

# Υδρολογικές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα υδρορρεύματα και τις υποεπιφανειακές τους υπορροϊκές ζώνες



Κύριο ερώτημα

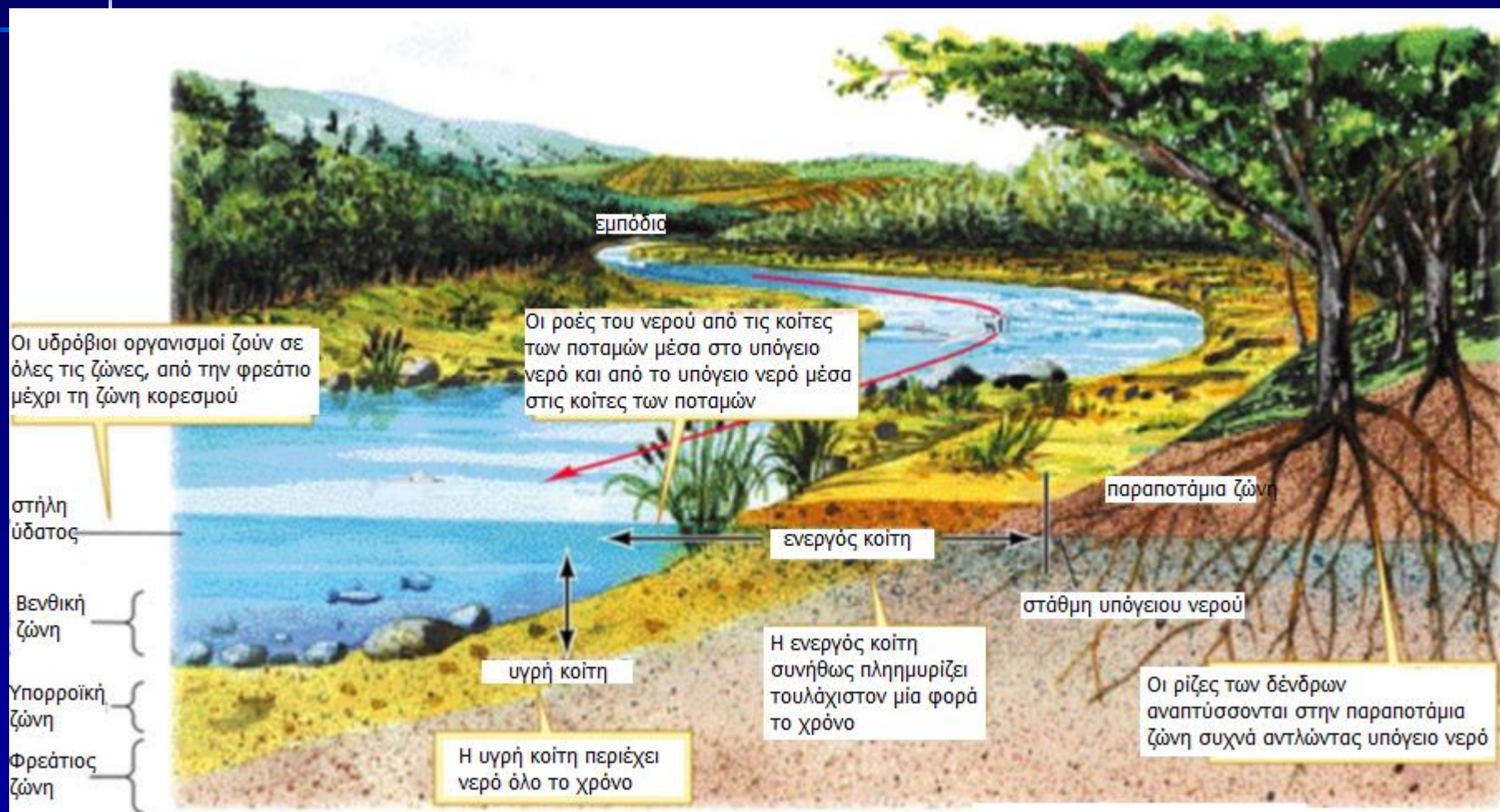
Τι είναι η υπορροϊκή ζώνη?

Αυτή προέρχεται από την ελληνική  
έννοια **υπό** και τη **ροή**  
υδρορρεύματος

## Η υπορροϊκή ζώνη

Είναι το τμήμα της διεπιφάνειας υπόγειου/επιφανειακού νερού στα υδρορρέυματα όπου απαντά ένα μίγμα επιφανειακού & υπόγειου νερού

(Bencala 1993)



Η ΗΖ μπορεί να θεωρηθεί ως η ζώνη ιζημάτων που συνδέεται υδρολογικά με την κοίτη υδρορρεύματος.

Τα νερά της υπορροϊκής ζώνης βρίσκονται τόσο κάτω από την ενεργό κοίτη όσο και εντός της παραποτάμιας ζώνης των περισσότερων υδρορρευμάτων και ποταμών.

Το νερό στην υπορροϊκή ζώνη ρέει προς τα κατόντη κατά μήκος της γενικής κατεύθυνσης της κοίτης του υδρορρεύματος, αλλά κυμαίνεται μεταξύ κοίτης και υποεπιφάνειας.

Περιλαμβάνει πλευρική, κατακόρυφη και διαμήκη μεταφορά και ανταλλαγές της ροής υδρορρεύματος.

Η ΥΖ μπορεί να θεωρηθεί ως η ζώνη των ιζημάτων που συνδέονται υδρολογικά με την κοίτη υδρορρεύματος.

Η υπορροϊκή ζώνη μπορεί να βρεθεί:

τόσο κάτω από την ενεργό κοίτη όσο και στην παραποτάμια ζώνη των περισσότερων ρευμάτων και ποταμών.

Αυτές οι περιοχές μπορεί να είναι εκτεταμένα αλλουβιακά πεδία πλημμυρών.

Το νερό στην υπορροϊκή ζώνη

ρέει κατά μήκος της κύριας κατεύθυνσης ροής προς τα κατάντη της κοίτης υδρορρεύματος, αλλά κυμαίνεται μεταξύ της κοίτης και της υποεπιφάνειας.

Περιλαμβάνει πλευρικές, κατακόρυφες και κατά μήκος μεταφορά και ανταλλαγές της ροής υδρορρεύματος

## Η υπορροϊκή ζώνη

Στο στρώμα της κοίτης και όχθες των ρεμάτων, το νερό και οι διαλυμένες ουσίες μπορούν να ανταλλάσσονται σε δύο κατευθύνσεις σε όλη την κοίτη.

Αυτή η διαδικασία, που ονομάζεται υπορροϊκή ανταλλαγή, δημιουργεί υπεδafικά περιβάλλοντα που έχουν μεταβλητές αναλογίες υπόγειου και επιφανειακού νερού.

Το ενδιαφέρον για αυτήν τη δυναμική διεπιφάνεια έχει αυξηθεί σημαντικά από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, επειδή τώρα αναγνωρίζουμε ότι αυτή η ανταλλαγή είναι:

ένας σημαντικός ρυθμιστής θρεπτικών ουσιών και ενέργειας και μπορεί να λειτουργήσει ως πηγή, καταβόθρα ή χώρος αποθήκευσης για διάφορα στοιχεία.

**Τα στρώματα της κοιτης είναι μοναδικά περιβάλλοντα**

επειδή βρίσκονται εκεί όπου τα υπόγεια ύδατα που αποστραγγίζουν μεγάλο μέρος της υποεπιφάνειας των γεωμορφών αλληλεπιδρούν με τα επιφανειακά ύδατα που αποστραγγίζουν μεγάλο μέρος της επιφάνειας των τοπίων.

