



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Ενότητα 5: Μηχανισμοί μεταφοράς ιζημάτων

Δρ. Αβραμίδης Παύλος  
Σχολή Θετικών Επιστημών  
Τμήμα Γεωλογίας

# Σκοποί ενότητας

Σκοπός της ενότητας αυτής είναι η αναφορά της πηγής προέλευσης των διαφόρων κόκκων και η κατανόηση του τρόπου μεταφοράς και απόθεσής τους. Παράλληλα αναφέρονται οι βασικοί τύποι απόθεσης και οι βασικές αρχές που διέπουν τις κοκκομετρικές κατανομές καθώς και η σχέση τους με την περιβαλλοντική ανάλυση.



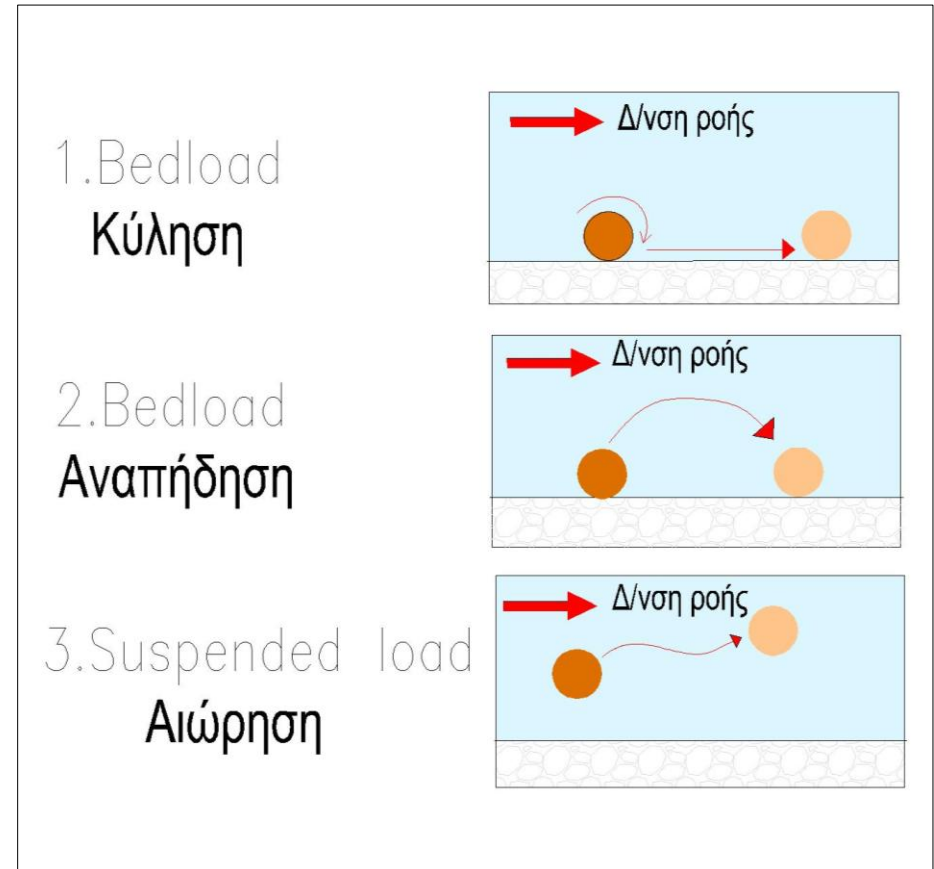
# Περιεχόμενα ενότητας

- Κοκκομετρικό μέγεθος-Πηγή προέλευσης-Τρόπος μεταφοράς
- Στρώμα βάσης & Στρώμα αιώρησης
- Γραμμική & Τυρβώδης ροή
- Φαινόμενο Hjulstrom
- Κανονική & Ανάστροφη διαβάθμιση
- Μέγεθος κόκκου και μεταφορά
- Κοκκομετρικό μέγεθος και διαδικασίες απόθεσης
- Κοκκομετρικές κατανομές και Περιβαλλοντική ανάλυση



# Κοκκομετρικό μέγεθος- Πηγή προέλευσης-Τρόπος μεταφοράς

1. Κύλιση μικρή ταχύτητα
2. Αύξηση της ταχύτητας και κινητικής ενέργειας – αναπήδηση
3. Αύξηση τυρβώδους ροής κόκκοι μεγαλύτερης μάζας αναπηδούν και αιωρούνται.
4. Ορυκτά με μεγάλη επιφάνεια σε σχέση με την μάζα τους και μικρές ταχύτητες καθίζησης αιωρούνται και μεταφέρονται για μεγάλες αποστάσεις.



Εικ.1: Τρόπος μεταφοράς κόκκων .



