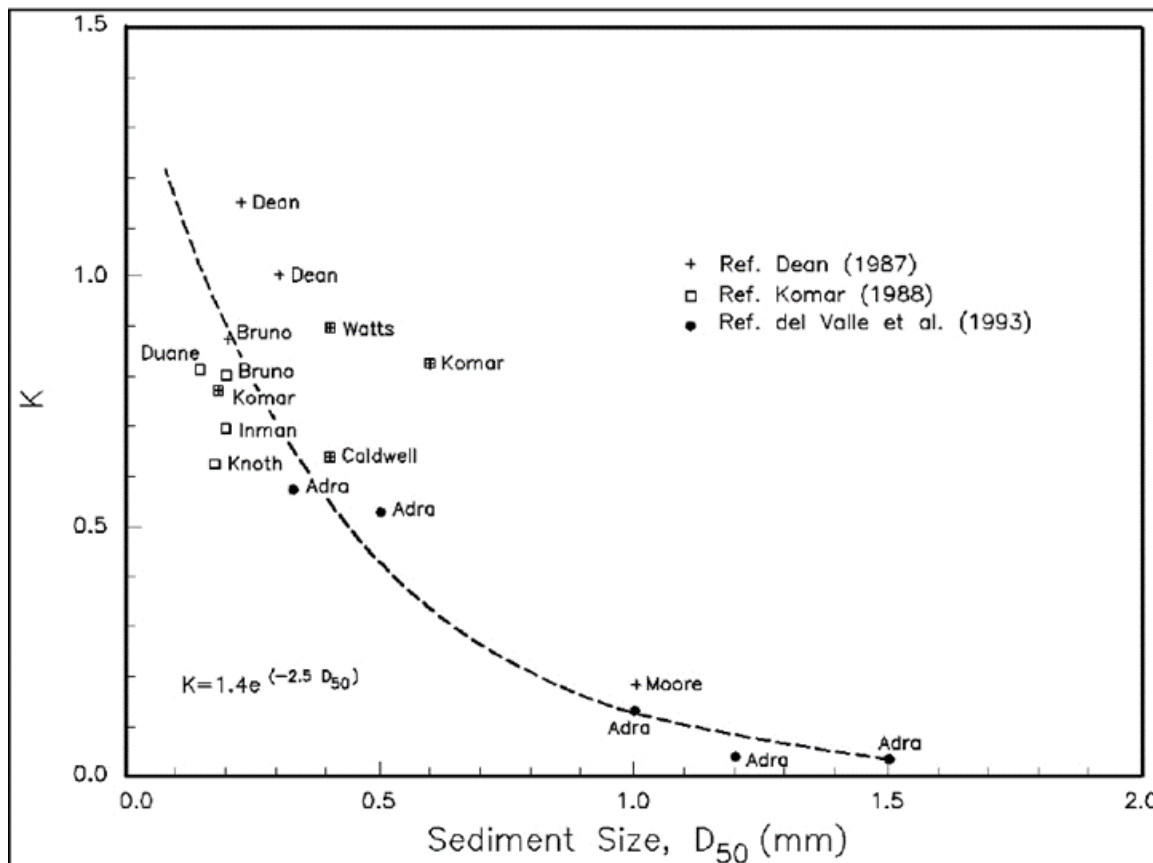
- Η βυθισμένη παροχή βάρους & ροή κυματικής ενέργειας έχουν ίδιες μονάδες (N/s) και συνδέονται μέσω της σχέσης

$$I_l = K P_l$$

- Με K = εμπειρικός συντελεστής αναλογίας της Ιζηματομεταφοράς Παράλληλα στην Ακτή
- P_l = ροή κυματικής ενέργειας παράλληλα στην ακτή (longshore wave energy flux),
$$P_l = (E_b C_g)_b \sin a_b \cos a_b$$
- όπου E_b η κυματική ενέργεια στο σημείο θραύσης, C_{gb} η ταχύτητα κυματικής ομάδας και a_b η γωνία πρόσπτωσης στο σημείο θραύσης
- $C_g = \sqrt{g d_b}$ με d_b το βάθος νερού στο σημείο θραύσης.

