

Ροές Υπολειμμάτων & Παράκτιες Πλημμύρες

Διαλέξεις 9^η - 10^η

Παράκτιες Πλημμύρες
Διαλέξεις Αχιλλέα Σαμαρά

Αχιλλέας Σαμαράς

Επίκουρος Καθηγητής

Π.Μ.Σ. Δ.Υ.Κ. / 2021-2022

achsamar@civil.duth.gr • www.achilleassamaras.com





● Στερεομεταφορά & Μορφοδυναμική Ακτών

- Γενικά
- Φυσικά χαρακτηριστικά παράκτιων ιζημάτων
- Παράκτια στερεοπαροχή
- Μορφοδυναμική μεταβολή ακτών
- Παράκτια διάβρωση & ισοζύγιο φερτών υλών
- Τμήματα ακτής – Προφίλ ισορροπίας
- Στερεομεταφορά εγκάρσια στην ακτογραμμή & κατά μήκος της ακτογραμμής
- Υπολογιστική προσομοίωση
- Παραδείγματα Κατανόησης

Γενικά

- Ακτές και πυθμένας παράκτιων περιοχών
 - Βραχώδης
 - Γαιώδης
- Χρονικές κλίμακες μεταβολής μορφολογίας
- Γαιώδεις ακτές
 - επίδραση κυματισμών και ρευμάτων
 - χρονικές κλίμακες επίδρασης: ώρες έως έτη
- Δυναμική ευστάθεια (morphodynamic stability) ή
Καθεστώς συνεχούς εξέλιξης
- Αρχή διατήρησης μάζας → ισοζύγιο φερτών υλών
- Διαχειριστικές πρακτικές & Τεχνικά έργα → διατάραξη ισοζυγίου



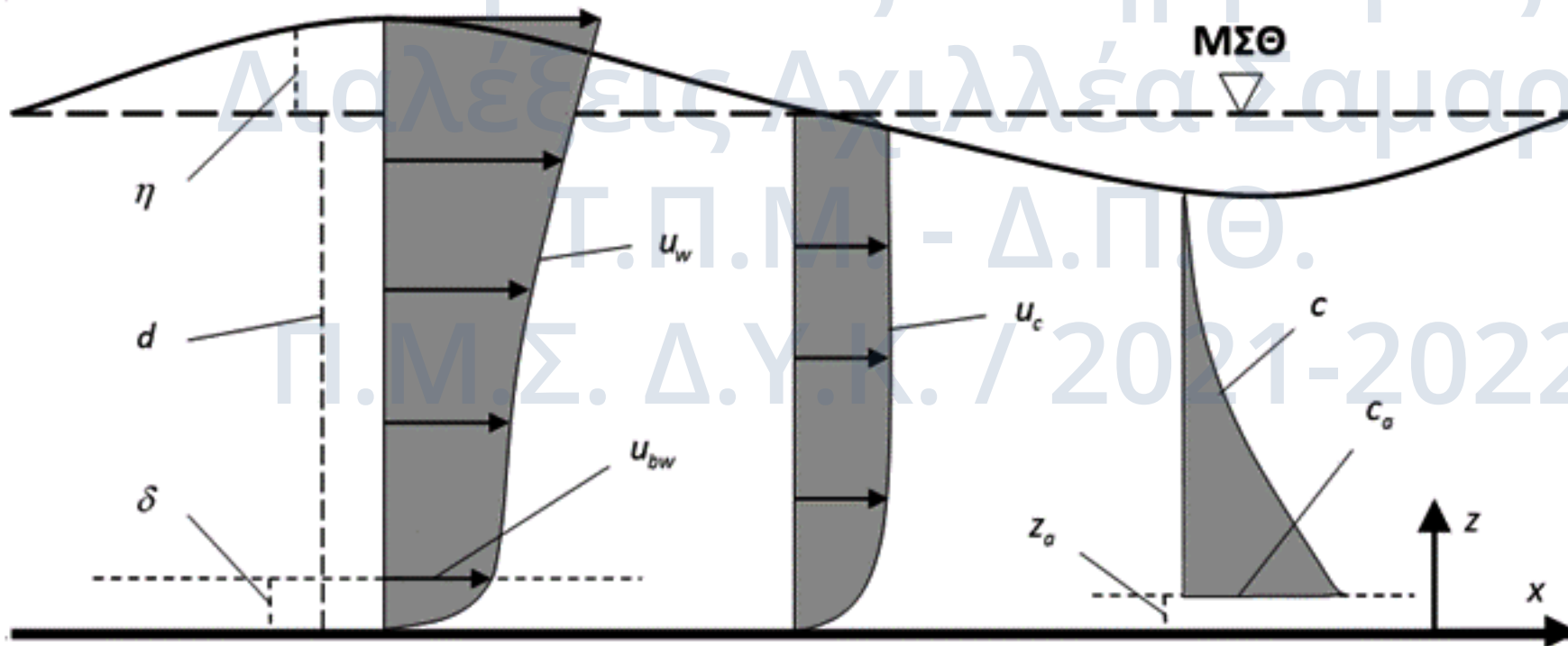
Γενικά

- Παράκτια στερεομεταφορά
 - Κύματα – Ρεύματα – Πηγές/Παγίδες φερτών υλών
 - Αλληλεπίδραση ροής – στερεομεταφοράς – μορφοδυναμικής ακτών
 - Ανάλυση φαινομένων στη χωρική έκταση ενός μήκους κύματος ή της παράκτιας ζώνης
 - Παλλόμενη ροή λόγω κυμάτων ή/και μόνιμη ροή λόγω ρευμάτων.
 - Επίπεδος πυθμένας ή πυθμένας με αμμοκυμάτια (πτυχώσεις, ripples)

Γενικά

- Παράκτια στερομεταφορά

- Κύματα – Ρεύματα – Πηγές/Παγίδες φερτών υλών
- Αλληλεπίδραση ροής – στερομεταφοράς – μορφοδυναμικής ακτών

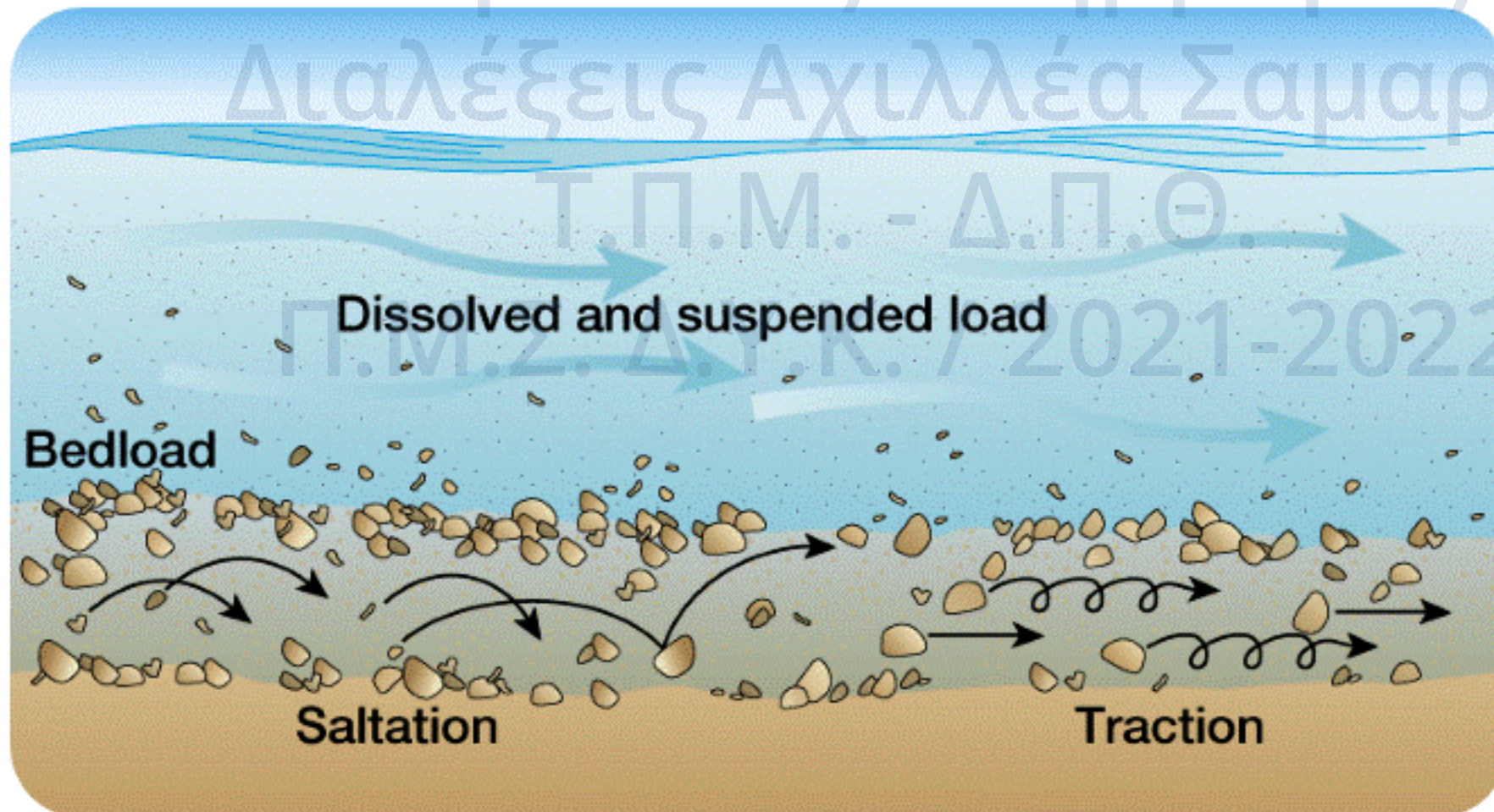


- $u_{w/c}$ ταχύτητες λόγω κύματος και ρεύματος
- δ πάχος κυματογενούς οριακού στρώματος πυθμένα
- c συγκέντρωση ιζήματος σε αιώρηση



Γενικά

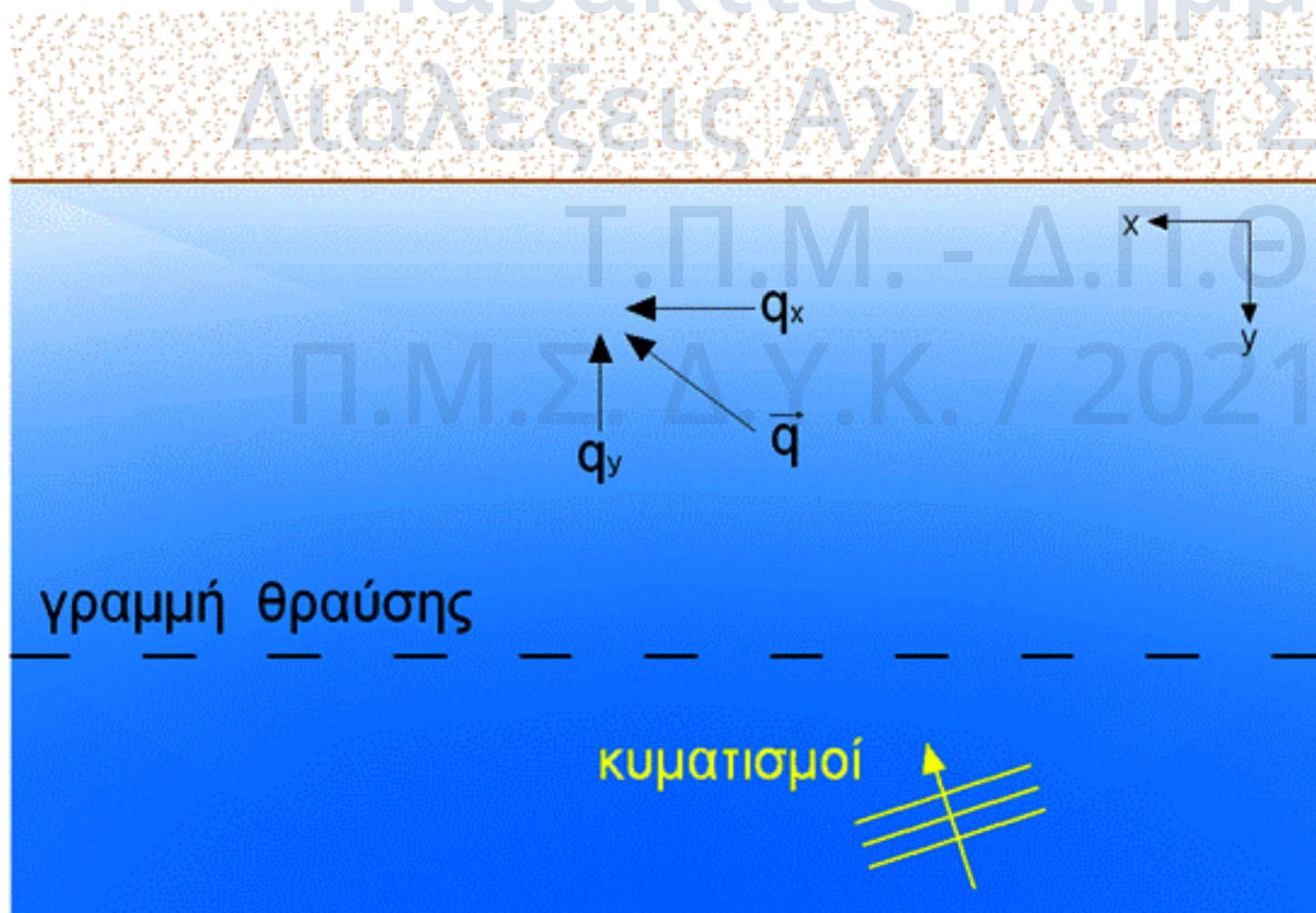
- Παράκτια στερεομεταφορά **Μηχανισμοί**
 - Μεταφορά ιζήματος/Φορτίο πυθμένα (*bed sediment transport/load*)
 - Μεταφορά ιζήματος/Φορτίο σε αιώρηση (*suspended sediment transport/load*)





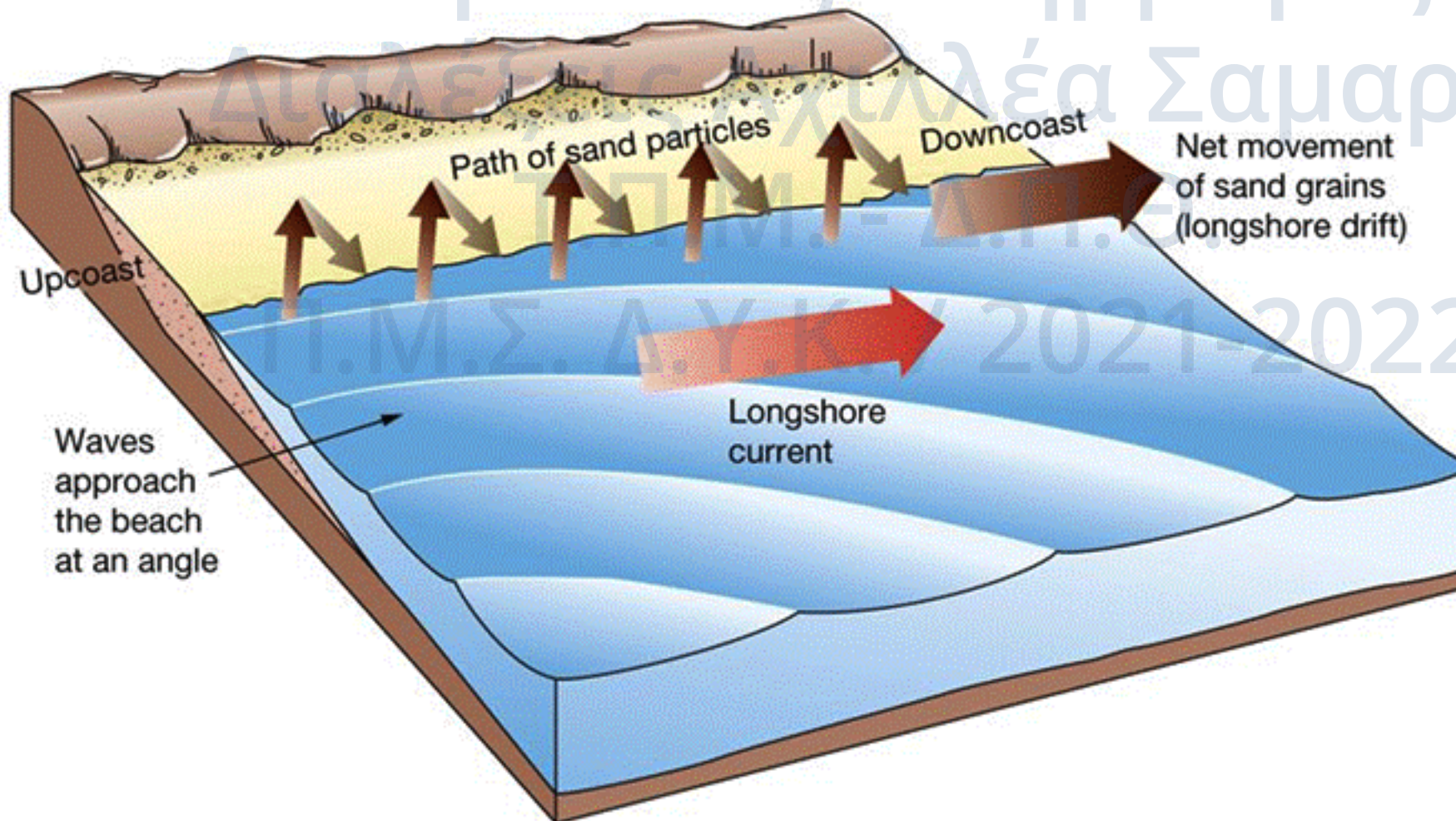
Γενικά

- Παράκτια στερεομεταφορά *Ανάλυση στην παράκτια ζώνη*
 - Στερεομεταφορά εγκάρσια στην ακτογραμμή (*cross-shore transport*)
 - Στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτογραμμής (*longshore transport*)



Γενικά

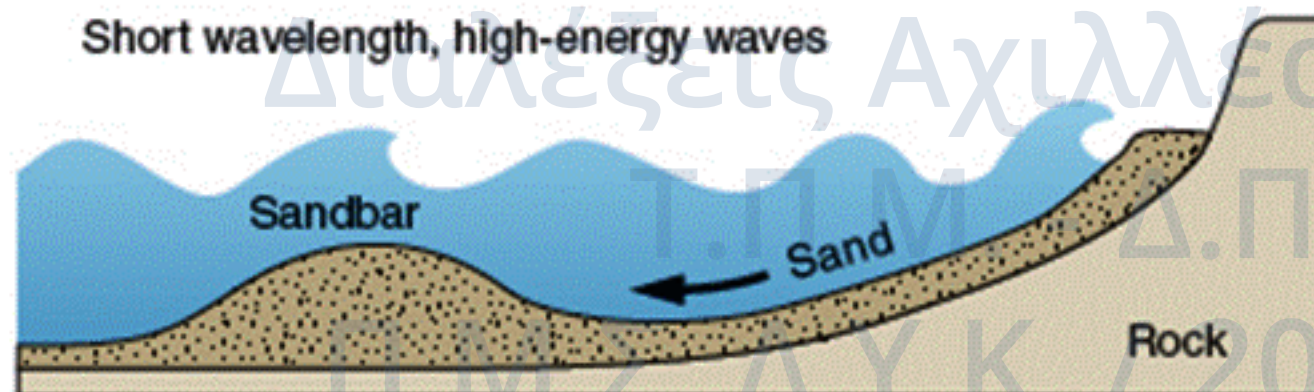
- Παράκτια στερεομεταφορά *Ανάλυση στην παράκτια ζώνη*
 - Στερεομεταφορά εγκάρσια στην ακτογραμμή (*cross-shore transport*)
 - Στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτογραμμής (*longshore transport*)



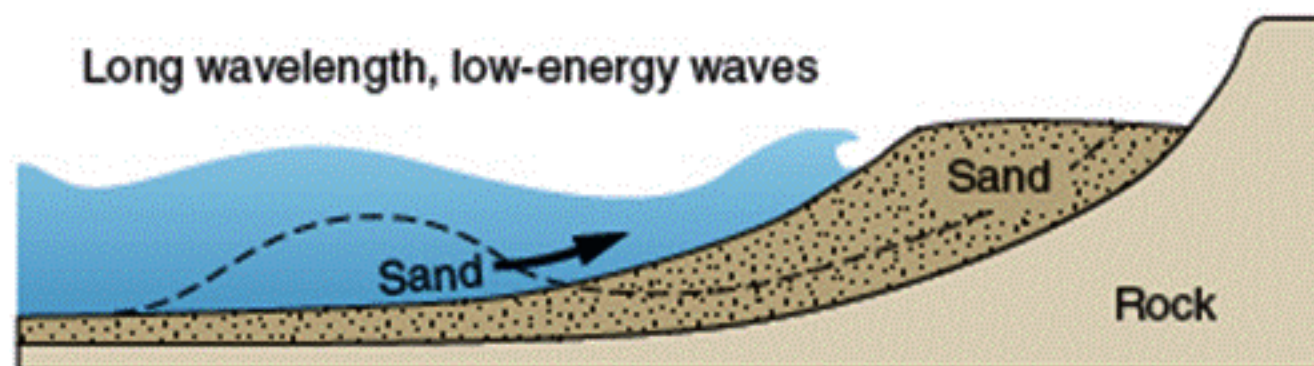


Γενικά

- Παράκτια στερεομεταφορά *Ανάλυση στην παράκτια ζώνη*
 - Στερεομεταφορά εγκάρσια στην ακτογραμμή (*cross-shore transport*)
 - Στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτογραμμής (*longshore transport*)



A Winter beach



B Summer beach



Φυσικά χαρακ/κα παράκτιων ιζημάτων

- Μεγέθη - Σχέσεις

- Σχετική πυκνότητα S (ή Ειδική βαρύτητα)

$$S = \frac{\rho_s}{\rho} = \frac{\gamma_s}{\gamma}$$

- ρ, γ : πυκνότητα και ειδικό βάρος νερού
- ρ_s, γ_s : πυκνότητα και ειδικό βάρος υλικού ιζήματος
- S : τυπικές τιμές: $2.55 < S < 2.95 \rightarrow S \approx 2.65$

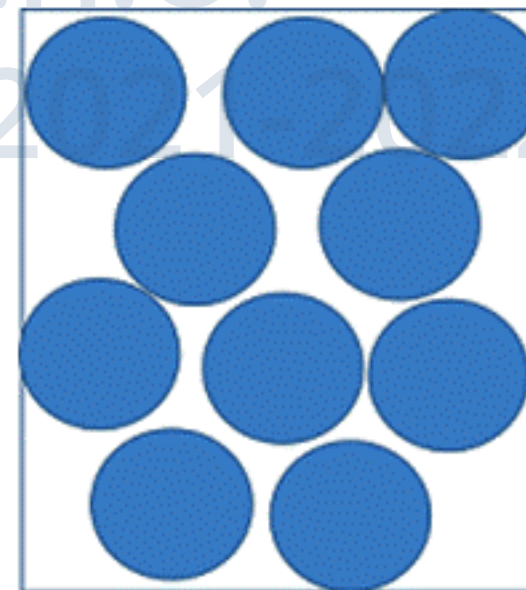
- Πορώδες n & ειδικά βάρη

$$\gamma_\xi = (1-n)\gamma_s$$

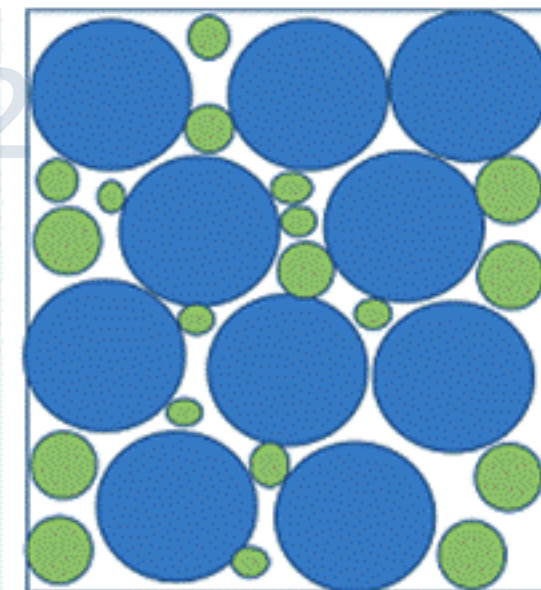
$$\gamma_\kappa = (1-n)\gamma_s + n\gamma$$

$$\gamma_\alpha = \gamma_\kappa - \gamma = \gamma(S-1)(1-n)$$

- γ_ξ : ε.β. ξηρού ιζήματος
- γ_κ : ε.β. κορεσμένου ιζήματος
- γ_α : ε.β. κορεσμένου ιζήματος υπό άνωση
- n : τυπική τιμή $n=0.4$



High porosity – large spaces



Low porosity – small spaces



Φυσικά χαρακτ/κα παράκτιων ιζημάτων

- Μεγέθη - Σχέσεις

- Χαρακτηριστική διάμετρος D & Παράμετρος φ

$$D = 2^{-\varphi}$$

$$\varphi = -\log_2 D$$

Κατηγορία	D [mm]	φ
Λίθοι	>256	<-8
Κροκάλες	64 ÷ 256	-6 ÷ -8
Χάλικες	2,0 ÷ 64	-1 ÷ -6
Πολύ χονδρή άμμος	1,0 ÷ 2,0	0 ÷ -1
Χονδρή άμμος	0,50 ÷ 1,0	1 ÷ 0
Μέση άμμος	0,25 ÷ 0,50	2 ÷ 1
Λεπτή άμμος	0,125 ÷ 0,25	3 ÷ 2
Πολύ λεπτή άμμος	0,062 ÷ 0,125	4 ÷ 3

Κατηγορία	D [mm]	φ
Χονδρή ιλύς	0,031 ÷ 0,062	5 ÷ 4
Μέση ιλύς	0,016 ÷ 0,031	6 ÷ 5
Λεπτή ιλύς	0,008 ÷ 0,016	7 ÷ 6
Πολύ λεπτή ιλύς	0,004 ÷ 0,008	8 ÷ 7
Χονδρή άργιλος	0,0020 ÷ 0,004	9 ÷ 8
Μέση άργιλος	0,0010 ÷ 0,0020	10 ÷ 9
Λεπτή άργιλος	0,0005 ÷ 0,0010	11 ÷ 10
Πολύ λεπτή άργιλος	0,00024 ÷ 0,0005	12 ÷ 11
Κολλοειδή	<0,00024	>12