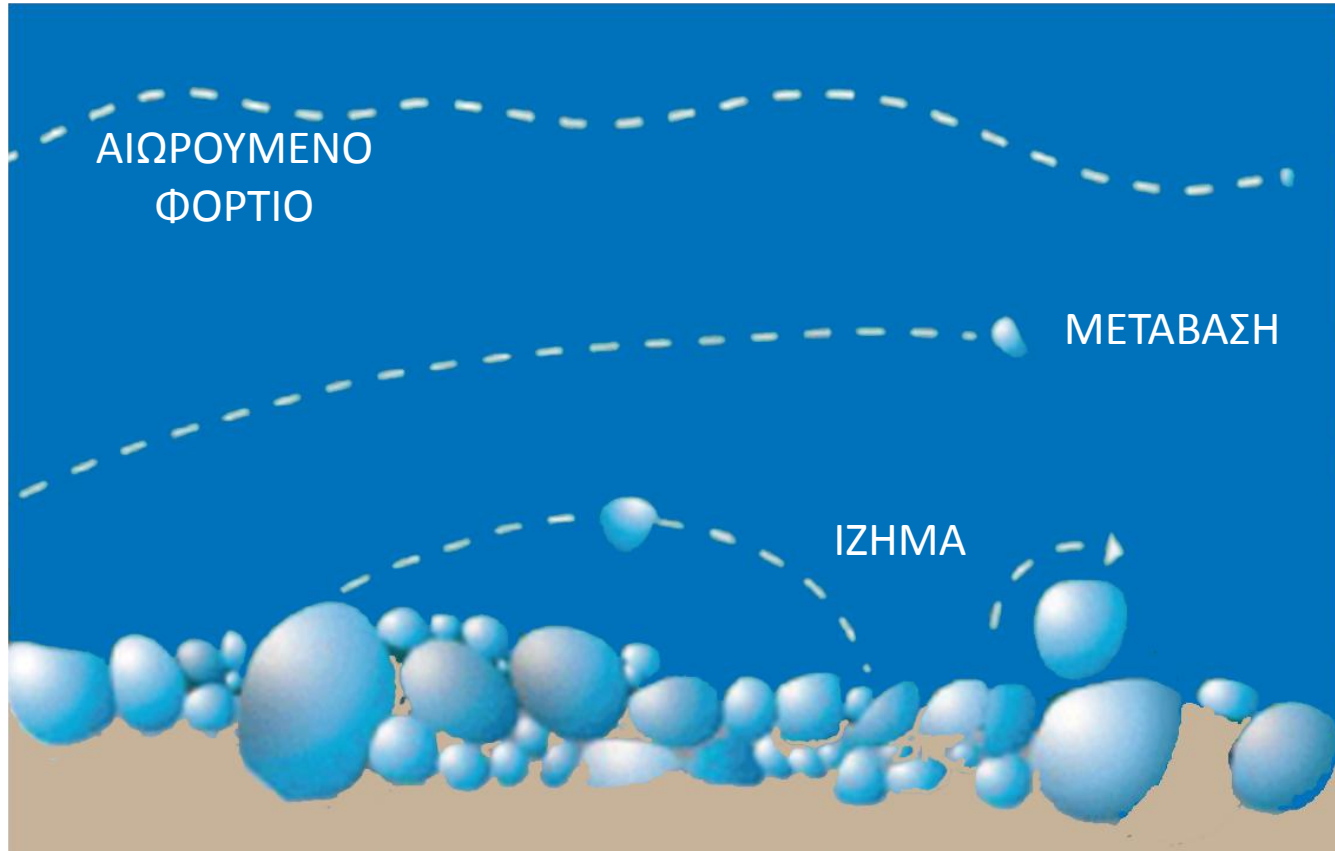
# Κοκκομετρικό μέγεθος- Πηγή προέλευσης-Τρόπος μεταφοράς

Τρόπος μεταφοράς	Συνήθης Περιοχή	Όνομα αθροίσματος
Σύρσιμο (traction)	Όλα τα υπάρχοντα σκληρά πετρώματα	ψηφίτης
Inertria suspension	Κυρίως κόκκοι μεμονωμένων ορυκτών των φανεριτικών <sup>3</sup> πετρωμάτων	άμμος
Viscous suspension	Κυρίως κόκκοι μεμονωμένων ορυκτών οποιουδήποτε πετρώματος	πηλός
κολλοειδές αιώρημα (colloidal suspension)	Μοριακώς διαλύσιμα υλικά	άργιλος

Πίνακας 1.