**Είναι μια διάχυτη και κάπως ασαφής περιοχή**

που σχηματίζει το όριο μεταξύ του καναλιού ροής και του γειτονικού συστήματος ροής του υπόγειου νερού. Αν και υπάρχει σήμερα ένα πλούσιο λεξικό των ορισμών, η πρωταρχική ιδέα είναι ότι η υβριδική

**Με μια ευρεία έννοια, η υδρορροϊκή ζώνη μπορεί να οριστεί**

ως η υποεπιφάνεια των υδρορρευμάτων που ανταλλάσσουν νερό με την επιφάνεια. Υδροβία ζώντα ζώνης μπορεί να βρεθεί τόσο κάτω από τον ενεργό διάυλο και την παραποτάμια ζώνη των περισσότερων ρευμάτων και ποταμών.



## Η Υπορροϊκή Ζώνη

Η αμφίδρομη ανταλλαγή του νερού αναμιγνύει νερό και διαλυμένες ουσίες από επιφανειακά και υπόγεια περιβάλλοντα

Οι Triska et al (1989) χρησιμοποίησαν την έγχυση ενός χημικού ιχνηθέτη σε υδρόρρευμα και οριοθέτησαν την υπορροϊκή ζώνη με βάση την πηγή του νερού

Παρέχει μια **εμπειρική προοπτική** αυτού του διάμεσου περιβάλλοντος αναγνωρίζοντας μια επιφανειακή υπορροϊκή ζώνη με  $>98\%$  νερό ροής και μια αλληλεπιδρούσα υπορροϊκή ζώνη όπου υπάρχει  $> 10\%$  αλλά  $<98\%$  νερό της κοίτης.

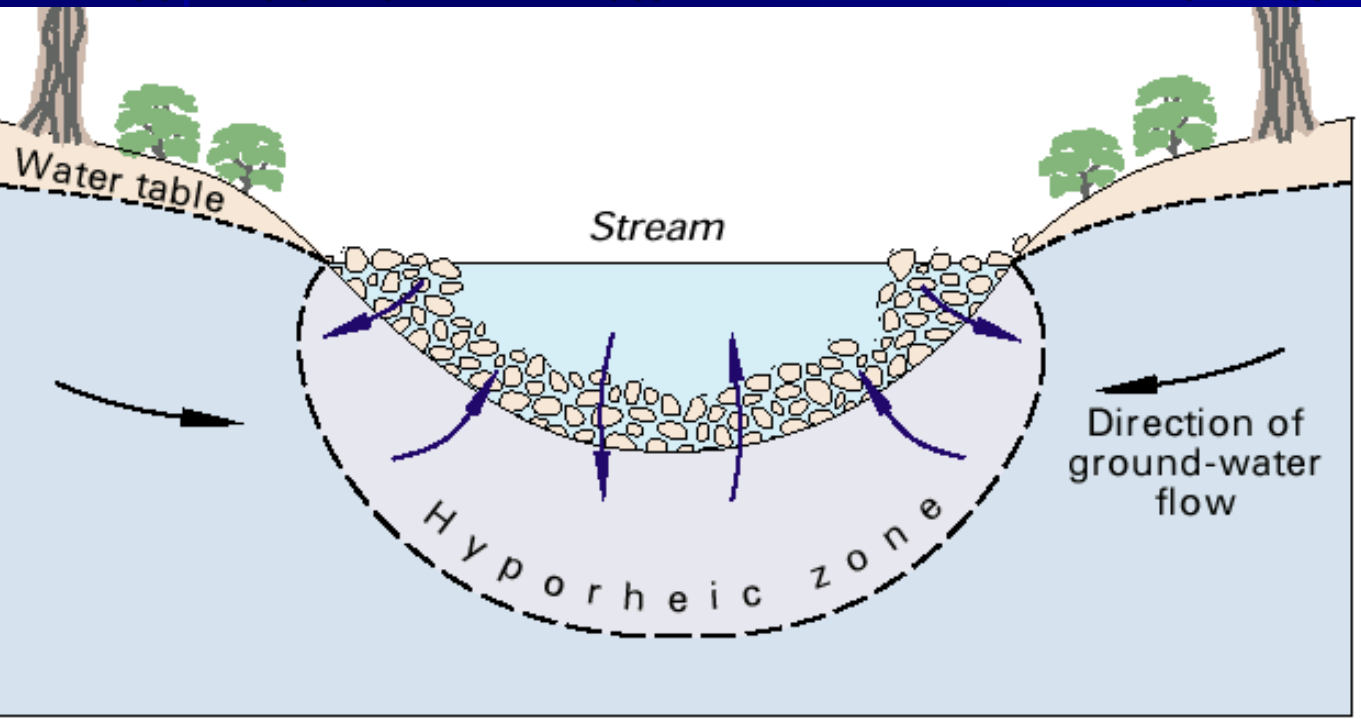


Figure from  
Winter et al. 2000

# Μερικές σημαντικές έννοιες

Μήκος και χρονοκλίμακα της αλληλεπίδρασης βοηθούν να διακρίνουμε την υπορροϊκή ανταλλαγή από τις πολύ μεγαλύτερες (και πιο μακράς περιόδου) αλληλεπιδράσεις κοίτης και υπόγειου νερού

Η ΗΖ μπορεί να θεωρηθεί ως το υποσύνολο μικρότερης κλίμακας αλληλεπιδράσεων μεταξύ κοίτης και υπόγειων υδάτων που συμβαίνουν στο