Φυσικά χαρακτ/κα παράκτιων ιζημάτων

- Μεγέθη - Σχέσεις

- Ταχύτητα καθίζησης w_s

$$Re_w = \frac{w_s D_g}{\nu} = \begin{cases} D_*^3 / 18 & D_*^3 < 39 \\ D_*^{2.1} / 6 & \text{για } 39 < D_*^3 < 10^4 \\ 1.05 D_*^{1.5} & 10^4 < D_*^3 \leq 3 \cdot 10^6 \end{cases} \quad \text{όπου } D_* = D_g \left(\frac{(S-1)g}{\nu^2} \right)^{1/3}$$

ή

$$Re_w = \frac{w_s D_g}{\nu} = \sqrt{10.36^2 + 1.049 D_*^3} - 10.36$$

- D_g : διάμετρος ισοδυνάμου σφαίρας
- ν : κινηματικό ιξώδες νερού $\approx 1.14 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$



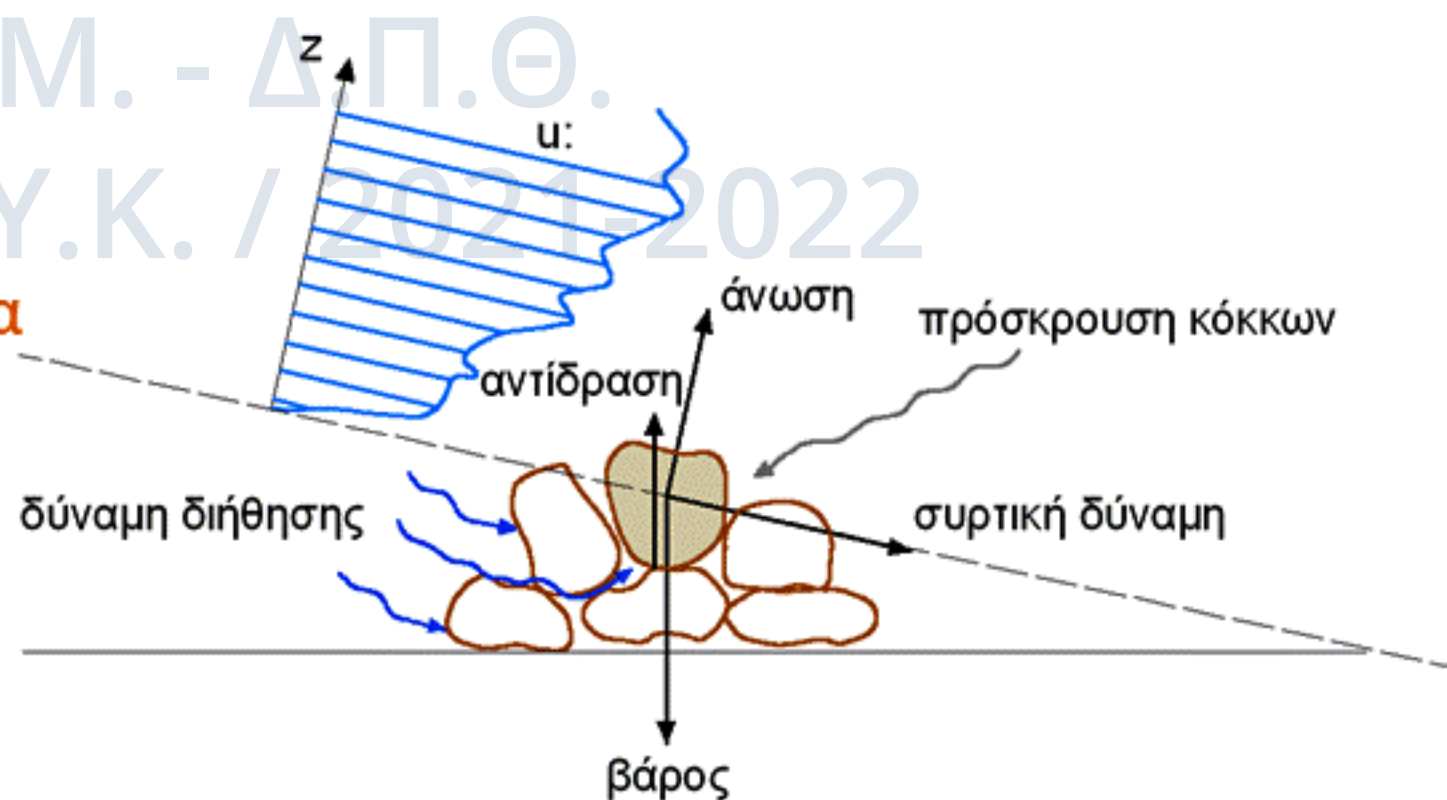
Κατώφλι κίνησης κόκκων ιζήματος

- Δυνάμεις εκτροπής (κύμα + ρεύμα) vs Δυνάμεις αντίστασης
- Αριθμός Shields

$$\theta = \frac{\tau_b}{\rho(S-1)gD_g} = \frac{u_{*b}^2}{(S-1)gD_g}$$

- τ_b : διατμητική τάση πυθμένα
- u_{*b} : ταχύτητα τριβής πυθμένα

- Κρίσιμη τιμή θ_c
 - έναρξη κίνησης
 - διαφοροποίηση για ροή **κατά μήκος** και **εγκάρσια** στην ακτογραμμή (ακτή κλίσης $\tan\beta$)





Παράκτια στερεοπαροχή

- Ολικό φορτίο

- Μέσο ολικό φορτίο από συνδυασμό κυμάτων και ρευμάτων

$$\bar{q}_t = U_c (1 - 1.6 \tan \beta) \frac{0.005d(D_g/d)^{1.2} + 0.012D_g D_*^{-0.6}}{((S-1)gD_g)^{1.2}} \left(\sqrt{U_c^2 + 0.1125U_o^2 \left(\ln \left(\frac{d}{z_o} \right) - 1 \right)} - U_{cr} \right)^{2.4}$$

όπου

$$U_{cr} = \begin{cases} 0.19D_{50}^{0.1} \log_{10} \left(\frac{4d}{D_{90}} \right) & \text{για } 0.1 \leq D_{50} \leq 0.5 \text{ mm} \\ 8.5D_{50}^{0.6} \log_{10} \left(\frac{4d}{D_{90}} \right) & \text{για } 0.5 \leq D_{50} \leq 2 \text{ mm} \end{cases}$$

U_o
μέγιστη ταχύτητα
στον πυθμένα
λόγω κυματισμού

- U_c : μέση κατά το βάθος/χρόνο ταχύτητα του συνδυασμού κυματισμού & ρεύματος
- U_{cr} : κρίσιμη ταχύτητα για την έναρξη της κίνησης του ιζήματος
- z_o : ύψος τραχύτητας πυθμένα = $k_s/30 \approx 6 \text{ mm}$
- $\tan \beta$: τοπική κλίση πυθμένα



Μορφοδυναμική μεταβολή ακτών

• Εξίσωση Exner

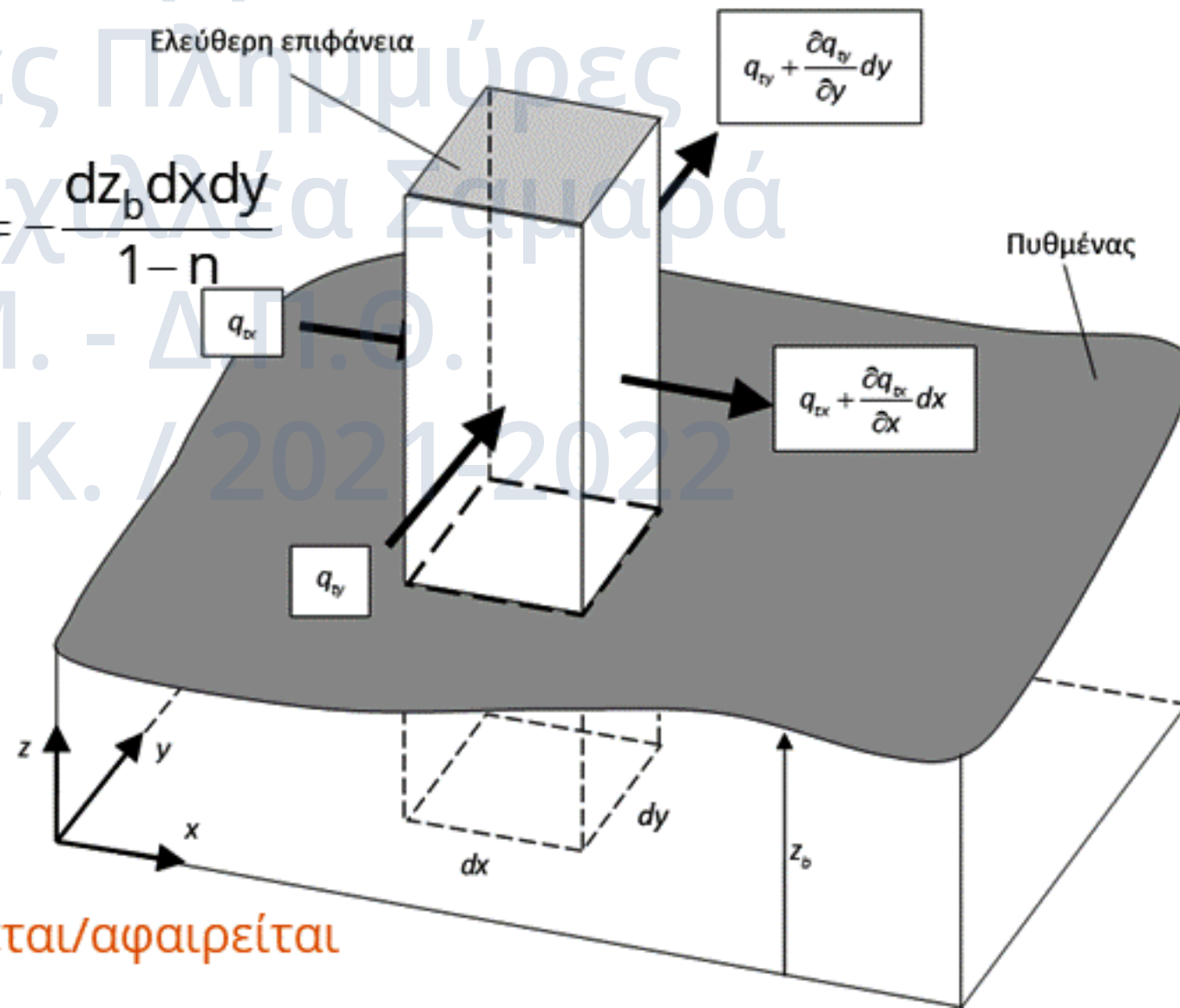
- Περιγραφή μορφοδυναμικής μεταβολής μορφολογίας πυθμένα
- Αρχή διατήρησης της μάζας

$$\left(\left(\frac{\partial q_{tx}}{\partial x} dx \right) dy + \left(\frac{\partial q_{ty}}{\partial y} dy \right) dx \right) dt = \Delta = - \frac{dz_b dx dy}{1-n}$$

⇓

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = - \left(\frac{\partial q_{tx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{ty}}{\partial y} \right) \frac{1}{1-n}$$

- z_b : στάθμη πυθμένα
- $q_{tx,ty}$: ολικά φορτία κατά x,y
- n : πορώδες ιζήματος
- Δ : όγκος ιζήματος που προστίθεται/αφαιρείται



Παράκτια διάβρωση

Γενικά

- **Ορισμός:** Η απόσπαση και μεταφορά του υλικού των ακτών που οδηγεί στην υποχώρηση του ορίου μεταξύ ξηράς και θάλασσας (ακτογραμμή).
- Διαφορά βραχωδών και γαιωδών ακτών



Στερεομεταφορά & Μορφοδυν. Ακτών

Ροές Υπολειμμάτων &
Παράκτιες Πλημμύρες
ΠΜΣ ΔΥΚ
Διαλέξεις 9^η - 10^η
Αχιλλέας Σαμαράς

Παράκτια διάβρωση

Γενικά

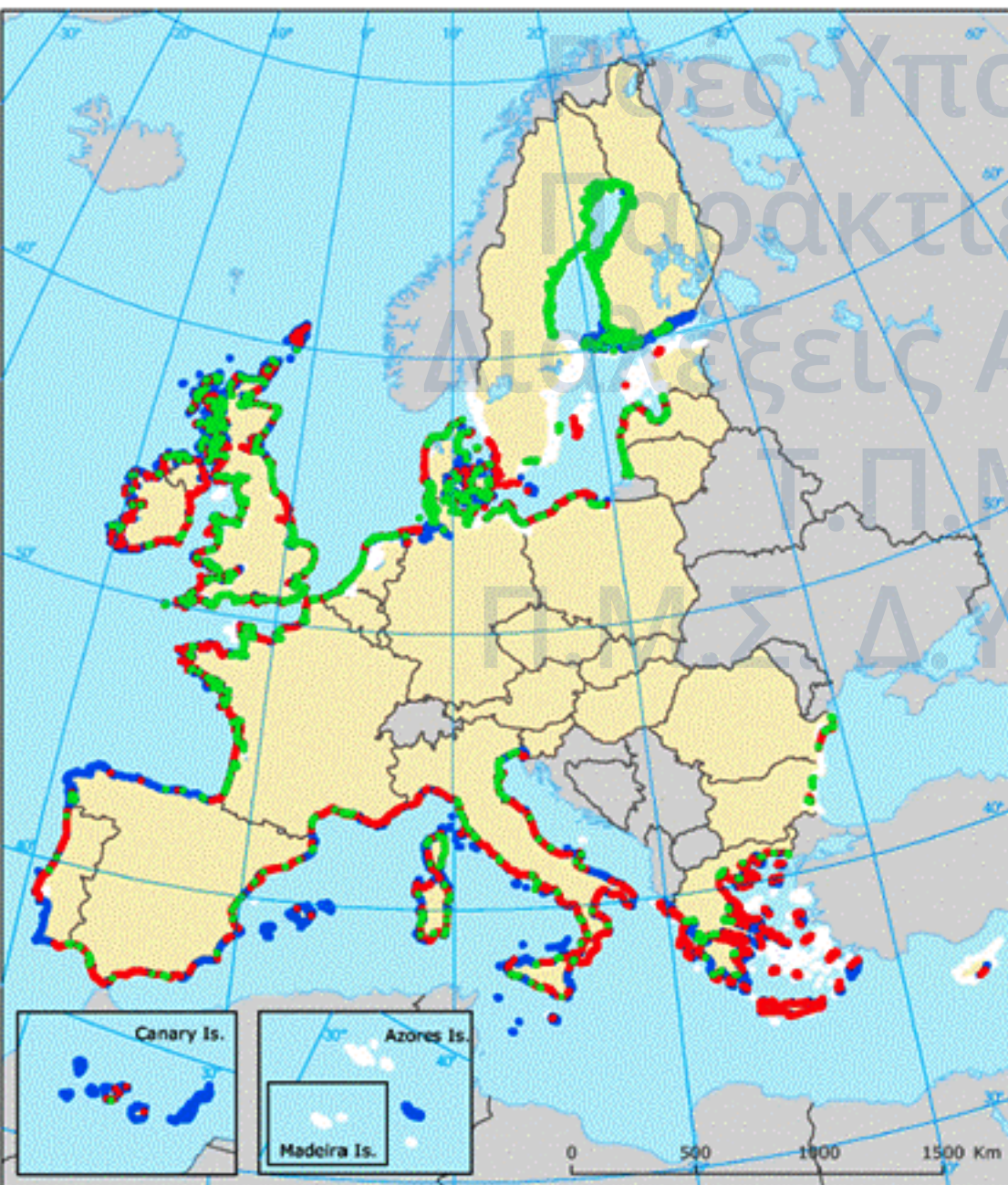
- Κατάσταση ακτογραμμών / ακτών

Europa (2004)
EEA (2004)

Χώρα	% ακτογραμμής	Χώρα	% ακτογραμμής
Βέλγιο	25,5	Ιταλία	22,8
Γαλλία	24,9	Κύπρος	37,8
Γερμανία	12,8	Λετονία	32,8
Δανία	13,2	Λιθουανία	24,8
Ελλάδα	28,6	Ολλανδία	10,5
Εσθονία	2,0	Πολωνία	55,0
Ηνωμένο Βασίλειο	17,3	Πορτογαλία	28,5
Ιρλανδία	19,9	Σουηδία	2,4
Ισπανία	11,5	Φινλανδία	0,1

Η κατάσταση των
ευρωπαϊκών
ακτογραμμών (2004)

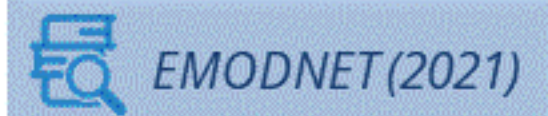
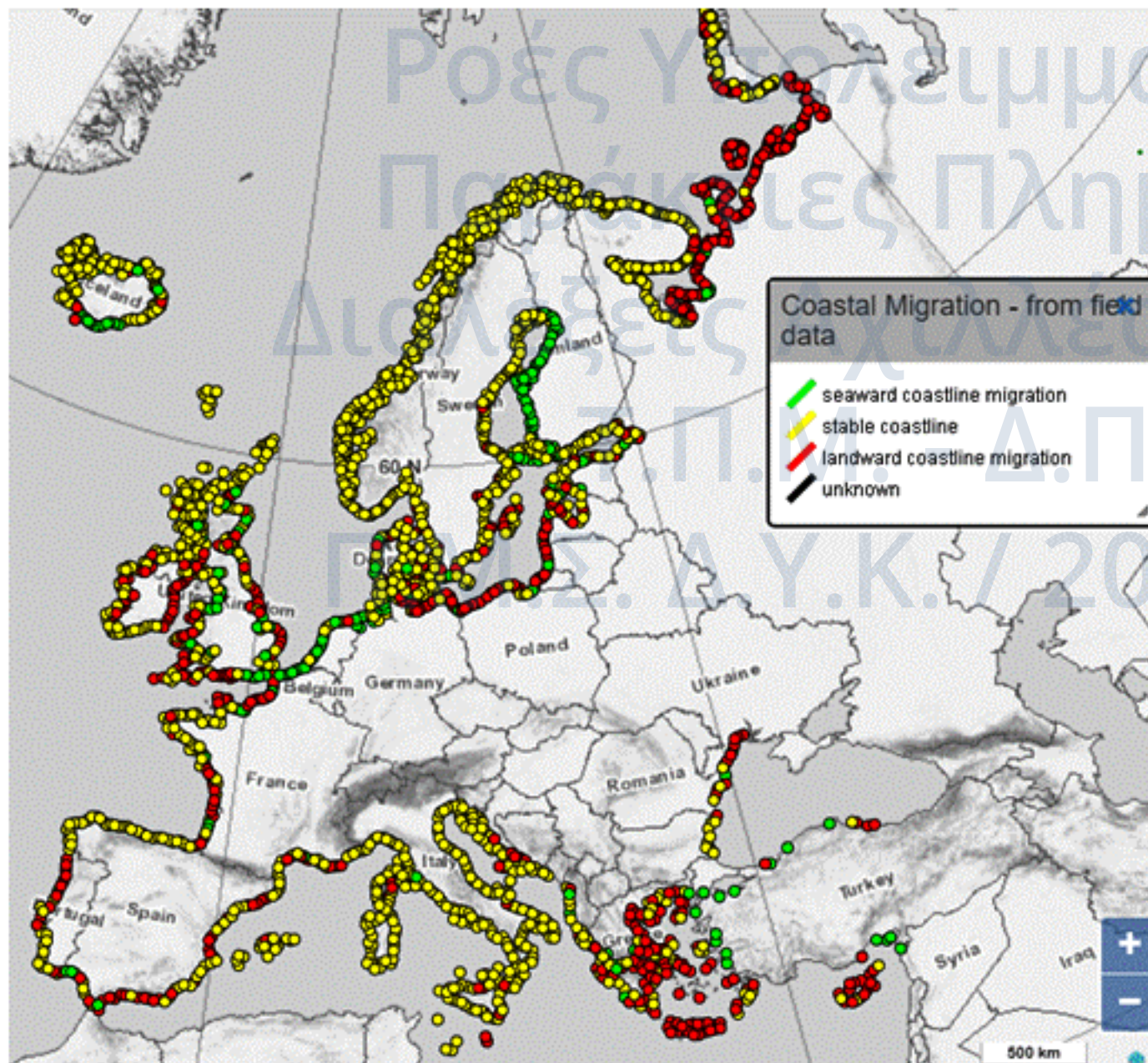
- απόθεση
- διάβρωση
- σταθερότητα
- έλλειψη στοιχείων
- εκτός περιοχής συλλογής δεδομένων



Παράκτια διάβρωση

Γενικά

- Κατάσταση ακτογραμμών / ακτών



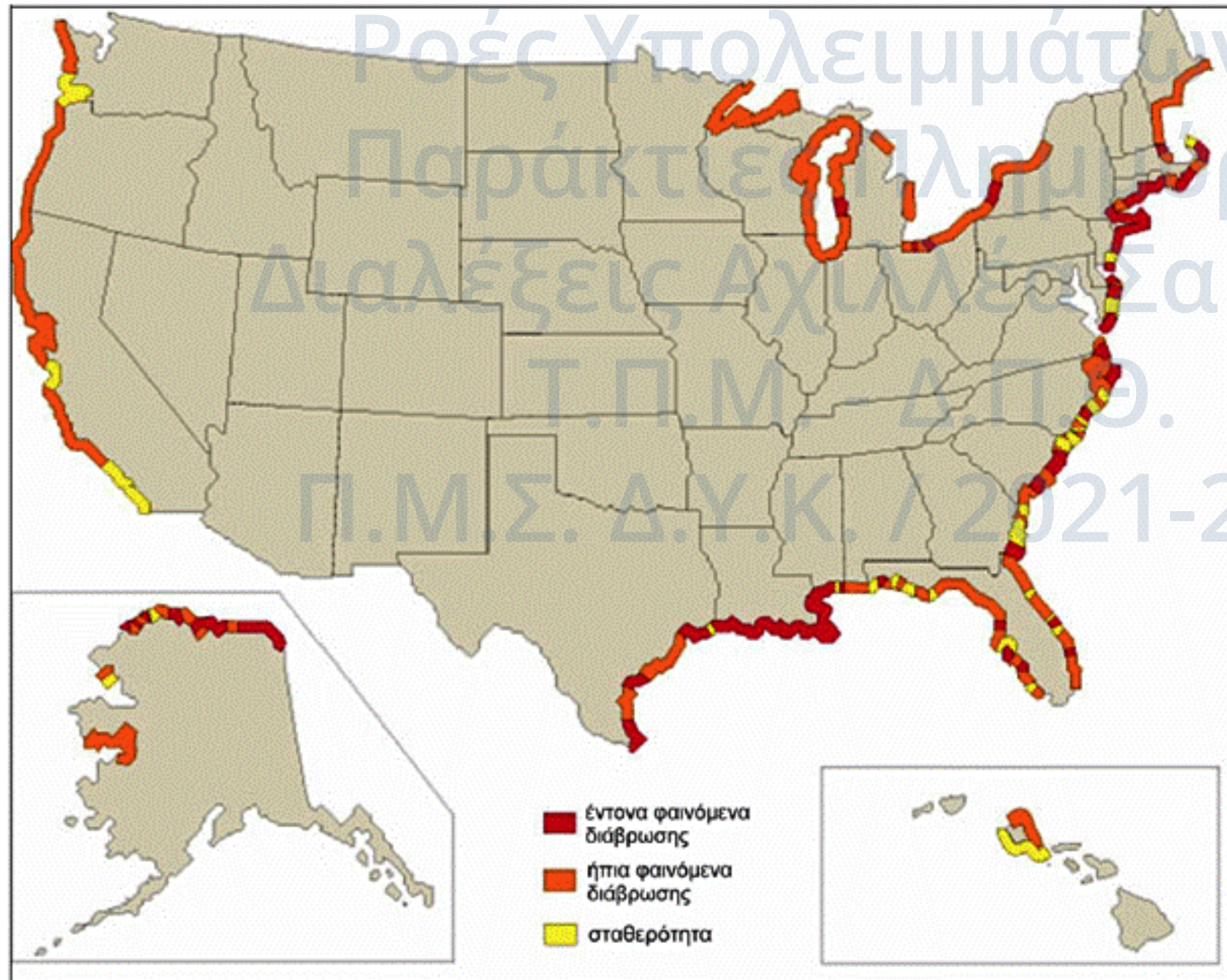
Στερεομεταφορά & Μορφοδυν. Ακτών

Ροές Υπολειμμάτων &
Παράκτιες Πλημμύρες
ΠΜΣ ΔΥΚ
Διαλέξεις 9^η - 10^η
Αχιλλέας Σαμαράς

Παράκτια διάβρωση

Γενικά

- Κατάσταση ακτογραμμών / ακτών



USGS (1986)



Στερεομεταφορά & Μορφοδυν. Ακτών

Ροές Υπολειμμάτων & Παράκτιες Πλημμύρες
ΠΜΣ ΔΥΚ
Διαλέξεις 9^η - 10^η
Αχιλλέας Σαμαράς

Παράκτια διάβρωση

Γενικά



- Κατάσταση ακτογραμμών / ακτών




Στερεομεταφορά & Μορφοδυν. Ακτών

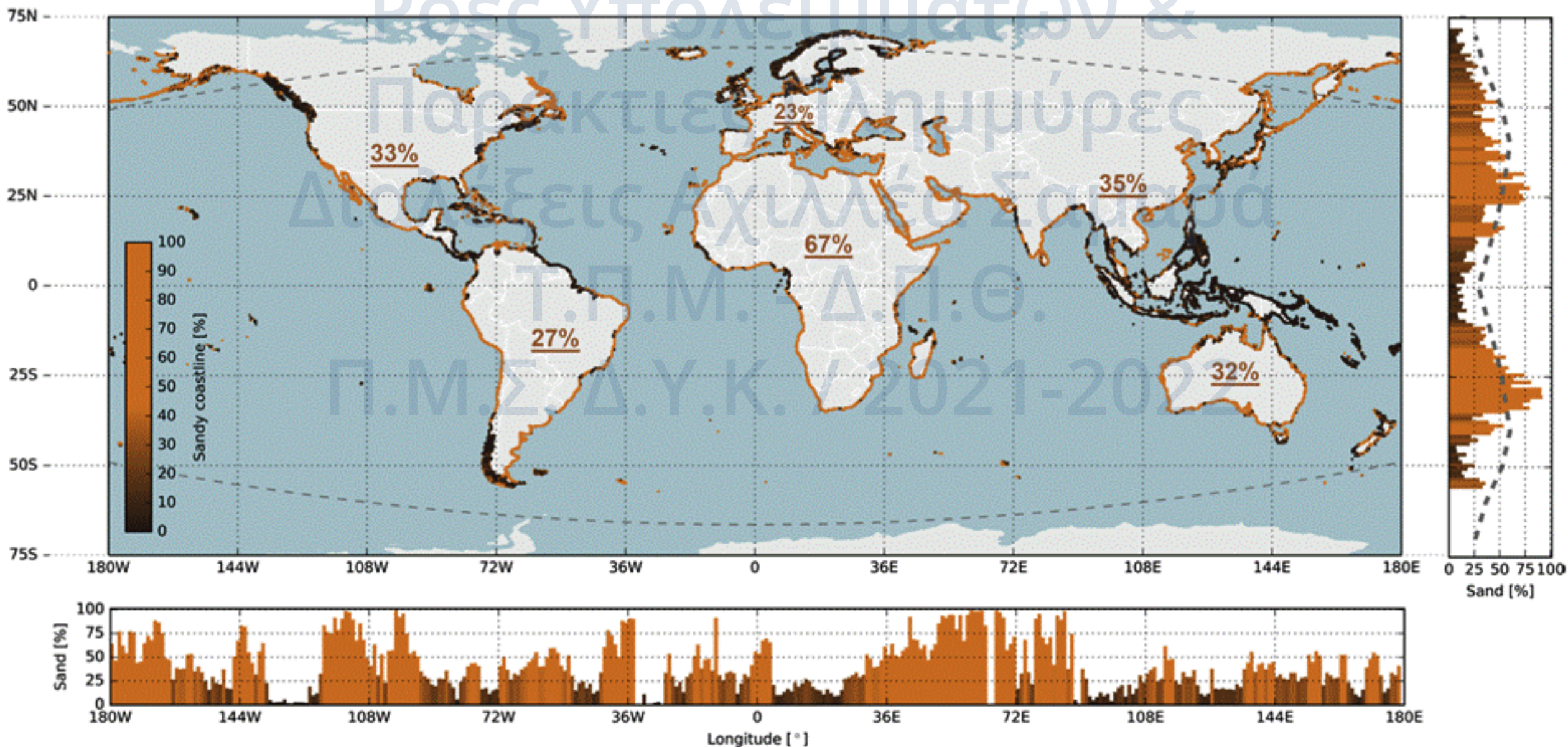
Ροές Υπολειμμάτων & Παράκτιες Πλημμύρες
ΠΜΣ ΔΥΚ
Διαλέξεις 9^η - 10^η
Αχιλλέας Σαμαράς