# Bedload & Suspended load



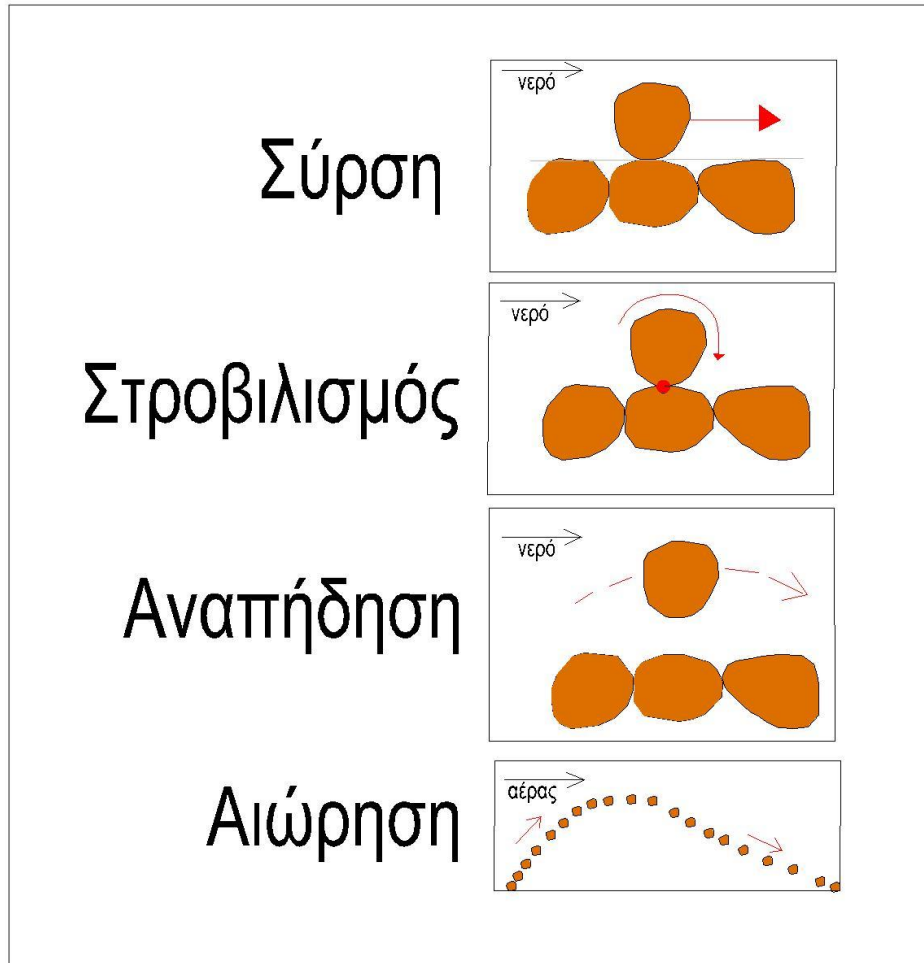
Εικ.2: Διαφορετικοί τύποι ιζηματογενούς φορτίου και θέση τους στην υδάτινη στήλη.



# Στρώμα βάσης & Στρώμα αιώρησης

Η μεταφορά των κόκκων γίνεται με δύο βασικούς τρόπους:

- Με διασπορά μέσα στα ρευστά ως στρώμα αιώρησης (σημαντικό ρόλο παίζει το ιξώδες του ρευστού με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται διαφορές στην μεταφορά στον αέρα και στο νερό).
- Με κίνηση κοντά στον πυθμένα ως στρώμα βάσης (με σύρση, στροβιλισμό, αναπήδηση).



Εικ.5: Τρόπος μεταφοράς κόκκων σε στρώμα βάσης και στρώμα αιώρησης.



# Γραμμική & Τυρβώδης ροή

## Εξίσωση Reynolds

Εξίσωση Reynolds:

$$Re = \frac{ul}{\nu}$$

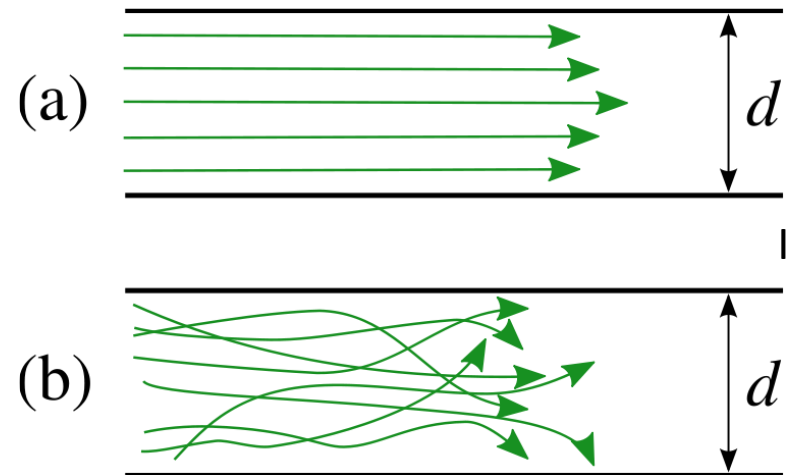
$u$  = ταχύτητα ροής

$l$  = διάμετρος σωλήνα ή βάθος της ροής σε ένα ανοιχτό κανάλι

$\nu$  = ιξώδες

$Re < 500$  Γραμμική ροή

$Re > 2000$  Τυρβώδης ροή



Εικ.3: Γραμμική και τυρβώδης ροή σύμφωνα με τον αριθμό Reynolds.





# Γραμμική & Τυρβώδης ροή

- **Γραμμική** ροή (laminar flow) : Μικρές ταχύτητες, ρηχά νερά (μικρό βάθος)

Π.χ.debris flow, λάβα, πάγος.