πλαίσιο μεγαλύτερης κλίμακας προτύπων απώλειας και κέρδους (εισροές) νερού

κοίτης στις λεκάνες απορροής

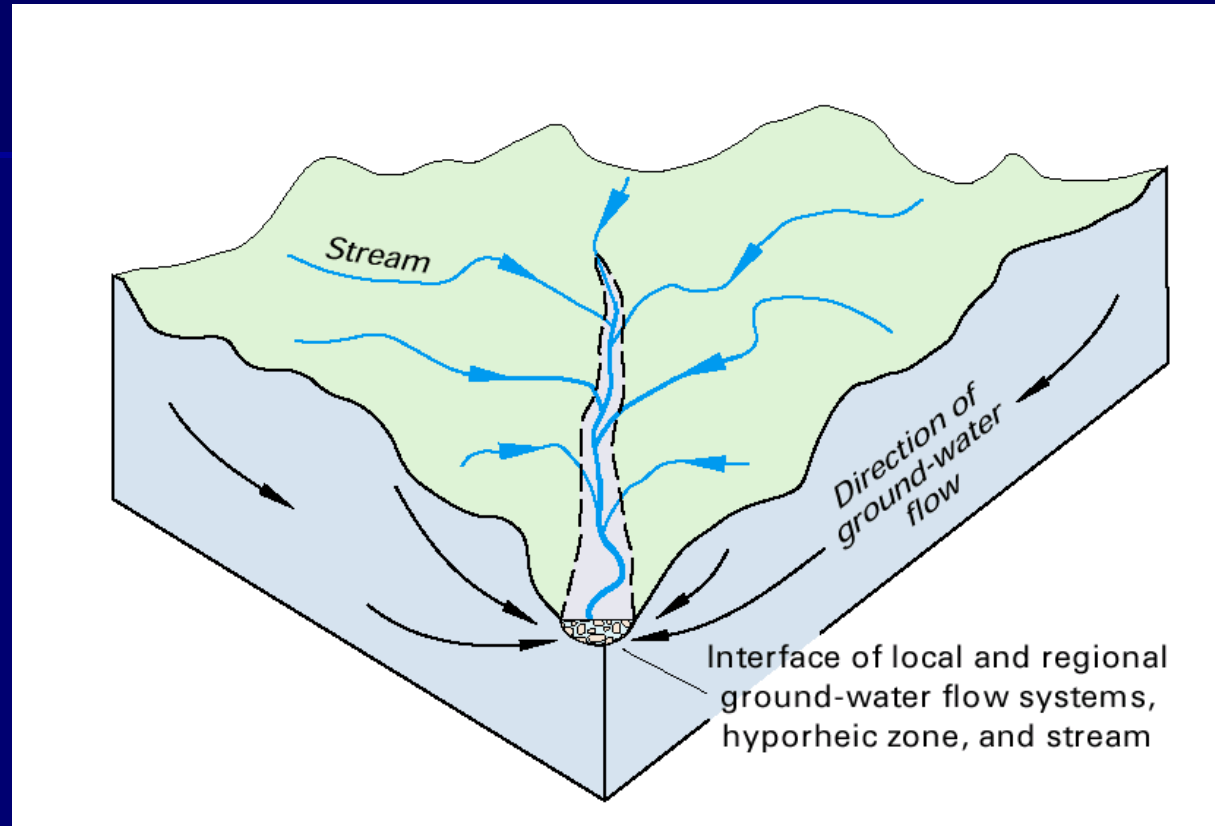


Figure from Winter et al. 2000

- Οι υπορροϊκές διαδρομές ροής αφήνουν και επιστρέφουν στο υδρόρρευμα πολλές φορές σε ένα απλό τμήμα μελέτης της κοίτης!
- Η ανταλλαγή επιφανειακών υδάτων εμπρός και πίσω μεταξύ της ενεργού κοίτης και του υπεδάφους είναι ταχεία. Εντός μερικών χιλιομέτρων, το νερό της κοίτης σε σχετικά μικρά υδρορρεύματα ανταλλάσσεται συχνά εντελώς με το νερό των πόρων της υπορροϊκής ζώνης
- Αυτό φέρνει επανειλημμένα το νερό του υδρορρεύματος σε στενή επαφή με γεωχημικώς και μικροβιακώς ενεργά ιζήματα.

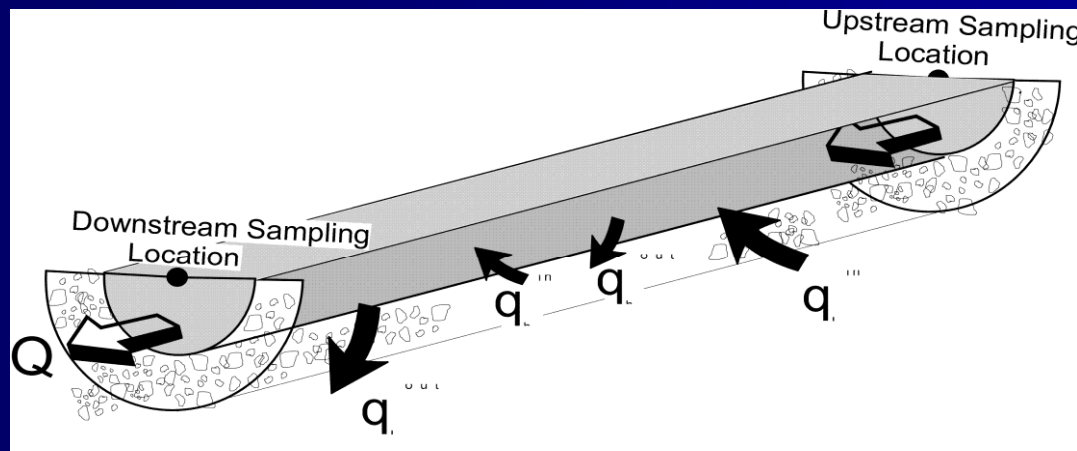


Figure from Harvey & Wagner 2000

Υπάρχουν διάφοροι **σημαντικοί λόγοι για τη διάκριση** των αλληλεπιδράσεων μεταξύ ρευμάτων και υπορροϊκών ζωνών από άλλους τύπους αλληλεπίδρασης με τα υπόγεια ύδατα.

Εξ ορισμού, οι υπορροϊκές ροές, εγκαταλείπουν και επιστρέφουν στο υδρόρρευμα **πολλές φορές** μέσα σε ένα μόνο υπό μελέτη τμήμα του,

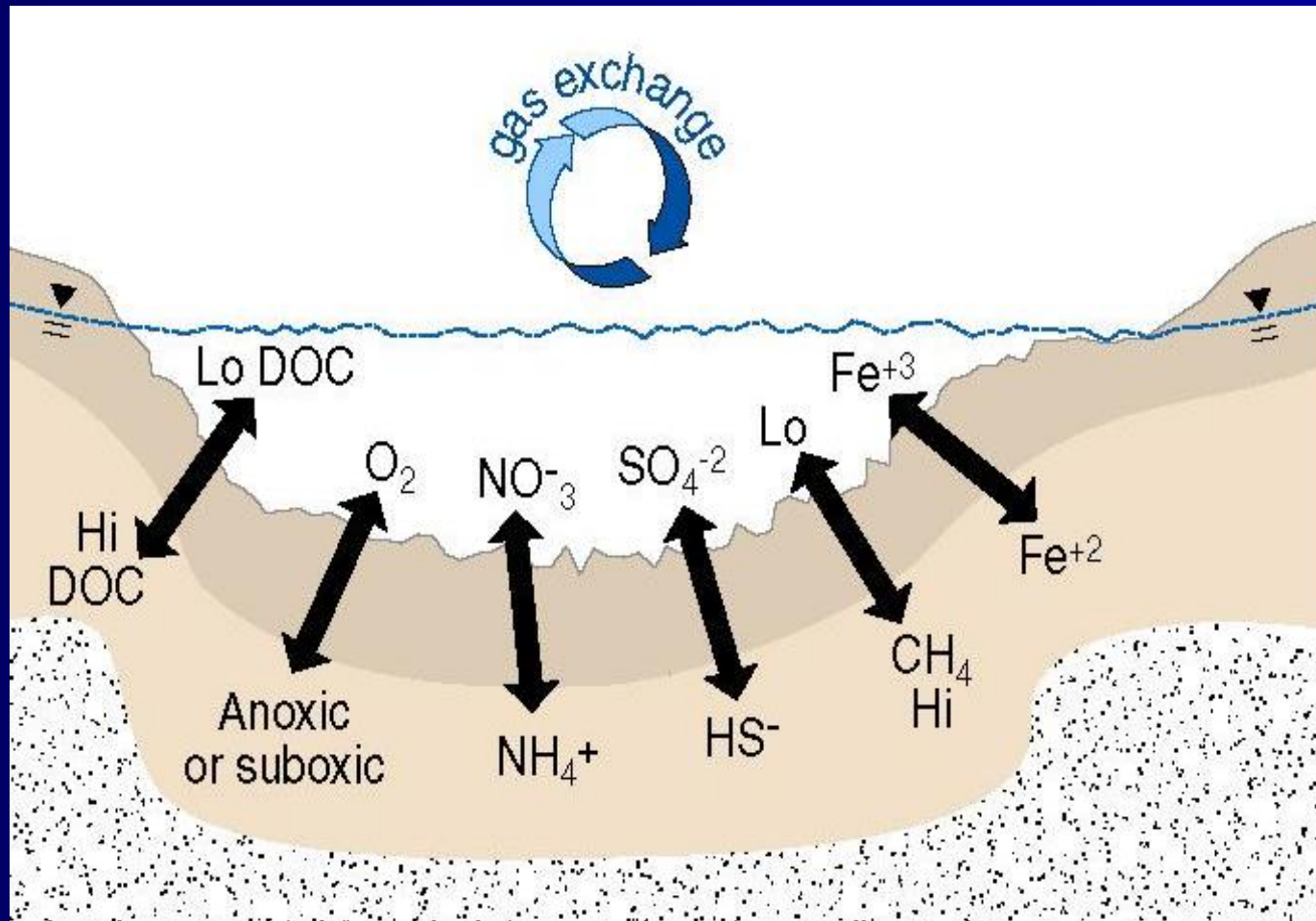
**σε αντίθεση** με τις διαδρομές υπόγειων υδάτων, οι οποίες μπορεί να εισρέουν ή να εγκαταλείπουν ένα τμήμα του υδρόρρευματος μόνο μία φορά