Συντελεστής Αναλογίας της Ιζηματομεταφοράς Παράλληλα στην Ακτή [K]

- Η τιμή του είναι πολύ σημαντική και εκτιμάται από δεδομένα πεδίου. Η πλέον συνηθισμένη τιμή που του δίνεται είναι 0,7.
- Εξαρτάται από την διάμετρο των κόκκων



κατά del Valle, Medina,
and Losada (1993)

$$K = 1.4 * e^{(-2.5 * D_{50})}$$

Figure III-2-6. Coefficient K versus median grain size D_{50} (del Valle, Medina, and Losada 1993)

Σχέση Kamphuis (1991)

- Έχει παραμέτρους την κυματική περίοδο και την κλίση πυθμένα

$$Q_s = 2,27 \cdot H_{sb}^2 T_p^{1.5} m_b^{0,75} D^{-0,25} \sin^{0,6} 2a_b$$

Q_s : Βυθισμένη παροχή μάζας ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$)

H_{sb} : ύψος κύματος στο σημείο θραύσης

T_p : περίοδος κυματισμού

m_b : κλίση πυθμένα

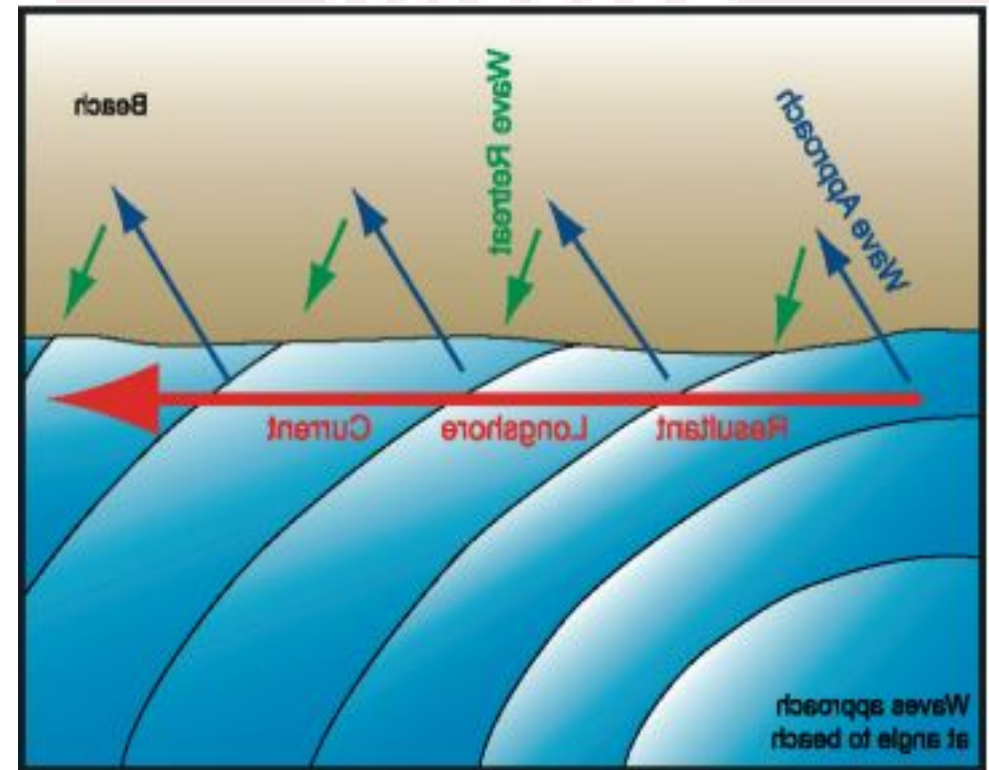
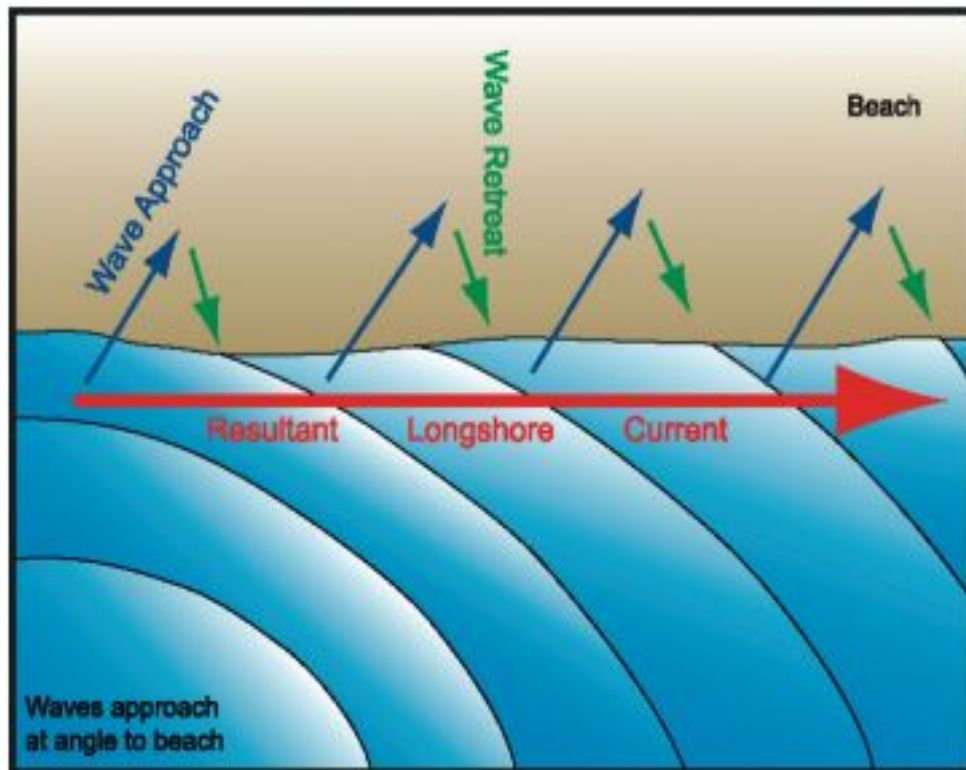
D : διάμετρος κόκκων