- **Τυρβώδης** ροή (turbulent flow): ιξώδες μικρό (αέρας), μεγάλα βάθη, μεγάλη ταχύτητα ροής

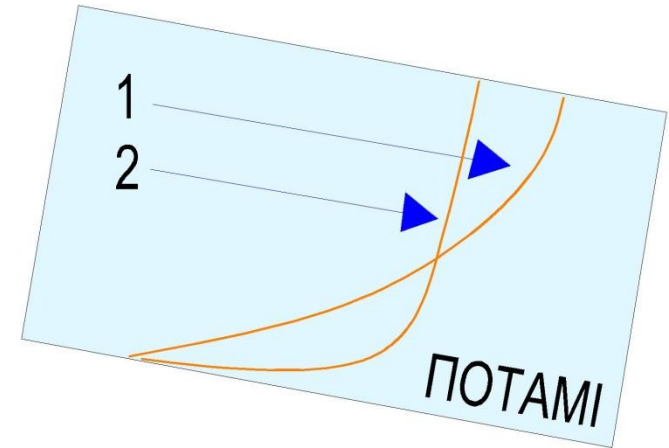


Εικ.4: Παράδειγμα γραμμικής (αριστερά) και τυρβώδους ροής (δεξιά) σε φράγμα.



# Dynamically smooth/rough flow

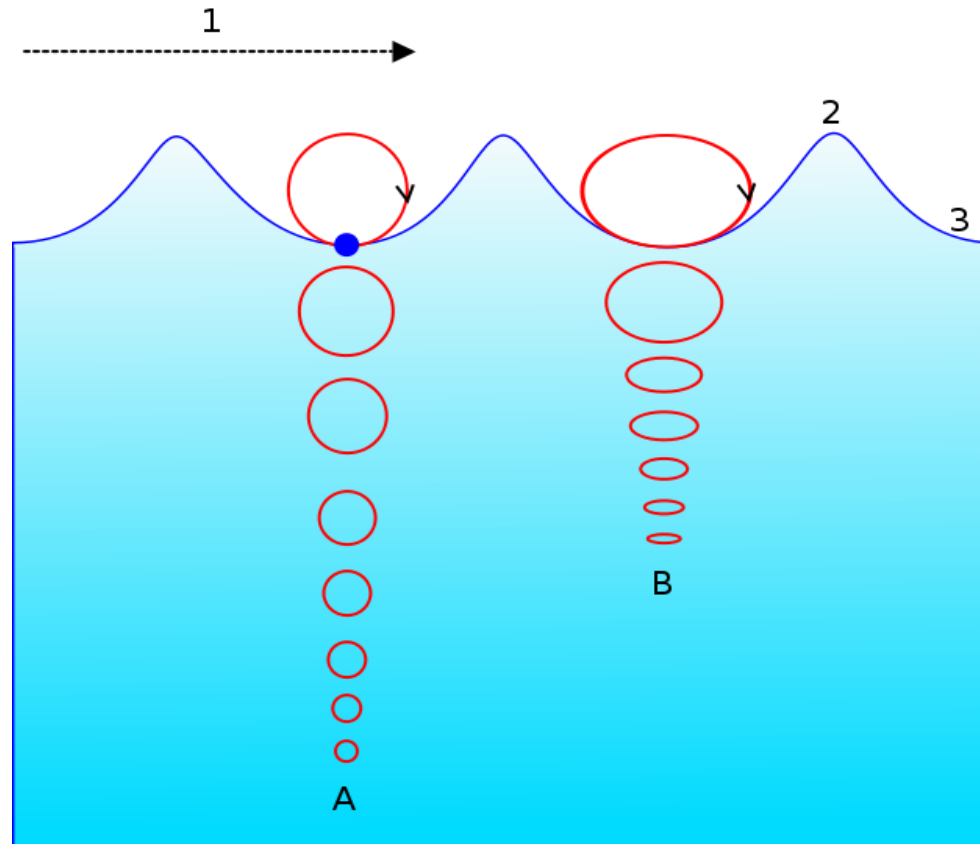
1. Γραμμική ροή ή **Dynamically smooth flow**: Οι κόκκοι βρίσκονται ενσωματωμένοι σε στρώμα που κυριαρχείται από το ιξώδες.
2. Τυρβώδης ροή ή **Dynamically rough flow**: Οι κόκκοι «κολλάνε» στο στρώμα που κυριαρχείται από το ιξώδες.



Εικ.5



# Ταλάντωση σωματιδίου σε κυματισμό



Εικ.6: Κίνηση σωματιδίων σε ωκεάνιο κύμα. A= σε βαθύ περιβάλλον. Η τροχιακή κίνηση των υγρών σωματιδίων μειώνεται γρήγορα με την αύξηση του βάθους κάτω από την επιφάνεια. B=Σε ρηχά περιβάλλοντα (ο βυθός βρίσκεται τώρα στο σημείο B). Η ελλειπτική κίνηση των υγρών σωματιδίων επιπεδοποιείται με την μείωση του βάθους. 1=διεύθυνση διάδοσης 2.κορυφή κύματος 3=χαμηλότερο σημείο κύματος.



