

ΠΜΣ «Διαχείριση Υδρομετεωρολογικών Καταστροφών»

**ΡΟΕΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ
ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ: ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΕΥΠΑΘΕΙΑΣ ΚΑΙ
ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

Διάλεξη 1

Κατολισθήσεις, Ροές Συντριμμιών, Ποτάμια Υδραυλική

Καθηγητής ΔΠΘ Γεώργιος Συλαίος

Τηλέφωνο 25410 79398, Mail: gsylaios@env.duth.gr ή skype: gsylaios

Δομή Μαθήματος 19/3/2022

- Πετρολογικός Κύκλος
- Κατολισθήσεις
- Τύποι Κατολισθήσεων
- Παράγοντες που συμβάλουν στην δημιουργία κατολισθήσεων
- Ροές συντριμμιών
- Στοιχεία ποτάμιας υδραυλικής

- Κατακρημνίσματα, τρόποι μέτρησης, βάσεις δεδομένων

Δομή Μαθήματος 01/4/2022

- Εισαγωγή στην γλώσσα προγραμματισμού R
- Ανάλυση βροχομετρικών δεδομένων με την γλώσσα προγραμματισμού R
- Το πακέτο hydroTSM

- Κύματα, κυματικές μετρήσεις, ανάλυση ακραίων τιμών και κυματικά φάσματα

Δομή Μαθήματος 3/4/2022

- Βάσεις δεδομένων συστήματος Copernicus
- Βάση υδρολογικών δεδομένων SMHI
- Βάση δορυφορικών δεδομένων erddap
- Σύστημα θαλάσσιων δεδομένων EMODnet
- Πλατφόρμα Marinomica

Φυσικές καταστροφές και επικινδυνότητα

Ως **Φυσική Επικινδυνότητα** (Natural Hazard) ορίζεται ένα φυσικό καταστροφικό φαινόμενο που είναι δυνατόν να συμβεί σε μία δεδομένη περιοχή σε κάποια χρονική στιγμή.

Οι φυσικές επικινδυνότητες μετατρέπονται πολλές φορές λόγω συνθηκών και παραγόντων σε **φυσικές καταστροφές**.

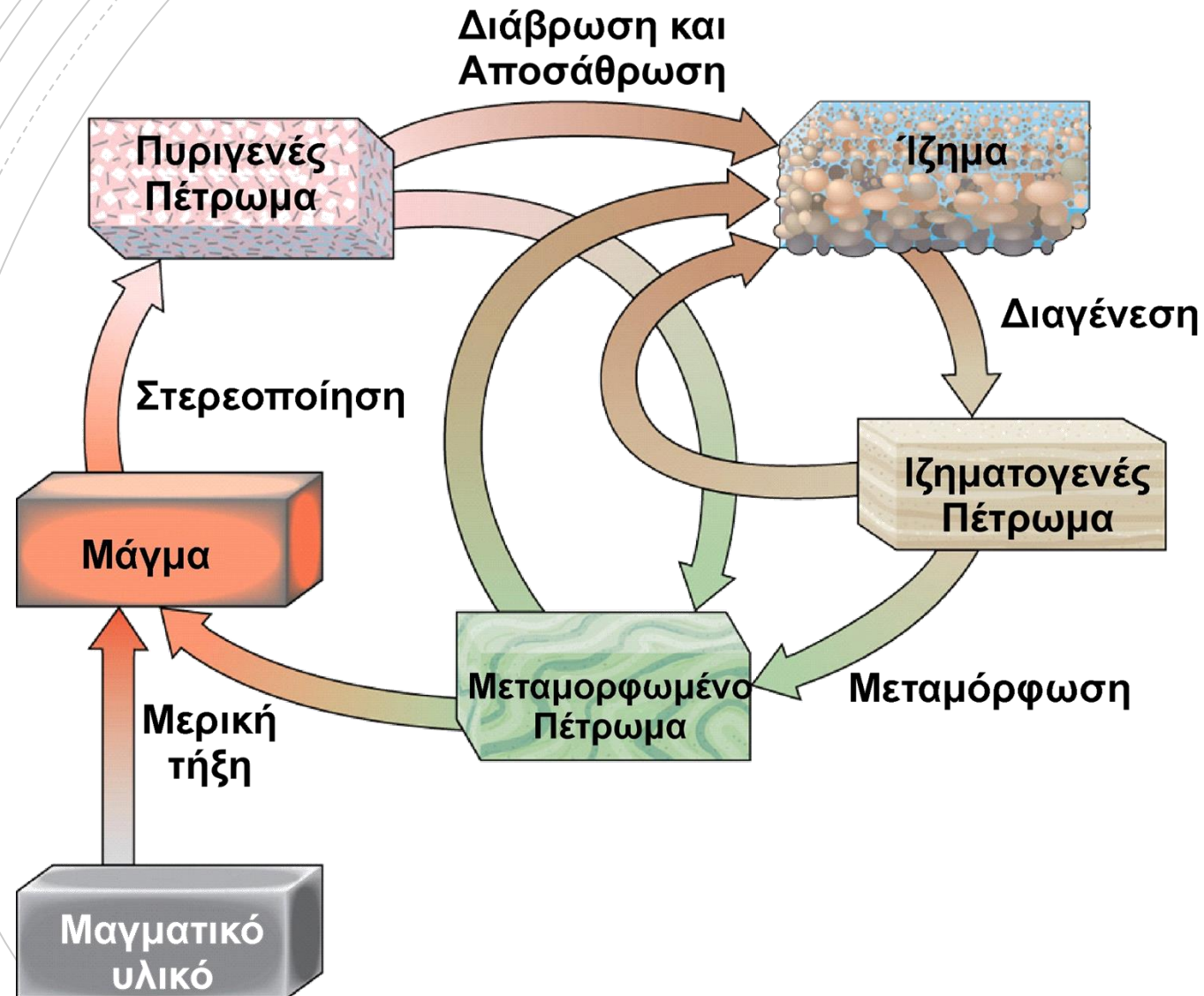
Άρα, η Επικινδυνότητα εκφράζει ένα πιθανό φυσικό καταστροφικό γεγονός, φαινόμενο ή ανθρώπινη δραστηριότητα, το οποίο είναι πιθανόν να προκαλέσει απώλειες ζωών ή περιουσίας, κοινωνικές ή οικονομικές αναταραχές ή/και περιβαλλοντική υποβάθμιση.

Υδρομετεωρολογικές επικινδυνότητες είναι φυσικές διεργασίες που συνδέονται με φαινόμενα της ατμόσφαιρας, υδρολογικής ή ωκεανογραφικής φύσεως (π.χ., πλημμύρες, κυκλώνες, καταιγίδες, ξηρασία, ερημοποίηση, πυρκαγιές, χιονοστιβάδες).

Γεωλογικές επικινδυνότητες είναι φυσικές διεργασίες που συνδέονται με φαινόμενα ενδογενούς προέλευσης ή τεκτονικής ή εξωγενούς προέλευσης (π.χ., σεισμοί, τσουνάμι, ηφαίστεια, κατολισθήσεις, υποθαλάσσιες ολισθήσεις, τεκτονισμός).

Βιολογικές επικινδυνότητες είναι φυσικές διεργασίες που συνδέονται με φαινόμενα βιολογικής προέλευσης και βιολογικούς παράγοντες, περιλαμβάνοντας έκθεση σε παθογόνους μικροοργανισμούς, τοξίνες και βιοενεργές ουσίες (π.χ., επιδημίες, φυτικές ή ζωϊκές μολύνσεις).

Πετρώματα – Πετρολογικός Κύκλος



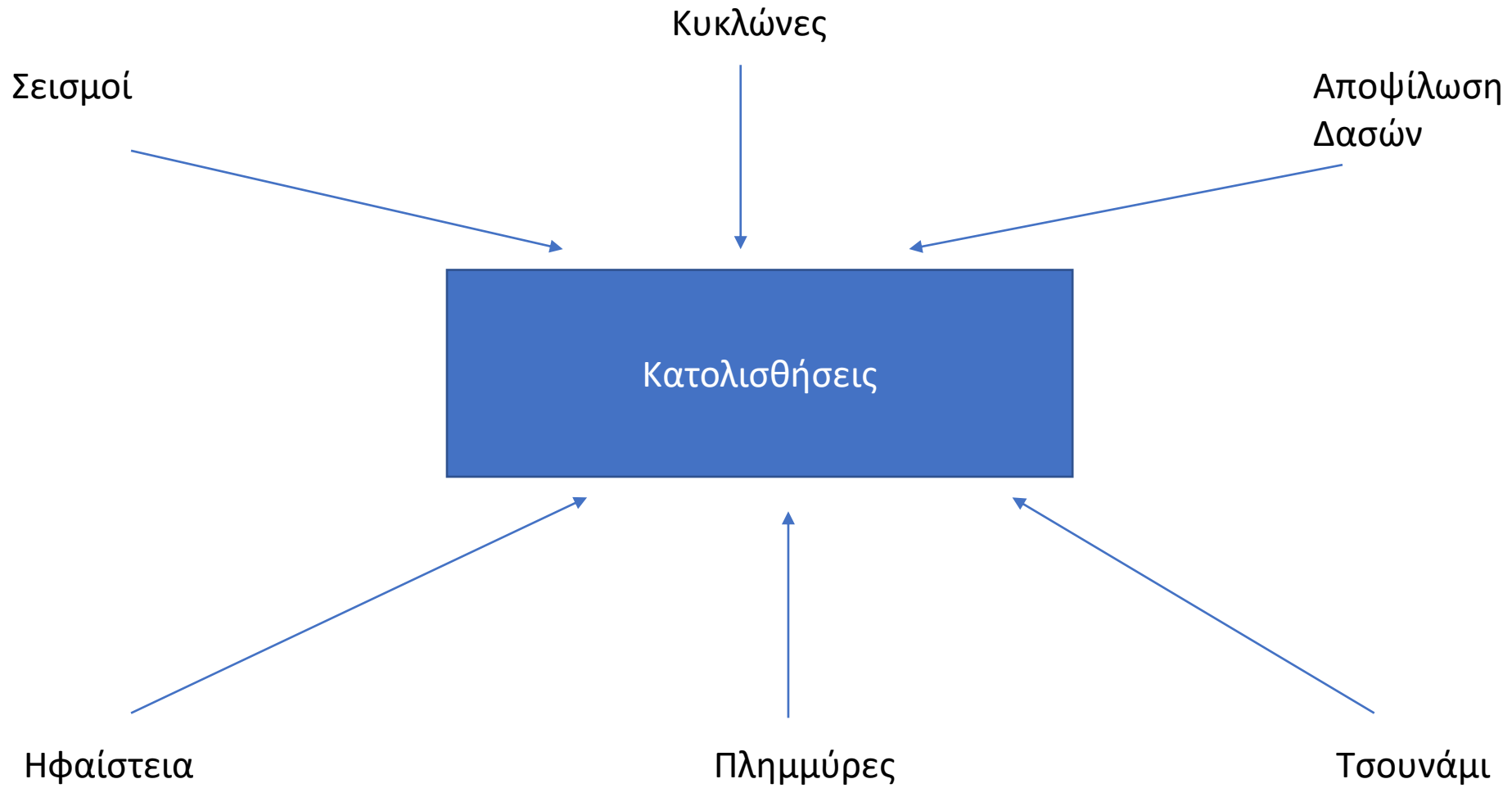
Κατολίσθηση (landslide)

Είναι κάθε αλλαγή, μικρή ή μεγάλη της κλίσης ενός φυσικά ή τεχνητά διαμορφωμένου πρανού που συνοδεύεται από μετακίνηση υλικού, ρήξη ή όχι της συνέχειας του πρανού – αργή ή ξαφνική – λόγω δυνάμεων βαρύτητας.

Συνήθως ως κατολίσθηση ορίζεται η κίνηση μίας μάζας βράχου, εδάφους ή κορημάτων προς τα κατόντη ενός πρανού.

Οι κατολισθήσεις χαρακτηρίζονται ως δευτερογενής φυσική επικινδυνότητα λόγω της εμφάνισής τους μετά από άλλες φυσικές καταστροφές, όπως σεισμοί, κυκλώνες, ηφαιστειακές εκρήξεις, αποψίλωση δασών, κλπ.





Χώρες Ειρηνικού → 90% των επιπτώσεων από κατολισθήσεις σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο, υπό ακραία κλιματικά φαινόμενα, έντονη αστικοποίηση, αλλαγές στην χρήση γης και πληθυσμιακή έκρηξη.

Κλιματικές συνθήκες → διαμορφώνουν συνθήκες ευστάθειας φυσικών και τεχνητών πρανών.
Ακραίες βροχοπτώσεις → αύξηση κατολισθήσεων



Τύποι Κατολισθήσεων

Οι κατολισθήσεις ταξινομούνται ανάλογα με

(α) τον τύπο της μετακίνησης του υλικού

(β) το είδος και τον τύπο του υλικού

Ως προς τον τύπο μετακίνησης υλικού οι κατολισθήσεις διακρίνονται σε:

- καταπτώσεις,
- ανατροπές,
- Ολισθήσεις,
- Πλευρικές εξαπλώσεις και ροές,
- Σύνθετες μετακινήσεις με περισσότερους του ενός τύπους κίνησης

Ως προς το είδος και τον τύπο του υλικού οι κατολισθήσεις διακρίνονται σε:

- Κατολισθήσεις σε βραχώδες υπόβαθρο
- Κατολισθήσεις σε εδαφικούς σχηματισμούς, γαίες και κορήματα

Καταπτώσεις

Στις καταπτώσεις, μία μάζα πετρώματος οποιουδήποτε μεγέθους αποκολλάται από το πρανές κατά μήκος μία επιφάνειας χωρίς ή με ελάχιστη διατμητική μετατόπιση.