Παράκτια διάβρωση

Γενικά

- Αμμώδεις ακτές

 Luijendijk (2018)



Στερομεταφορά & Μορφοδυν. Ακτών

Ροές Υπολειμμάτων & Παράκτιες Πλημμύρες
ΠΜΣ ΔΥΚ
Διαλέξεις 9^η - 10^η
Αχιλλέας Σαμαράς

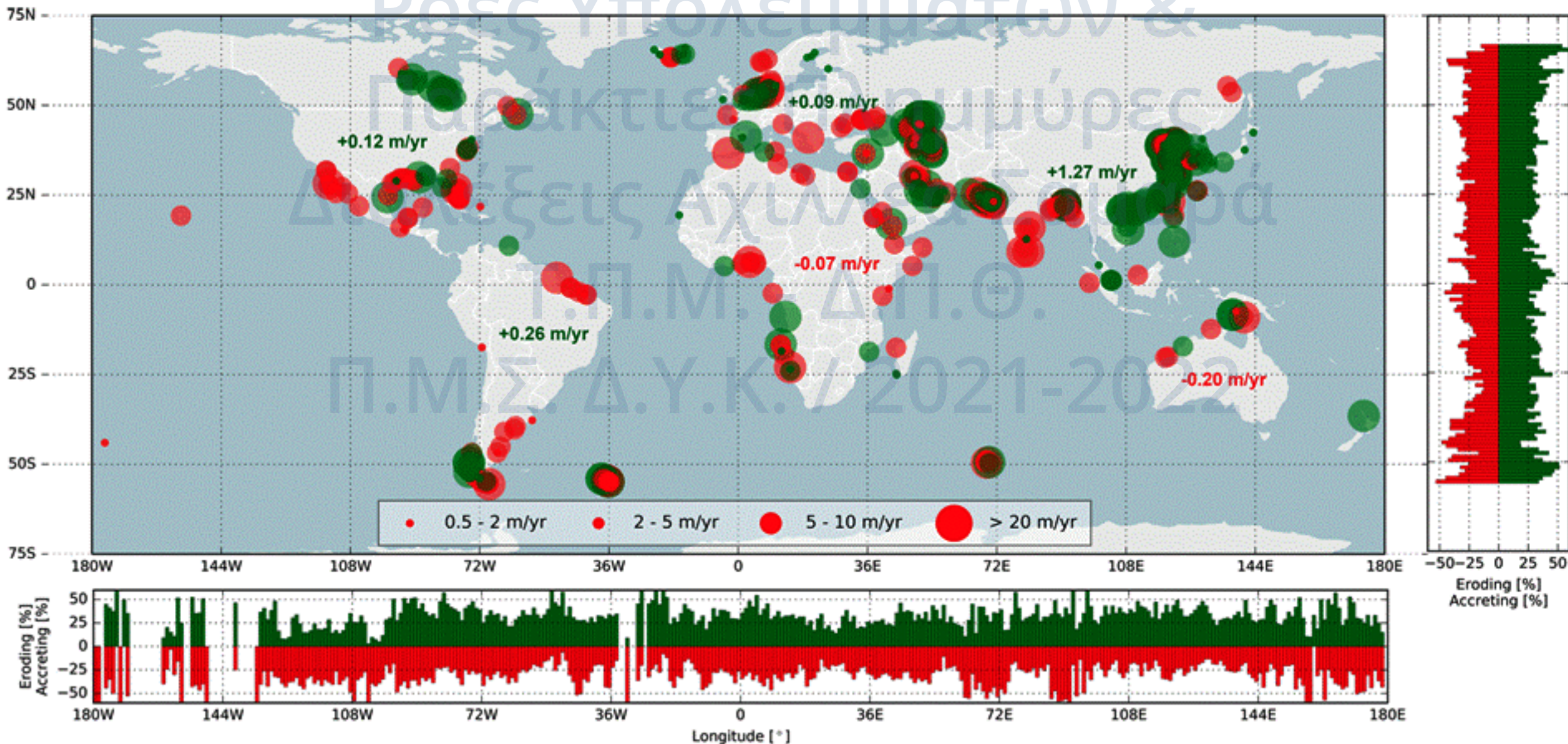
Παράκτια διάβρωση

Γενικά

- Αμμώδεις ακτές



Luijendijk (2018)



Στερεομεταφορά & Μορφοδυν. Ακτών

Ροές Υπολειμμάτων &
Παράκτιες Πλημμύρες
ΠΜΣ ΔΥΚ
Διαλέξεις 9^η - 10^η
Αχιλλέας Σαμαράς

Παράκτια διάβρωση

Αίτια

- Φυσικοί παράγοντες

EC (2004)
Σαμαράς (2010)

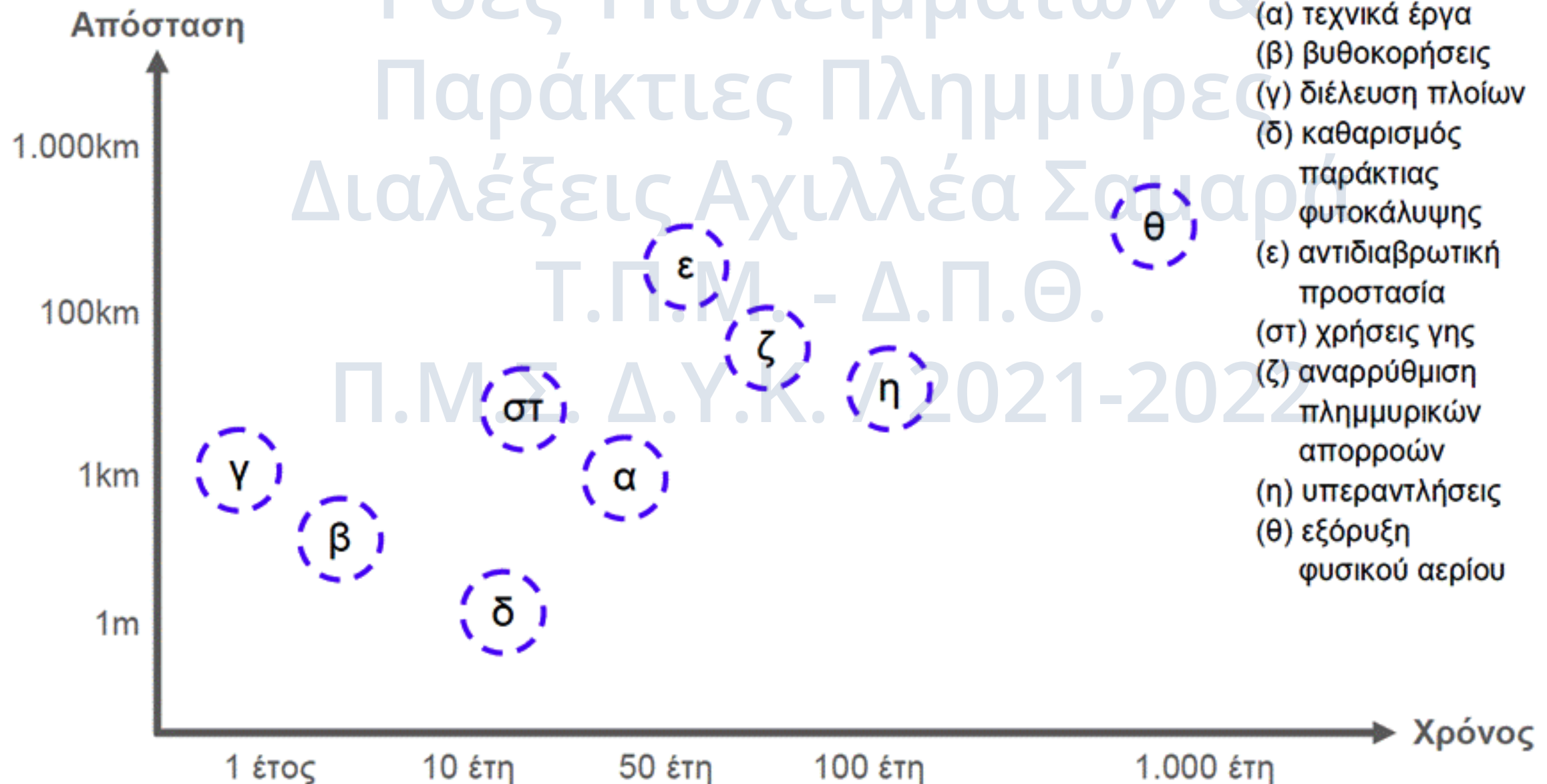


Παράκτια διάβρωση

Αίτια

- Ανθρωπογενείς παράγοντες

EC (2004)
Σαμαράς (2010)



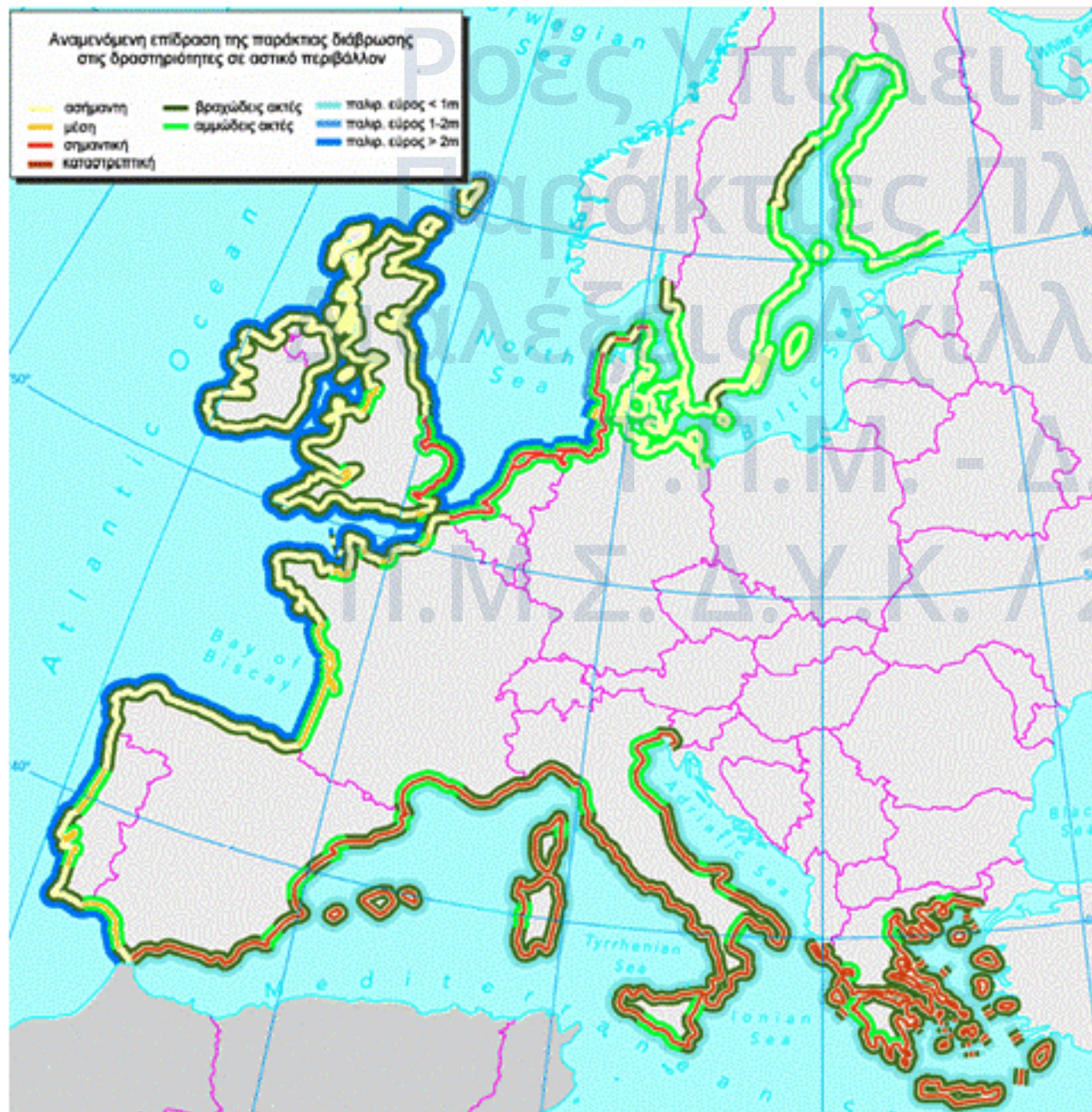
Ροές Υπολειμμάτων &
Παράκτιες Πλημμύρες
Διαλέξεις Αχιλλέα Σαμαρά
Τ.Π.Μ. - Δ.Π.Θ.
Π.Μ.Σ. Δ.Υ.Κ. / 2021-2022



Παράκτια διάβρωση

Επιπτώσεις

- Στις ανθρώπινες δραστηριότητες



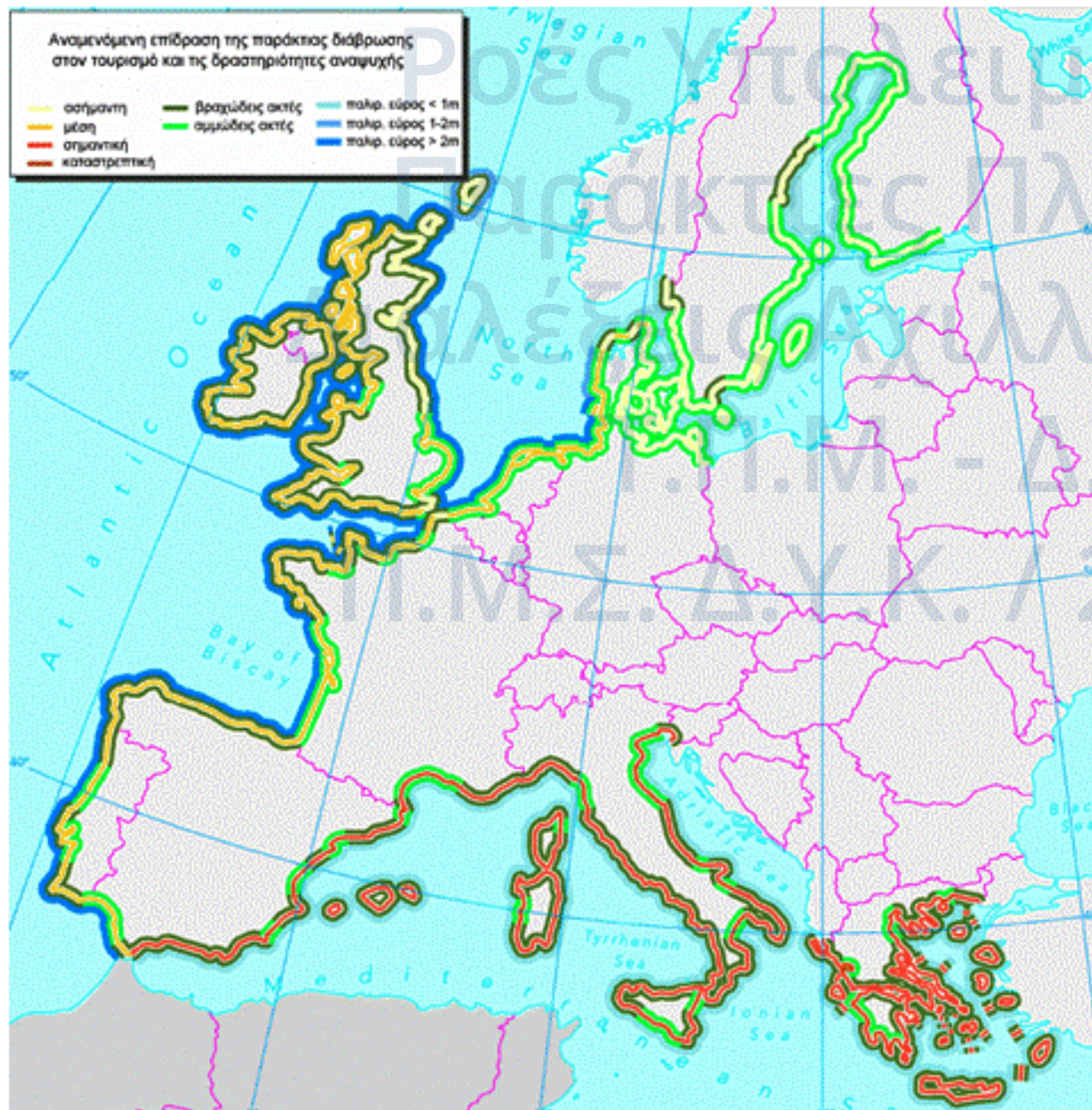
EC (2004)
Σαμαράς (2010)



Παράκτια διάβρωση

Επιπτώσεις

- Στις ανθρώπινες δραστηριότητες



EC (2004)
Σαμαράς (2010)



Ροές Υπολειμμάτων &
Παράκτιες Πλημμύρες
Διαλέξεις 9^η - 10^η
Αχιλλέας Σαμαράς
Π.Θ.
2021-2022

Παράκτια διάβρωση

Επιπτώσεις

- Στα οικοσυστήματα

Σημαντικά παράκτια οικοσυστήματα
υπό την επίδραση της διάβρωσης



EC (2004)
Σαμαράς (2010)



Παράκτια διάβρωση

Επιπτώσεις

- Αποτίμηση – Δράσεις – Κόστος

- Κόστος από την απώλεια:

- Ιδιοκτησιών
- Δραστηριοτήτων
- Οικοσυστημάτων

Η.Π.Α.

- ~ 500 mil. \$ / yr σε απώλειες ιδιοκτησιών
- ~ 150 mil. \$ / yr σε μέτρα προστασίας/αντιμετώπισης
- ~ 324 km² σε απώλεια παράκτιων υγροτόπων
(≈ 7 γήπεδα *american football* / hr)



Παράκτια διάβρωση

Επιπτώσεις

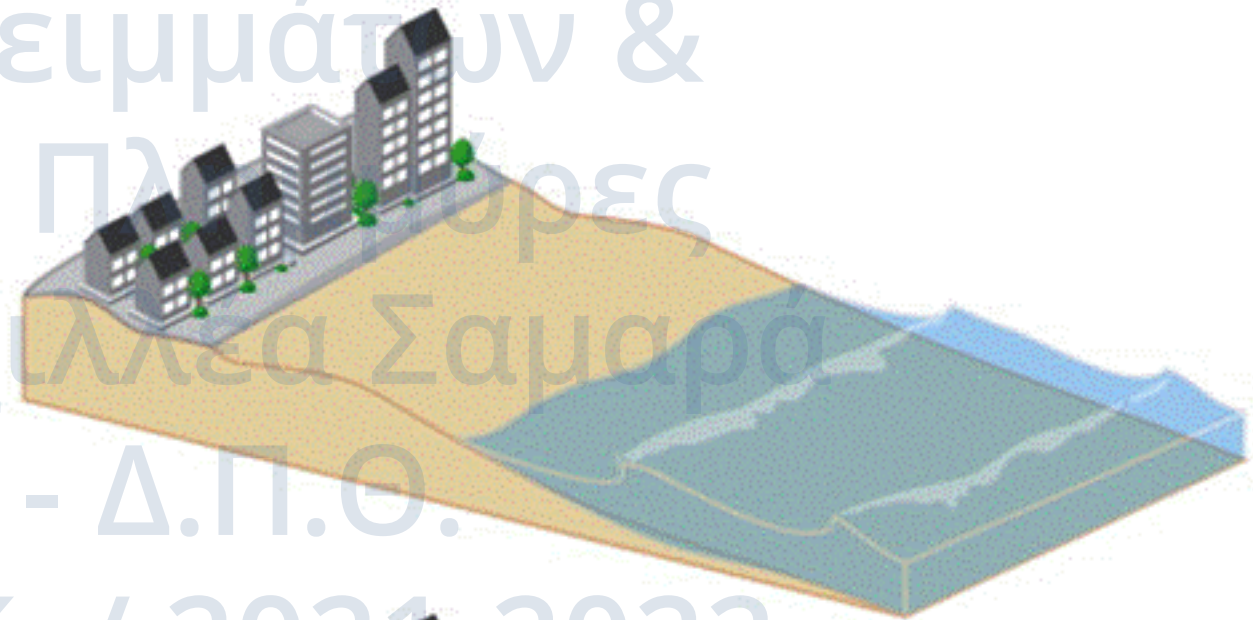
- Αποτίμηση – Δράσεις – Κόστος

- Κόστος από την απώλεια:

- Ιδιοκτησιών
- Δραστηριοτήτων
- Οικοσυστημάτων

- Εναλλακτικές στρατηγικές δράσης

- Μη-δράση
- Υποχώρηση
- Προστασία / Αντιμετώπιση



Παράκτια διάβρωση

Επιπτώσεις

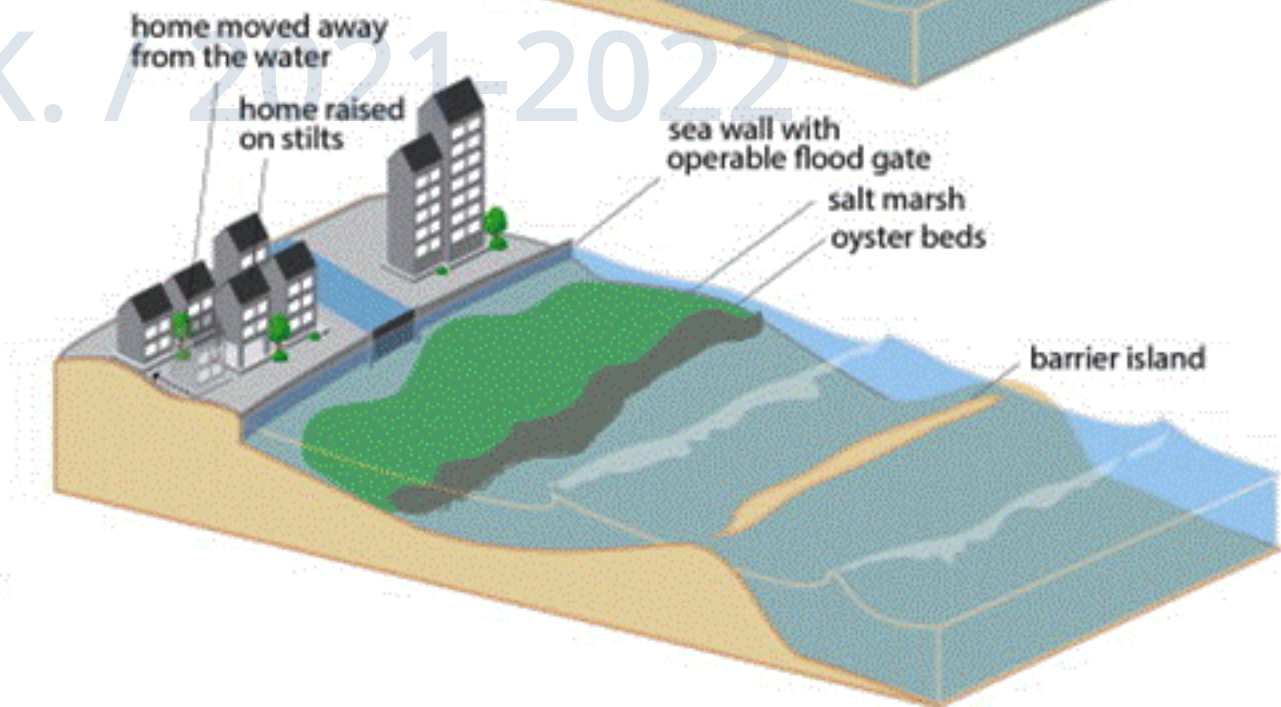
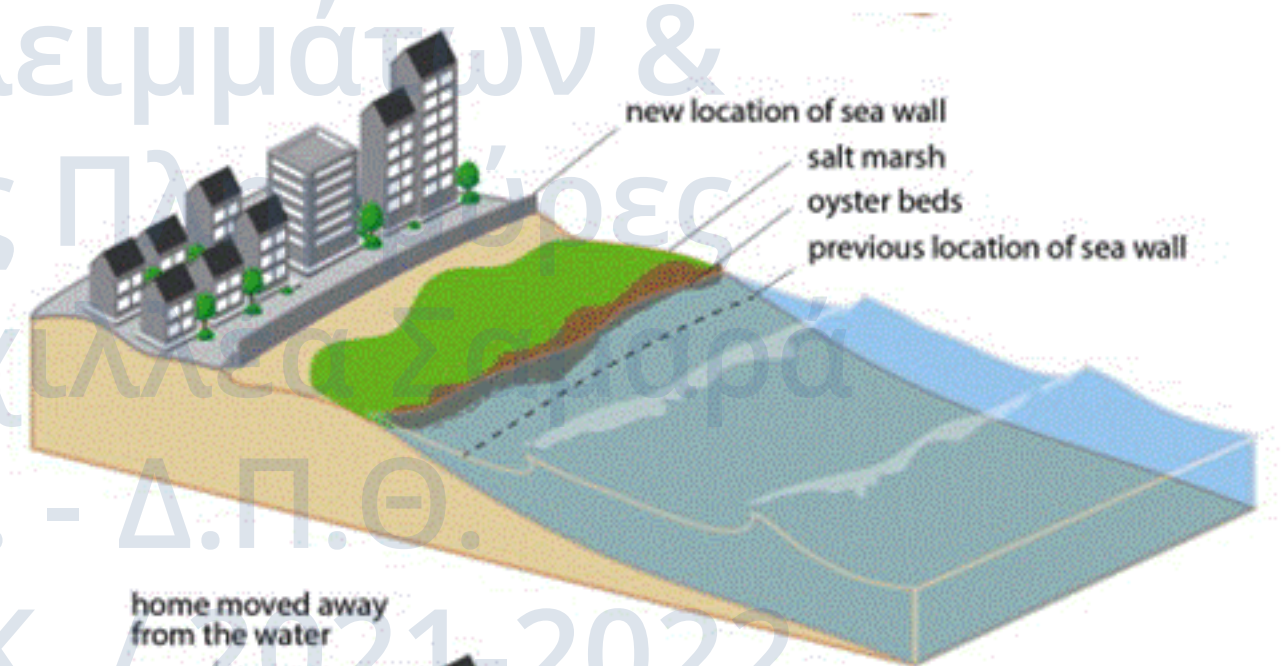
- Αποτίμηση – Δράσεις – Κόστος