# Φαινόμενο Hjulstrom

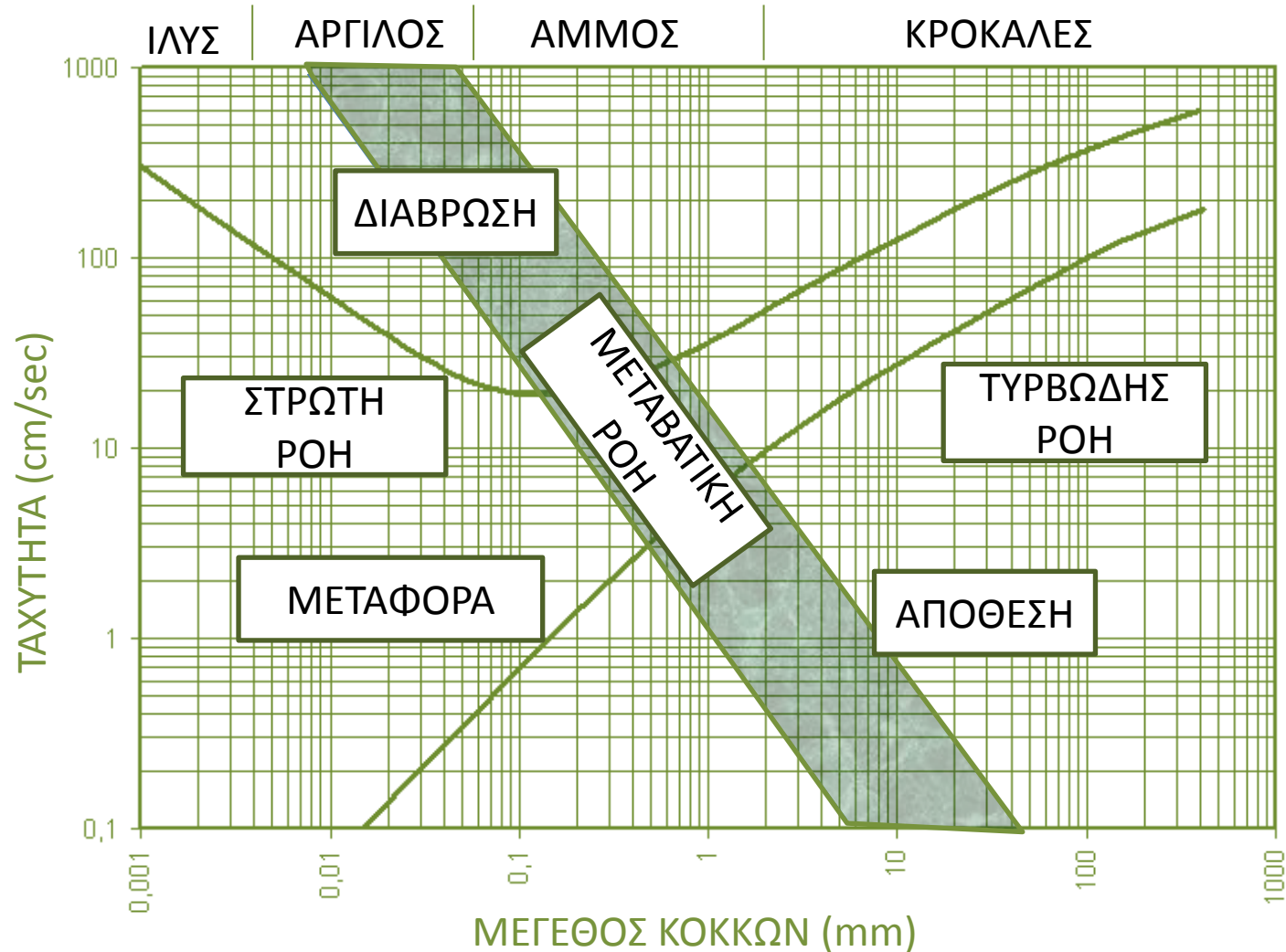
Αλλαγές στην ταχύτητα ροής αποτυπώνονται στο μέγεθος των κόκκων που αποτίθενται:

Κανονικά όσο μικρότερη είναι η ταχύτητα ροής τόσο μικρότεροι είναι οι κόκκοι που μετακινούνται.

Στη φύση όμως αποδείχτηκε ότι οι κόκκοι της άμμου με διάμετρο 0,1-0,5 mm μετακινούνται από ρεύματα μικρότερης ταχύτητας από ότι οι κόκκοι της ιλύος και της αργίλου, που έχουν διάμετρο μικρότερη από 0,1mm (φαινόμενο Hjulstrom).