Τόσο οι μικρές όσο και οι μεγάλες **υπορροϊκές διαδρομές ροής** υπάρχουν συνήθως κατά μήκος υδρορρευμάτων.

Ωστόσο, η **μεγαλύτερη αλληλεπίδραση** με το υδρόρρευμα συμβαίνει συνήθως σε σχετικά **μικρές υπορροϊκές διαδρομές ροής** που επιστρέφουν στο υδρόρρευμα μετά από διαδρομές cm έως δεκάδων m σε χρονικές κλίμακες από λεπτά έως 10 δευτερόλεπτα.

# Χημικές βαθμίδες στην διεπιφάνεια

Απότομες βαθμίδες συγκέντρωσης σε διαλυμένα συστατικά υπάρχουν στην διεπιφάνεια υπόγειου/επιφανειακού νερού, λόγω της ανάμειξης χημικώς διαφορετικών νερών και χημικών μετασχηματισμών



Λόγω της ανάμιξης μεταξύ υπόγειων και επιφανειακών υδάτων στην υπορροϊκή ζώνη, ο χημικός και βιολογικός της χαρακτήρας μπορεί να διαφέρει σημαντικά από τα παρακείμενα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα

Για παράδειγμα, οι οξειδο/αναγωγικές αντιδράσεις είναι συνήθεις.

Διάφοροι χημικοί και βιολογικοί μετασχηματισμοί συμβαίνουν σε μια προβλέψιμη αλληλουχία εντός στενών ορίων οξειδοαναγωγής.

Υπό οξειδωτικές συνθήκες, τα αερόβια βακτήρια χρησιμοποιούν οξυγόνο ( $O_2$ ) ως τερματικό δέκτη ηλεκτρονίων κατά την οξείδωση οργανικού υλικού.

Καθώς το περιβάλλον γίνεται ολοένα και περισσότερο αναγωγικό, τα αναερόβια βακτήρια είναι σε θέση να χρησιμοποιούν εναλλακτικούς δέκτες ηλεκτρονίων.

Τα νιτρικά ( $NO_3^-$ ) ανάγονται σε μονοξείδιο του αζώτου ( $N_2O$ ) ή μοριακό άζωτο ( $N_2$ ).

το μαγγάνιο μετατρέπεται από ενώσεις  $Mn^{4+}$  σε ενώσεις  $Mn^{2+}$  και ο τρισθενής σίδηρος ( $Fe^{3+}$ ) ανάγεται σε δισθενή σίδηρο ( $Fe^{2+}$ ).

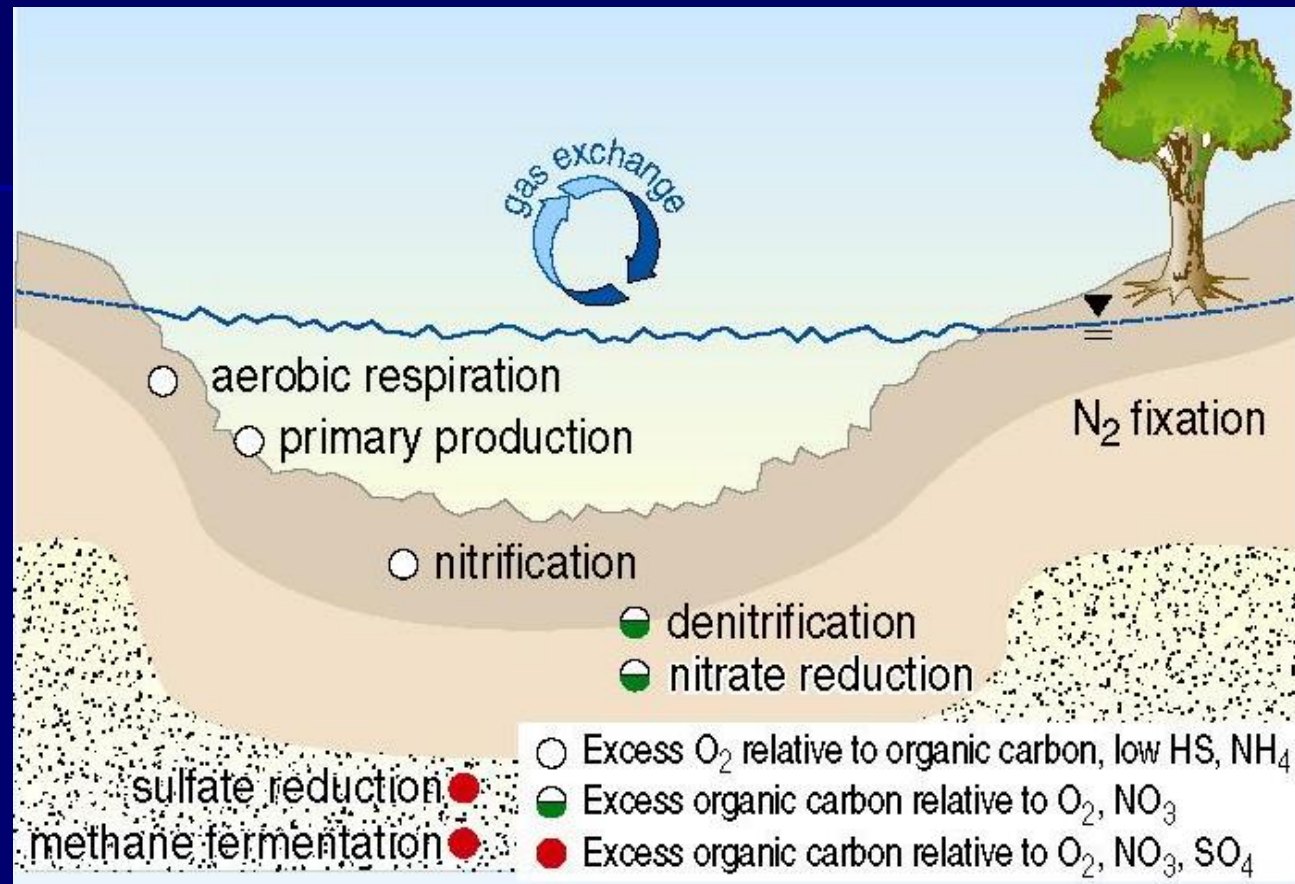
Υπό μόνιμες αναερόβιες συνθήκες, τα δεσμευτικά (obligate) αναερόβια βακτήρια συμμετέχουν στην αναγωγή θειικών ( $SO_4^{2-}$ ) και στο σχηματισμό μεθανίου (μεθανογένεση).