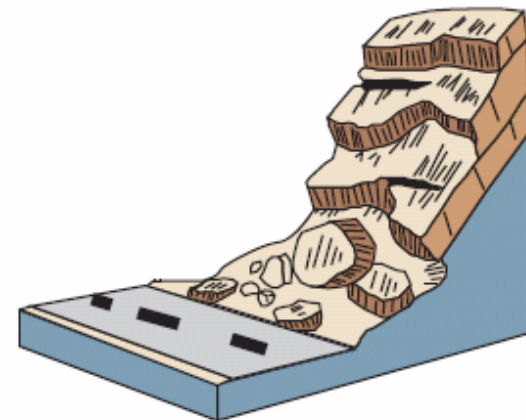
Η πτώση γίνεται ελεύθερα με ολίσθηση, αναπήδηση ή κύλιση.

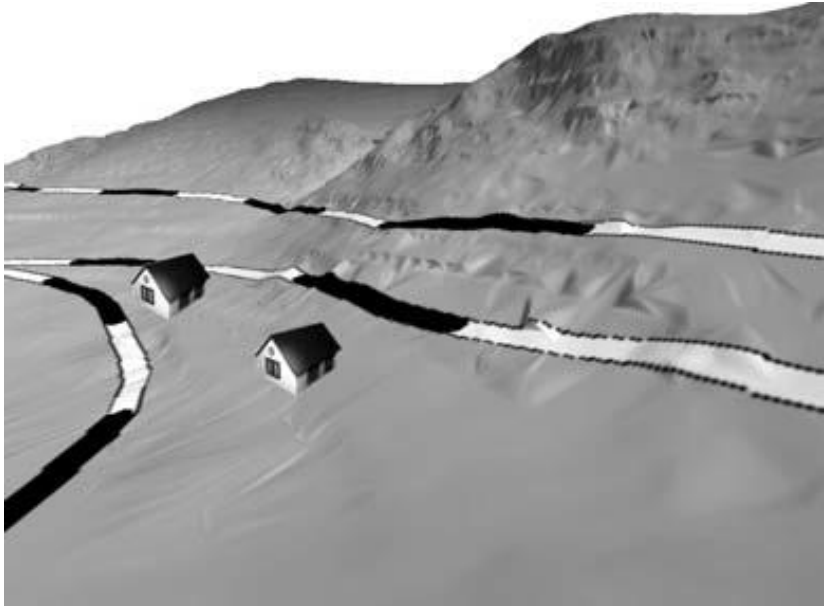
Καταπτώσεις συμβαίνουν σε απότομα πρανή τα οποία υποσκάπτονται από την ενέργεια της ποτάμιας απορροής ή την δράση των κυμάτων ή ανθρώπινη παρέμβαση.

Ελεύθερη πτώση βράχων συμβαίνει σε πρανή με κλίση μεγαλύτερη από 4:1 δηλ. 76°

Αναπήδηση βράχων συμβαίνει σε πρανή μικρότερης κλίσης, και ίσως θραύση σε μικρότερα τεμάχια

Κύλιση βράχων συμβαίνει σε πρανή με κλίση μικρότερη των 45°



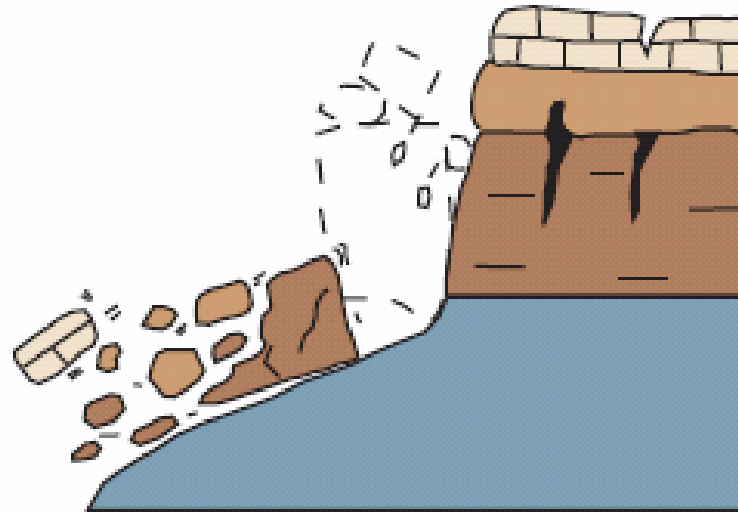




Ανατροπές

Οι ανατροπές είναι παρόμοιες με τις καταπτώσεις με την διαφορά ότι σε αυτές γίνεται περιστροφή της αποσπώμενης μάζας γύρω από σημείο ή άξονα περιστροφής που βρίσκεται χαμηλότερα από το κέντρο βάρους της μετακινούμενης μάζας.

Προκαλείται από δυνάμεις που ασκούνται από γειτονικά τεμάχια, την επίδραση του νερού και την παρουσία ρωγμών και ασυνεχειών.



Ολισθήσεις

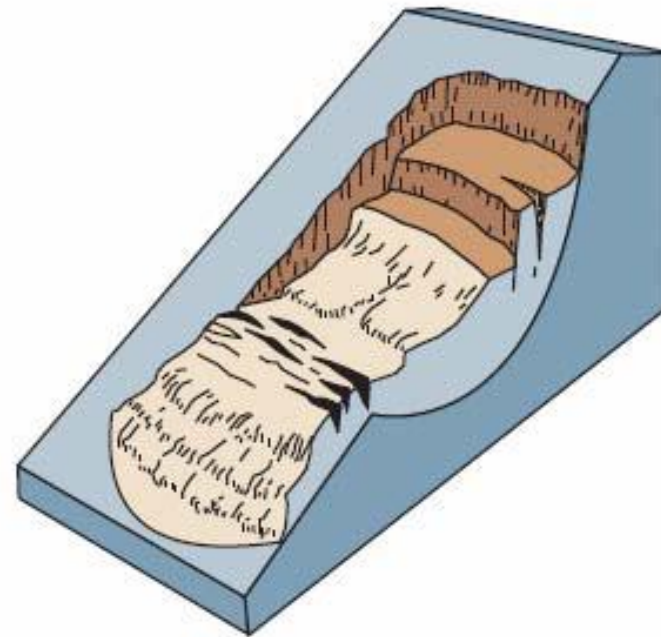
Η μετακίνηση προϋποθέτει διατμητική παραμόρφωση και μετατόπιση – θραύση του γεωυλικού κατά μήκος ενός ή περισσοτέρων επιφανειών.

Η διατμητική τάση μπορεί να μην ασκείται παντού ταυτόχρονα αλλά να είναι προοδευτική.

Όταν αποκολληθεί η μάζα, ολισθαίνει πάνω στο κατάντη πρανές.

Οι ολισθήσεις διακρίνονται σε

- Περιστροφικές ολισθήσεις, και
- Μεταθετικές ολισθήσεις

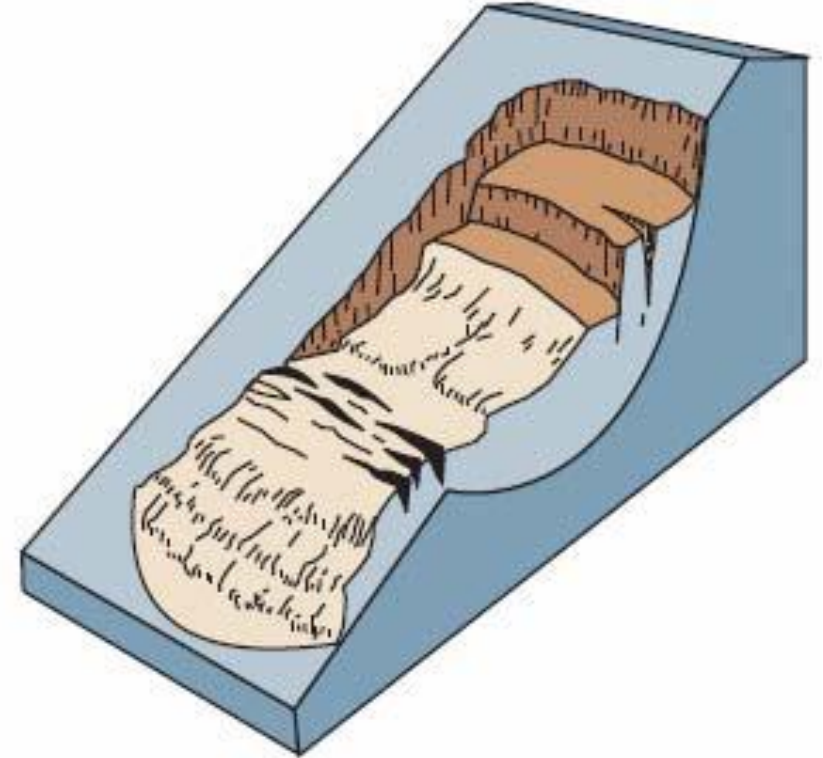


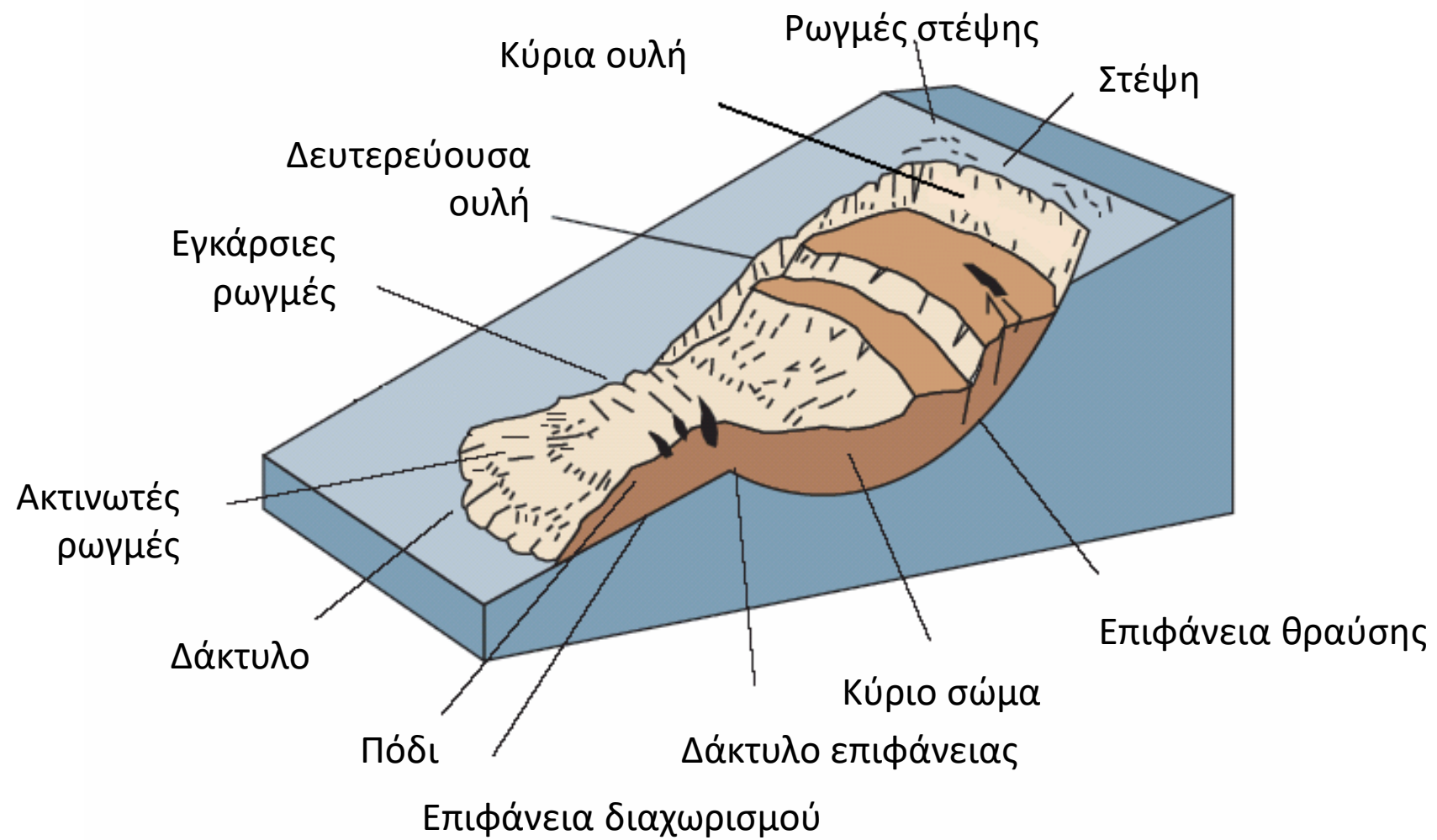
Περιστροφικές Ολισθήσεις

Γίνονται κατά μήκος μία κοίλης προς τα επάνω επιφάνειας με μικρή παραμόρφωση στο εσωτερικό της μετακινούμενης μάζας.

Το ανώτερο τμήμα κινείται σχεδόν κατακόρυφα προς τα κάτω με μικρή κάμψη προς τα πίσω, ενώ στην βάση παρατηρείται ελαφρά ανύψωση.

Πρόκειται για ολίσθηση ή μετακίνηση κατά μήκος μιας ή περισσοτέρων επιφανειών θραύσης. Η πιο συνηθισμένη μορφή περιστροφικής ολίσθησης είναι η κάθιση (slump) με μικρή παραμόρφωση, η οποία αποτελεί ίσως και το μεγαλύτερο ποσοστό αστοχιών που συναντάται σε φυσικά ή τεχνητά πρανή.





Μεταθετικές Ολισθήσεις

Η μάζα του πρανούς που αποσπάται μετακινείται προς τα κάτω κατά μήκος μίας επίπεδης ή κυματοειδούς επιφάνειας με πολύ μικρή ή καθόλου περιστροφή.

Η διάκριση ανάμεσα στην μεταθετική ολίσθηση από την περιστροφική ολίσθηση είναι σημαντικής σημασίας για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Στην περιστροφική ολίσθηση υπάρχει μία εγγενής τάση αποκατάστασης της ισορροπίας στο πρανές.