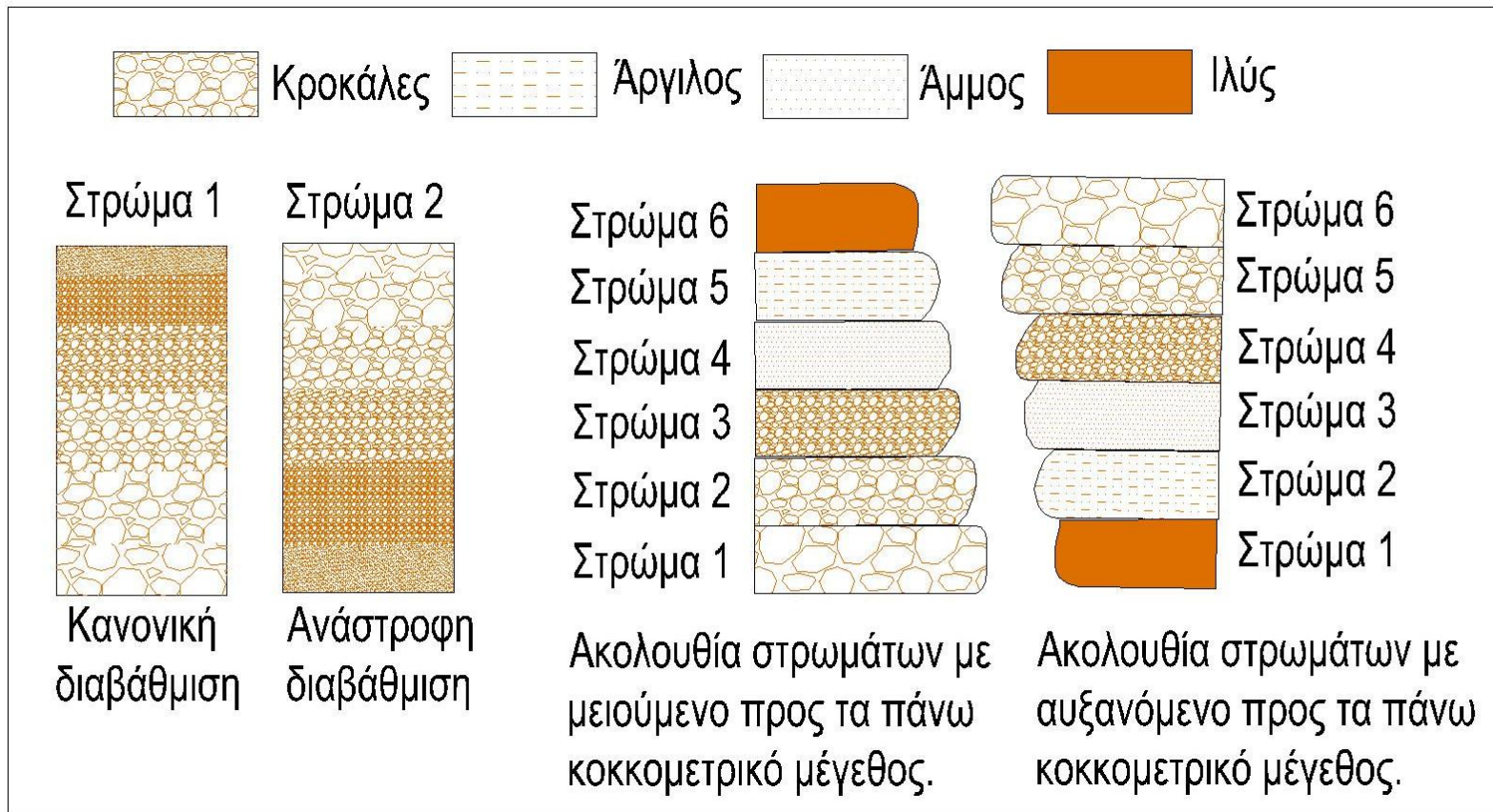
# Μέγεθος κόκκου & ταχύτητα μεταφοράς



Εικ.7: Τροποποιημένο διάγραμμα του Hjulstrom (Potter et al., 1980).



# Κανονική & Ανάστροφη διαβάθμιση



Εικόνα 8: Κανονική Διαβάθμιση (normal graded): μείωση ταχύτητας.

Ανάστροφη Διαβάθμιση (reverse graded): αύξηση της ταχύτητας.





# Μέγεθος κόκκου και μεταφορά

## 1

1. Γενικά οι ψηφίτες που μεταφέρονται από τα ποτάμια εμφανίζουν μια ελάττωση του κοκκομετρικού μεγέθους κατά τη διεύθυνση της ροής.
2. Οι γωνίες και οι επιφάνειες των μεγαλύτερων θραυσμάτων αποστρογγυλώνονται και λειαίνονται.
3. Διαδικασίες μείωσης του μεγέθους: η διάλυση (solution), η φθορά (attrition), η σμίλευση (chipping) και το σχίσσιμο (splitting).
4. Αποτέλεσμα των διαδικασιών ελαττώσεως του μεγέθους πάνω στις κοκκομετρικές παραμέτρους μέσω του φαινομένου της τριβής είναι η βαθμιαία ταξιθέτηση (porogressive sorting).