Μπορεί να υπάρξει μια ακολουθία πλευρικών ζωνών

που κυριαρχείται από αερόβια αναπνοή, απονιτροποίηση και αναγωγή θειικών.

# Καθορισμός ζωνών μεταβολικής δραστηριότητας στην υπορροϊκή ζώνη

- Η υδρολογική ανταλλαγή ρυθμίζει τις πηγές οξυγόνου, διοξειδίου του άνθρακα, και θρεπτικών συστατικών για τους οργανισμούς και τα φυτά
- Αυτή ελέγχει άμεσα την τροφική δομή και την πρωτογενή παραγωγικότητα στα υδρορρεύματα



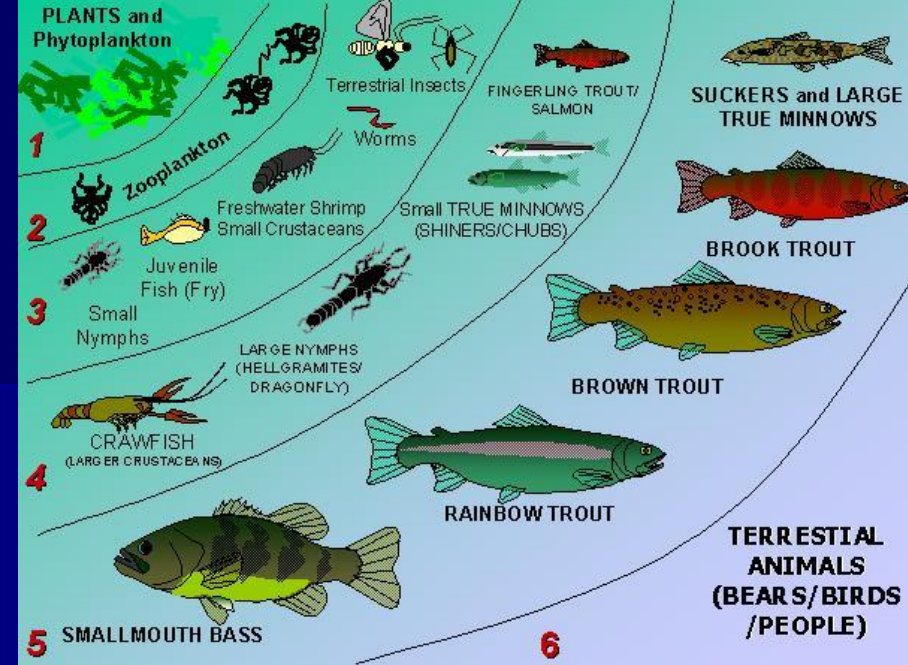
■ Fermentation = ζήμωση

■ Fixation = δέσμευση



## Υδρολογικές ροές

δυναμικά μπορούν να ενισχύσουν την παραγωγή του οικοσυστήματος και στις δύο πλευρές της διεπιφάνειας επιφανειακών/υπογείων υδάτων, μέσω της παροχής διαλυμένων ουσιών που είναι απαραίτητες στα βιολογικά μεταβολισμό.



Σε υδρορρεύματα της ορεινής ζώνης, μπορεί να παρέχεται από

διαλυμένες οργανικές ενώσεις ή υπολείμματα όπως φύλλα και έντομα έως και το 75% της οργανικής βασικής τροφής.

Οι βενθικοί σαπροφάγοι (βακτηρίδια, μύκητες και ασπόνδυλα του πυθμένα που τρέφονται με τα υπολείμματα) αποτελούν τη βάση της υδρόβιας τροφικής αλυσίδας. Μεταβιβάζουν αυτήν την ενέργεια όταν, με τη σειρά τους, καταναλώνονται από μεγαλύτερη βενθική πανίδα και τελικά από ψάρια.

Οι υδρολογικές ροές μπορούν δυνητικά να ενισχύσουν την παραγωγή του οικοσυστήματος και στις δύο πλευρές της διεπιφάνειας υπόγειων/επιφανειακών υδάτων, παρέχοντας διαλυτές ουσίες που είναι απαραίτητες για τον βιολογικό μεταβολισμό.

Αυτές περιλαμβάνουν δομικά στοιχεία βιομάζας (άνθρακα, θρεπτικά συστατικά), άλλες και διαλυτές ουσίες που απαιτούνται για το μεταβολισμό (δέκτες ηλεκτρονίων όπως οξυγόνο, νιτρικά, θειικά κ.λπ.) και διαλύτες παροχής ενέργειας (δότες ηλεκτρονίων όπως διαλυμένος οργανικός άνθρακας, θειούχα, μεθάνιο κ.λπ.).

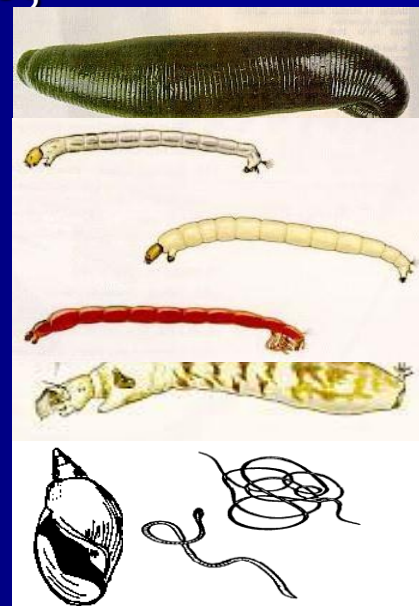
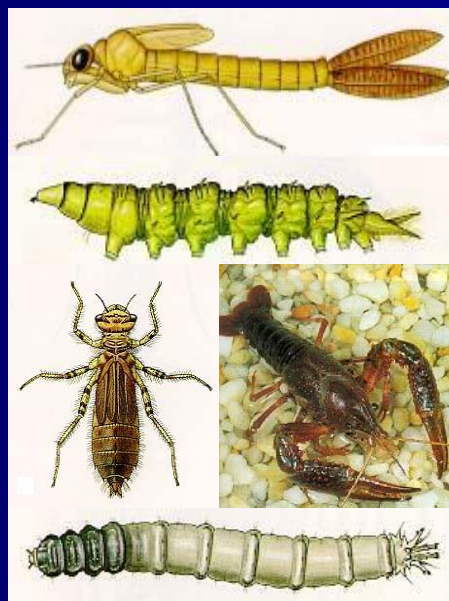
**Η υπορροϊκή ζώνη είναι σημαντική για τους υδρόβιους ζώντες οργανισμούς**

Ο όρος υπορροϊκή ζώνη χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τον Orghidan (1959), ο οποίος περιέγραψε τη διεπιφάνεια ως ένα νέο

**περιβάλλον υπογείων υδάτων που περιέχει διακριτούς ζώντες οργανισμούς**

Υψηλότερη από την αναμενόμενη αφθονία υδρόβιων εντόμων βρέθηκαν σε ιζημάτα, όπου οι συγκεντρώσεις του οξυγόνου ήταν υψηλές

Οι υψηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου στην υπορροϊκή ζώνη προκαλούνται από εισροή υδρορρέυματος και καθιστούν δυνατό να ζουν οι οργανισμοί στους πόρους των ιζημάτων, παρέχοντας έτσι ένα καταφύγιο σ' αυτούς



## Η υπορροϊκή ζώνη μπορεί να είναι μια πηγή θρεπτικών συστατικών: παράδειγμα από Sycamore Creek, Αλάσκα:

Σε μια μελέτη της οικολογίας στο Sycamore Creek κοντά στο Φοίνιξ της Αριζόνα, η υδρολογική ανταλλαγή ενισχύει την αποκατάσταση των οικοσυστημάτων των ερημικών υδρορρευμάτων μετά από καταιγίδες, διεγείροντας την ανακύκλωση των θρεπτικών ουσιών από θαμμένη οργανική ύλη.