- Κόστος από την απώλεια:

- Ιδιοκτησιών
- Δραστηριοτήτων
- Οικοσυστημάτων

- Εναλλακτικές στρατηγικές δράσης

- Μη-δράση
- Υποχώρηση
- Προστασία / Αντιμετώπιση



Στερεομεταφορά & Μορφοδυν. Ακτών

Ροές Υπολειμμάτων &
Παράκτιες Πλημμύρες
ΠΜΣ ΔΥΚ
Διαλέξεις 9^η - 10^η
Αχιλλέας Σαμαράς

Παράκτια διάβρωση

Επιπτώσεις

• Αποτίμηση – Δράσεις – Κόστος

◦ Κόστος από την απώλεια:

- Ιδιοκτησιών
- Δραστηριοτήτων
- Οικοσυστημάτων

◦ Εναλλακτικές στρατηγικές δράσης

- Μη-δράση
- Υποχώρηση
- Προστασία / Αντιμετώπιση

Κόστος

£2.3 billion capital investment to reduce risk of flooding and coastal erosion

Attracting over **£345 million** in additional funding through partnership contributions

Over **£235 million** planned savings through new, more efficient working, to be re-invested in managing flood risk

45% spent on coastal flood and erosion risk management and **55%** on inland flood risk management

300,000 households with a reduced risk of flooding

Households at risk will benefit from improved forecasting, mapping, telemetry and flood warnings

Better protecting **1,800** households through individual property measures

Includes **15,000** households better protected from coastal erosion

At-risk households better protected from flooding from rivers, the sea, groundwater and surface water

Total additional benefits to society from capital investment of **£30.3 billion**

£600 million in benefits through improved biodiversity and local environments

£5.1 billion in long term benefits to transport, infrastructure, commerce and industry

£1.5 billion in benefits to the agriculture sector through flood risk reduction

£23.1 billion in benefits through damages avoided from **300,000** households being better protected

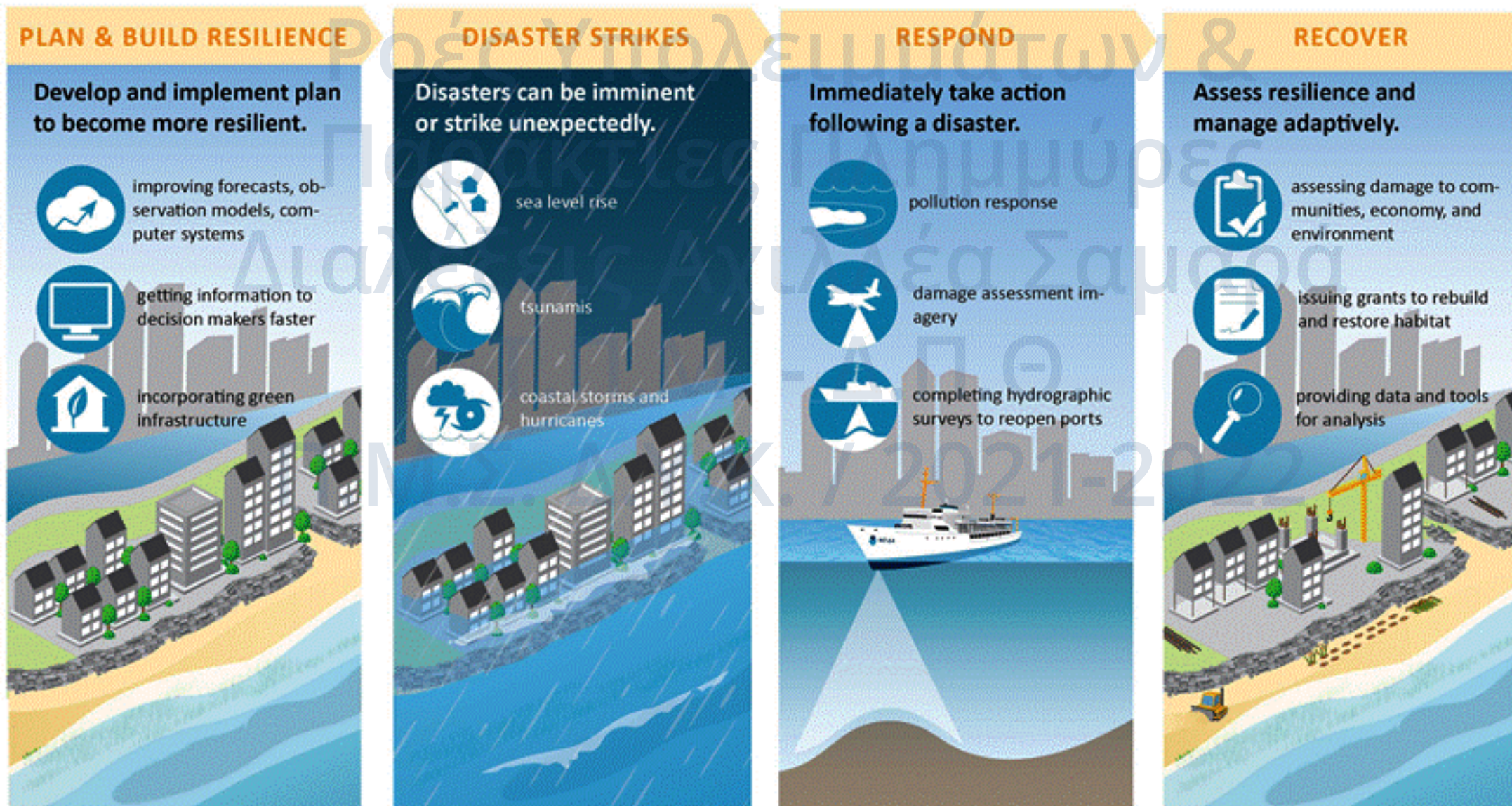


Investment Programme, EA, UK

Παράκτια διάβρωση

Επιπτώσεις

- Επανατακτικότητα (*Resilience*)



Assess resilience and begin planning for the next disaster.

Building resilience is an iterative process.

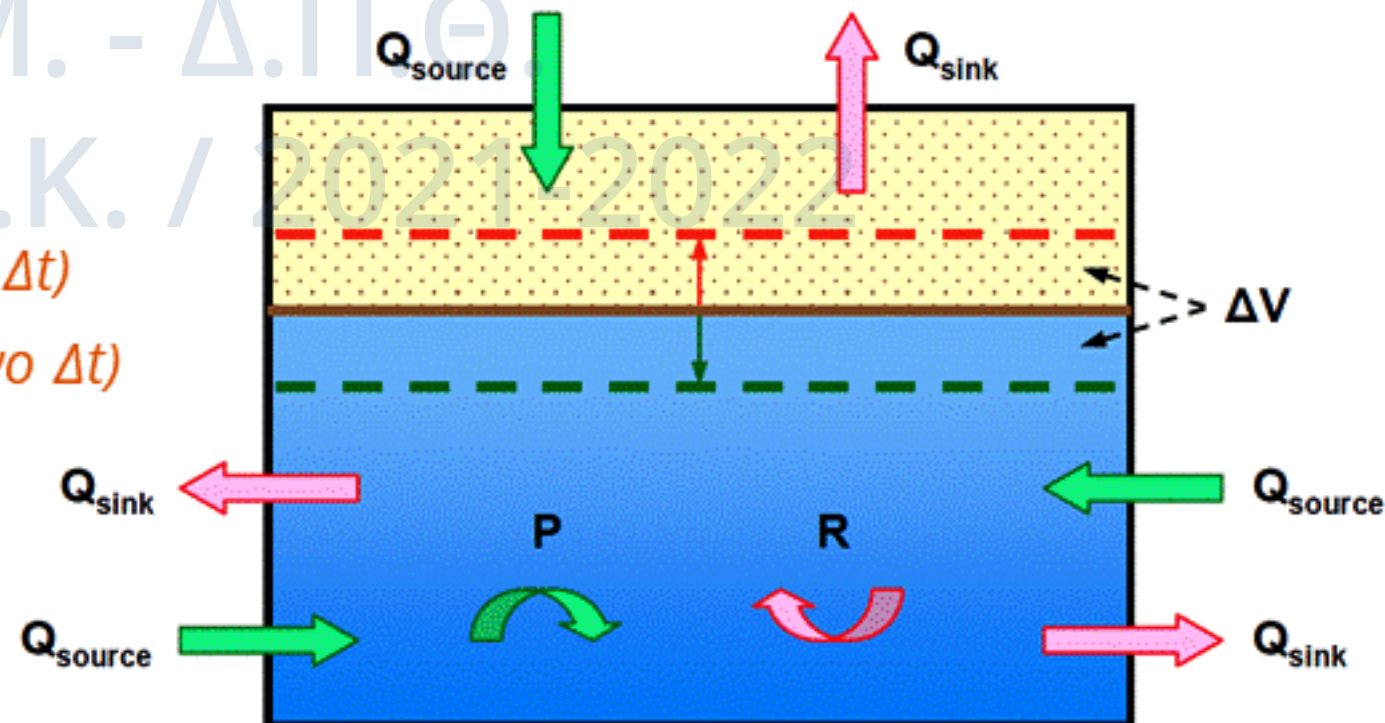


Παράκτιο ισοζύγιο φερτών υλών

- Ποσοτικοποίηση παραγόντων που επιδρούν στην ακτομορφολογία
- Αναγωγή σε ενιαία χωρική κλίμακα
 - Ορισμός παράκτιας φυσιογραφικής μονάδας
 - Πηγές και Παγίδες φερτών υλών \Rightarrow Αλγεβρική άθροιση εισφορών / απωλειών \Rightarrow Πλεόνασμα ή έλλειμμα ισοζυγίου

$$\sum Q_{\text{source}} - \sum Q_{\text{sink}} - \Delta V + P - R = \text{Res}$$

- Q_{source} : στερεοπαροχή πηγής (δεδομένο Δt)
- Q_{sink} : στερεοπαροχή παγίδας (δεδομένο Δt)
- ΔV : μεταβολή όγκου φερτών υλών
- P, R : εισαγωγή/αφαίρεση φερτών υλών (μη συνεχής)
- Res : υπόλοιπο αλγεβρικής άθροισης

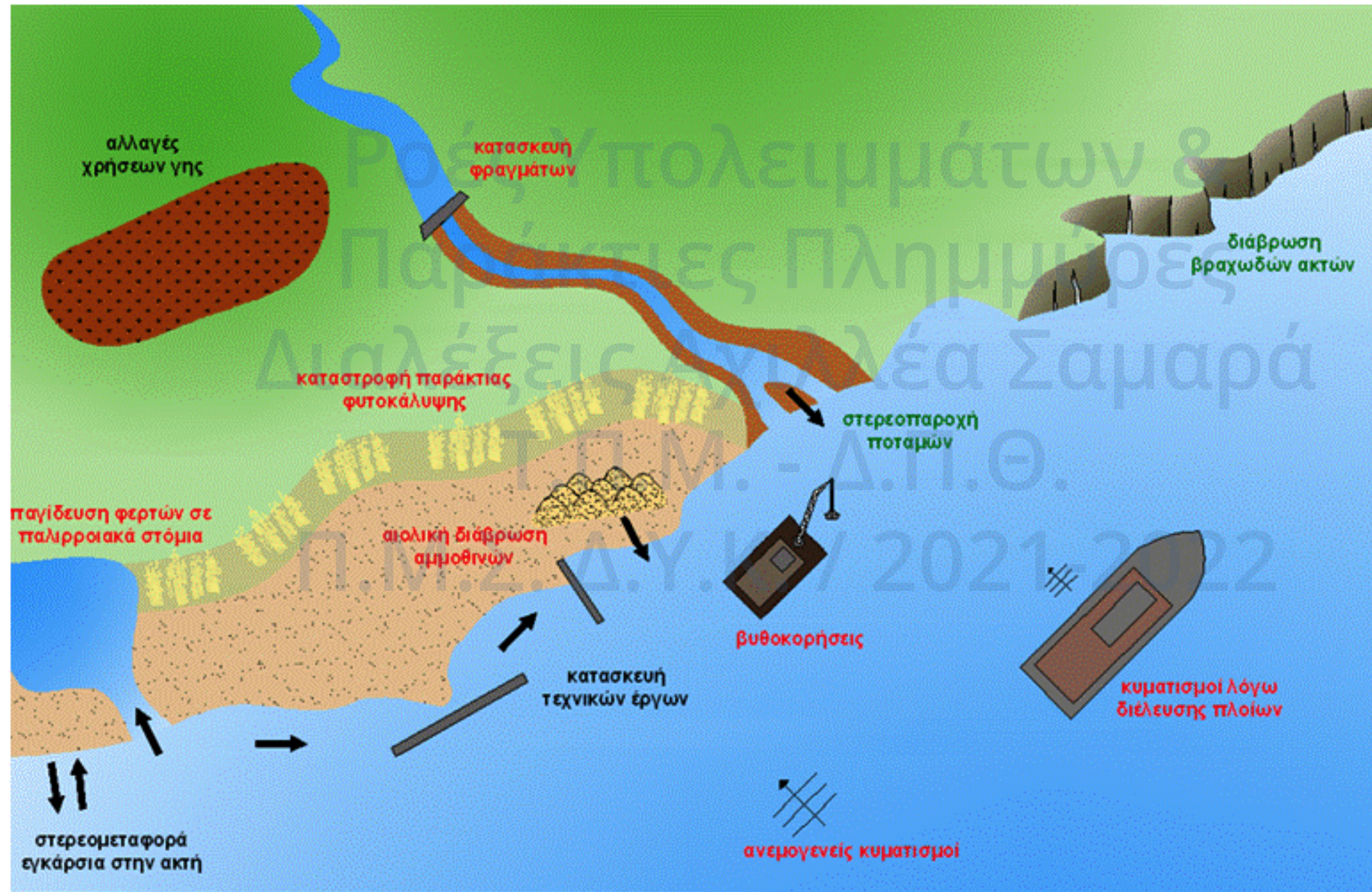


Στερομεταφορά & Μορφοδυν. Ακτών

Ροές Υπολειμμάτων &
Παράκτιες Πλημμύρες
ΠΜΣ ΔΥΚ
Διαλέξεις 9^η - 10^η
Αχιλλέας Σαμαράς



Παράκτιο ισοζύγιο φερτών υλών

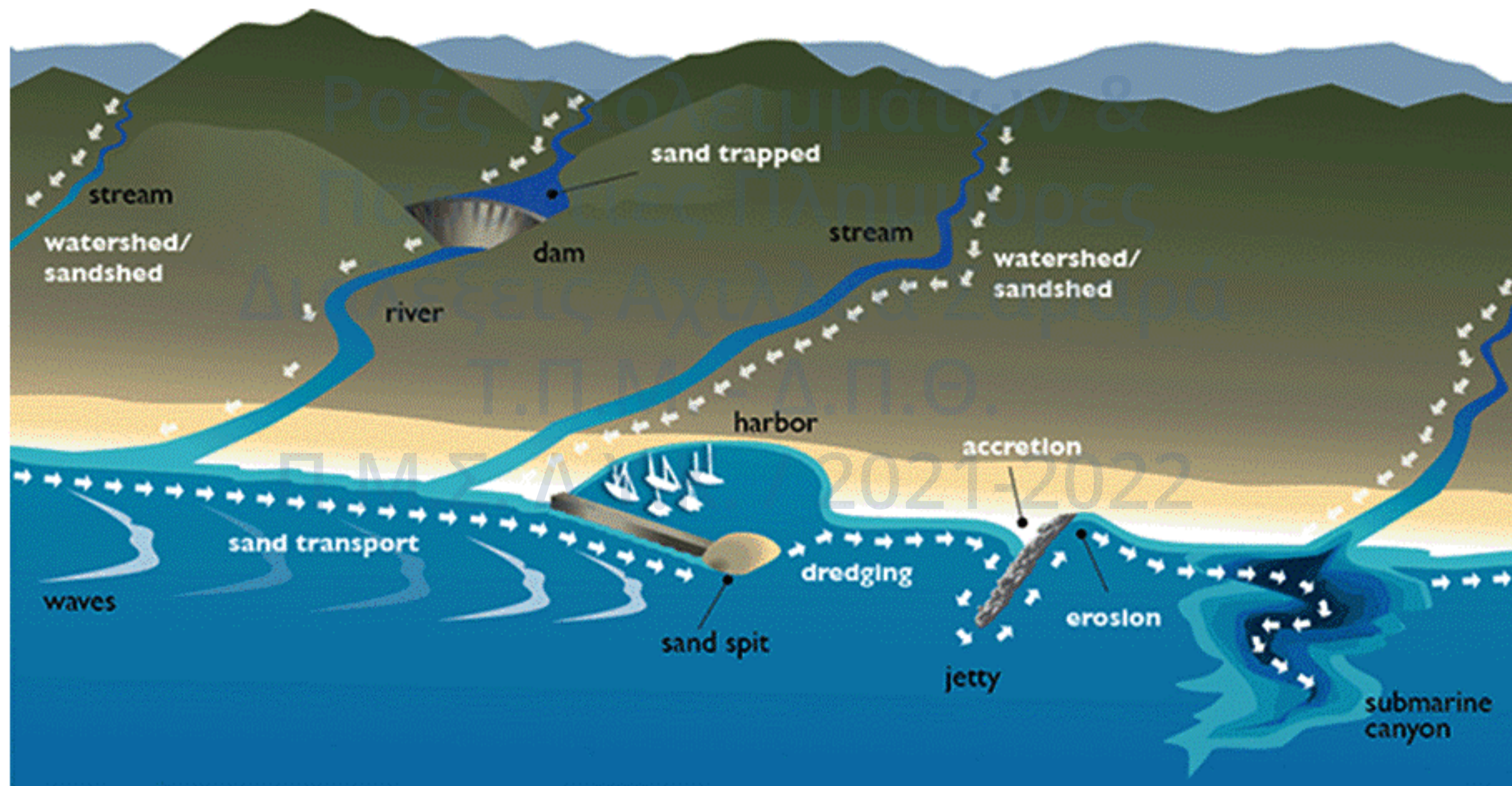


→ κατεύθυνση στερομεταφοράς ● εισφορά στο ισοζύγιο ● απώλεια στο ισοζύγιο ● εισφορά ή απώλεια στο ισοζύγιο

Στερεομεταφορά & Μορφοδυν. Ακτών

Ροές Υπολειμμάτων &
Παράκτιες Πλημμύρες
ΠΜΣ ΔΥΚ
Διαλέξεις 9^η - 10^η
Αχιλλέας Σαμαράς

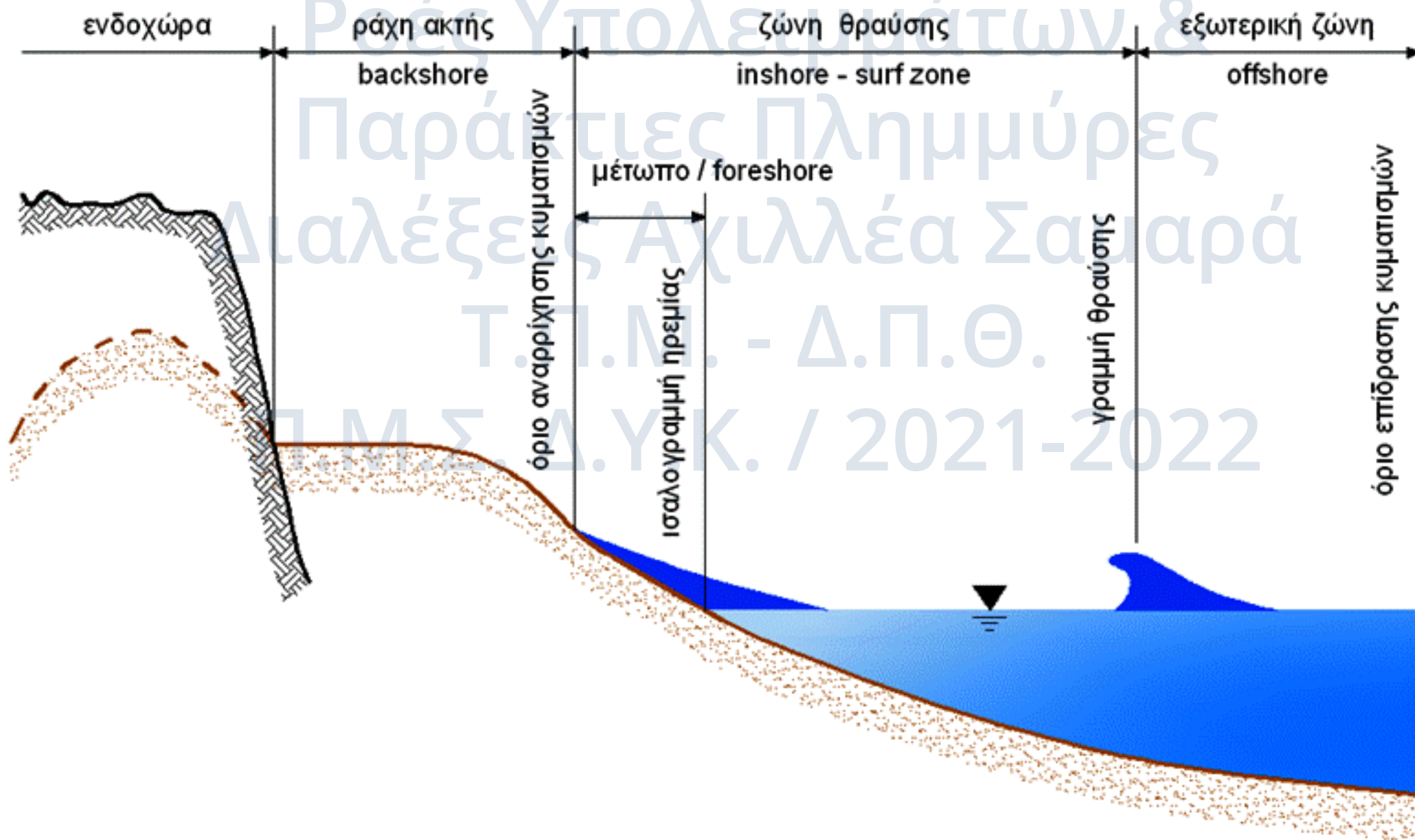
Παράκτιο ισοζύγιο φερτών υλών





Τμήματα ακτής - Προφίλ ισορροπίας

- Διάκριση τμημάτων ακτής





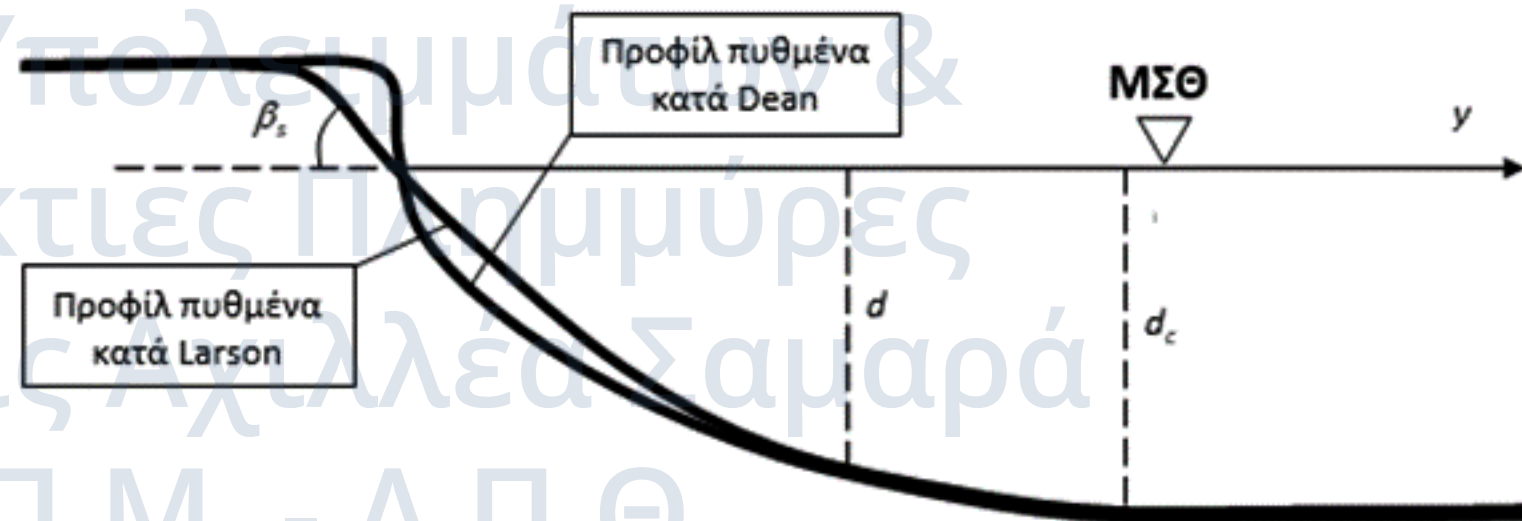
Τμήματα ακτής - Προφίλ ισορροπίας

- Προφίλ ισορροπίας

- Dean (1977)

$$d = Ay^n \rightarrow n = 2/3$$

$$A = \frac{24}{5} \frac{\epsilon_b}{\rho g^{3/2} \kappa^2}$$



- **A**: παράμετρος κλίμακας εξαρτώμενη από το υλικό της ακτής [$m^{1/3}$]
- **ϵ_b** : απόσβεση ενέργειας ανά μονάδα όγκου σε κατάσταση ισορροπίας [$J/sec/m^3$]
- **κ** : λόγος ύψους κύματος προς τοπικό βάθος στη ζώνη θραύσης

- Larson (1988)

$$y = \frac{d}{\tan \beta_s} + \left(\frac{d}{A} \right)^{3/2}$$

μειονέκτημα (!)