Experiment Number	Measured m^3/yr	CERC Formula ($K = 0.39$) m^3/yr	Bailard m^3/yr	Ozhan m^3/yr	Kamphuis m^3/yr	Madsen m^3/yr
1	2 660	21 350	10 660	4 470	2 390	6 630
2	7 040	23 100	14 570	25 830	6 060	8 350
3	1 130	8 400	4 500	3 010	1 010	2 090
4	4 040	12 040	5 250	15 430	3 160	5 000

Η CERC έχει επικριθεί για υπερεκτίμηση της ιζηματομεταφοράς σε συνθήκες υψηλών κυματισμών

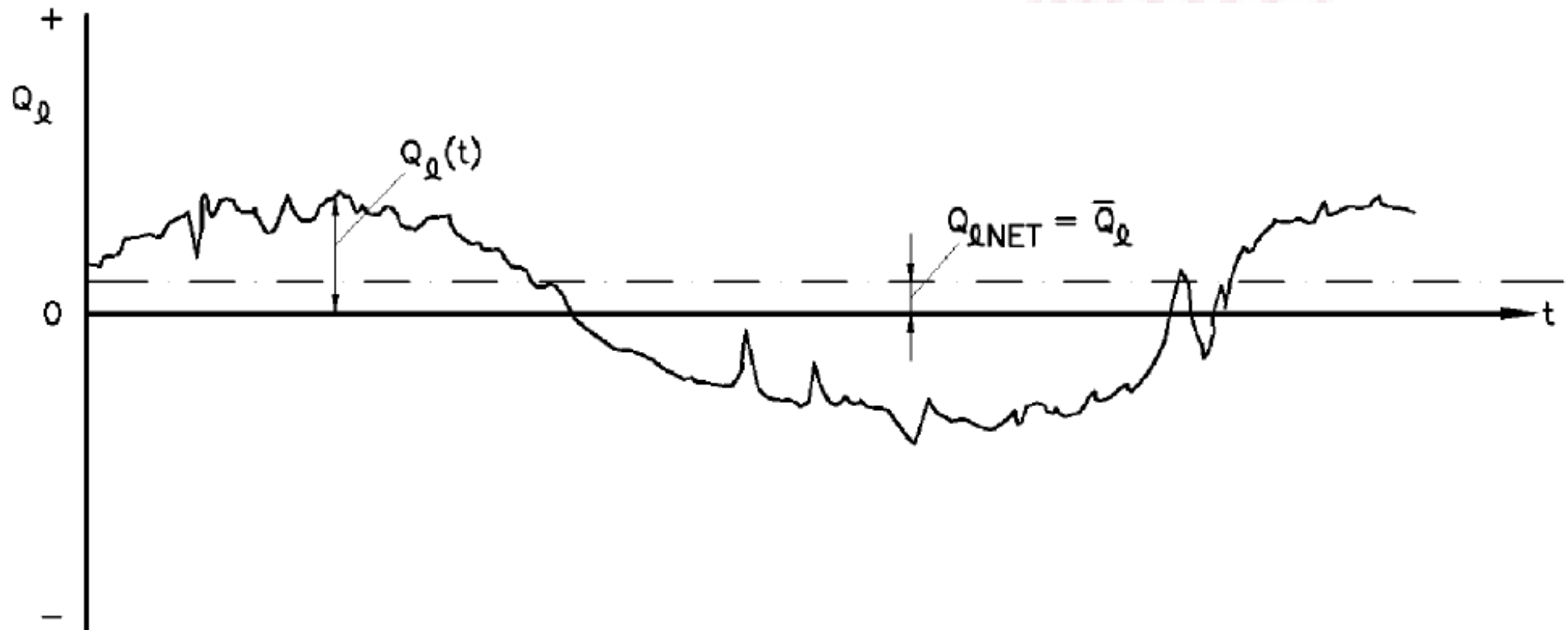