Αντίθετα, στην μεταθετική ολίσθηση το φαινόμενο μπορεί να εξελίσσεται απεριόριστα, ιδίως όταν η επιφάνεια ολίσθησης έχει σημαντική κλίση.

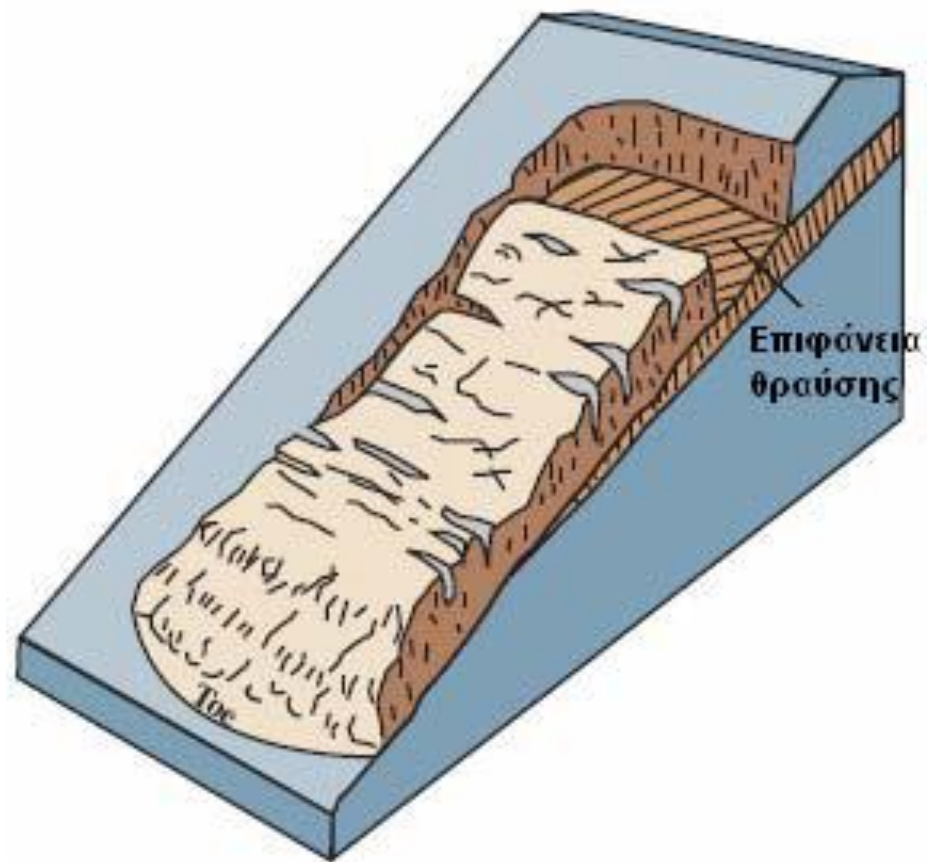
Η κίνηση προκαλείται όταν η διατμητική τάση κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης είναι υψηλότερη της διατμητικής αντίστασης.

Η ολισθαίνουσα μάζα μπορεί να παραμορφωθεί έντονα και να χωριστεί σε ανεξάρτητες μονάδες, ιδιαίτερα καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε νερό → **εδαφική ροή**

Μεταθετικές Ολισθήσεις

Οι μεταθετικές ολισθήσεις είναι γενικά πιο αβαθείς από τις περιστροφικές.

Το μήκος ολίσθησης υπερβαίνει το 10πλάσιο του βάθους ολίσθησης.



Ροές και Ερπυσμοί

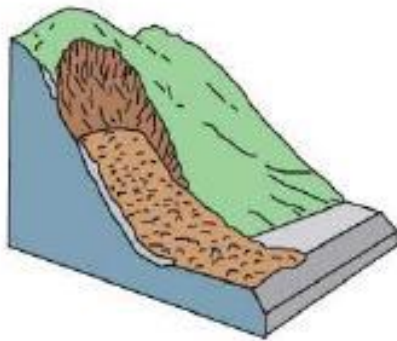
Όταν η περιεκτικότητα των γεωλογικών σχηματισμών που ολισθαίνουν υπερβαίνει το 50% σε άμμο, άργιλο και ιλύ, και το ποσοστό νερού είναι υψηλό, τότε η ολίσθηση γίνεται σχετικά γρήγορα.

Οι ροές και οι ερπυσμοί δημιουργούνται μετά από ασυνήθιστα υψηλές και μεγάλης έντασης βροχοπτώσεις ή απότομο λιώσιμο χιονιού.

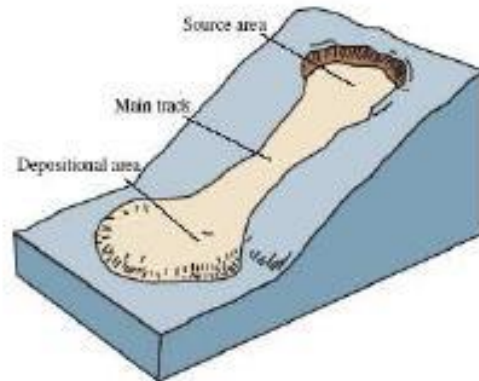
Ευνοούνται σε πρανή μεγάλης κλίσης χωρίς φυτοκάλυψη.

Το υλικό ολίσθησης ρευστοποιείται και προσομοιάζει με **ροή εδάφους**.

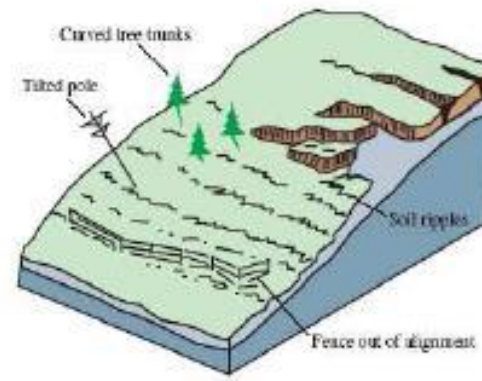
Σε αργιλικό υλικό ή αποσαθρωμένους αργιλικούς σχιστόλιθους, ακόμη και σε μέτριες κλίσεις και με χαμηλότερη εδαφική υγρασία είναι δυνατή η ολίσθηση πρανούς → βραδύτερες και πιο ξηρές ροές → **ερπυσμοί**



**ΧΙΟΝΟΣΤΟΙΒΑΔΑ
ΑΠΟΣΑΘΡΩΜΑΤΩΝ**



ΡΟΗ ΓΑΙΩΝ



ΕΡΠΥΣΜΟΣ

Πίνακας 1.1.1: Ταξινόμηση κατολισθήσεων σύμφωνα με το είδος της μετακίνησης του υλικού. των πρανών (κατά Varnes, in Schuster- Krizek ed, 1978).

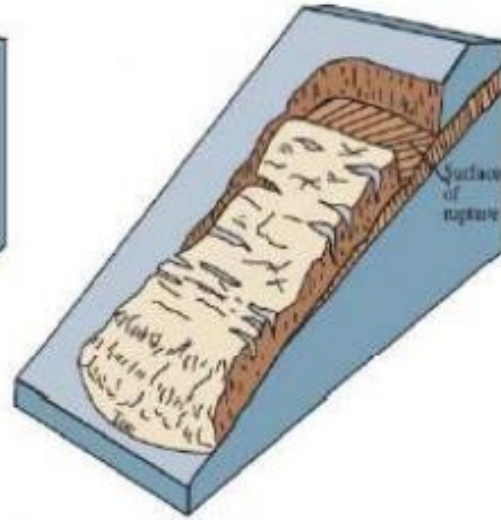
Τύπος κίνησης		Τύπος μετακινούμενου υλικού		
		Βραχώδεις υποβάθρο	Μηχανικά εδάφη	
			Χονδρόκοκκα	Λεπτόκοκκα
Κατάπτωση		Κατάπτωση βράχων	Κατάπτωση κορημάτων	Κατάπτωση γαιών
Ανατροπή		Ανατροπή βράχων	Ανατροπή κορημάτων	Ανατροπή γαιών
Ολίσθηση	Περιστροφική	Περιστροφική ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου	Περιστροφική ολίσθηση κορημάτων	Περιστροφική ολίσθηση γαιών
	Μεταθετική	Μεταθετική ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου	Μεταθετική ολίσθηση κορημάτων	Μεταθετική ολίσθηση γαιών
Πλευρική Εξάπλωση		Πλευρική εξάπλωση βραχώδους υποβάθρου	Πλευρική εξάπλωση κορημάτων	Πλευρική εξάπλωση γαιών
Ροή		Ροή βραχώδους υποβάθρου (ερπυσμός)	Ροή κορημάτων	Ροή γαιών
			(ερπυσμός εδάφους)	
Σύνθετη		Συνδυασμός δύο ή περισσότερων τύπων		

*χονδρόκοκκα κορήματα (bebris) 20-80% >2mm (χαλίκια, κροκάλες, λατύπες, ογκόλιθοι),

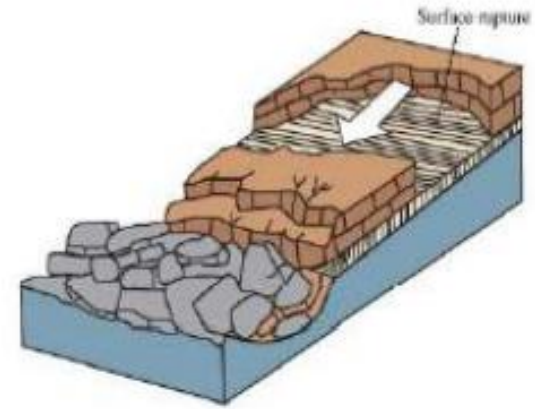
*λεπτόκοκκα Γαίες (earth)>80% >2 mm (αμμος, ιλύς, άργιλος).



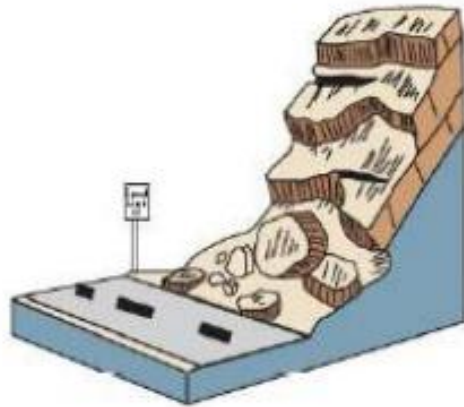
ΠΕΡΟΣΤΡΟΦΙΚΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ



ΜΕΤΑΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ



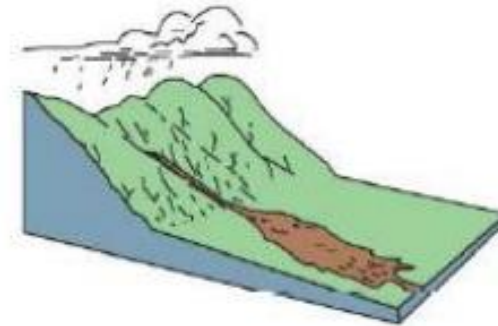
ΟΛΙΣΘΗΣΗ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΩΝ



ΠΤΩΣΕΙΣ ΒΡΑΧΩΝ



ΑΝΑΤΡΟΠΗ



ΔΕΒΡΙΤΙΚΗ ΡΟΗ

Ροή συντριμμιών

Οι ροές συντριμμιών είναι γεωλογικά φαινόμενα στα οποία μάζες γεμάτες με νερό και κατακερματισμένοι βράχοι ορμούν στις πλαγιές των βουνών, διοχετεύονται σε κανάλια ρεμάτων, συμπαρασύρουν αντικείμενα στα μονοπάτια τους και σχηματίζουν πυκνές, λασπώδεις αποθέσεις.

Έχουν:

- Υψηλές πυκνότητες όγκου παρόμοιες με τις χιονοστιβάδες (περίπου 2000 κιλά ανά κυβικό μέτρο),
- Εκτεταμένη υγροποίηση ιζημάτων
- Υψηλές πιέσεις πόρων-ρευστού
- Μπορούν να ρέουν σχεδόν τόσο ρευστά όσο το νερό.