- **$\tan \beta_s$** : κλίση πυθμένα στην ακτογραμμή

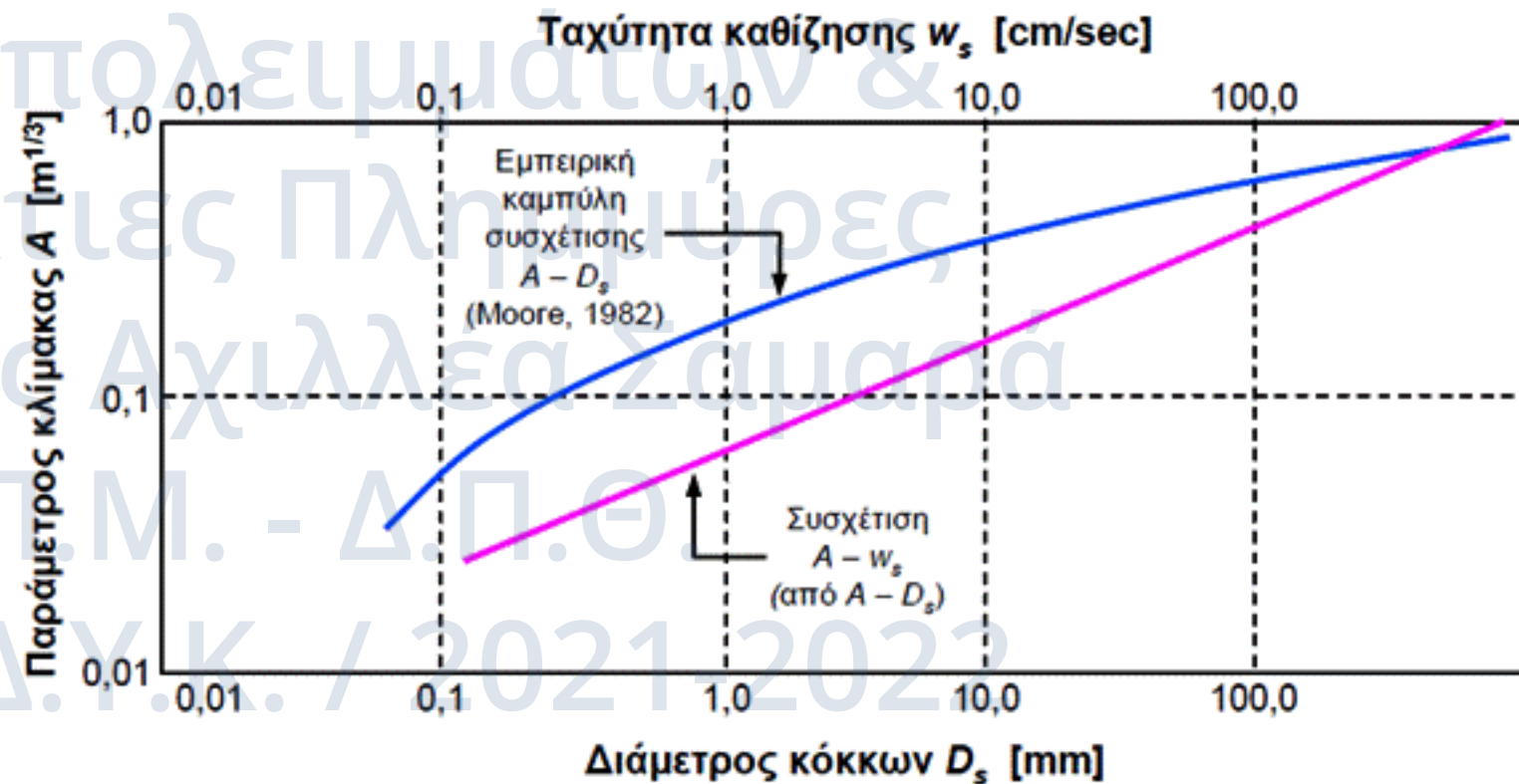


Τμήματα ακτής - Προφίλ ισορροπίας

- Προφίλ ισορροπίας

- Παράμετρος κλίμακας A

- εξάρτηση από w_s
- εξάρτηση από $D_s \approx D_{50}$



$$A = \begin{cases} 0.41D_{50}^{0.94} & D_{50} < 0.4 \text{ mm} \\ 0.23D_{50}^{0.32} & \text{για } 0.4 < D_{50} < 10 \text{ mm} \\ 0.23D_{50}^{0.28} & 10 < D_{50} < 40 \text{ mm} \\ 0.46D_{50}^{0.11} & D_{50} > 40 \text{ mm} \end{cases}$$



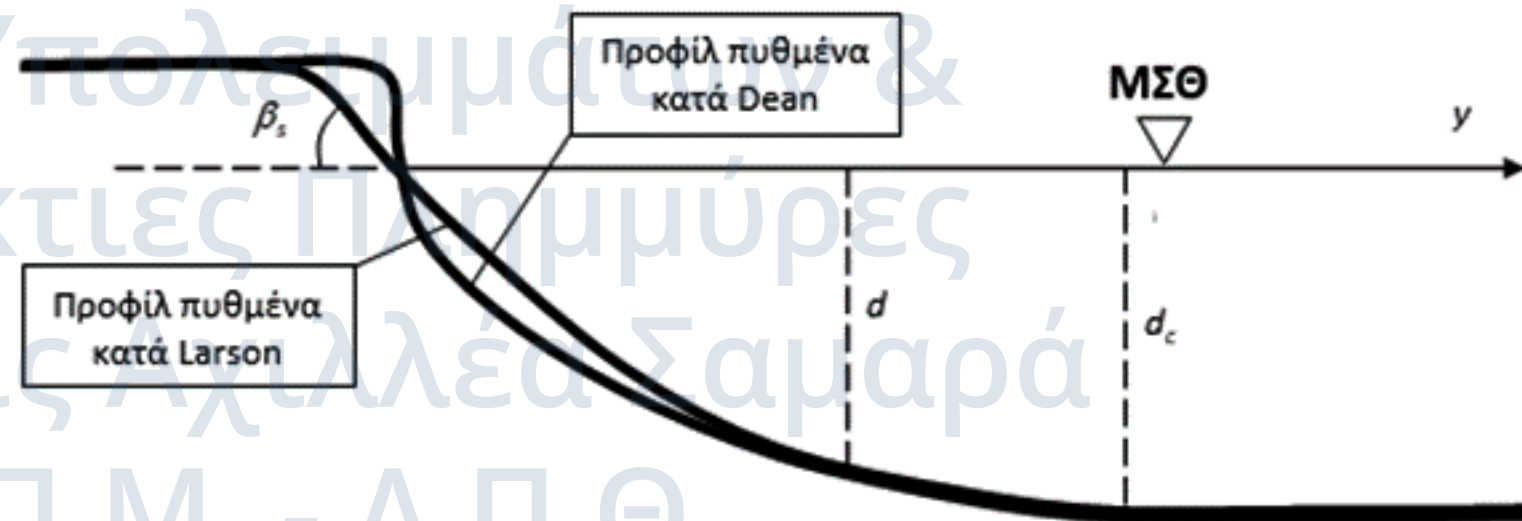
Τμήματα ακτής - Προφίλ ισορροπίας

- Οριακό βάθος ενεργού στερεομεταφοράς (d_c ή h_d)

- Hallermeier (1981)

$$d_c = a_1 H_e - a_2 \frac{H_e^2}{g T_e^2}$$

$$H_e = \bar{H}_{s0} + 5.6\sigma$$



- H_e : αποτελεσματικό σημαντικό υψος κυματος [m]
(συχνότητα εμφάνισης 12hrs/yr)
- T_e : περίοδος που αντιστοιχεί στο H_e [s]
- \bar{H}_{s0} : μέσο ετήσιο σημαντικό ύψος κύματος στα βαθιά νερά [m]
- σ : τυπκή απόκλιση \bar{H}_{s0}

- a_1 : = 2.28

- a_2 : = 68.5

- Birkemeier (1985)

- a_1 : = 1.75 ή $d_c = 1.75H_e$

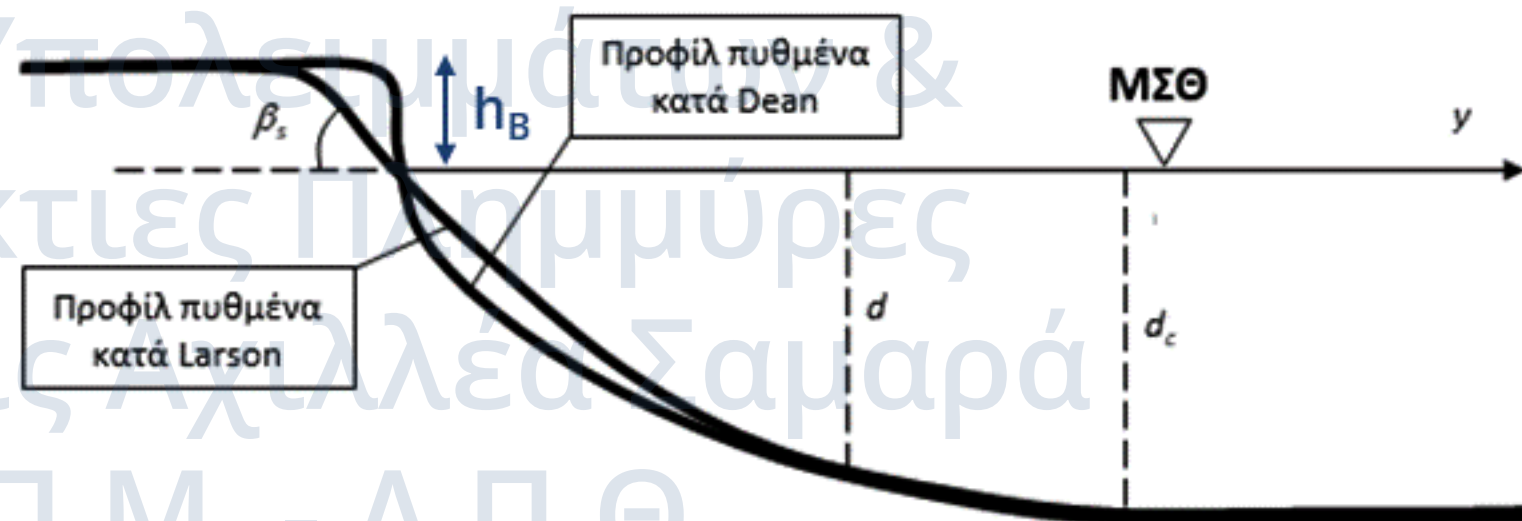
- a_2 : = 57.9



Τμήματα ακτής - Προφίλ ισορροπίας

- Ύψος μετώπου / παραλιακού αναχώματος ακτής (h_B)

- Δυσκολία ορισμού
- Σύνδεση με ύψος αναρρίχησης



$$R = \xi H_0$$

ή

$$\frac{Z_R}{H_0} = 1.47 (\xi_0)^{0.79}$$

- Z_R : έξαλο ύψος του μεταβαλλόμενου προφίλ [m]
(Χρήση στο λογισμικό SBEACH)

ή

$$R_{2\%} = \dots$$

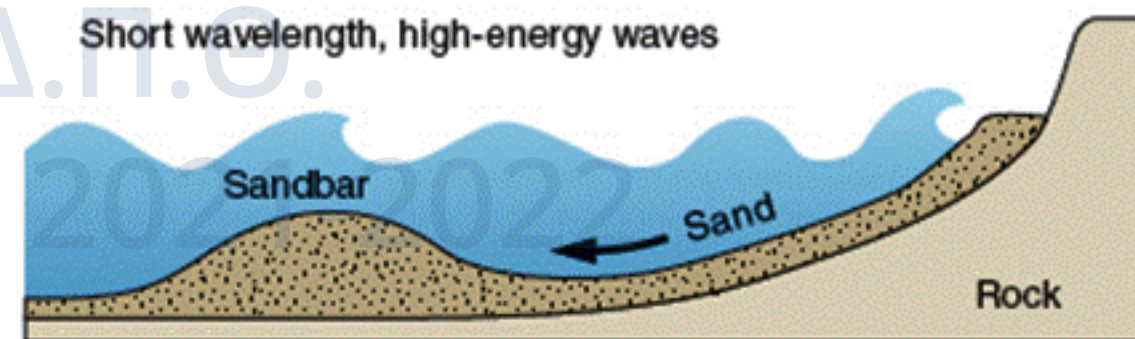
- για μη αρμονικούς κυματισμούς...



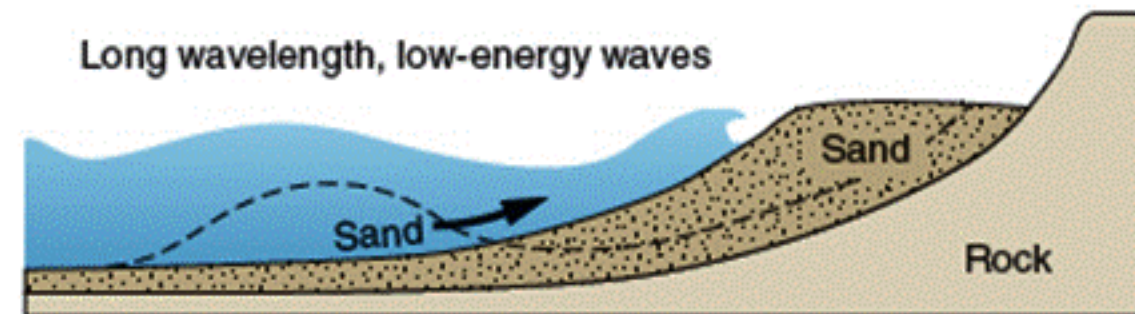
Στερεομετ. εγκάρσια στην ακτογραμμή

- Θερινό και χειμερινό προφίλ

- Διαφορά κατεύθυνσης φορτίου πυθμένα ($q_b \sim u_*^3$) και φορτίου σε αιώρηση
- Χειμερινοί κυματισμοί
 - Κυματισμοί με μεγάλα H_b , $d_b \Rightarrow$ έντονα τυρβώδης ροή και ισχυρό υποβρύχιο ρεύμα
 - Μεταφορά υλικού προς τα βαθιά \Rightarrow υποχώρηση ακτογραμμής
 - Δημιουργία και λειτουργία ύφαλου αναβαθμού (bar)
- Θερινοί κυματισμοί
 - Κυματισμοί με μικρά H_b , $d_b \Rightarrow$ ασθενής τυρβώδης ροή και ασθενές υποβρύχιο ρεύμα
 - Μεταφορά υλικού προς την ακτή \Rightarrow πρόσχωση παραλιακού αναχώματος (berm)



A Winter beach



B Summer beach



Στερομετ. εγκάρσια στην ακτογραμμή

- Κριτήρια στερεομεταφοράς / μεταβολής προφίλ

- Kraus et al. (1991)
- Darlymple (1992)

$$\frac{H_{so}}{L_{po}} \begin{cases} < 0.0007 \left(\frac{H_{so}}{w_s T_p} \right)^3 & : \text{Διάβρωση} \\ > 0.0007 \left(\frac{H_{so}}{w_s T_p} \right)^3 & : \text{Πρόσχωση} \end{cases}$$

◦ Kraus and Mason (1993)

$$P = \frac{g H_{so}}{w_s^2 T} \geq 10.4 \quad : \text{Διάβρωση}$$
$$P = \frac{g H_{so}}{w_s^2 T} \geq 26.5 \quad : \text{Διάβρωση}$$

$$L_{po} = \frac{g T_p^2}{2\pi}$$



Στερομετ. εγκάρσια στην ακτογραμμή

- Στατικά μοντέλα διάβρωσης ακτής

- Bruun (1962)
- Dean (1991)
- Kriebel and Dean (1993)

$$\frac{\Delta y_s}{W_c} = \frac{\bar{\eta}}{d_c + h_B} \quad \frac{\Delta y_s}{W_b} = \frac{0.068H_b + \bar{\eta}}{1.28H_b + h_B} \quad \Delta y_s = \left(W_b - \frac{d_b}{\tan\beta_s} \right) \frac{\bar{\eta}}{h_B + d_b - 0.5\bar{\eta}}$$

όπου

όπου

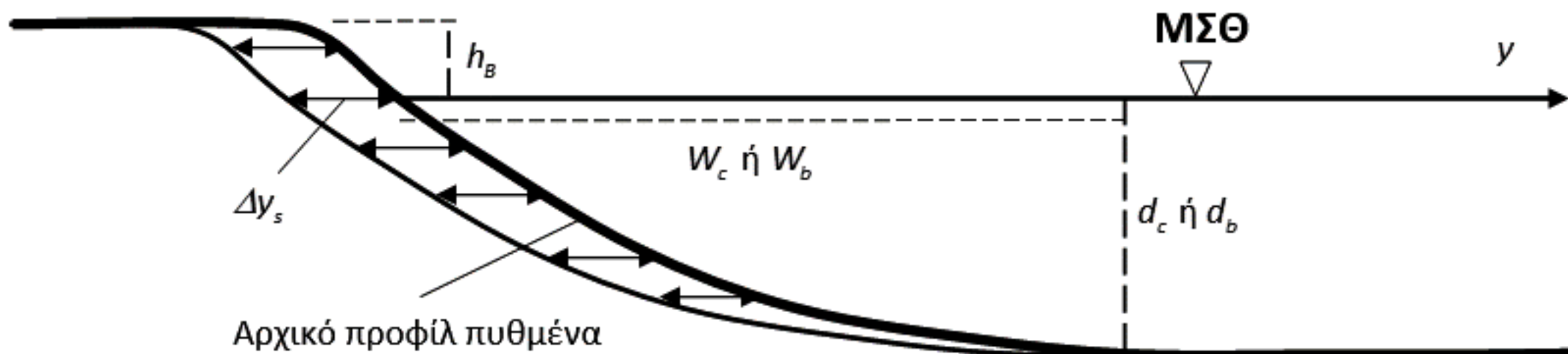
όπου

$$W_c = (d_c/A)^{1.5}$$

$$W_b = (d_b/A)^{1.5}$$

$$W_b = (d_b/\tan\beta) + (d_b/A)^{1.5}$$

- Δy_s : υποχώρηση προφίλ [m]
- $\bar{\eta}$: μεταβολή ΜΣΘ [m]





Παράδειγμα 1^ο Εκφώνηση

Κυματισμός με χαρακτηριστικά $H_o = 2.2\text{m}$ και $T = 5.0\text{s}$ προωθείται εγκάρσια προς ακτή με παράλληλες και ευθύγραμμες ισοβαθείς, μέσης κλίσης 1:20. Εάν για τη θραύση ισχύουν $H_b = 2.4\text{m}$ και $d_b = 3.0\text{m}$, για περιπτώσεις ακτής υλικού με $D_{50} = 0.25\text{mm}$ και $D_{50} = 1.0\text{mm}$, ζητούνται:

- (α) Η εξίσωση που περιγράφει το προφίλ ισορροπίας της ακτής.
- (β) Τα μεγέθη d_c και h_b .
- (γ) Εκτίμηση για το μορφοδυναμικό καθεστώς της ακτής υπό τη δράση του συγκεκριμένου κυματισμού.
- (δ) Εκτίμηση της υποχώρησης της ακτογραμμής που θα προκαλούσε ανύψωση της ΜΣΘ κατά 0.3m .

$$\text{Δίνονται: } S = 2.65 \cdot n = 0.4 \cdot \nu = 1.19 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \cdot \tan\beta_s = 0.2$$

$$\text{Απλοποιητικές Παραδοχές: } H_{s0} = H_o \cdot T_p = T \cdot H_e = 1.3H_{s0}$$

Παράδειγμα 1^ο

Επίλυση

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = 39.03\text{m}$$

$$D_* = D_g \left(\frac{(S-1)g}{v^2} \right)^{1/3} \xrightarrow{D_g = D_{50}} D_* = 22.53$$

$$(D_*)^3 = 1.14 \cdot 10^4$$

$$\frac{w_s D_g}{v} = 1.05 D_*^{1.5} \longrightarrow w_s = 1.05 D_*^{1.5} \frac{v}{D_g} = 0.1336\text{m/s}$$



Ροές Υπολειμμάτων &
Παράκτιες Πλημμύρες
Διαλέξεις Αχιλλέα Σαμαρά
Τ.Π.Μ. - Δ.Π.Θ.
Π.Μ.Σ. Δ.Υ.Κ. / 2021-2022



Παράδειγμα 1^ο

Επίλυση

(α)

$$A = \begin{cases} 0.41D_{50}^{0.94} & D_{50} < 0.4 \text{ mm} \\ 0.23D_{50}^{0.32} & \text{για } 0.4 < D_{50} < 10 \text{ mm} \\ 0.23D_{50}^{0.28} & 10 < D_{50} < 40 \text{ mm} \\ 0.46D_{50}^{0.11} & D_{50} > 40 \text{ mm} \end{cases}$$

$$A = 0.23$$

$$y = \frac{d}{\tan\beta_s} + \left(\frac{d}{A}\right)^{3/2}$$

$$y = \frac{d}{0.20} + \left(\frac{d}{0.23}\right)^{3/2}$$

Παράδειγμα 1^ο

Επίλυση

(β)

$$d_c = 1.75H_e = 1.75(1.3H_s)$$

$$d_c \cong 5.00\text{m}$$

$$\frac{Z_R}{H_o} = 1.47(\xi_o)^{0.79} \quad \text{με} \quad \xi_o = \frac{\tan\beta}{\sqrt{H_o/L_o}} = 0.2106$$

$$h_B = Z_R = H_o 1.47(\xi_o)^{0.79} \cong 0.95\text{m}$$

Π.Μ.Σ. Δ.Υ.Κ. / 2021-2022





Παράδειγμα 1^ο

Επίλυση

(γ)

- Kraus et al. (1991)
- Darlymple (1992)

$$\frac{H_{so}}{L_{po}} \begin{cases} < 0.0007 \left(\frac{H_{so}}{W_s T_p} \right)^3 & : \text{Διάβρωση} \\ > 0.0007 \left(\frac{H_{so}}{W_s T_p} \right)^3 & : \text{Πρόσχωση} \end{cases}$$

$P = \frac{gH_o}{W_s^2 T} \geq 10.4$: Διάβρωση
 $P = 241.87$

$$L_{po} = \frac{gT_p^2}{2\pi} = 39.03\text{m}$$

- Kraus and Mason (1993)

$$P = \frac{gH_{so}}{W_s^2 T} \geq 26.5 \quad : \text{Διάβρωση}$$

$P = 241.87$



Παράδειγμα 1^ο

Επίλυση

(δ)

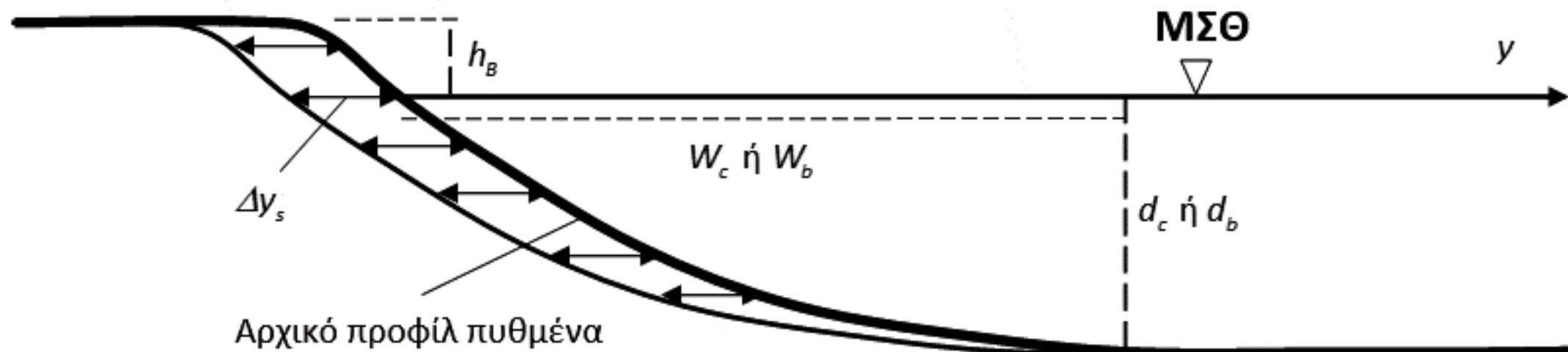
ο Dean (1991)