# Μέγεθος κόκκου και μεταφορά

## 2

5. Η ελάττωση του μεγέθους των ψηφιδών από την “abrasion” και οι σχετικές διαδικασίες είναι μια συνάρτηση του μεγέθους του υλικού, της φύσης του υλικού, της φύσης και της έντασης της δράσης της “abrasion” (rigor), του μεγέθους και των σχετικών ποσοτήτων των συντροφευμένων υλικών, της φύσης του υλικού που επικαλύπτει τη κοίτη του ποταμού (bed material) (άμμος ή ψηφίτης) πάνω από το οποίο κινείται ο ψηφίτης και της διάρκειας ή της απόστασης που συνδέεται με την δράση της “abrasion”.
6. Η κοκκομετρική κατανομή είναι ένα προϊόν υδραυλικής δράσης παρά της “abrasion” και γενικά το σημερινό μέγεθος είναι κληρονομιά από το μητρικό πέτρωμα ή είναι ένα προϊόν της αποπέτρωσης του πετρώματος και δεν είναι το αποτέλεσμα του μεταφορικού μέσου.





# Μέγεθος κόκκου και μεταφορά

## 3

- Για να επιτευχθεί, μια βαθμιαία ταξιθέτηση πρέπει να συντελέσει η ελάττωση της κλίσης και η ελάττωση της ταχύτητας ροής.
- Ο μηχανισμός στην δεύτερη περίπτωση έχει ως εξής: κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων οι κροκάλες όλων των μεγεθών τείνουν να μετακινηθούν. Στις περιόδους περιορισμένων βροχοπτώσεων μετακινούνται κυρίως οι μικρότερες κροκάλες οπότε παραμένουν οι μεγαλύτερες. Έτσι δημιουργείται μια συστηματική σμίκρυνση του μεγέθους των κροκαλών με κατεύθυνση προς τις εκβολές του ποταμού.
- Η βαθμιαία ταξιθέτηση (progressive sorting) καλύπτει τις διαδικασίες τριβής και καθιστά αβέβαιη την επίδρασή τους πάνω στην κοκκομετρική κατανομή.



# Μέγεθος κόκκου και μεταφορά

## 4

- Οι κερατόλιθοι, οι χαλαζίτες και οι φλέβες του χαλαζία είναι σαν υλικά ισχυρώς ανθιστάμενα στην τριβή, τα μεταμορφωμένα είναι λιγότερο ανθιστάμενα ενώ τέλος οι ασβεστόλιθοι και οι εύθρυπτοι ψαμμίτες είναι σαν υλικά ελάχιστα ανθεκτικά στην τριβή (Plumley 1948, Kuennen 1956)
- Η ένταση της τριβής (rigor) είναι επίσης ένας σπουδαίος παράγοντας. Ο ρυθμός της απώλειας του βάρους φαίνεται να αυξάνεται με την αύξηση της έντασης της τριβής. Πειράματα του Kuennen (1956) έδειξαν ότι η “abrasion” είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας.



# Κοκκομετρικό μέγεθος & Διαδικασίες απόθεσης 1

- Οι πιο πολλές κοκκομετρικές κατανομές είναι μείγμα δυο ή τριών υποπληθυσμών κόκκων που σχετίζονται με διαφορετικούς τύπους (τρόπους) μεταφοράς του ιζήματος και η ερμηνεία των κοκκομετρικών καμπυλών είναι ένα πρόβλημα προσδιορισμού και συσχέτισης αυτών των υποπληθυσμών με ειδικές υδροδυναμικές διαδικασίες.
- Οι απόψεις αυτές εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά στα χονδρόκοκκα ιζήματα των ποταμών. Η ύπαρξη δυο τύπων (Modes) είναι ειδικά συνηθισμένη σ' αυτά τα ιζήματα. Από την άλλη πλευρά οι άμμοι τείνουν να έχουν ένα μοναδικό τύπο (Mode).



# Κοκκομετρικό μέγεθος & Διαδικασίες απόθεσης 2

- Ο Fraser (1935) σκέφτηκε ότι η ταυτόχρονη απόθεση λιθαριών (cobbles) και λεπτόκοκκης άμμου ήταν απίθανη και έδειξε ότι η ταχύτητα ενός ρεύματος που μεταφέρει ένα λιθάρι (cobble) 25 cm θα πρέπει να μειωθεί κατά 60% πριν ώστε 1mm μέγεθος κλαστικό υλικό μπορεί να αποτεθεί. Τέτοιες, όμως, έντονες αλλαγές στη ταχύτητα σκέφτηκε ότι πρέπει να είναι απίθανες και πίστεψε ότι σε κάποια δοσμένη στιγμή ένα ποτάμι αποθέτει μόνο ένα πολύ περιορισμένου εύρους σε διάμετρο υλικό και ότι τα λεπτότερα μεγέθη ανάμεσα στους ψηφίτες θα βρεθούν σαν το αποτέλεσμα μιας μετέπειτα διήθησης (διείσδυσης).