H.M. Valett, S.G. Fisher, N.B. Grimm and P. Camill (1994). Vertical Hydrologic Exchange and Ecological Stability of a Desert Stream Ecosystem, *Ecology* 75(2), p. 548 – 560.

Η επίδραση της υδρολογικής σύνδεσης μεταξύ υπορροϊκών και επιφανειακών υποσυστημάτων ερευνήθηκε σε τμήματα ενός ερημικού υδρρεύματος με αμμώδη πυθμένα.

Η κατεύθυνση της υδρολογικής ανταλλαγής μετρήθηκε ως κατακόρυφη υδραυλική κλίση (VHG) χρησιμοποιώντας μίνι-πιεζομέτρα.

Χάρτες της VHG έδειξαν:

ανοδική ροή (εκροή από διάμεσες περιοχές στα επιφανειακά ύδατα) στις βάσεις εμποδίων and heads of runs.

Καθοδική ροή (διείσδυση επιφανειακών υδάτων στην υπορροϊκή ζώνη) σημειώθηκε στις βάσεις τρεξίματος (at the bases of runs).

Τα διαλυμένα  $\text{NO}_3\text{-N}$  στα επιφανειακά ύδατα ήταν υψηλότερα πάνω ή αμέσως μετά από ζώνες ανοδικής ροής.

Η απώλεια συνεχούς προσφοράς από την υπορροϊκή ζώνη και η έντονη αφομοιωτική ζήτηση από επιφανειακά αυτοτροφικούς οργανισμούς δημιούργησαν διαμήκεις μειώσεις στα  $\text{NO}_3\text{-N}$  και χαμηλότερες συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών σε ζώνες καθοδικής ροής.

Η μόνιμη καλλιέργεια φυκιών (ως χλωροφύλλη α) ήταν σημαντικά υψηλότερη στις ζώνες ανοδικής ροής σε περιοχές χωρίς θετικό VHG.

Οι διαδρομές της χλωροφύλλης μετά την πλημμύρα έδειξαν ότι τα φύκια στις ζώνες ανοδικής ροής ανέκαμψαν από τη διαταραχή σημαντικά ταχύτερα από ότι εκείνα στις ζώνες καθοδικής ροής.

Το ποσοστό ανάκτησης σχετίζεται με την παροχή  $\text{NO}_3\text{-N}$  από εμπλουτισμένο διάμεσο νερό στην υπορροϊκή ζώνη.

Ο υδρολογικός δεσμός ενσωματώνει επιφανειακά και υπορροϊκά υποσυστήματα και αυξάνει τη σταθερότητα του οικοσυστήματος

αυξάνοντας την ανθεκτικότητα πρωτογενών παραγωγών μετά από διαταραχές αστραπιαίας πλημμύρας

# Υπορροϊκή ζώνη στο **Sycamore Creek, Arizona**

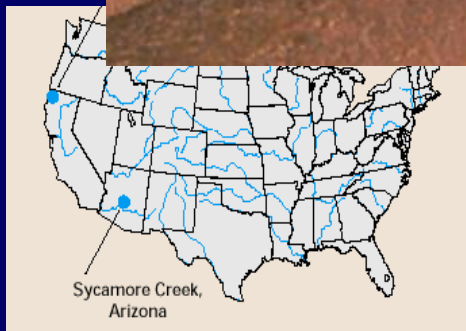


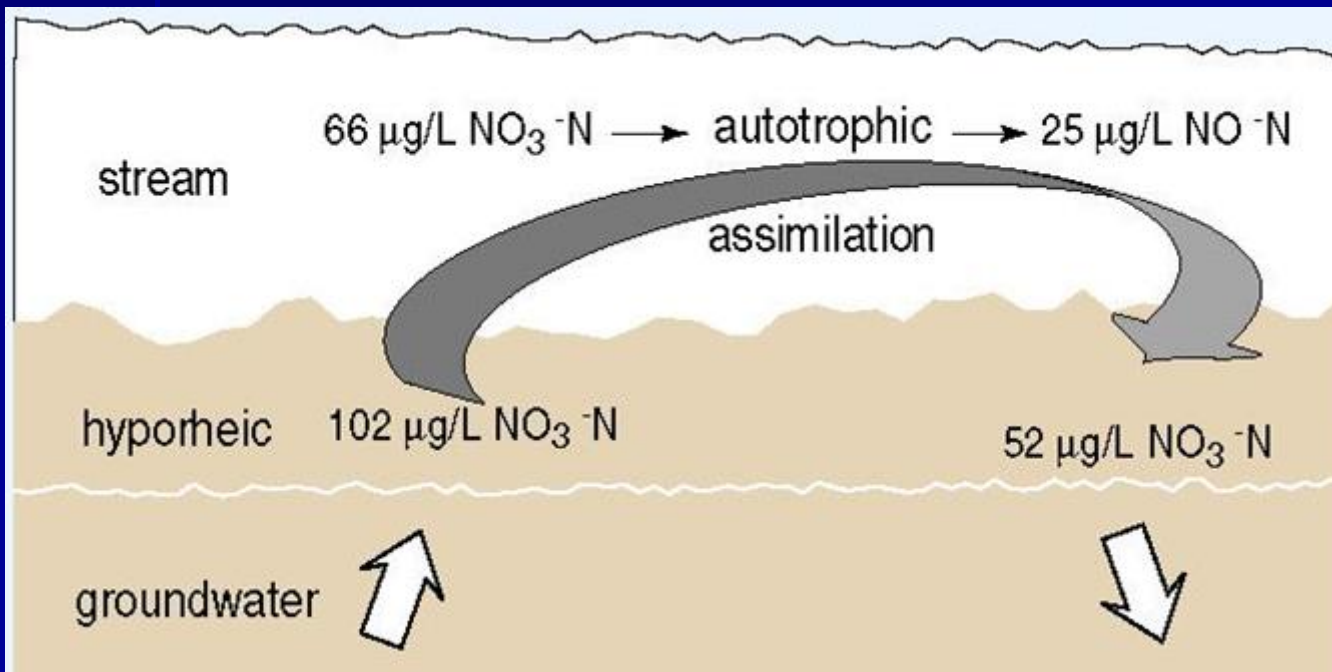
Photo courtesy of Stuart Fisher, Arizona State University



Μετά από μια καταιγίδα, η μεταφορά οξυγόνου στην υπορροϊκή ζώνη διεγείρει την αερόβια αποσύνθεση των θαμμένων φυκιών.