Οι ροές συντριμμιών που κατεβαίνουν από απότομα κανάλια συνήθως επιτυγχάνουν ταχύτητες που ξεπερνούν τα 10 m/s

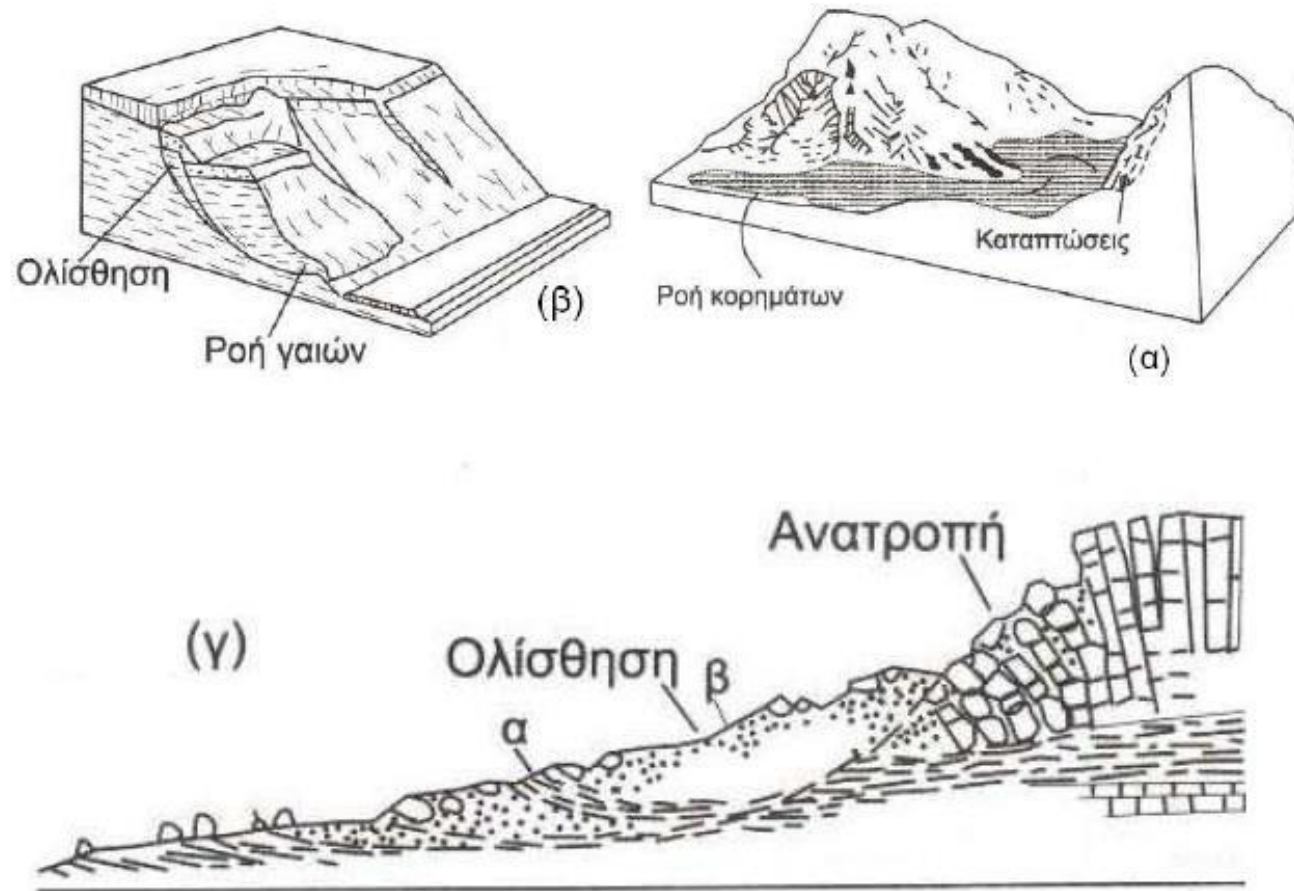
Ροές συντριμμιών με όγκους που κυμαίνονται μέχρι περίπου 100.000 κυβικά μέτρα εμφανίζονται συχνά σε ορεινές περιοχές σε όλο τον κόσμο.

Ως αποτέλεσμα των υψηλών συγκεντρώσεων ιζημάτων και της κινητικότητάς τους, οι ροές συντριμμιών μπορεί να είναι πολύ καταστροφικές.

Ροή συντριμμιών

Αξιοσημείωτες καταστροφές ροής συντριμμιών:

- 20.000 θανάτους στο Armero της Κολομβίας το 1985
- >10.000 θάνατοι στην Πολιτεία Βάργκας της Βενεζουέλας το 1999.



Οι ροές υπολειμμάτων έχουν ογκομετρικές συγκεντρώσεις ιζημάτων που υπερβαίνουν περίπου το 40 έως 50%, και το υπόλοιπο του όγκου μιας ροής αποτελείται από νερό.

Εξ ορισμού, τα «συντριμμια» περιλαμβάνουν κόκκους ιζήματος με διαφορετικά σχήματα και μεγέθη, που συνήθως κυμαίνονται από μικροσκοπικά σωματίδια αργίλου έως μεγάλους ογκόλιθους.

Οι αναφορές των μέσων ενημέρωσης χρησιμοποιούν συχνά τον όρο ροή λάσπης για να περιγράψουν τις ροές συντριμμιών, αλλά οι πραγματικές λασποροές αποτελούνται κυρίως από κόκκους μικρότερους από την άμμο.

Οι υποβρύχιες λασποροές επικρατούν στα υποθαλάσσια ηπειρωτικά περιθώρια, όπου μπορεί να προκαλέσουν ρεύματα θολότητας.

Οι ροές συντριμμιών σε δασικές περιοχές μπορεί να περιέχουν μεγάλες ποσότητες ξυλωδών υπολειμμάτων, όπως κορμούς και κούτσουρα δέντρων.

Οι πλημμύρες υδάτων πλούσιες σε ιζήματα με συγκεντρώσεις στερεών που κυμαίνονται από περίπου 10 έως 40% συμπεριφέρονται κάπως διαφορετικά από τις ροές συντριμμιών και είναι γνωστές ως υπερσυγκεντρωμένες πλημμύρες.



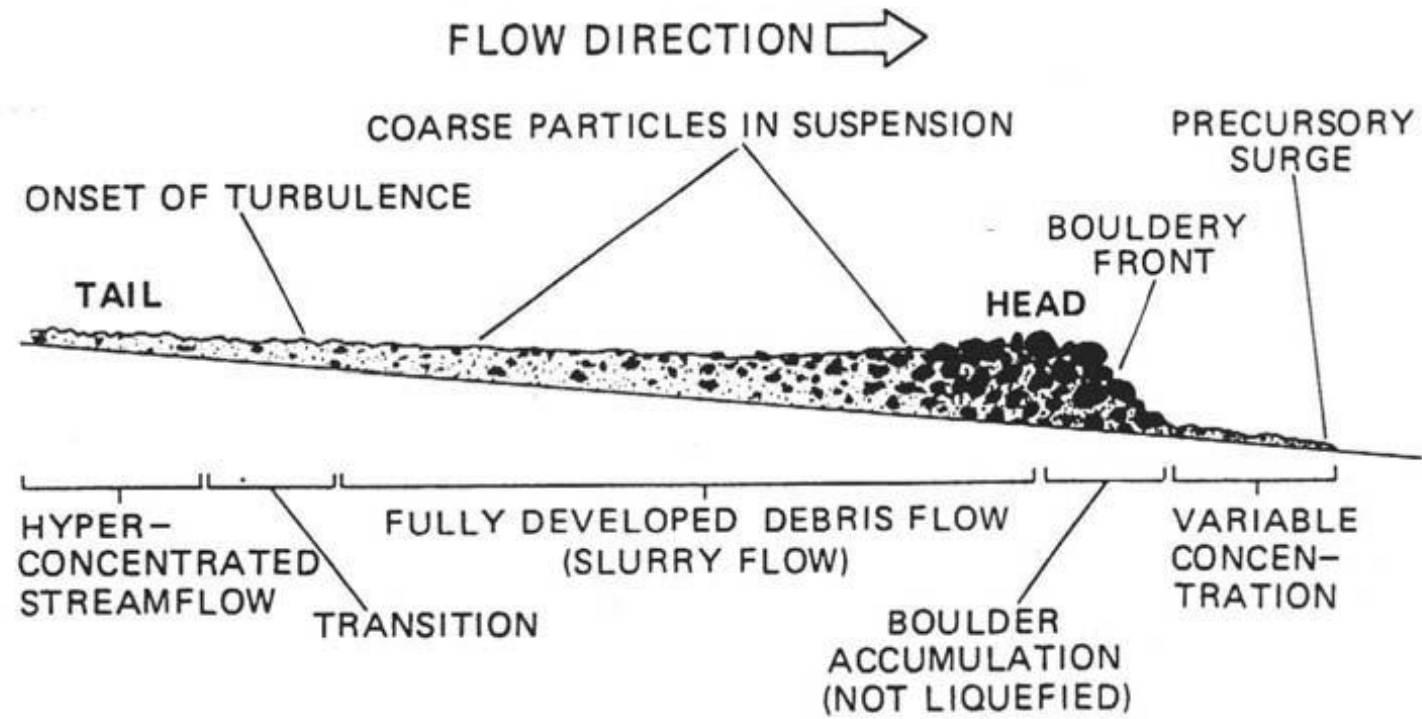


Table 2.3. Landslide velocity scale.

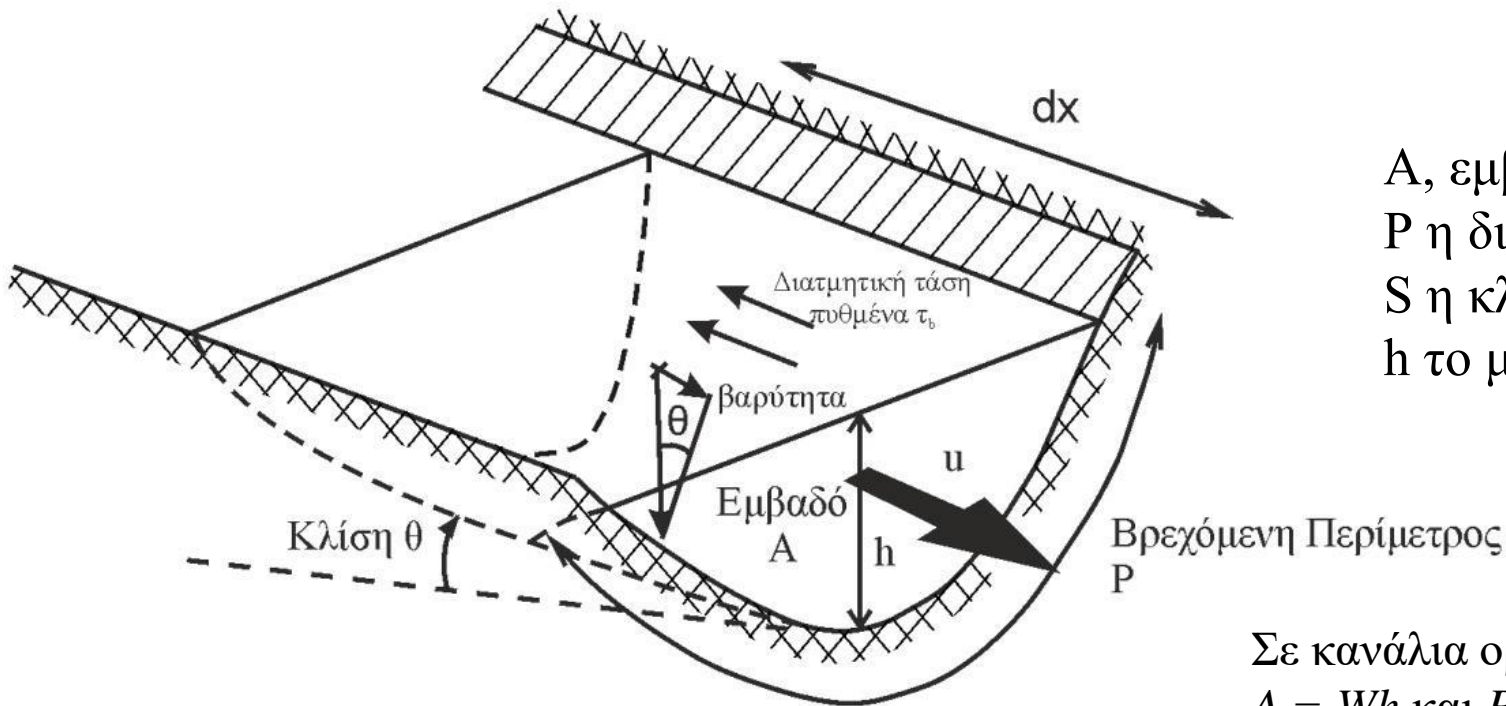
After Cruden and Varnes (1996).

Velocity class	Description	Velocity (mm/sec)	Typical velocity	Typical human response
7	Extremely rapid			Nil
	↓	5×10^3	5 m/sec	
6	Very rapid			Nil
	↓	5×10^1	3 m/min	
5	Rapid			Evacuation
	↓	5×10^{-1}	1.8 m/hr	
4	Moderate			Evacuation
	↓	5×10^{-3}	13 m/month	
3	Slow			Maintenance
	↓	5×10^{-5}	1.6 m/year	
2	Very slow			Maintenance
	↓	5×10^{-7}	16 mm/year	
1	Extremely slow			Nil

Εξισώσεις St. Venant

Ποτάμια, χείμαρροι και κανάλια μπορούν να θεωρηθούν ως μονοδιάστατα συστήματα στα οποία η ροή οφείλεται στη βαρύτητα ενώ αντίσταση στη ροή προβάλλει η τριβή των πλευρικών τοιχωμάτων και του πυθμένα.

Οι κύριες εξισώσεις που εκφράζουν τη ροή σε τέτοια συστήματα είναι οι μονοδιάστατες εξισώσεις Saint-Venant (Fischer et al., 1979).



A, εμβαδόν διαβρεχόμενης διατομής ποταμού,
P η διαβρεχόμενη περίμετρος,
S η κλίση πυθμένα, και
h το μέγιστο βάθος νερού.

Σε κανάλια ορθογωνικής διατομής
 $A = Wh$ και $P = W + 2h$

Ισοζύγιο Μάζας μεταξύ διατομών

Αν η εκροή μάζας είναι μικρότερη της εισροής τότε παράγεται μία συσσώρευση μάζας εντός του στοιχειώδους όγκου μεταξύ των διατομών.

$$\rho A dx \Big|_{at t+dt} = \rho A dx \Big|_{at t} + \rho A u \Big|_{at x} - \rho A u \Big|_{at x+dx}$$

όταν τα dx , dt τείνουν στο μηδέν

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho A) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A) = 0$$

Θεωρούμε ότι το νερό είναι ασυμπίεστο, άρα δεν υπάρχει μεταβολή της πυκνότητάς του σε τόσο μικρή χωρική κλίμακα, και επομένως

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uA) = 0 \quad \text{Εξίσωση Μονοδιάστατης Συνέχειας Όγκου}$$

Αν η διατομή είναι ορθογωνική, όπου $A = Wh$ και θεωρώντας σταθερό το πλάτος του ποταμού, η εξίσωση γράφεται:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uA) = 0$$

Ισοζύγιο Ορμής

Η μεταβολή της ορμής κατά μήκος της στοιχειώδους διατομής ισούται με

- την εισερχόμενη ορμή
μείον
- την εξερχόμενη ορμή της διατομής
συν
- το σύνολο των δυνάμεων επιτάχυνσης (που δρουν κατά τη διεύθυνση της ροής),
μείον
- το σύνολο των δυνάμεων επιβράδυνσης (που δρουν αντίθετα στη ροή).

$$\frac{d}{dt}[\text{Ορμής}] = \text{Εισροή Ορμής στο } x$$

– Εκροή Ορμής στο $x + dx$

+ Πίεση στο σημείο εισροής

– Πίεση στο σημείο εκροής

+ Βαρύτητα

– Τριβή

Ισοζύγιο Ορμής

Η ορμή είναι η μάζα επί τη ταχύτητα, δηλ. $(\rho dV)u = \rho A u dx$,

Η ροή ορμής είναι η ροή μάζας επί τη ταχύτητα, δηλ. $(\rho A u)u = \rho A u^2$.