$$W_b = (d_b/A)^{1.5}$$

$$W_b = 47.11$$

$$\frac{\Delta y_s}{W_b} = \frac{0.068H_b + \bar{\eta}}{1.28H_b + h_B}$$

$$\Delta y_s = 5.43\text{m}$$

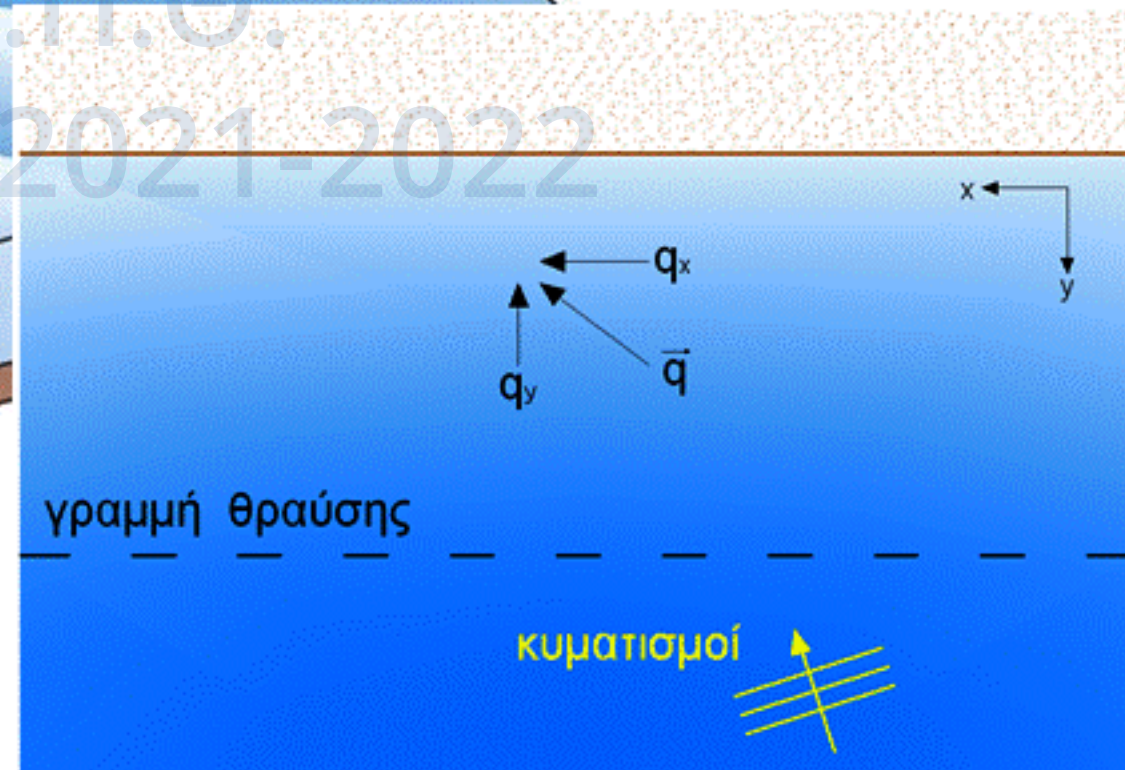
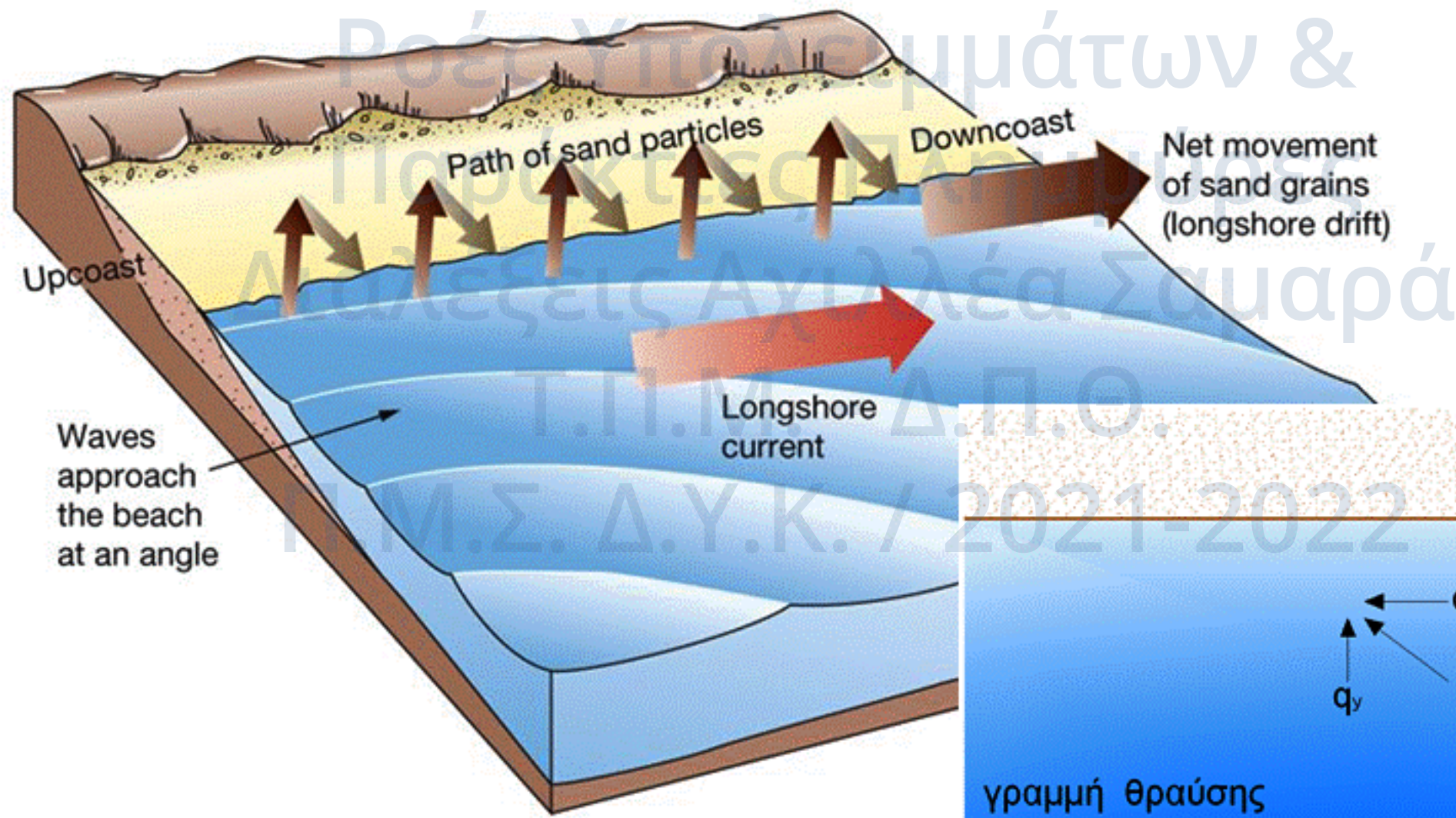


Στερεομεταφορά & Μορφοδυν. Ακτών



Στερεομετ. κατά μήκος της ακτογραμμής

- Ανάλυση στερεομεταφοράς στην παράκτια ζώνη





Στερομετ. κατά μήκος της ακτογραμμής

- Στερεοπαροχή κατά μήκος της ακτογραμμής

- Παράκτια στερεομεταφορά στη ζώνη θραύσης *USACE/CERC (1984)*

$$I_l = \rho g (S - 1) (1 - n) \bar{Q}_l$$

$$I_l = K P_{lb}$$

$$I_l = \frac{K}{16} \frac{\rho g^{3/2}}{\gamma_b^{1/2}} H_b^{5/2} \sin 2\alpha_b$$

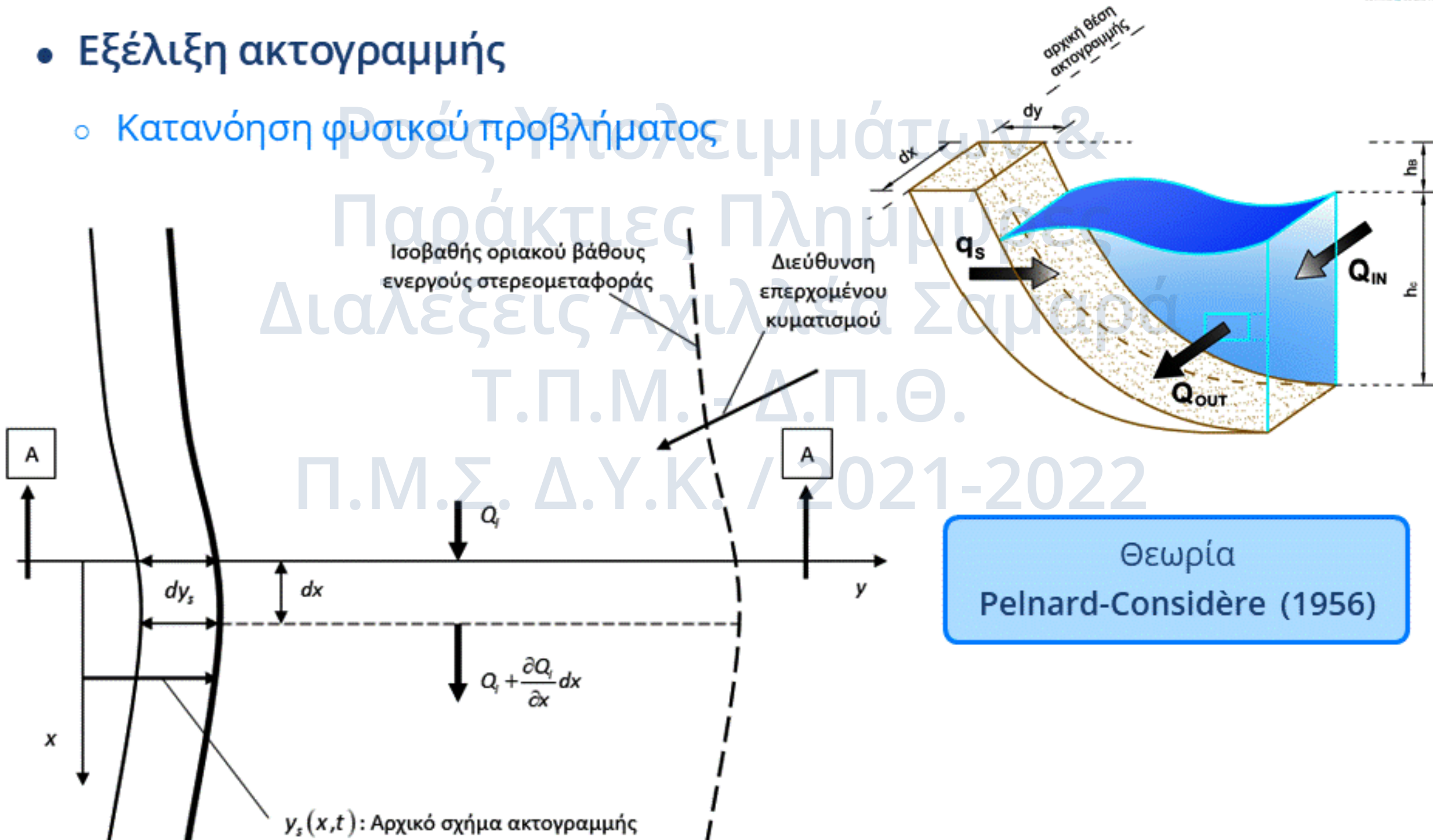
$$\bar{Q}_l = \frac{K}{16} \frac{\sqrt{g}}{(S - 1)(1 - n)\sqrt{\gamma_b}} H_b^{5/2} \sin 2\alpha_b$$

- I_l : παροχή ξηρού βάρους στερεών
- \bar{Q}_l : μέση παροχή μικτού όγκου ιζήματος
- n : πορώδες
- K : = 0.39 όταν H_s
= 0.92 όταν H_{rms}



Στερομετ. κατά μήκος της ακτογραμμής

- Εξέλιξη ακτογραμμής
 - Κατανόηση φυσικού προβλήματος





Στερομετ. κατά μήκος της ακτογραμμής

- Εξέλιξη ακτογραμμής

- Κατάστροση εξίσωσης

$$\left(Q_l + \frac{\partial Q_l}{\partial x} dx \right) dt - Q_l dt = -dy_s (d_c + h_B) dx \Rightarrow$$

$$\frac{dQ_l}{dx} dx dt = -dy_s (d_c + h_B) dx \Rightarrow$$

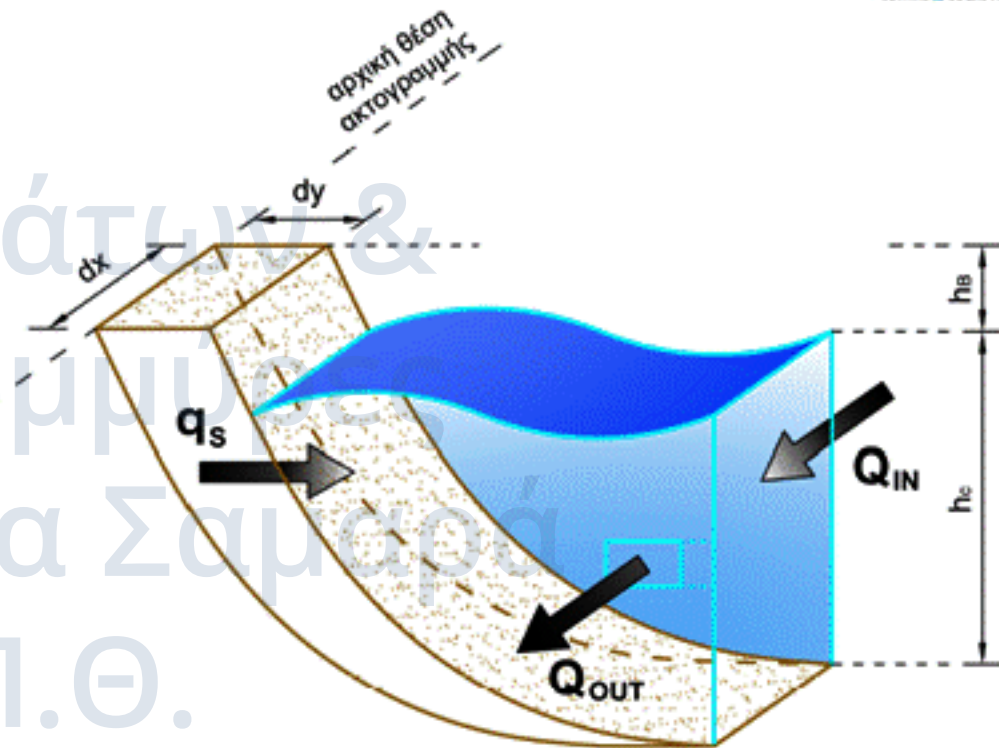
$$\frac{dy_s}{dt} = - \frac{dQ_l}{dx} \frac{1}{d_c + h_B}$$

⇓

εξίσωση USACE/CERC

⇓

$$\frac{\partial \bar{Q}_l}{\partial x} \approx \frac{K}{8} \frac{H_b^{5/2} \sqrt{g}}{(S-1)(1-n)\sqrt{\gamma_b}} \cos 2\alpha_b \frac{\partial \alpha_b}{\partial x} \approx - \frac{K}{8} \frac{H_b^{5/2} \sqrt{g}}{(S-1)(1-n)\sqrt{\gamma_b}} \frac{\partial^2 y_s}{\partial x^2}$$



Θεώρηση:

- όχι σημαντική μεταβολή $H_b(x), \gamma_b(x)$
- σχετικά μικρές $\alpha_b \rightarrow \cos 2\alpha_b \approx 1$



Στερομετ. κατά μήκος της ακτογραμμής

- Εξέλιξη ακτογραμμής

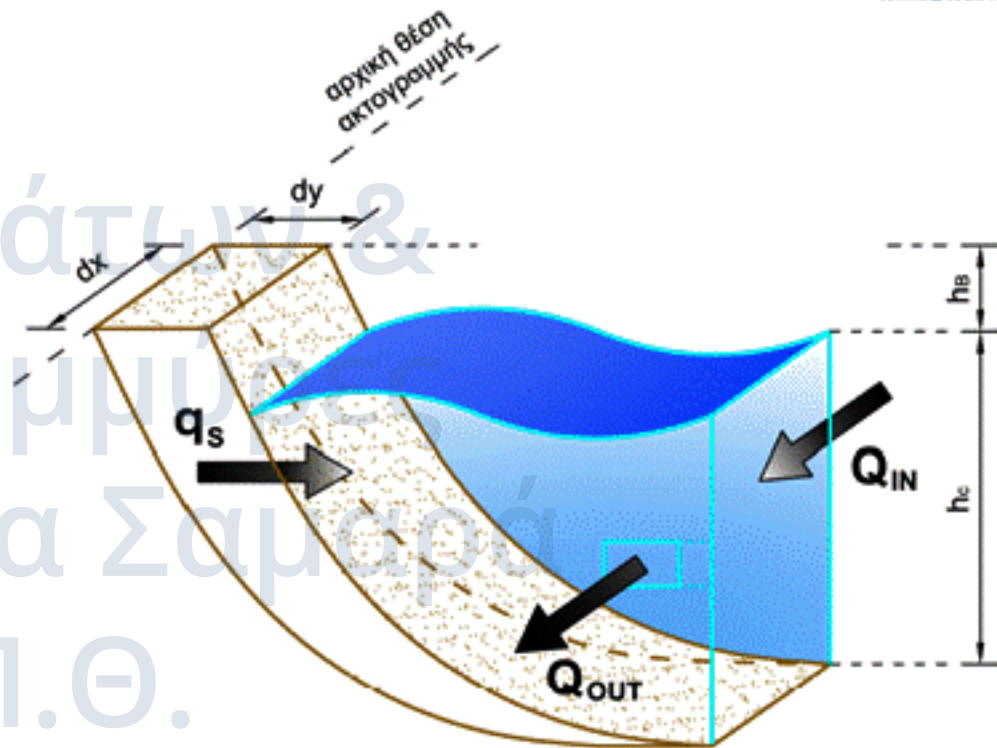
- Κατάστροση εξίσωσης

$$\frac{\partial y_s}{\partial t} = \varepsilon_1 \frac{\partial^2 y_s}{\partial x^2}$$

όπου

$$\varepsilon_1 = \frac{K}{8} \frac{H_b^{5/2} \sqrt{g}}{(S-1)(1-n) \sqrt{\gamma_b}} \frac{1}{d_c + h_B} \Rightarrow$$

$$\varepsilon_1 = \frac{2\bar{Q}_1}{\sin 2\alpha_b} \frac{1}{d_c + h_B}$$

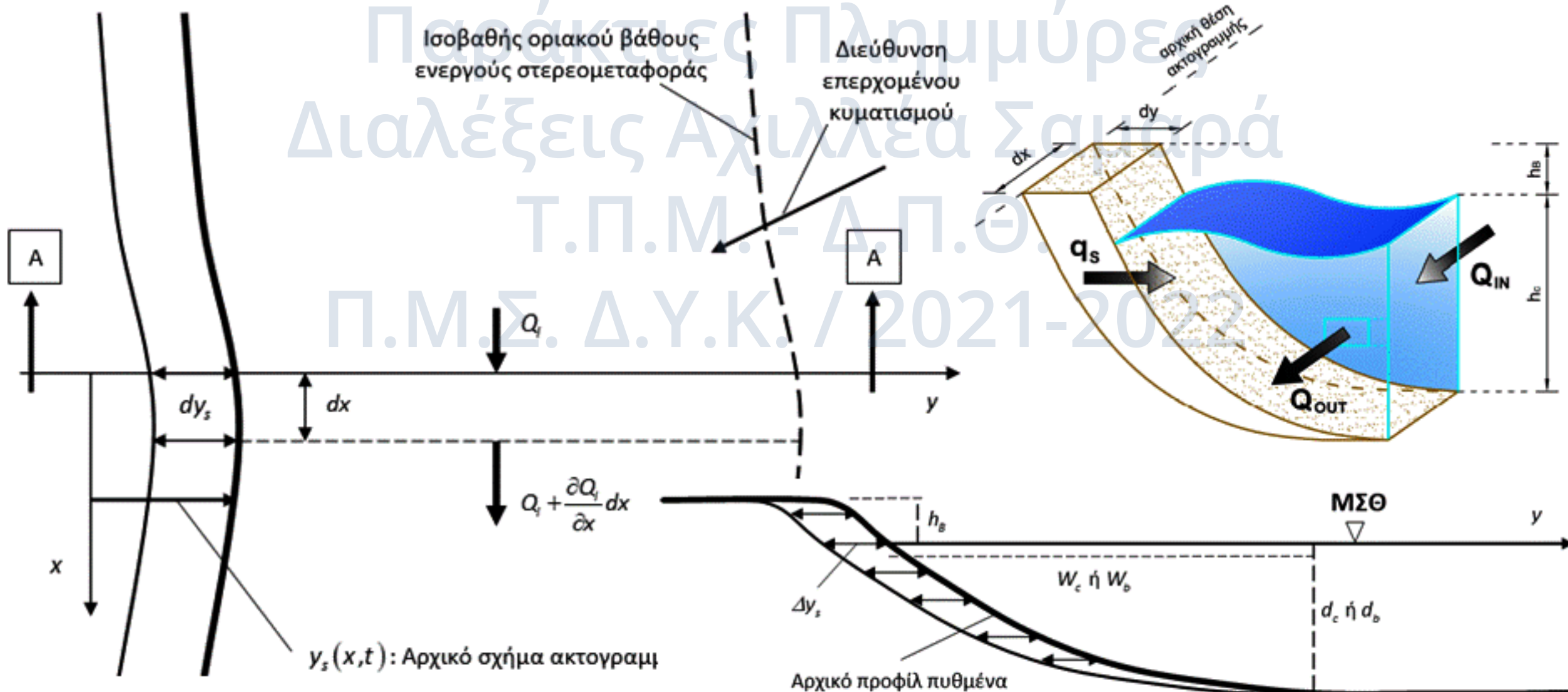




Υπολογιστική προσομοίωση

- Κατηγοριοποίηση υπολογιστικών μοντέλων

- 1D models





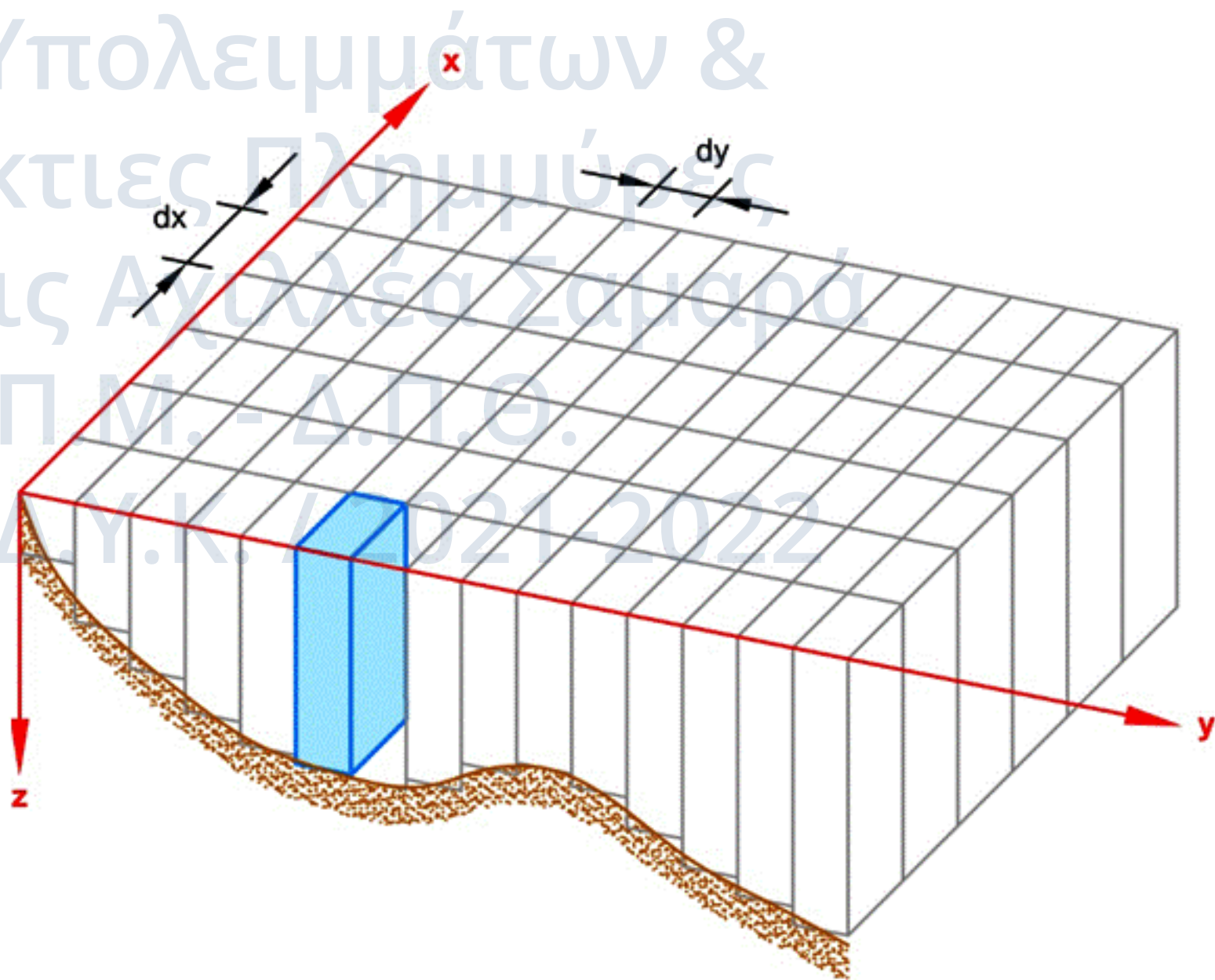
Υπολογιστική προσομοίωση

- Κατηγοριοποίηση υπολογιστικών μοντέλων

- 1D models

- 2D models

→ 2DH



Ροές Υπολειμμάτων &
Παράκτιες Πλημμύρες
Διαλέξεις Αχιλλέας Σαμαράς
Τ.Π.Μ. - Δ.Π.Θ.
Π.Μ.Σ. Δ.Υ.Κ. / 2021-2022



Υπολογιστική προσομοίωση

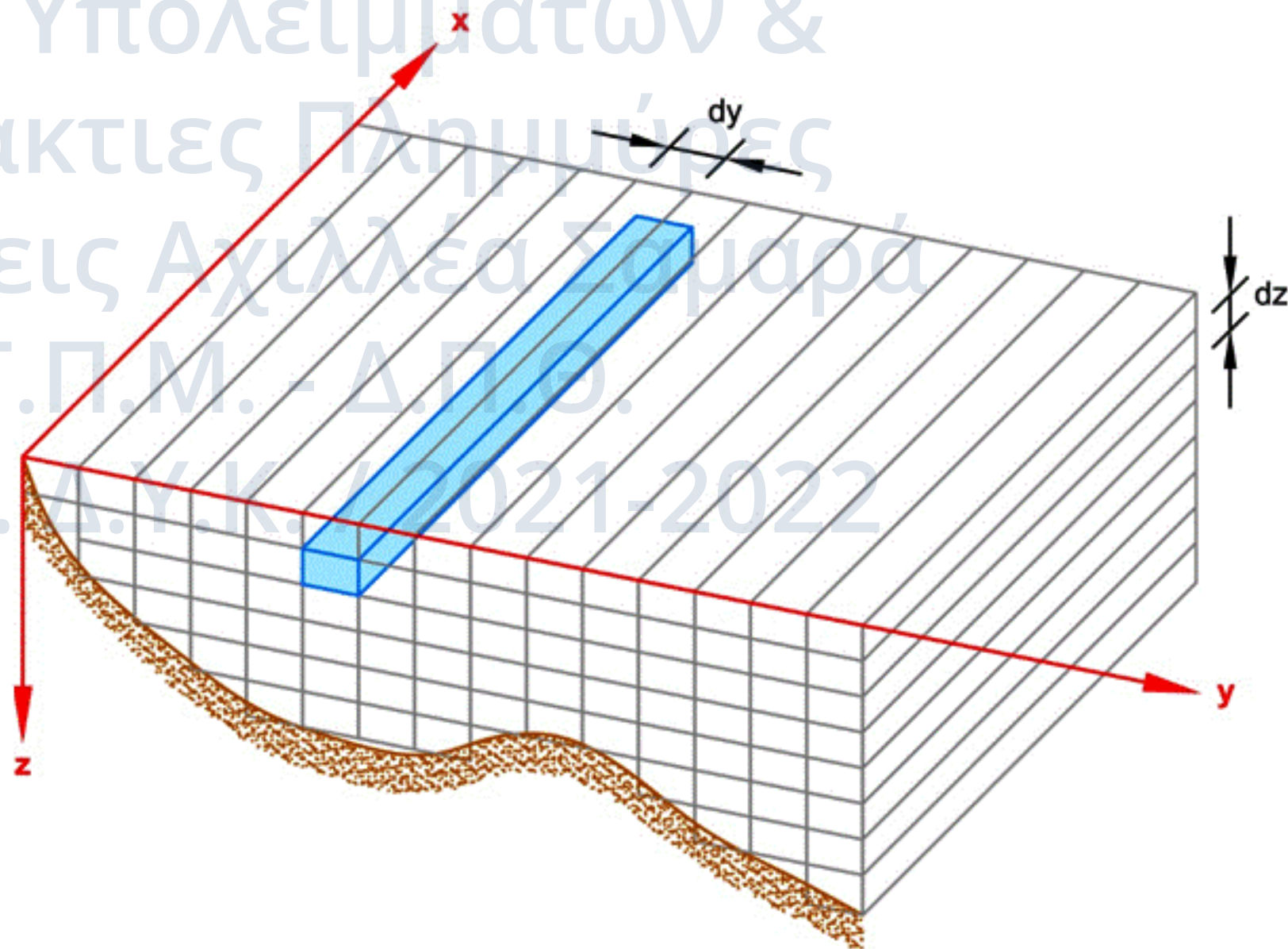
- Κατηγοριοποίηση υπολογιστικών μοντέλων