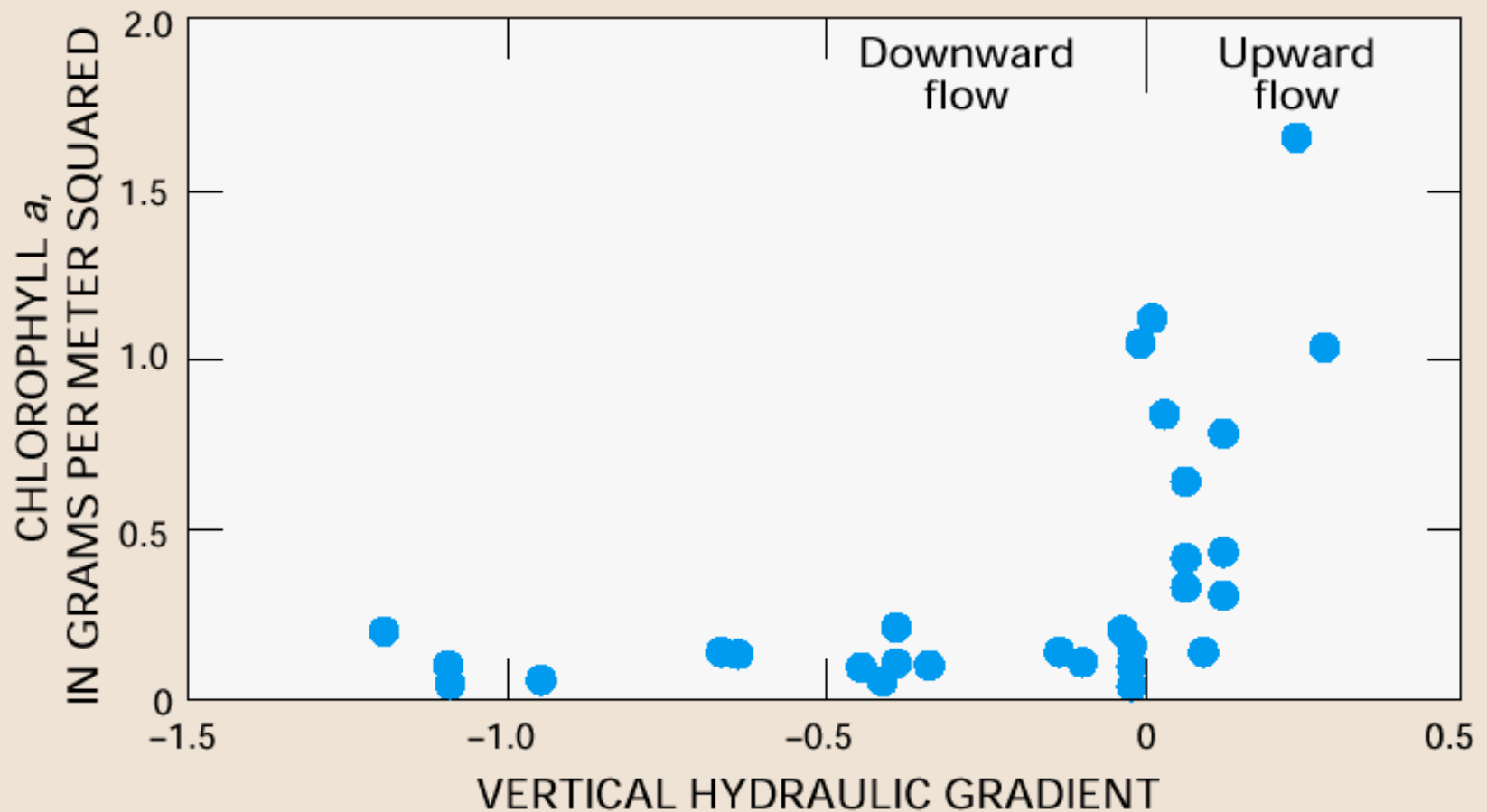
Απελευθερώνονται θρεπτικά συστατικά στην επιφάνεια της κοίτης από επιστροφές ροής μέσω υπορροϊκών διαδρομών ροής

Νιτρικά στην επιφάνεια της κοίτης διεγείρουν νέα πρωτογενή παραγωγικότητα από τα φύκια. Τα φύκια που αναπτύσσονται στα λίγων ιντσών ιζήματα του στρώματος της κοίτης ανέκαμψαν πιο γρήγορα μετά από καταιγίδες σε περιοχές όπου το νερό στα ιζήματα κινήθηκε ανοδικά, από μια εμπλουτισμένη με υπόγεια ύδατα πηγή



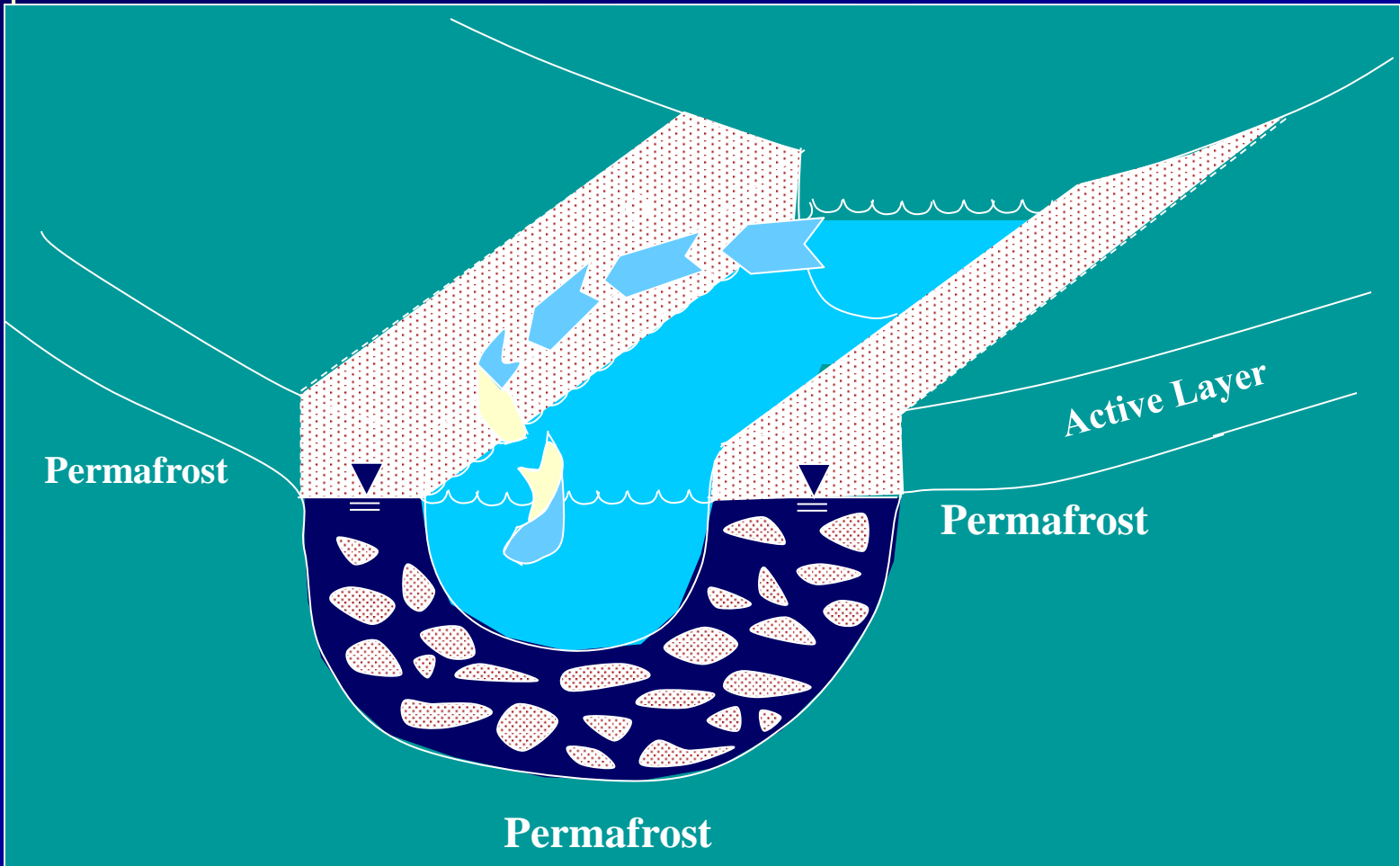
assimilation = αφομοίωση

After Valett et al. 1994



Η αφθονία φυκιών στα ιζήματα του στρώματος της κοίτης, όπως υποδεικνύεται από τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης *a*, ήταν σημαντικά μεγαλύτερη σε περιοχές ανάβλυσης (όπου τα υπόγεια ύδατα κινούνται προς τα πάνω μέσω ιζημάτων) από ότι σε περιοχές κατείσδυσης