Η δύναμη πίεσης σε κάθε άκρο της διατομής είναι:

$$F_P = \int \int p dA = \int_0^h p(z) W(z) dz$$

Όπου $p(z)$ και $W(z)$ είναι αντίστοιχα η μεταβαλλόμενη με το βάθος πίεση και πλάτος της διατομής.

Θεωρώντας υδροστατική ισορροπία,

$$p(z) = \rho g (h - z)$$

οπότε αντικαθιστούμε στην παραπάνω σχέση και η δύναμη πίεσης γίνεται:

$$F_P = \int_0^h \rho g (h - z) W(z) dz$$

Ισοζύγιο Ορμής

Για να υπολογιστεί η πιεσοβαθμίδα, διαφορίζουμε τη παραπάνω σχέση και προκύπτει ότι η μεταβολή της πίεσης κατά μήκος της διατομής:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho g A \quad \text{Δύναμη Πιεσοβαθμίδας}$$

Η δύναμη βαρύτητας προκύπτει από το βάρος κάθε τμήματος νερού της διατομής, κατά τη διεύθυνση ροής, το οποίο είναι το γινόμενο ($mg \sin\theta$), όπου θ η γωνία κλίσης της διατομής.

$$\text{Βαρύτητα} = [(\rho dV) g] \sin \theta = \rho g A S dx \quad \text{Δύναμη Βαρύτητας}$$

Τέλος η δύναμη τριβής προκύπτει από τη διατμητική τάση πυθμένα επί τη διαβρεχόμενη περιμέτρο

$$\text{Τριβή} = \tau_b P dx \quad \text{Όπου } \tau_b \text{ είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας ροής επί το συντελεστή}$$

σύρσης: $\tau_b = C_D \rho u^2$

$$\text{Τριβή} = C_D \rho u^2 P dx \quad \text{Δύναμη Τριβής}$$

Ισοζύγιο Ορμής

Αν γράψουμε το τελικό ισοζύγιο ορμής:

$$\left[\frac{\rho A u dx|_{at t+dt} - \rho A u dx|_{at t}}{dt} \right] = \rho A u^2|_{at x} - \rho A u^2|_{at x+dx} + F_P|_{at x} - F_P|_{at x+dx} + g \rho A S dx - C_D \rho P u^2 dx$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho A u) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho A u^2) = -\frac{\partial F_P}{\partial x} + \rho g S A - C_D \rho u^2 P$$

Μονοδιάστατη Εξίσωση Κίνησης

Τριβή

Πιεσοβαθμίδα

Βαρύτητα

Τοπικός Όρος

Μεταφορά Ορμής

Εξισώσεις St. Venant

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uA) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Au) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho Au^2) = -\frac{\partial F_P}{\partial x} + \rho gSA - C_D \rho u^2 P \quad \text{Διαιρούμε με } \rho A$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -g \frac{\partial h}{\partial x} + gS - C_D \frac{u^2}{R_h} \quad \text{Μονοδιάστατη Εξίσωση Κίνησης}$$

Όπου R_h είναι ο λόγος του εμβαδού της διατομής διά τη διαβρεχόμενη περίμετρο και καλείται *υδραυλική ακτίνα*.

Καθώς τα περισσότερα ποτάμια έχουν μεγάλο πλάτος και μικρό βάθος, η διαβρεχόμενη περίμετρος είναι περίπου ίση με το πλάτος ($P \sim W$), οπότε η υδραυλική ακτίνα είναι περίπου ίση με το μέσο βάθος του ποταμού.

$$R_h \cong \frac{A}{W} = \bar{h} \cong h$$

Εξισώσεις St. Venant

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uA) = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -g \frac{\partial h}{\partial x} + gS - C_D \frac{u^2}{R_h}$$

ή αλλιώς ως σχέσεις μεταξύ της ποτάμιας παροχής Q και της διατομής A , ως

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial h}{\partial x} - gS + C_D \frac{u^2}{R_h} = 0$$

Επίλυση Εξισώσεων St. Venant

Σε περίπτωση που το ποτάμι που εξετάζουμε θεωρηθεί ως πεδίο μεταβλητού πλάτους, τότε οι εξισώσεις St. Venant απλοποιούνται, με τη πλευρική ολοκλήρωσή τους και τη λήψη της μέσης κατά το πλάτος ταχύτητας.

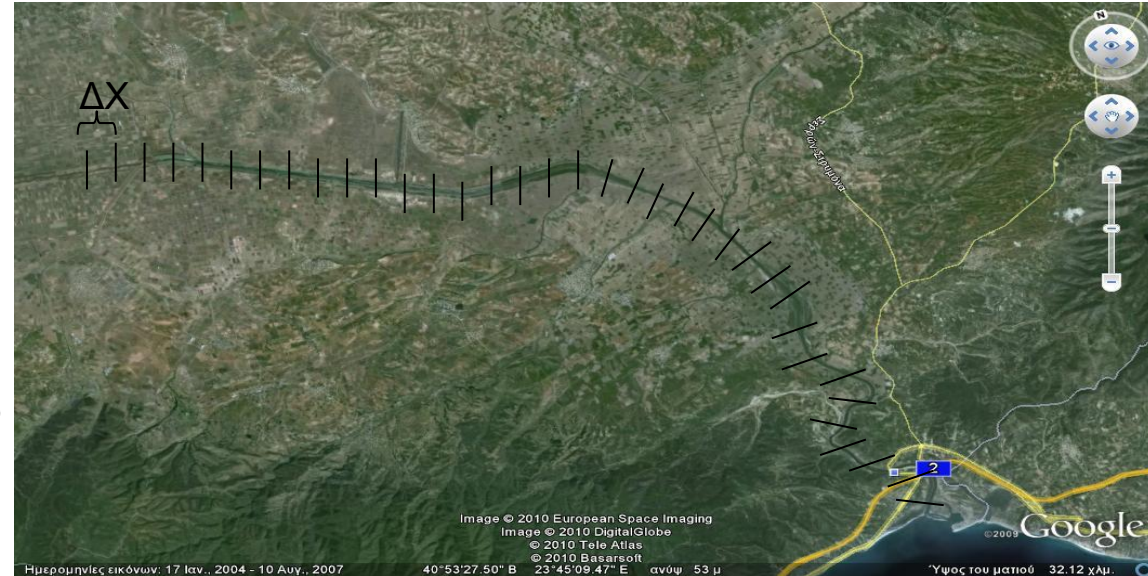
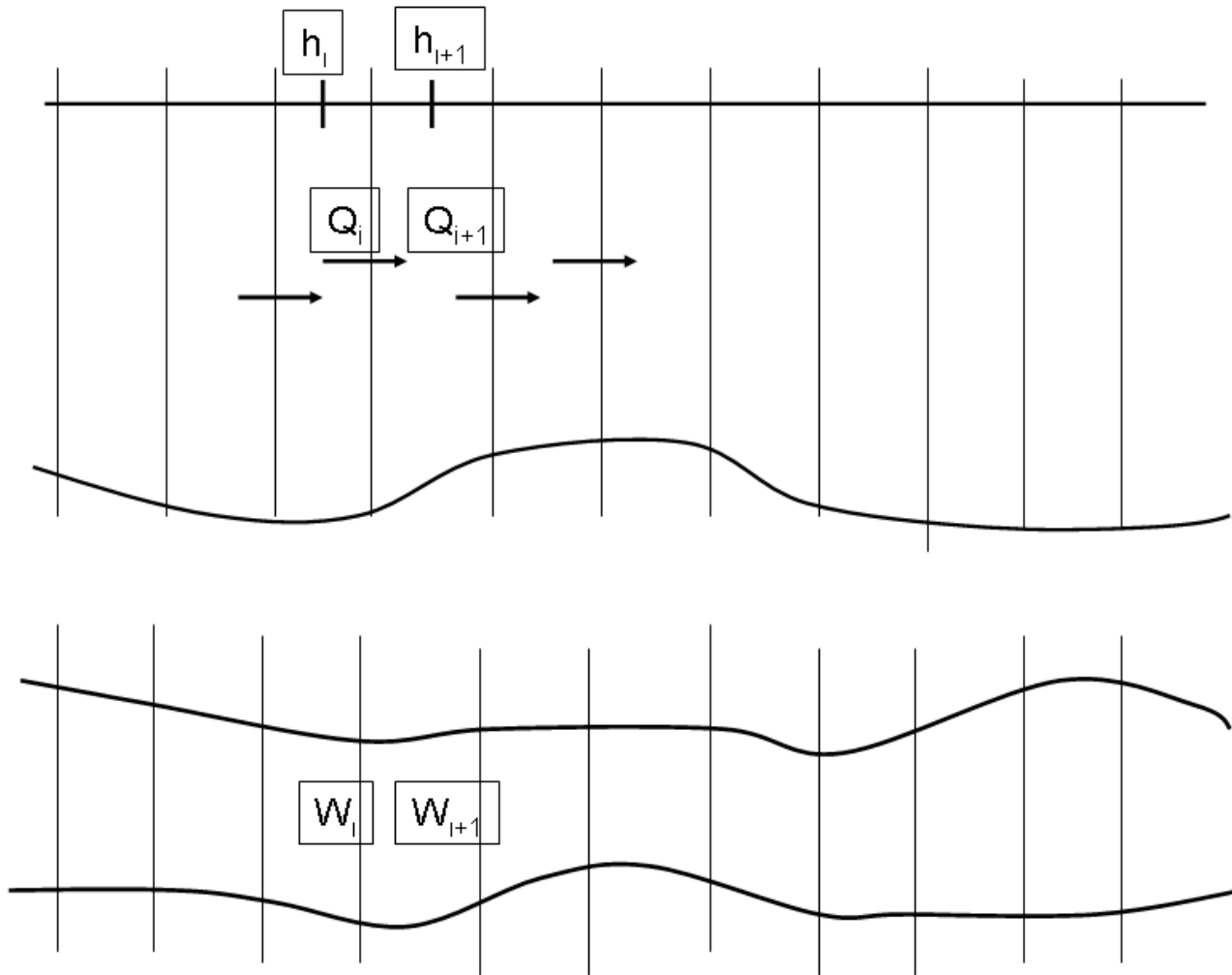
Έτσι, οι ταχύτητες παρουσιάζουν μόνο τη διαμήκη συνιστώσα και αναφέρονται σε όλη τη διατομή του ποταμού.

Οι εξισώσεις χωρίς την επίδραση της τριβής είναι:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{W} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2 / A)}{\partial x} = -gA \frac{\partial h}{\partial x} - gAS$$

Ο ποταμός διακριτοποιείται σε στοιχειώδη τμήματα Δx



Διακριτοποίηση περιοχής μελέτης.

Οι εξισώσεις γράφονται με τη μορφή πεπτερασμένων διαφορών ως:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{W} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2 / A)}{\partial x} = -gA \frac{\partial h}{\partial x} - gAS$$

$$\frac{h_i^{n+1/2} - h_i^{n-1/2}}{\Delta t} = -\frac{1}{W_i + W_{i+1}} \left[\frac{Q_{i+1}^n - Q_i^n}{\Delta x} \right]$$

$$\frac{Q_i^{n+1} - Q_i^n}{\Delta t} = -\frac{(Q_{i+1}^n)^2 / A_{i+1} - (Q_{i-1}^n)^2 / A_{i-1}}{2 \Delta x} - gA_i \frac{h_i^{n+1/2} - h_{i-1}^{n+1/2}}{\Delta x} - gA_i \left[\frac{U_i^n}{C^2 R_i} + \frac{(|U_{i+1}^n| - |U_i^n|) \text{sign}(U_i^n)}{2g \cdot 2\Delta x} \right]$$

Οι οριακές συνθήκες στη πρώτη και τη τελευταία διατομή εξαρτώνται από τις οριακές συνθήκες που ισχύουν εκεί. Στο ανάντη όριο δίνεται συνήθως η ποτάμια παροχή, ενώ στο κατόντη όριο μπορεί να δοθεί η παλιρροιακή μεταβολή της στάθμης.

$$\frac{\eta_i^{n+1/2} - \eta_i^{n-1/2}}{\Delta t} = -\frac{2}{B_i + B_{i+1}} \left[\frac{Q_{i+1}^n - Q_i^n}{\Delta x} \right]$$

$$\frac{Q_i^{n+1} - Q_i^n}{\Delta t} = -\frac{(Q_{i+1}^n)^2 / A_{i+1} - (Q_{i-1}^n)^2 / A_{i-1}}{2 \Delta x} - gA_i \frac{\eta_i^{n+1/2} - \eta_{i-1}^{n+1/2}}{\Delta x} - gA_i \left[\frac{U_i^n}{C^2 R_i} + \frac{(|U_{i+1}^n| - |U_i^n|) \text{sign}(U_i^n)}{2g \Delta x} \right]$$

Ο τελευταίος όρος απωλειών ισχύει αν $U_{i+1} < U_{i-1}$

Οριακές Συνθήκες: Στο ανάντι άκρο δίνεται η μεταβολή της στάθμης της θάλασσας με το χρόνο.