- 1D models

- 2D models

- 2DH

- 2DV

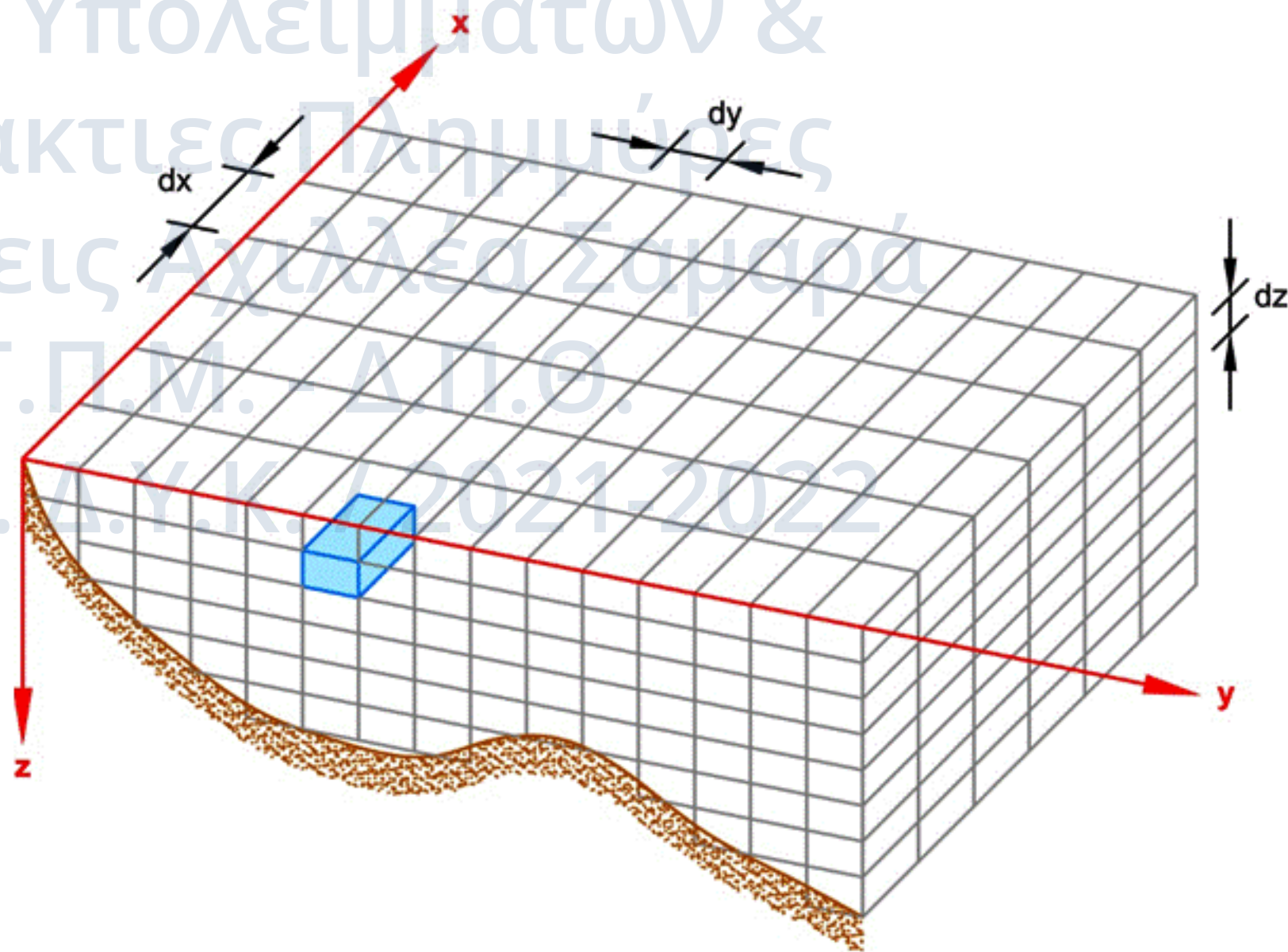


Ροές Υπολειμμάτων &
Παράκτιες Πλημμύρες
Διαλέξεις Αχιλλέας Σαμαράς
Τ.Π.Μ. - Δ.Π.Θ.
Π.Μ.Σ. Δ.Υ.Κ. / 2021-2022



Υπολογιστική προσομοίωση

- Κατηγοριοποίηση υπολογιστικών μοντέλων
 - 1D models
 - 2D models
 - 3D models
(+quasi-3D models)





Υπολογιστική προσομοίωση

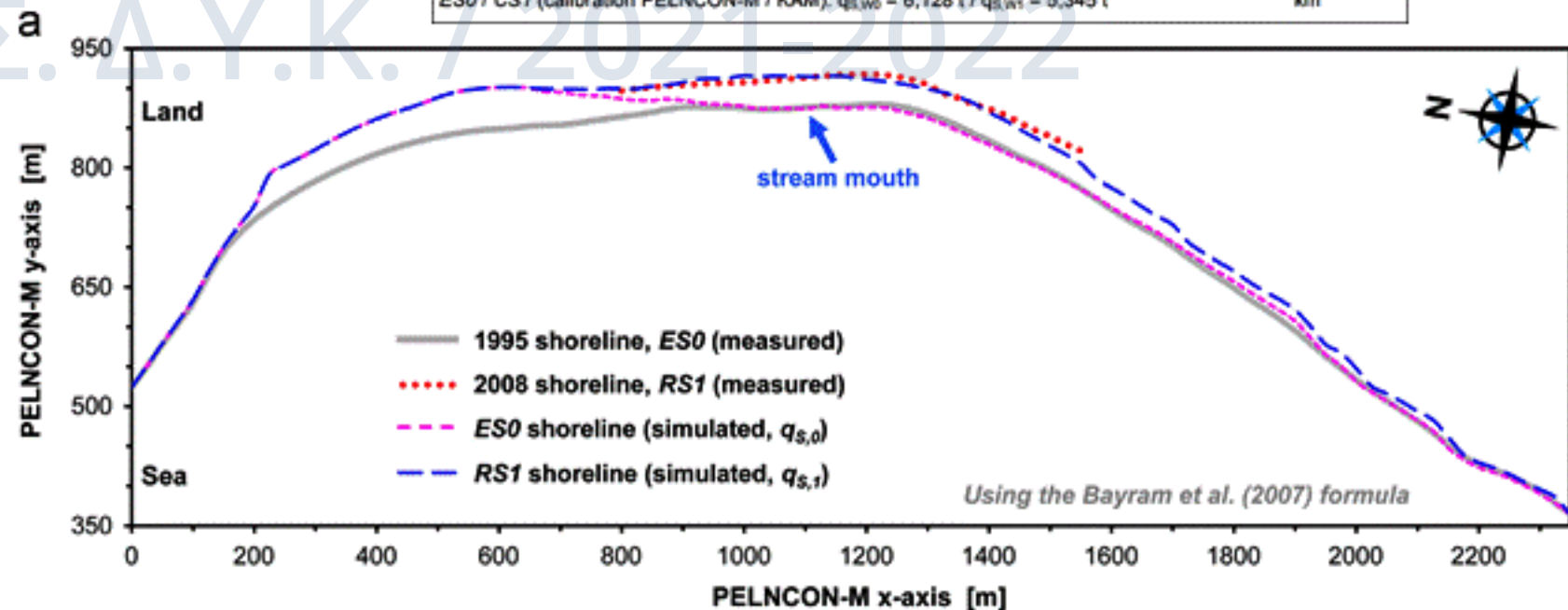
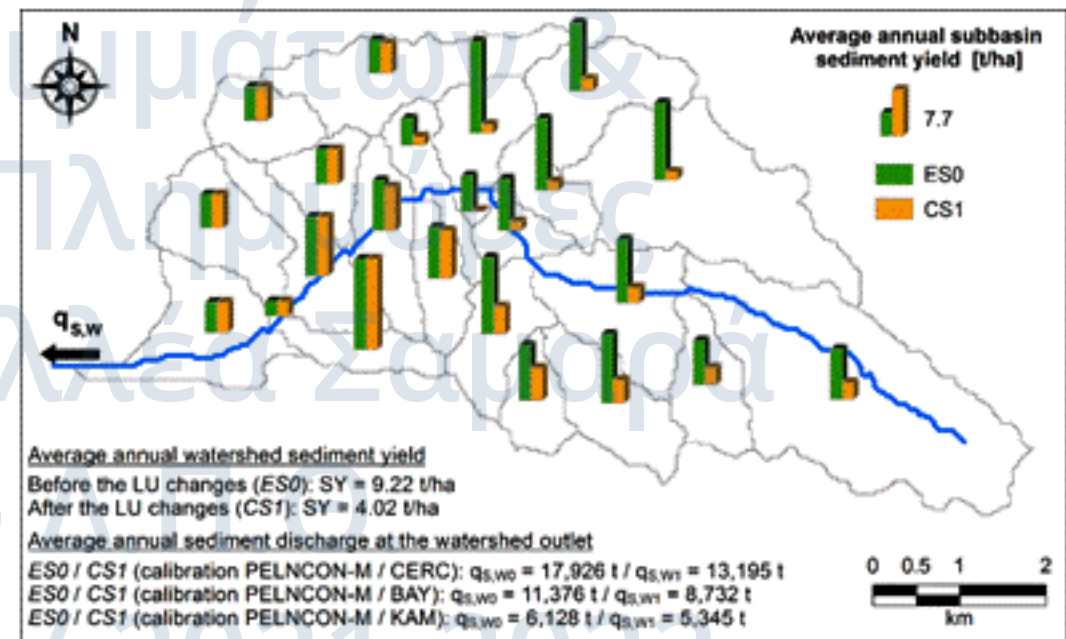
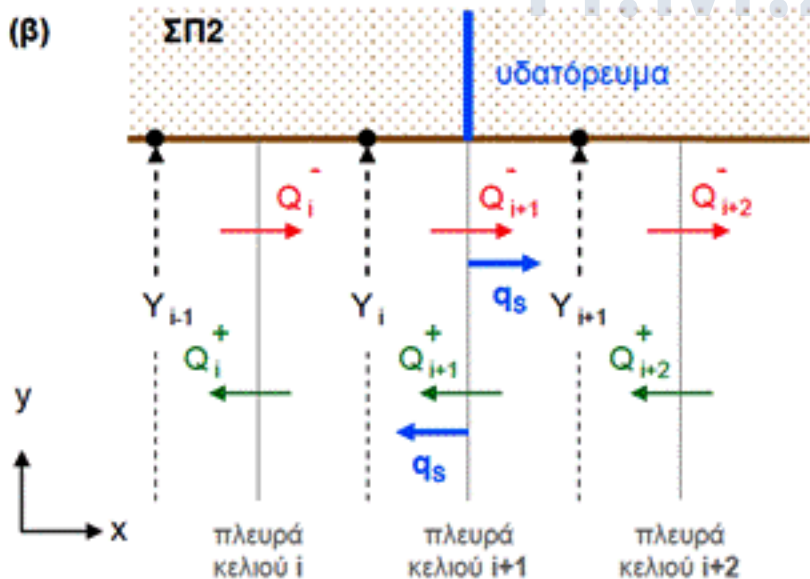
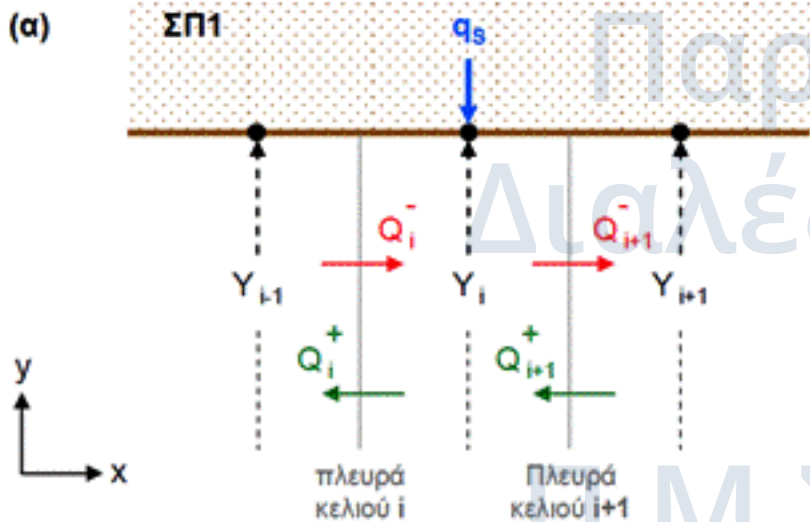
- Παραδείγματα εφαρμογών



Σαμαράς (2010)

Samaras & Koutitas (2009, 2014)

- Μοντέλο εξέλιξης ακτογραμμής





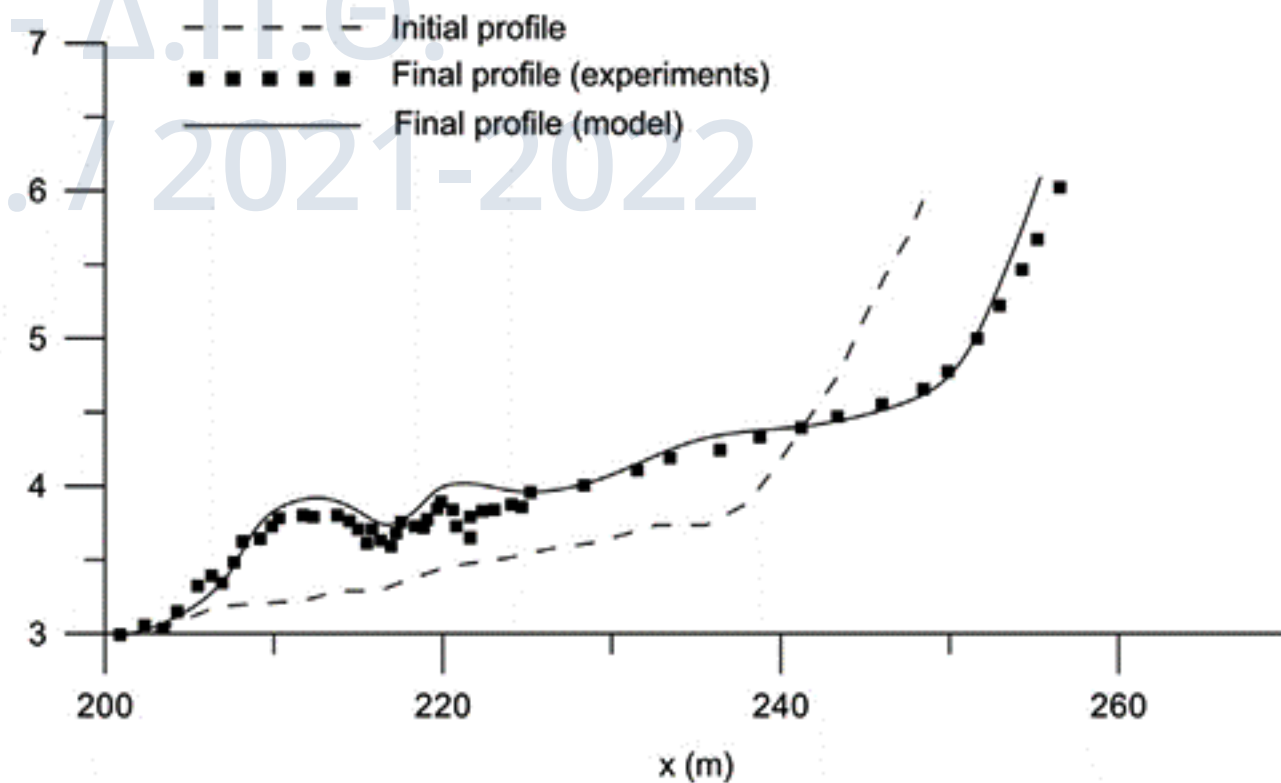
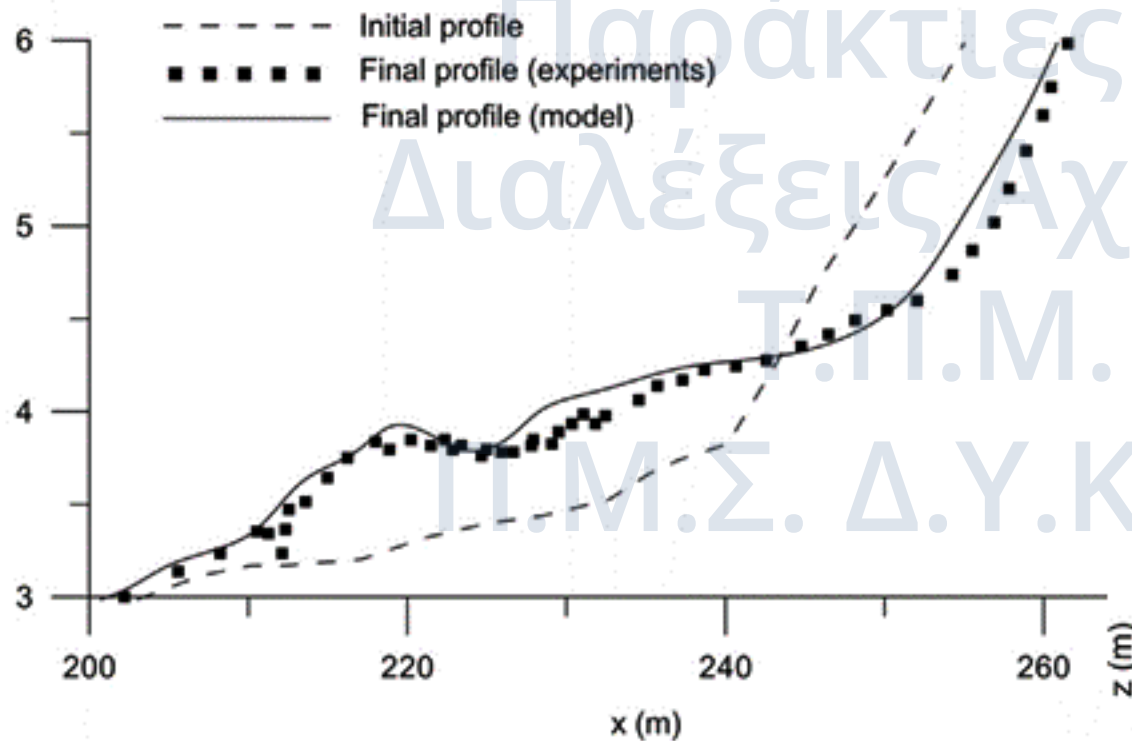
Υπολογιστική προσομοίωση

- Παραδείγματα εφαρμογών

- 2DV model



Karambas & Samaras
(2014, 2017)





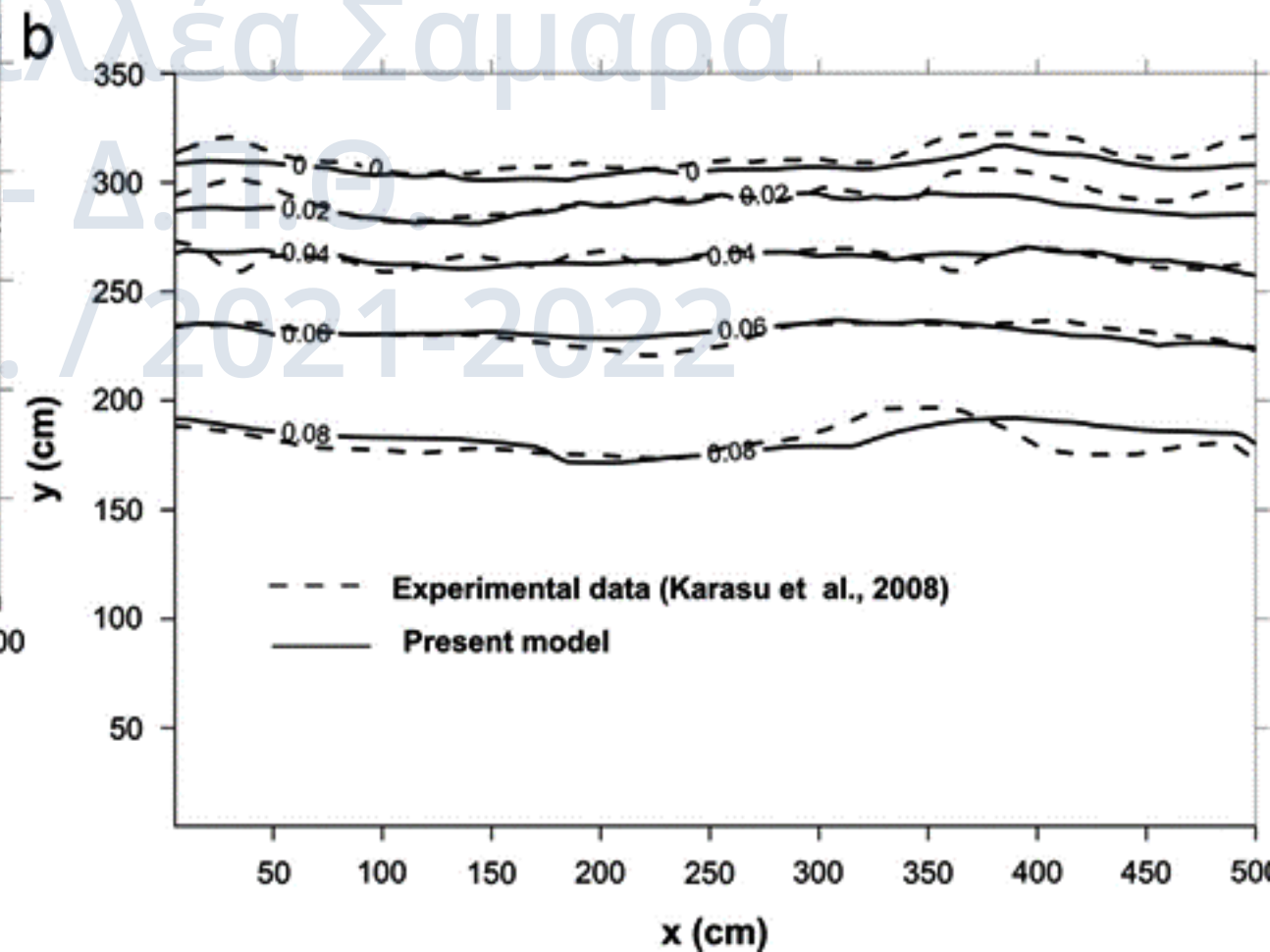
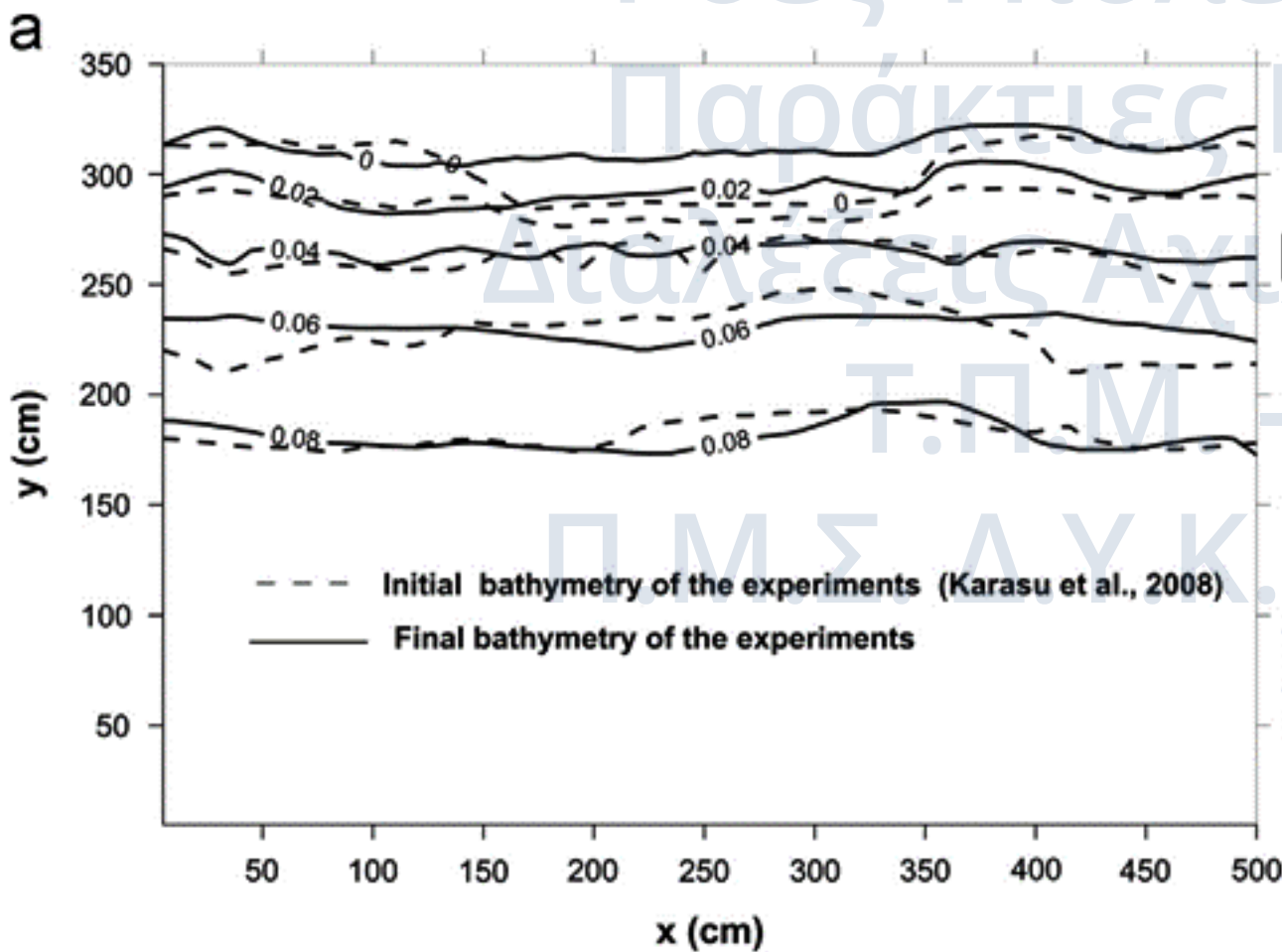
Υπολογιστική προσομοίωση