Συνολική στερεομεταφορά ακτής

- Η κατεύθυνση της στερεομεταφοράς αλλάζει ανάλογα τη κατεύθυνση των κυματισμών και συνεπώς της κατεύθυνσης των ρευμάτων παράλληλα στην ακτή.



Συνολική στερεομεταφορά ακτής

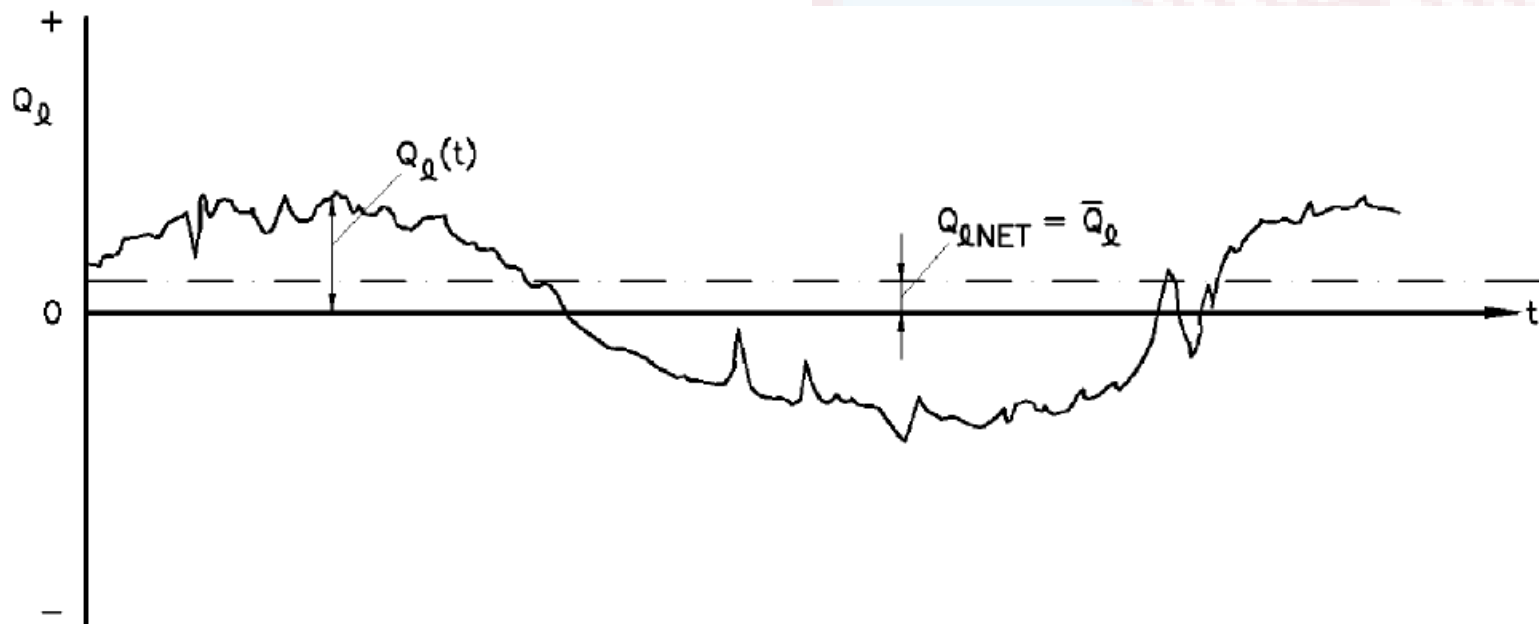
- Έστω ότι θεωρούμε τη μια κατεύθυνση μεταφοράς ως θετική.
- Τότε η στερεομεταφορά για ένα σημείο της ακτής συναρτήσει του χρόνου μπορεί να είναι ως εξής:



Συνολική στερεομεταφορά ακτής

- Τότε η καθαρή στερεομεταφορά για το σημείο αυτό δίνεται από το χρονικό μέσο όρο:

$$Q_{\ell NET} \equiv \overline{Q_{\ell}} = \frac{1}{T_o} \int_0^{T_o} Q_{\ell}(t) dt$$



Βιβλιογραφία [1]

- Birkemeier W.A., 1985, Field Data on Seaward Limit of Profile Change, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol.111, 3 , pp.598-602
- Fredsøe J. & Deigaard R., 1992, Mechanics of Coastal Sediment Transport, Advanced series on Ocean Engineering Vol.3, World Scientific Publishing
- Dean R.G., 1991, Equilibrium Beach Profiles: Characteristics and Applications, Journal of Coastal Research, Vol.7, 1, pp.53-84
- Dean R.G., 2002, Beach nourishment: Theory and Practice, Advanced series on Ocean Engineering Vol.18, World Scientific Publishing
- Hallermeier R.J., 1981, A Profile Zonation for Seasonal Sand Beaches from Wave Climate, Coastal Engineering, Vol.4, pp.253-277
- Kamphuis J.W., 1991, Alongshore Sediment Transport Rate, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol.117, 6 , pp.624-640
- Kamphuis J.W., 2000, Introduction to Coastal Engineering and Management, Advanced series on Ocean Engineering Vol.16, World Scientific Publishing
- Kraus C.N. et al., 1998, Depth of Closure in Beach Fill Design, CETN II-40, USACE

Βιβλιογραφία [2]

- Larson M. & Kraus C.N., 1994, Temporal and Spatial Scales of Beach Profile Change, Duck, North Carolina, Marine Geology, Vol.117, pp.75-94
- Larson M. & Kraus C.N., 1995, Prediction of Cross-shore sediment transport at different spatial and temporal scales, Marine Geology, Vol.126, pp.111-127
- Nicholls R.J. et al., 1998, Evaluation of Depth of Closure Using Data from Duck, NC, USA, Marine Geology, Vol.148, pp.179-201
- Pikley O.H. et al., 1993, The Concept of Shoreface Profile of Equilibrium: A Critical Review, Journal of Coastal Research, Vol.9, 1, pp.255-278
- Smith E., 2006, Longshore Sediment Transport Rate Calculated Incorporating Wave Orbital Velocity Fluctuations, USACE, ERDC/CHL TR- 06-18 (<http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA455449>)
- U.S.A.C.E., Coastal Engineering Manual, 2002
- Van Rijn L.C., 2007, Manual Sediment Transport Measurements in Rivers, Estuaries and Coastal Seas, Aqua Publications (http://www.coastalwiki.org/coastalwiki/Manual_Sediment_Transport_Measurements_in_Rivers,_Estuaries_and_Coastal_Seas)
- Κουτίτας Χ., 1998, Εισαγωγή στην Παράκτια Τεχνική και τα Λιμενικά Έργα, Εκδόσεις Ζήτη