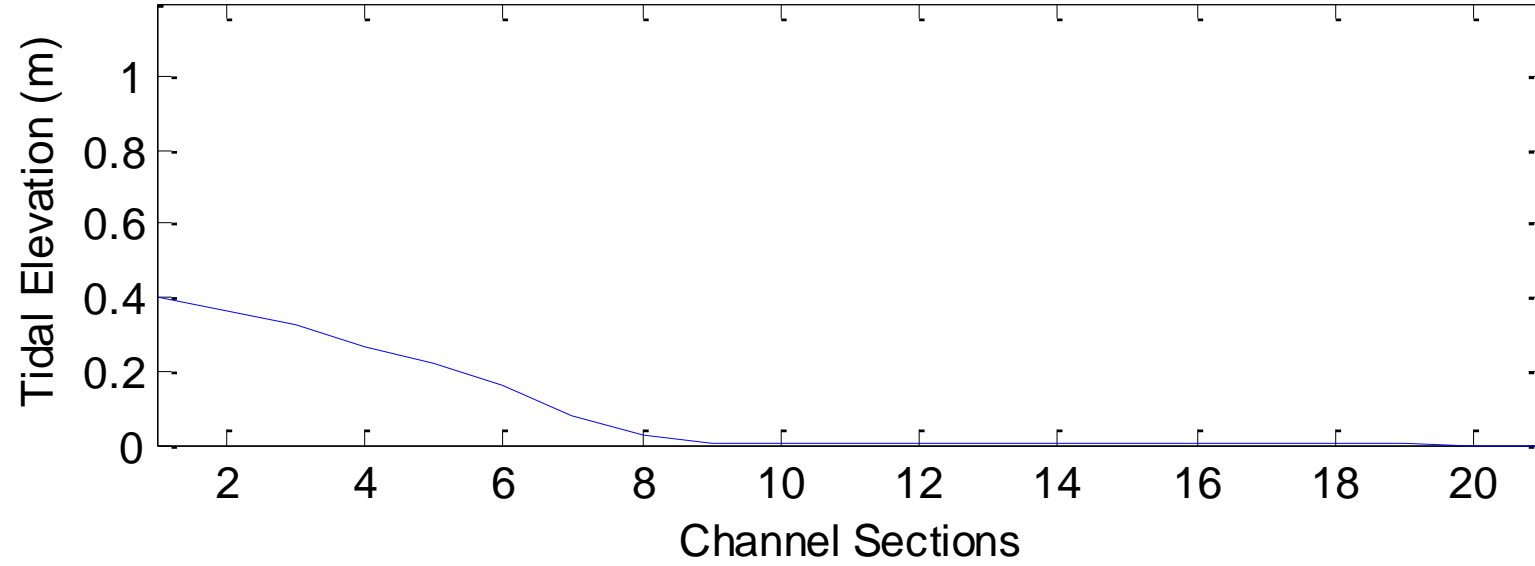
$$\eta_{i,1} = \eta_o \sin(2\pi(n-1)\Delta t / T)$$

Στο κατάντι όριο υπάρχει είτε ξηρά, οπότε εφαρμόζεται συνθήκη πλήρους ανάκλασης είτε όριο ανοικτής θάλασσας οπότε εφαρμόζεται συνθήκη ελεύθερης διάβασης.

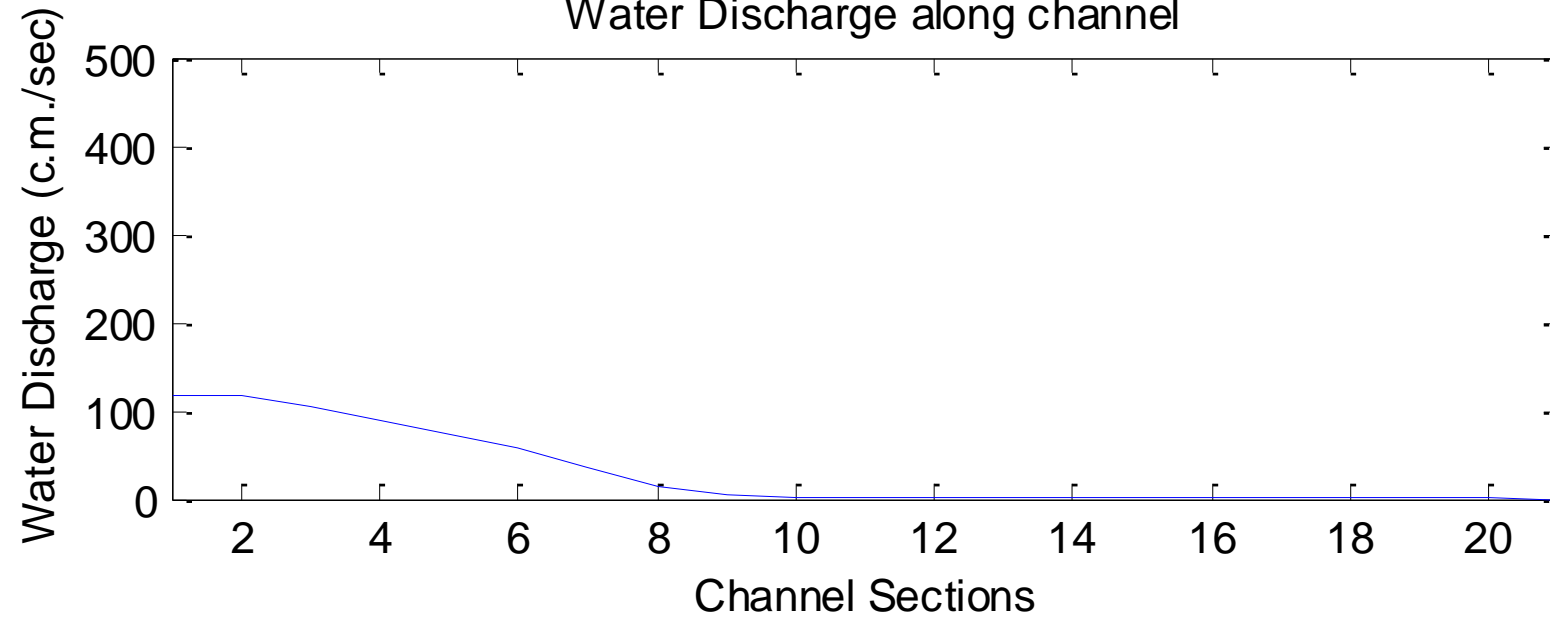
Tidal.m

```
% 1-D tidal circulation model
im = 21; dt = .5; dx = 100; c = 50; pr = 500; zo = 0.5; nm = 1000; bk = 1;
r = zeros(im,1); a = zeros(im,1); b = zeros(im,1); ho = zeros(im,1); h = zeros(im,1); z =
zeros(im,1); zn = zeros(im,1); q = zeros(im,1); qn = zeros(im,1);
i = 1:1:im;
    b(i) = 30; ho(i) = 10; z(i) = 0; q(i) = 0; qn(i) = 0;
n = 0; t = 0;
while n<450
    n = n+1; t = t+dt; z(1) = zo*sin(2*3.14*t/pr);
    i=2:1:im-1; h(i)=ho(i)+(z(i)+z(i-1))/2; h(1)=ho(1)+z(1);h(im)=ho(im)+z(im-1);
    i = 1:1:im; a(i)=b(i).*h(i); r(i)=a(i)/(b(i)+2*h(i));
    i = 1:1:im-1; zn(i)=z(i)-2*dt/dx*(q(i+1)-q(i))/(b(i)+b(i+1));
    i = 2:1:im-1;
        vv=0; vv=abs(q(i+1)./a(i+1))-abs(q(i-1)./a(i-1))/(4*9.8*dx);
        qn(i)=q(i)-dt*(q(i+1).^2./a(i+1)-q(i-1).^2./a(i-1))/(2*dx)-dt*9.81*a(i).*(z(i)-z(i-1))/dx-
dt*9.8*a(i).*(q(i)./a(i))./(c.^2.*r(i)); qn(1) = qn(2);
        qn(im) = z(im-1)*sqrt(9.81*b(im)*a(im)); zn(im) = q(im)/a(im);
    i = 1:1:im;
        q(i) = qn(i); z(i) = zn(i);
end
f1 = figure; h1 = subplot(2,1,1), grid; plot(i,z(i),'-'); axis (h1, [1 21 0 1.2]);
title ('Tidal Elevation along channel');xlabel ('Channel Sections');ylabel ('Tidal Elevation (m)')
h2 = subplot(2,1,2), grid; plot(i,q(i)); axis (h2, [1 21 0 500]);
title ('Water Discharge along channel');xlabel ('Channel Sections');ylabel ('Water Discharge
(c.m./sec)')
```