# Κοκκομετρικό μέγεθος & Διαδικασίες απόθεσης 3

- Η βασική μελέτη στα πρόσφατα χρόνια που περιλαμβάνει (συμπλέκει) τους υποπληθυσμούς με τις υδροδυναμικές συνθήκες είναι αυτή του Visher (1969). Αυτός υποθέτει ότι οι κοκκομετρικές καμπύλες όλων των κλαστικών ιζημάτων αποτελούνται από τρεις βασικούς πληθυσμούς, πληθυσμούς που ταυτίζονται αντίστοιχα με τη μεταφορά σύρσεως (traction), αναπηδήσεως (saltation) και αιωρήσεως (suspension).



# Κοκκομετρικές κατανομές & Περιβαλλοντική ανάλυση

## 1

- Ο Udden πίστεψε ότι η κοκκομετρική καμπύλη ενός ιζήματος ελέγχεται από τις υδροδυναμικές συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια αποθέσεως ενός κλαστικού ιζήματος. Ως εκ τούτου αν παλαιά ιζήματα αποτέθηκαν κάτω από συνθήκες όμοιες προς εκείνες που σήμερα σχηματίζουν, τότε η μελέτη προσφάτων ιζημάτων μπορεί να αποκαλύψει τα κοκκομετρικά χαρακτηριστικά τους τα οποία με τη σειρά τους μπορούν να αποκρυπτογραφήσουν την γέννηση των παλαιών ιζημάτων.
- Η εξέταση ιστογραμμάτων του Wentworth έδειξαν ότι οι γραφικές απεικονίσεις των ιζημάτων από διαφορετικά περιβάλλοντα είναι διαφορετικές.



# Κοκκομετρικές κατανομές & Περιβαλλοντική ανάλυση

## 2

- Ο Friedman προσπάθησε να ξεχωρίσει την άμμο ακτής (beach sand) από την άμμο ποταμού (river sand) προβάλλοντας την ασυμμετρία (skewness) με την σταθερή απόκλιση (standard deviation). Μια ανάλογη προσέγγιση από τον Moiola και Weiser (1968) στήριξε τα συμπεράσματα του Friedman.
- ο Passega προβάλλει το 1% εκατοστημόριο (1 percentile) (C) (ουσιαστικά το ποσοστό επί της % της μεγαλύτερης τιμής της διαμέτρου) με τον αριθμητικό μέσο (M) (Mean size). Το διάγραμμα (CM) εκφράζει το μέσον απόθεσης ή τη διαδικασία απόθεσης. Ο Passega π.χ. πίστευε ότι το (CM) διάγραμμα διαχωρίζεται μεταξύ τουρβιδικής και συνηθισμένης ρευματικής δράσης.



# Κοκκομετρικές κατανομές & Περιβαλλοντική ανάλυση

## 3

Η επίδραση της πηγής τροφοδοσίας (που προσδιορίζει τα κοκκομετρικά χαρακτηριστικά του ιζήματος που μπαίνει στο περιβάλλον) ίσως να μην έχει κατανοηθεί πλήρως. Και η ίδια η υδροδυναμική διαδικασία μπορεί να λειτουργεί σε περισσότερα από ένα περιβάλλοντα. **Με άλλα λόγια ένα υδροδυναμικό περιβάλλον (που το εκφράζει πιθανά η κοκκομετρική καμπύλη) μπορεί να μην συμπίπτει (να μην συμφωνεί) με το περιβάλλον όπως αυτό συνήθως προσδιορίζεται σε γεωμορφικούς όρους (και το οποίο προσπαθούμε να ταυτοποιήσουμε με την κοκκομετρική καμπύλη).**





Τέλος Ενότητας

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Αβραμίδης Παύλος. «Ιζηματολογία,  
Ενότητα 5: Μηχανισμοί μεταφοράς ιζημάτων». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015.  
Διαθέσιμο από τη δικτυακή  
διεύθυνση:<https://eclass.upatras.gr/courses/GEO337/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως Μη Εμπορική ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/1)

Εικόνα 2: [https://en.wikipedia.org/wiki/Sediment\\_transport](https://en.wikipedia.org/wiki/Sediment_transport)

Εικόνα 3:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laminar\\_and\\_turbulent\\_flows.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laminar_and_turbulent_flows.svg)

Εικόνα 4:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laminar\\_and\\_turbulent\\_flows\\_at\\_the\\_Noisiel\\_dam.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laminar_and_turbulent_flows_at_the_Noisiel_dam.jpg)

Εικόνα 6: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wave\\_power](https://en.wikipedia.org/wiki/Wave_power)

Εικόνα 7: Τροποποιημένο από

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hjulstr%C3%B6ms\\_diagram\\_en.PNG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hjulstr%C3%B6ms_diagram_en.PNG)

Οι εικόνες και οι πίνακες για τα οποία δεν υπάρχει αναφορά είναι ιδιοκτησία του συγγραφέα.