- Παραδείγματα εφαρμογών

- 2DH model



Karambas & Samaras
(2014, 2017)





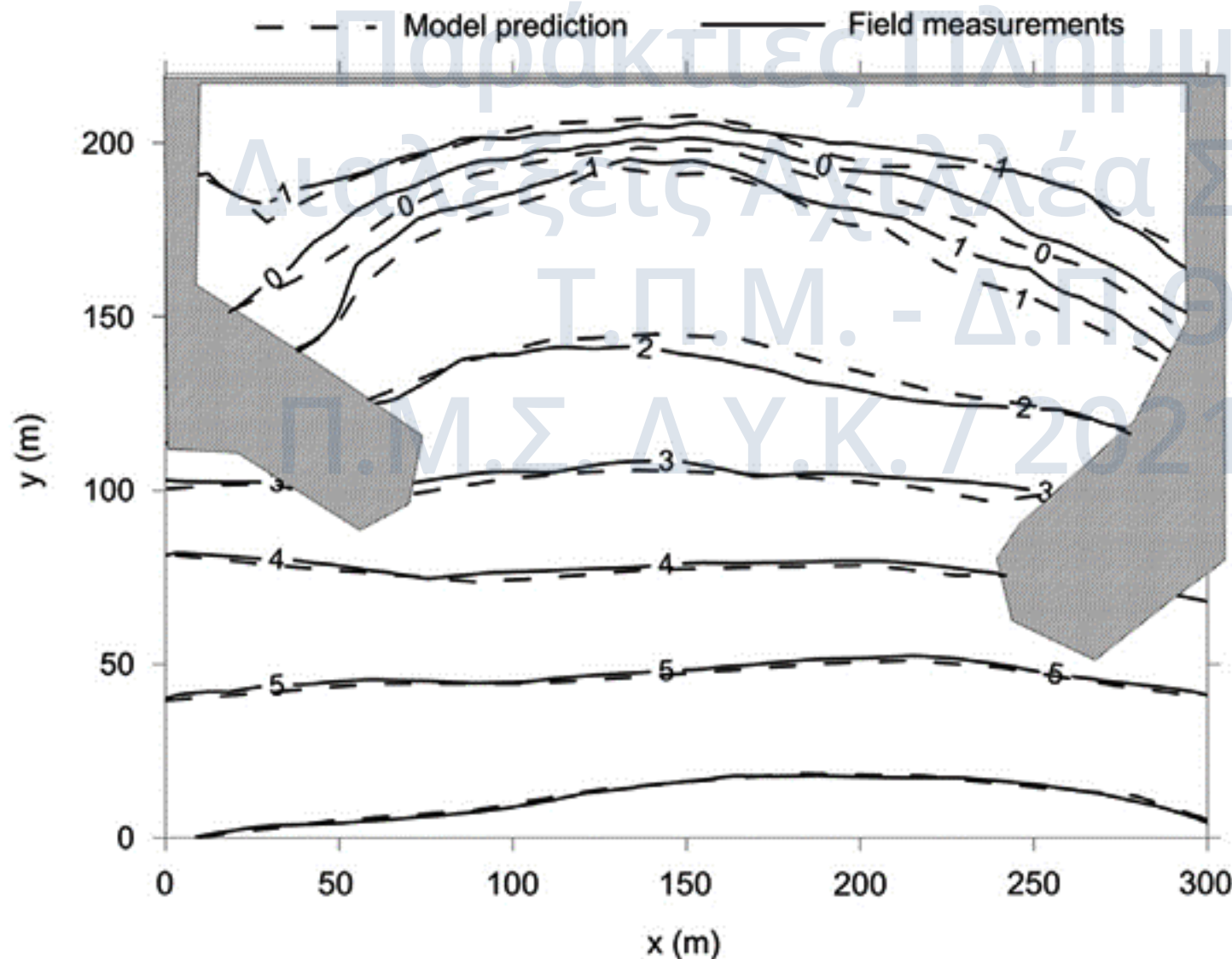
Υπολογιστική προσομοίωση

- Παραδείγματα εφαρμογών

- 2DH model



Karambas & Samaras
(2014, 2017)





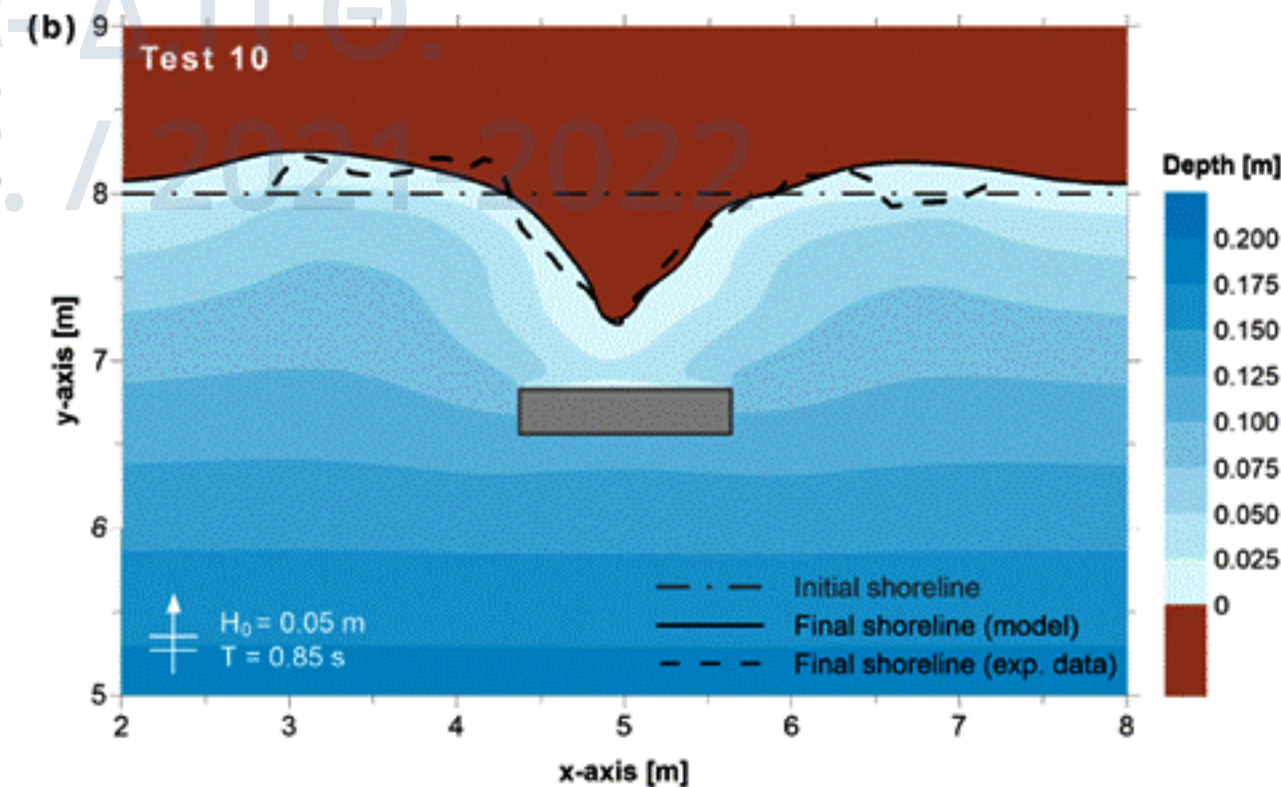
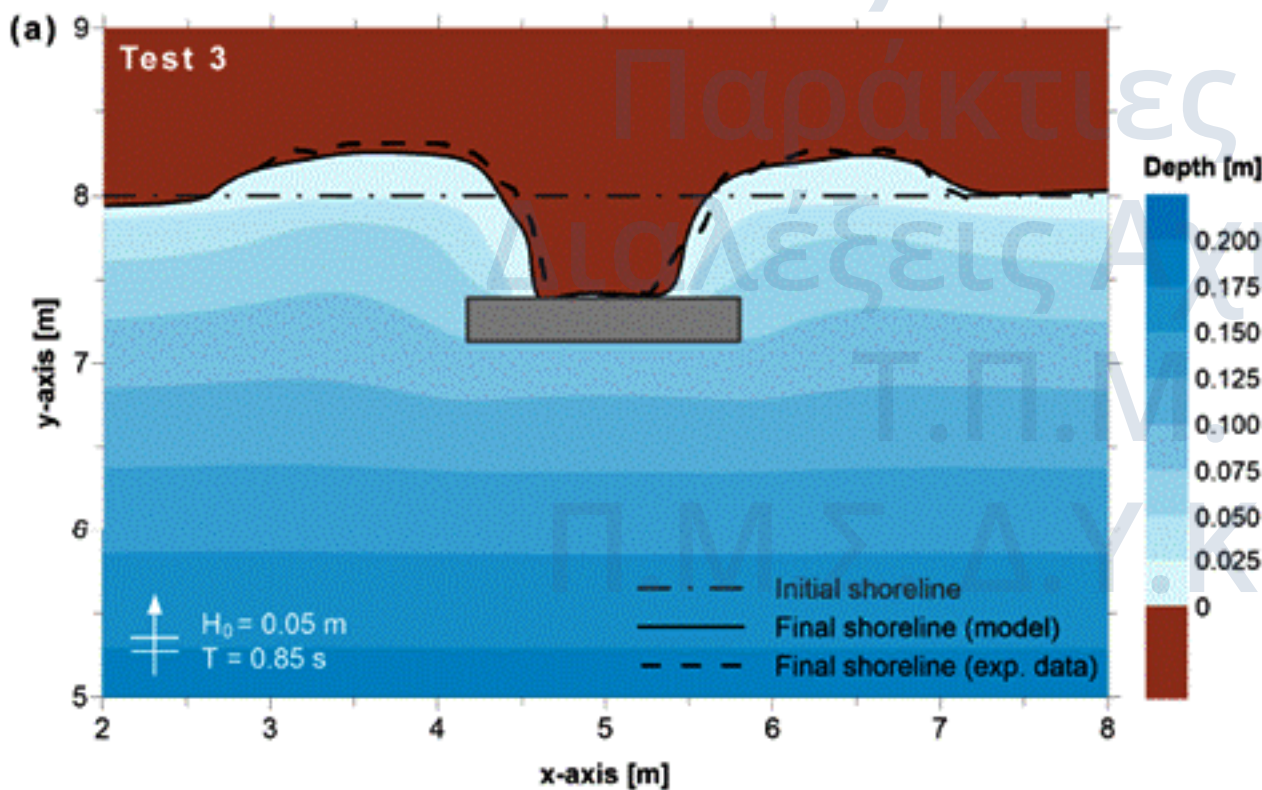
Υπολογιστική προσομοίωση

- Παραδείγματα εφαρμογών

- 2DH model



Karambas & Samaras
(2014, 2017)





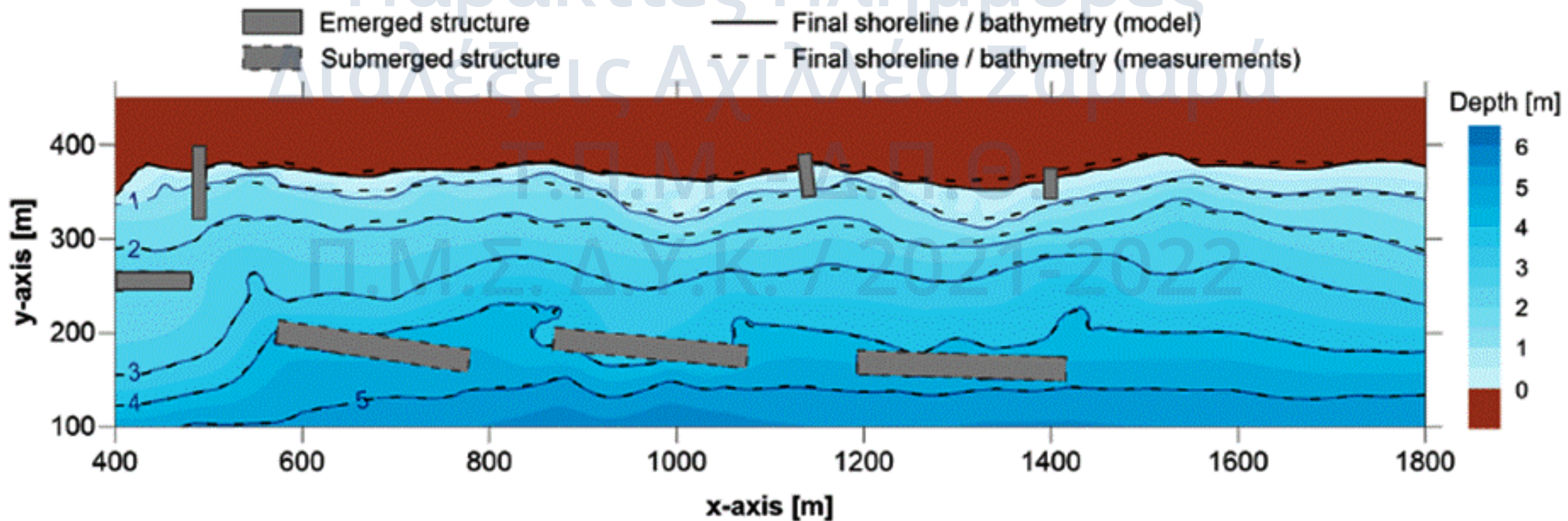
Υπολογιστική προσομοίωση

- Παραδείγματα εφαρμογών

- 2DH model



Karambas & Samaras
(2014, 2017)



Παράδειγμα 2^ο

Εκφώνηση



Θεωρείται παράκτια φυσιογραφική μονάδα, η οποία περιλαμβάνει τις εκβολές ποταμού και ευθύγραμμη ακτή νότιου προσανατολισμού που εκτείνεται προς τα ανατολικά των εκβολών για μήκος L . Η ακτή, χαρακτηριστικών D_{50} και m , πλήττεται από αντιπροσωπευτικούς κυματισμούς με χαρακτηριστικά H_b , T , a_b , και ετήσια συχνότητα εμφάνισης f . Από τη μελέτη του Συστήματος Υδρολογικής Λεκάνης - Ακτής έχουν προκύψει:

- (α) η μέση στερεοπαροχή του ποταμού στη θέση των εκβολών, ίση με Q_r ,
- (β) η αιολική διάβρωση των αμμοθινών στο χερσαίο όριο της ακτής, ίση με Q_w , και
- (γ) η πραγματοποίηση πέντε (5) βυθοκορήσεων/αμμοληψιών κατά μέσο όρο ανά έτος, από βάθη εντός του ορίου ενεργού στερεομεταφοράς και σε ποσότητα ίση με Q_d .

Παράδειγμα 2^ο

Εκφώνηση



Στο πλαίσιο σύνταξης Master Plan για την Περιφέρεια στην οποία ανήκει η περιοχή μελέτης, εξετάζεται το σενάριο κατασκευής υδροηλεκτρικού φράγματος στο ανώτερο τμήμα της υδρολογικής λεκάνης, το οποίο θα οδηγήσει σε μείωση της στερεοπαροχής του ποταμού κατά x %.

Ζητούνται τα εξής:

[A] Σκαρίφημα της περιγραφόμενης φυσιογραφικής μονάδας και κατάστρωση του ισοζυγίου φερτών υλών.

[B] Αξιολόγηση του υφιστάμενου μορφοδυναμικού καθεστώτος της υπό μελέτη ακτής και υπολογισμός της ετήσιας μετατόπισης της ακτογραμμής.

Παράδειγμα 2^ο

Εκφώνηση



Στο πλαίσιο σύνταξης Master Plan για την Περιφέρεια στην οποία ανήκει η περιοχή μελέτης, εξετάζεται το σενάριο κατασκευής υδροηλεκτρικού φράγματος στο ανώτερο τμήμα της υδρολογικής λεκάνης, το οποίο θα οδηγήσει σε μείωση της στερεοπαροχής του ποταμού κατά x %.

Ζητούνται τα εξής:

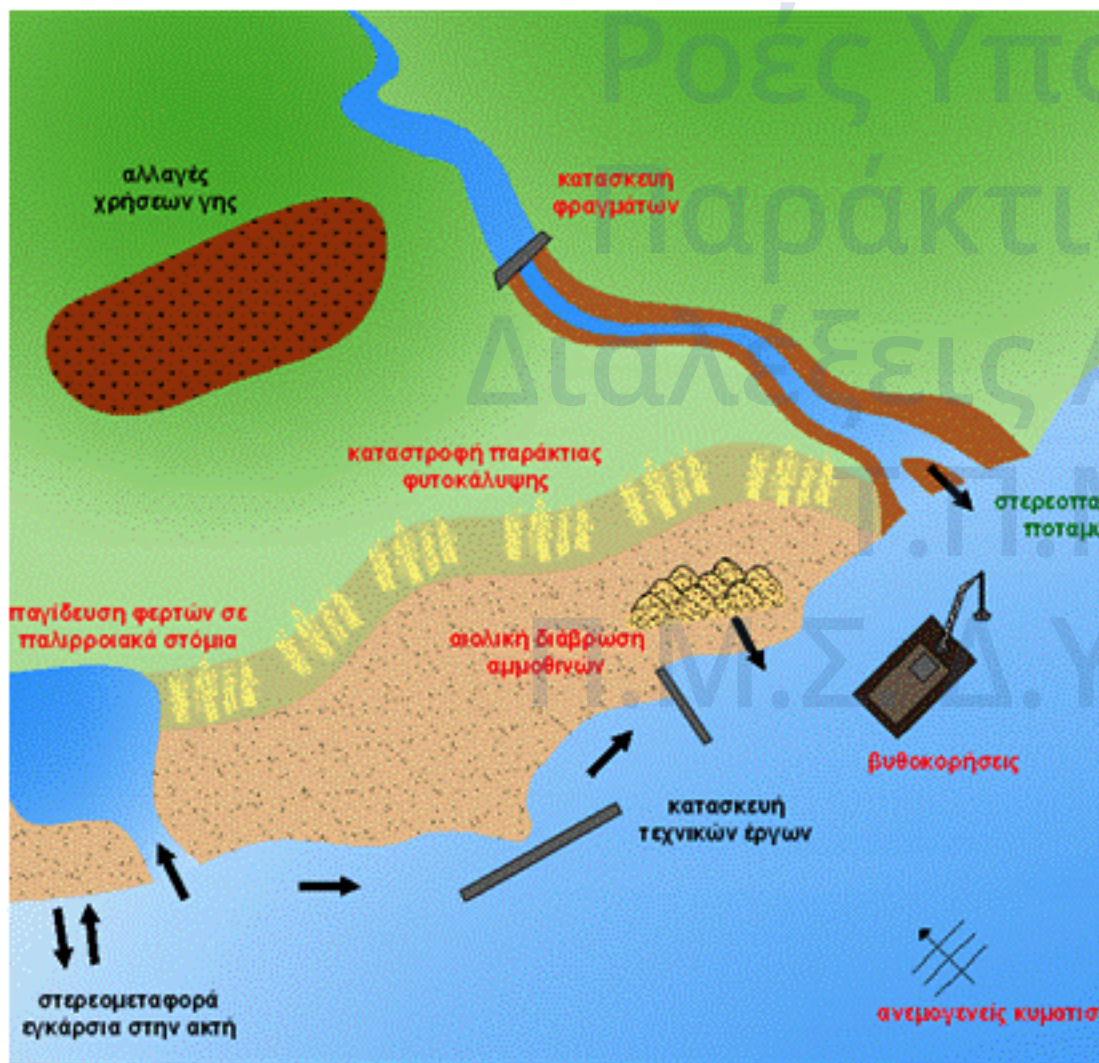
[Γ] Ο υπολογισμός της επίπτωσης του σεναρίου κατασκευής του υδροηλεκτρικού φράγματος στο παράκτιο ισοζύγιο φερτών υλών. Πως θα αξιολογούσατε από οικονομικής άποψης το σενάριο αυτό, εάν το όφελος από την κατασκευή του φράγματος αποτιμάται σε $K1$ και η αξία κάθε μέτρου πλάτους ακτής σε $K2$;

Παράδειγμα 2^ο

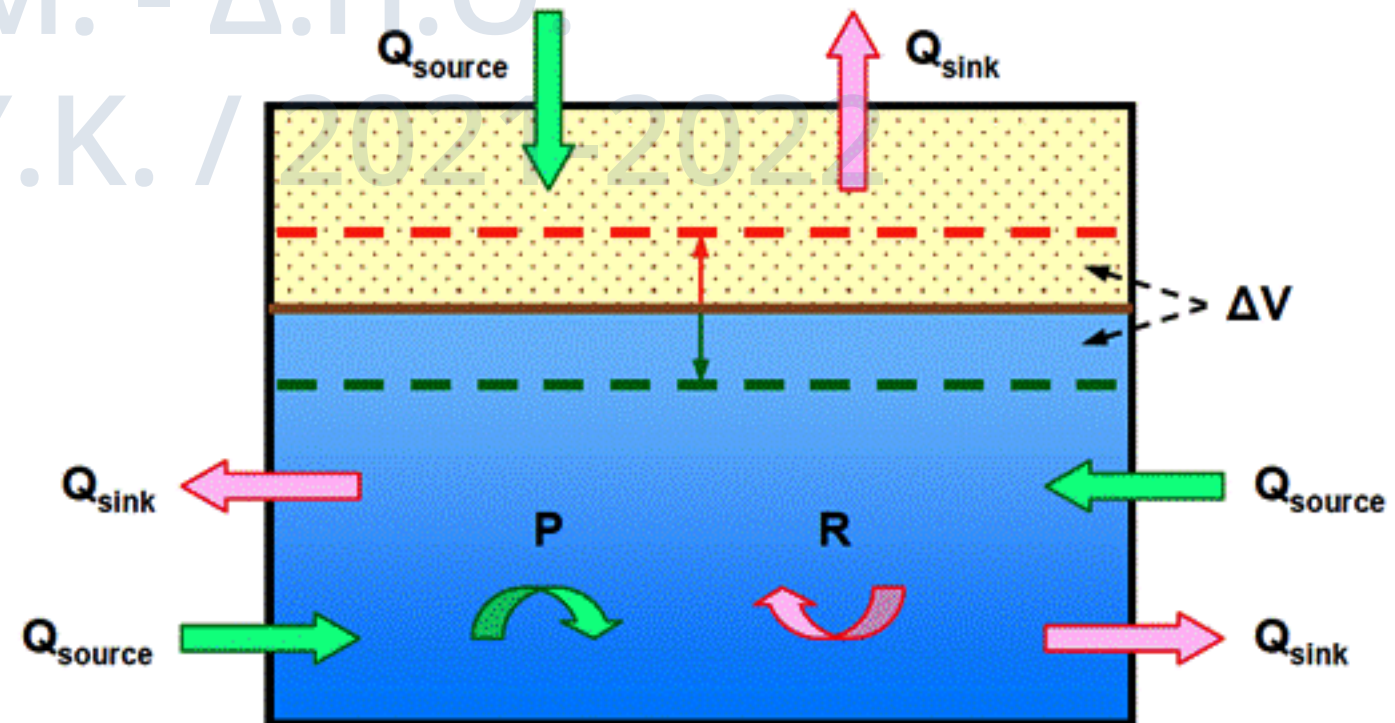
Μεθοδολογία Επίλυσης



- Ισοζύγιο φερτών υλών



→ κατεύθυνση στερεομεταφοράς ● εισφορά στο ισοζύγιο ● απώλεια στο ισοζύγιο





Παράδειγμα 2^ο

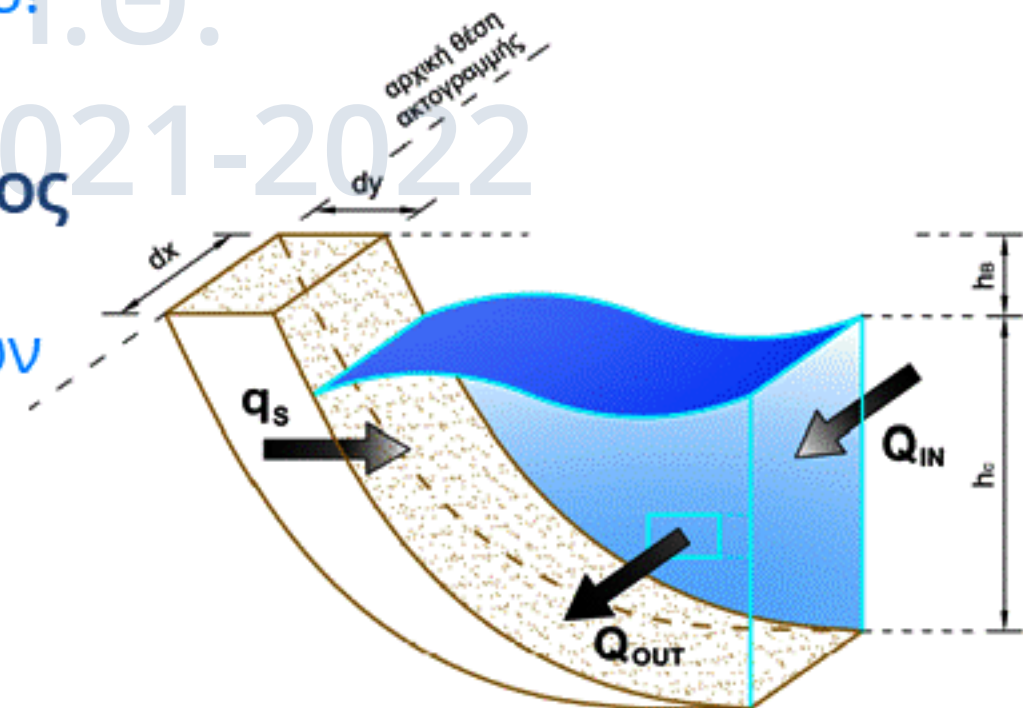
Μεθοδολογία Επίλυσης

- Ισοζύγιο φερτών υλών
 - Που αναφέρονται τα δεδομένα μας;
 - Ποια σχέση υπολογισμού της παράκτιας στερεομεταφοράς χρησιμοποιώ;
 - Ο ρόλος της συχνότητας f
 - Προσοχή στις μονάδες!
 - Προσοχή στην κατάστρωση του ισοζυγίου!

- Εκτίμηση μορφοδυναμικού καθεστώτος

- Διαφοροποίηση λόγω εισφορών/απωλειών από την απλή περίπτωση

$$\frac{dy_s}{dt} = -\frac{dQ_l}{dx} \frac{1}{d_c + h_B}$$



Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας

Ροές Υπολειμμάτων &
Παράκτιες Πλημμύρες
Διαλέξεις Αχιλλέα Σαμαρά
Αχιλλέας Σαμαράς

Επίκουρος Καθηγητής

Π.Μ.Σ. Δ.Υ.Κ. / 2021-2022
achsamar@civil.duth.gr • www.achilleassamaras.com