Tidal Elevation along channel

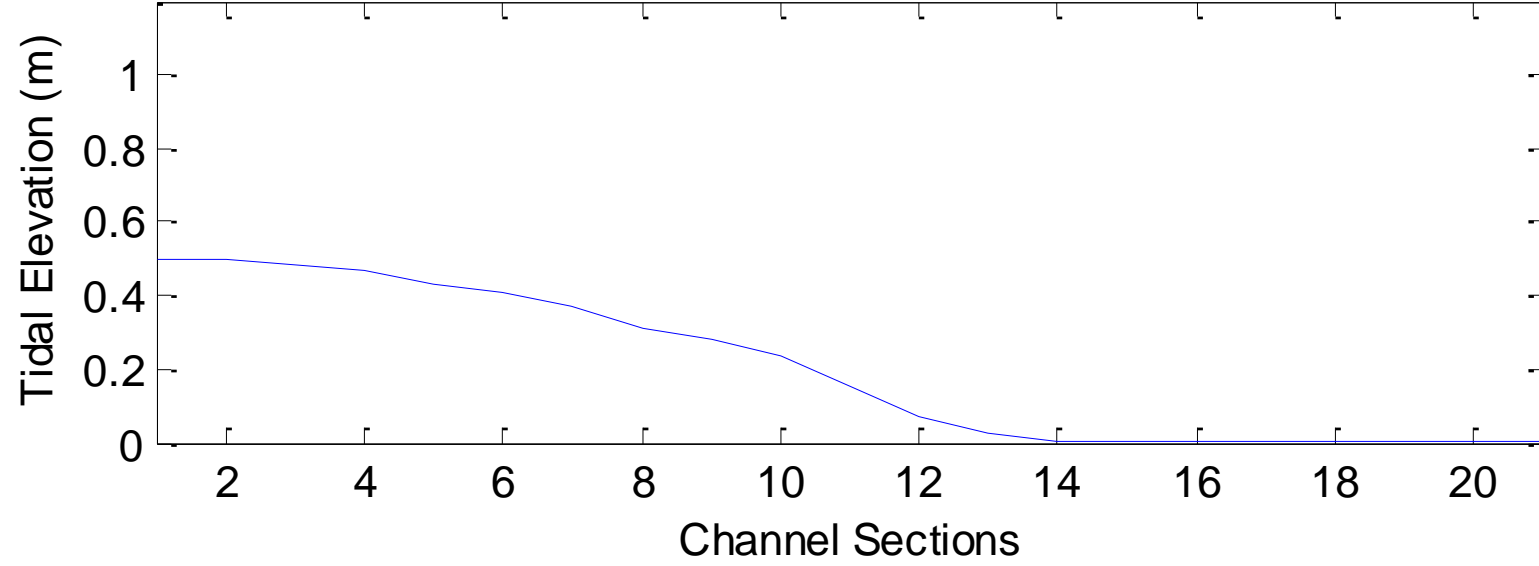


Water Discharge along channel

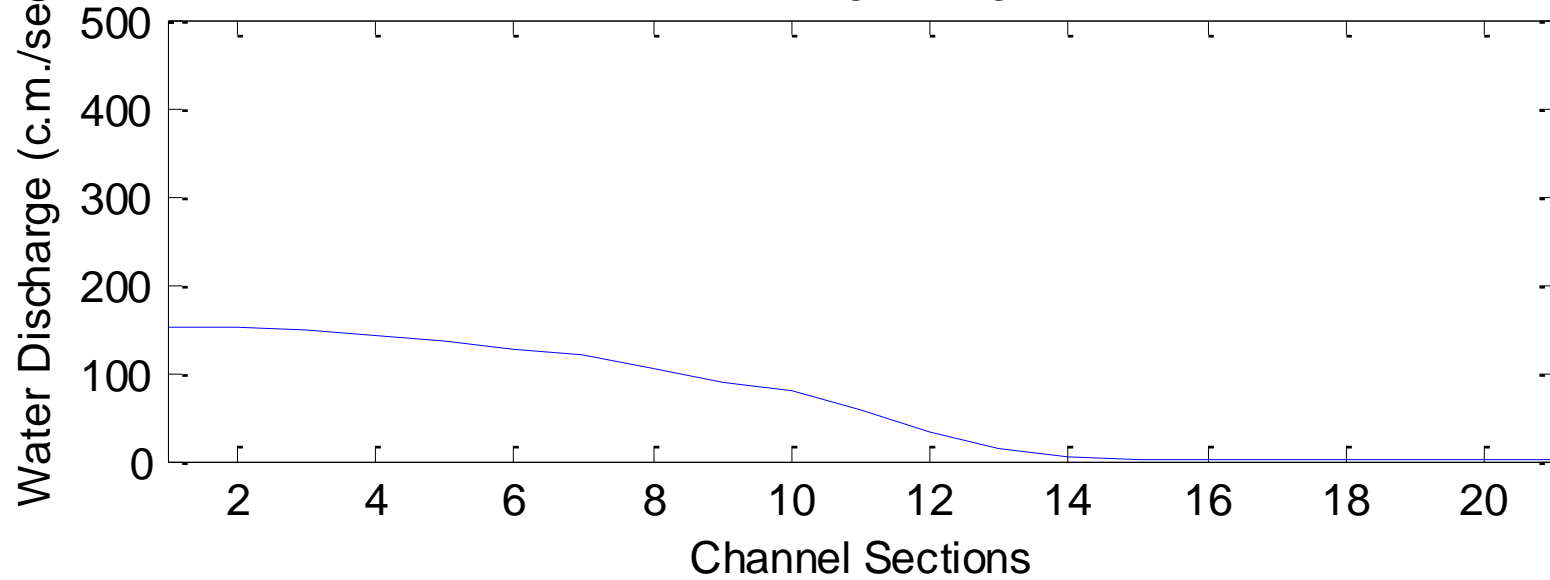


n=250

Tidal Elevation along channel

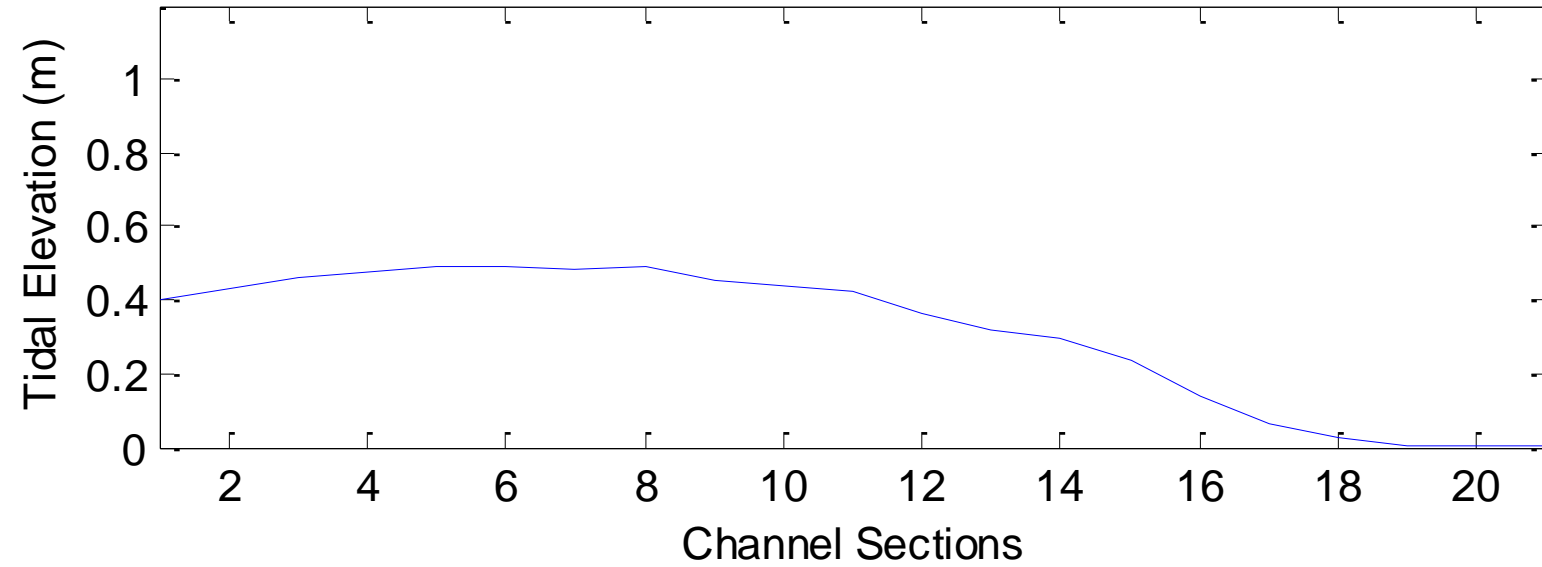


Water Discharge along channel

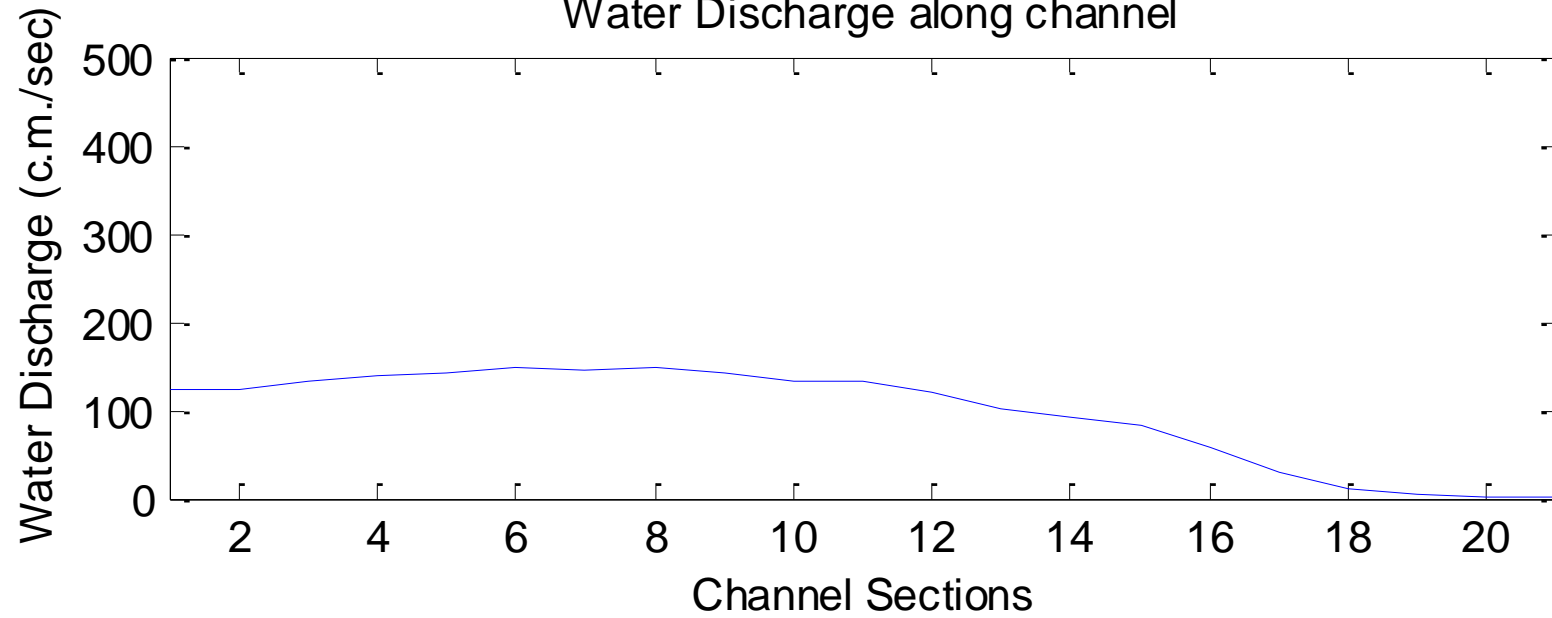


n=350

Tidal Elevation along channel

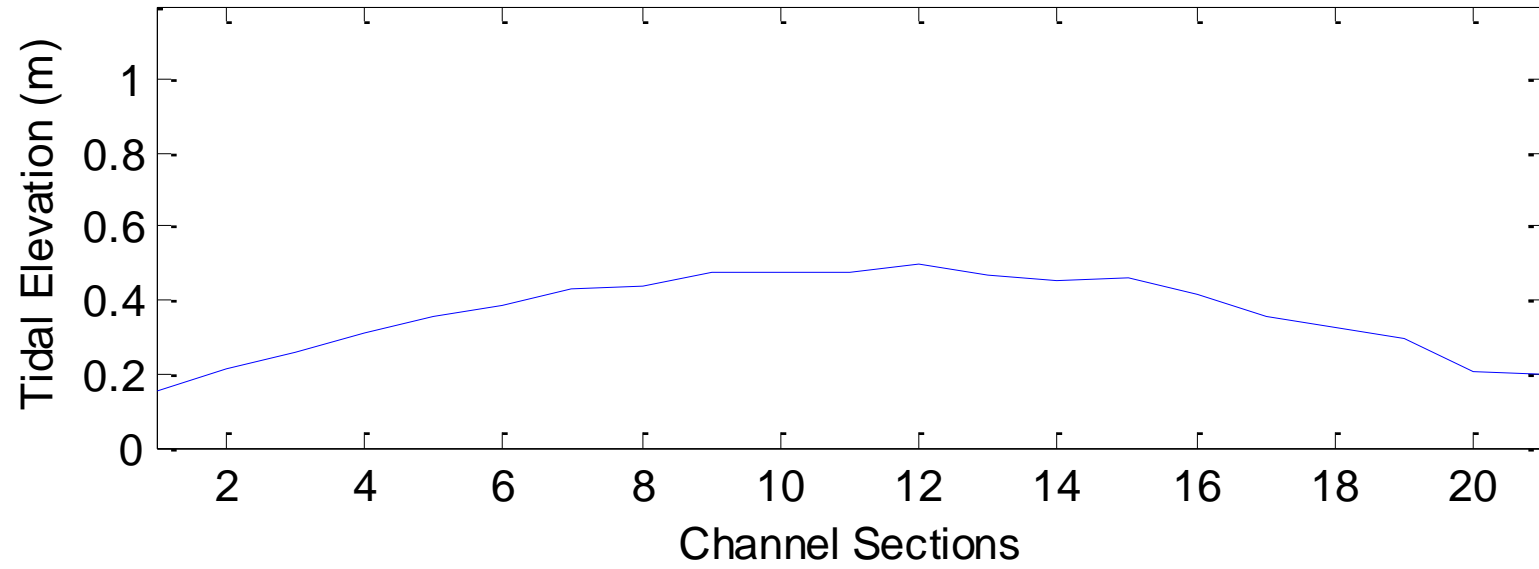


Water Discharge along channel

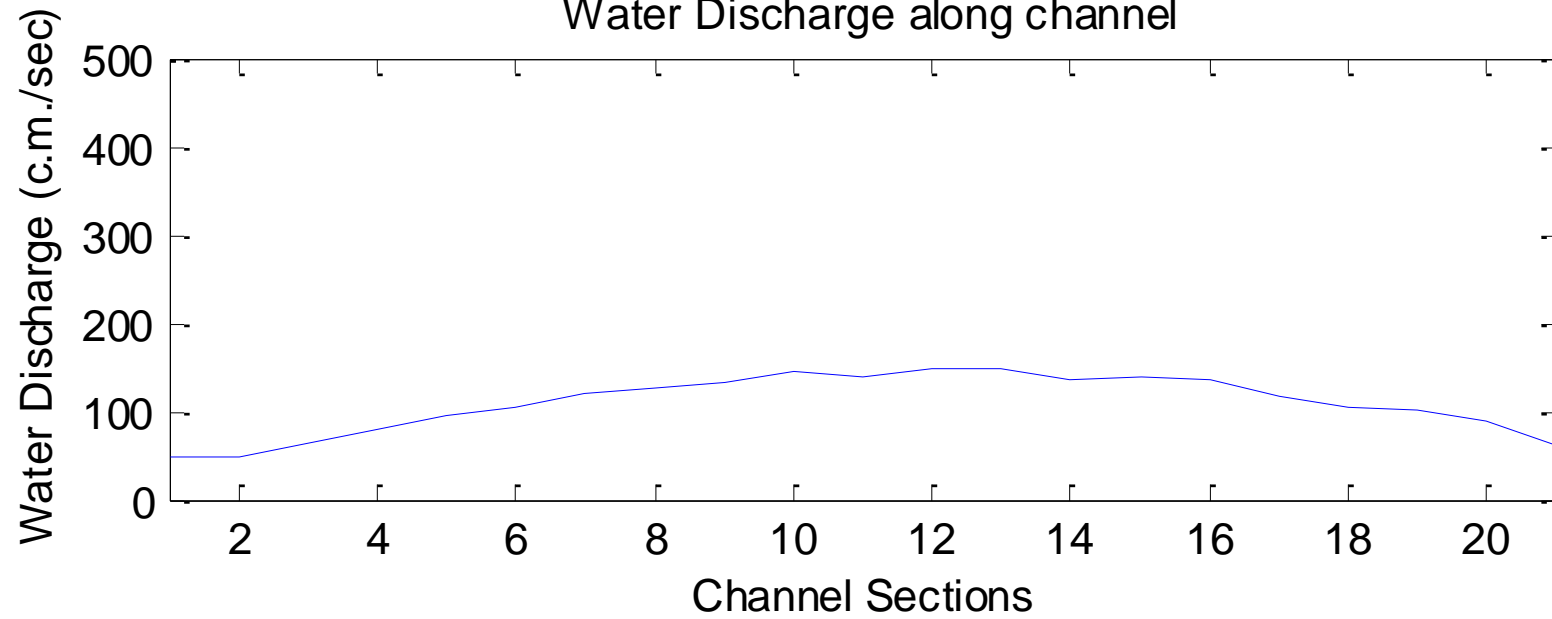


n=450

Tidal Elevation along channel

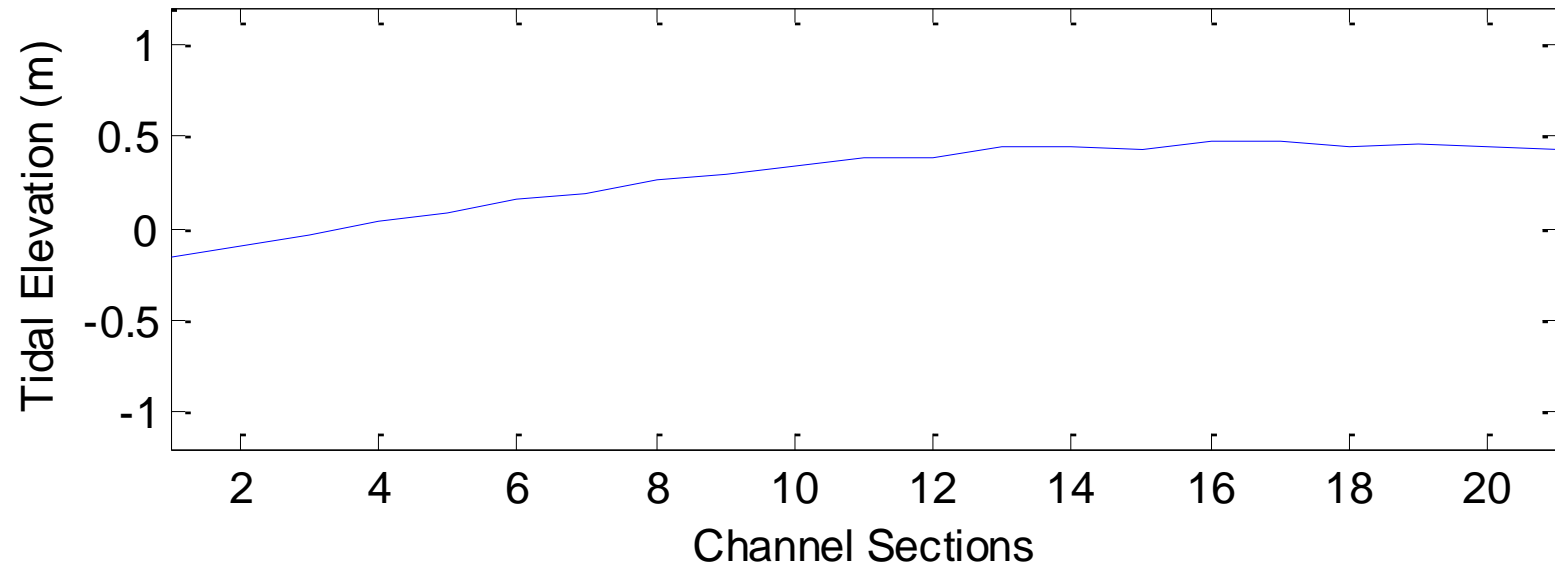


Water Discharge along channel

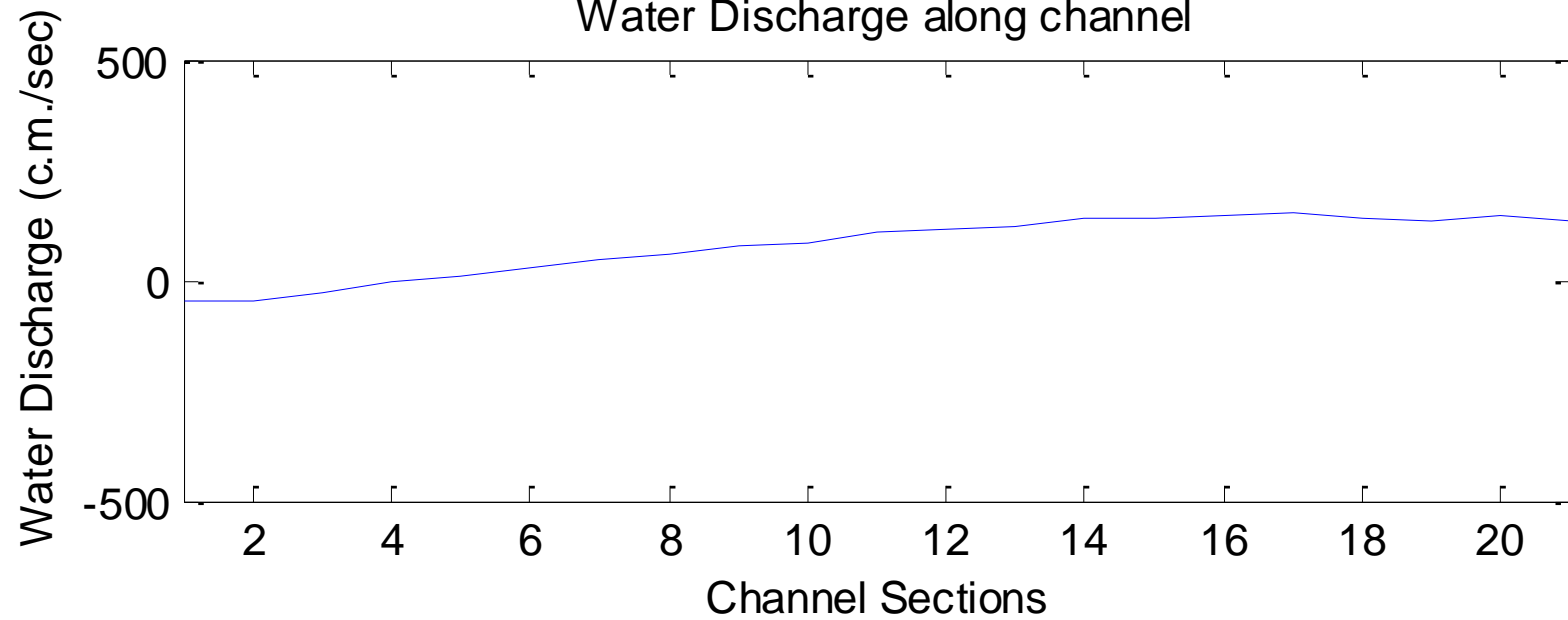


n=550

Tidal Elevation along channel

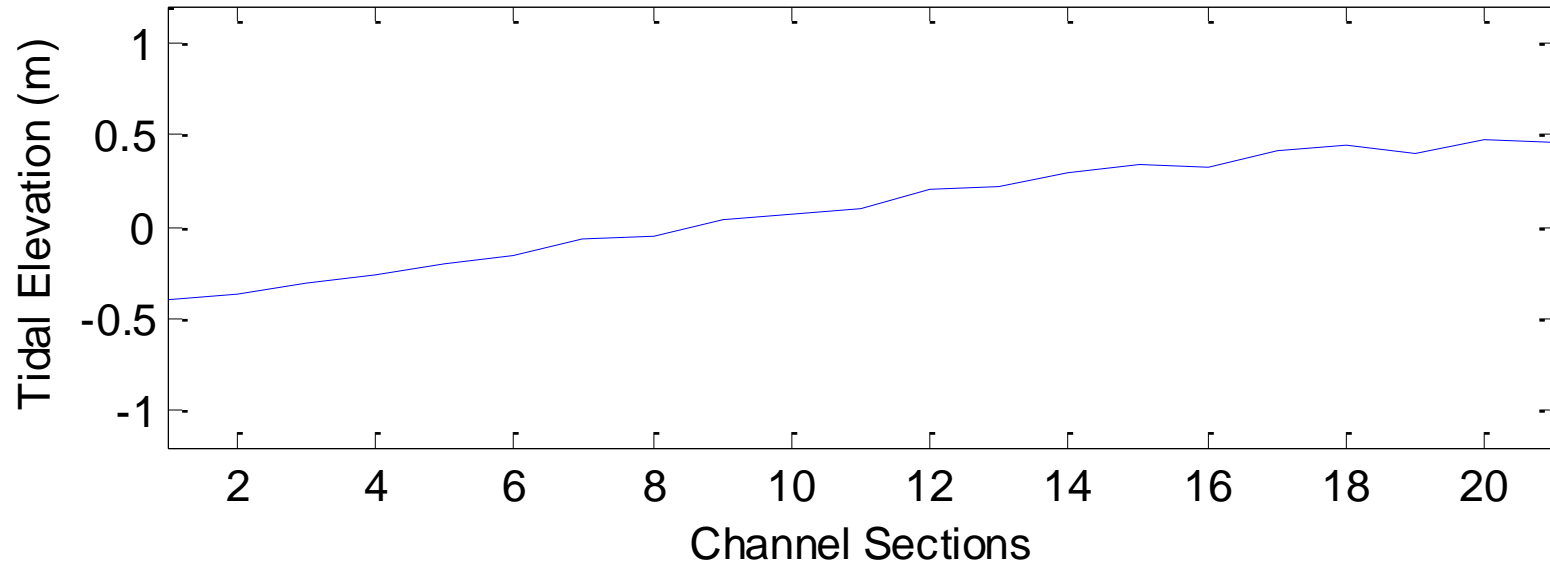


Water Discharge along channel

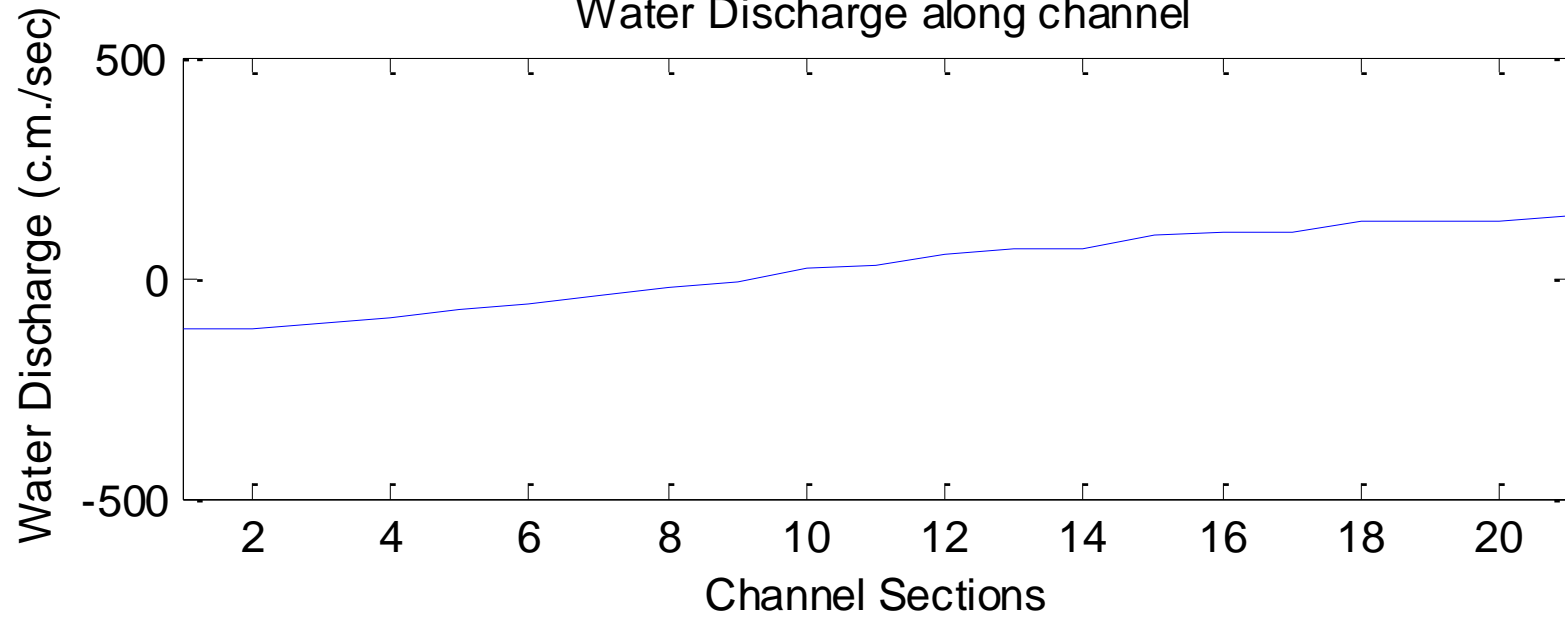


n=650

Tidal Elevation along channel

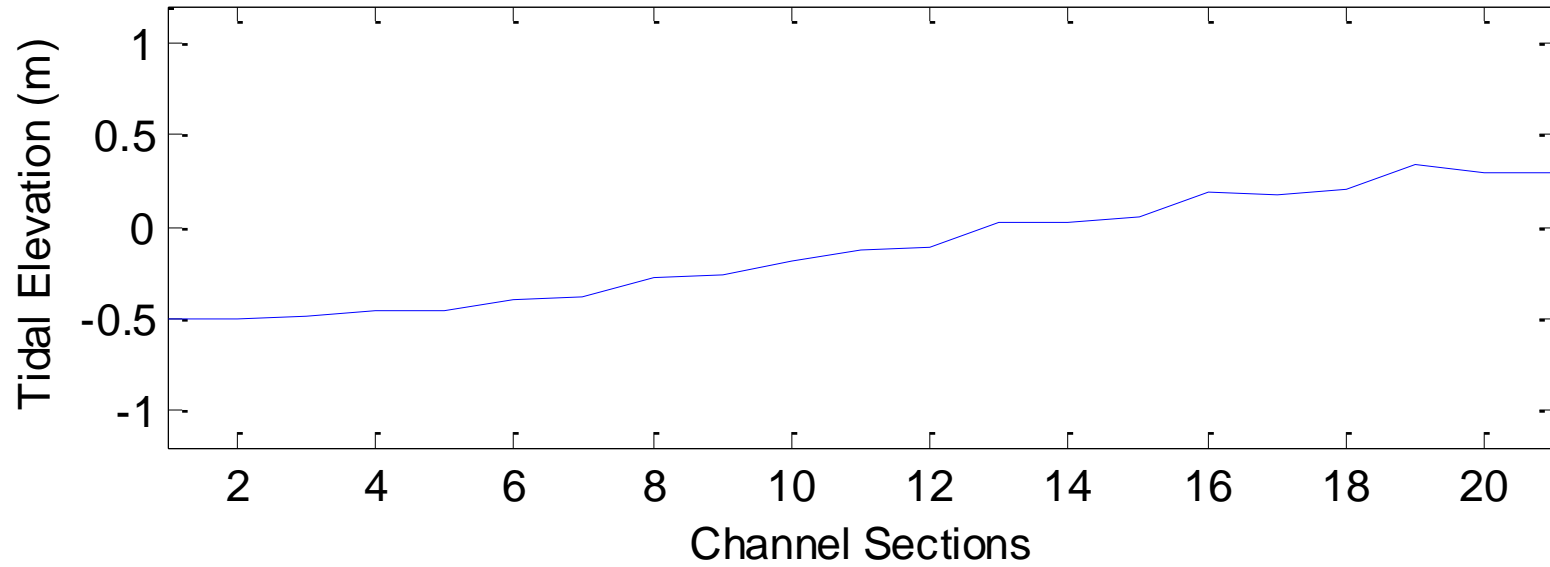


Water Discharge along channel



n=750

Tidal Elevation along channel



Water Discharge along channel