**Υπορροϊκή ζώνη: κάτω και στη γειτονία υδρορρεύματος με ενεργό ανταλλαγή νερού**



Σε υδρορρεύματα ξηρών κοιλάδων η “υπορροϊκή ζώνη” παρατηρείται ως υγρή ζώνη στη γειτονία του υδρορρεύματος



**Υδρορρεύματα ξηρών κοιλάδων ρέουν μέσω πορωδών αλλουβιακών υλικών με υψηλούς ρυθμούς «υπορροϊκής ανταλλαγής».**



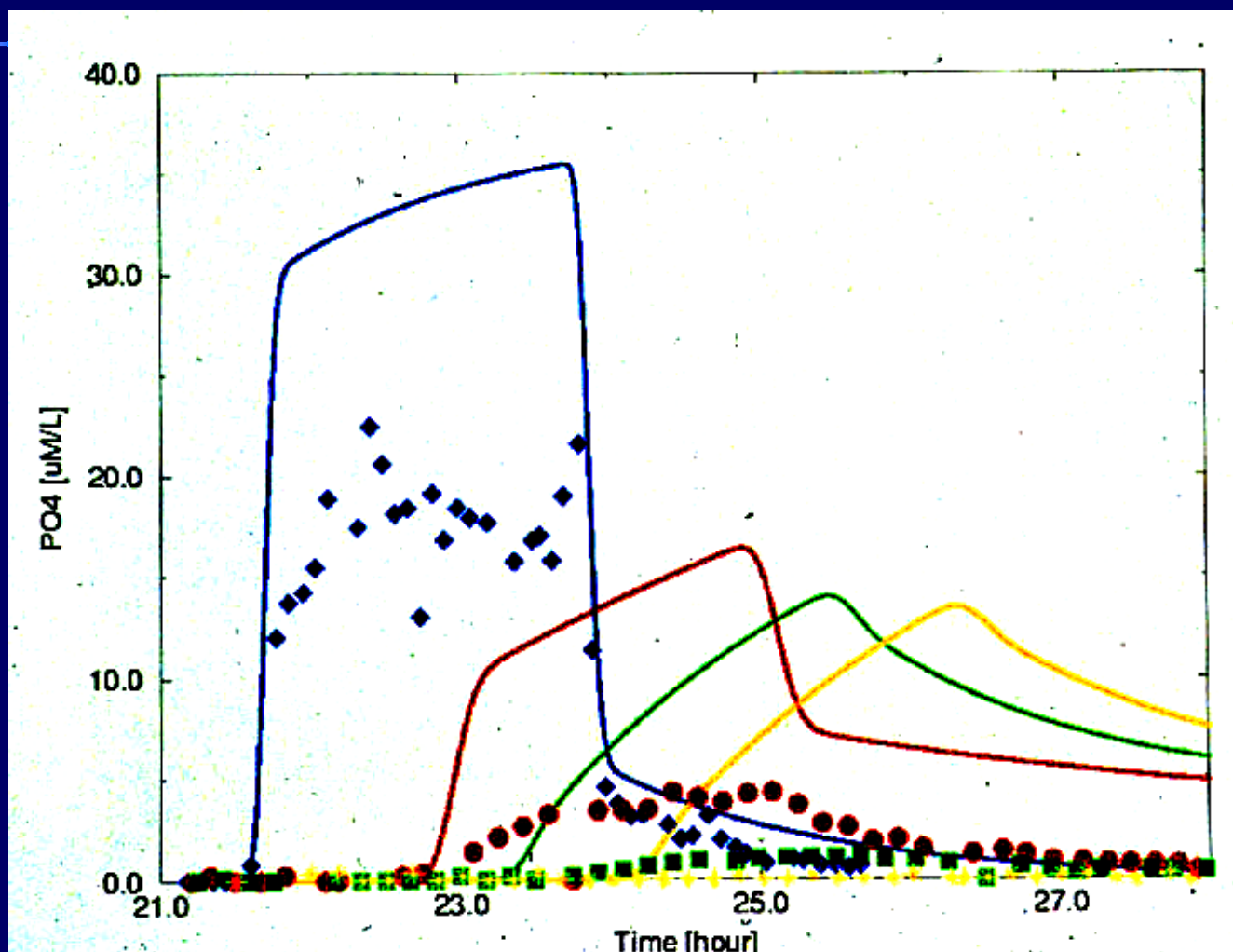
**Πειραματικός εμπλουτισμός με νιτρικά και  
φωσφορικά: 1.5 hrs**



# Δειγματοληψία στο Green Creek κατά τη διάρκεια του πειράματος



# Στρώματα φυκιών! Τα προστιθέμενα θρεπτικά προσλαμβάνονται και δεν εμπλουτίζουν τη λίμνη





# Η υπορροϊκή ζώνη ανατροφοδοτεί το χερσαίο τοπίο: παράδειγμα από τη νοτιοανατολική Αλάσκα

*Ecology*, 82(9), 2001, pp. 2403–2409  
© 2001 by the Ecological Society of America

## EFFECTS OF SALMON-DERIVED NITROGEN ON RIPARIAN FOREST GROWTH AND IMPLICATIONS FOR STREAM PRODUCTIVITY

JAMES M. HELFIELD<sup>1,3</sup> AND ROBERT J. NAIMAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*College of Forest Resources, University of Washington, Box 352100, Seattle, Washington 98195 USA*

<sup>2</sup>*School of Aquatic and Fishery Sciences, University of Washington, Box 355070, Seattle, Washington 98195 USA*

- Επιστρέφοντας οι σολομοί στο γλυκό νερό αναπαράγονται και πεθαίνουν στα γενέθλια υδρορρεύματα, μεταφέροντας θαλάσσιο άζωτο στους ιστούς του σώματός τους
- Επιστρέφοντας ο σολομός παρέχει μια εποχιακή πηγή τροφής για πουλιά και θηλαστικά και θρεπτικά συστατικά από την αποσύνθεση των πτωμάτων σολομού που ενσωματώνονται στους ζώντες οργανισμούς του γλυκού νερού σε διάφορα τροφικά επίπεδα
- Από αυτή την «επιδότηση» σε θρεπτικά συστατικά, οι ρυθμοί ανάπτυξης δένδρων αυξάνονται σημαντικά κοντά σε υδρορρεύματα ωτοκίας. MDN (θαλάσσιας προέλευσης θρεπτικές ουσίες μεταφέρονται από τα υδρορρεύματα ωτοκίας σε παραποτάμια δάση από τις πλημμύρες που αποθέτουν πτώματα σολομού στις όχθες των υδρορρευμάτων και μέσω μεταφοράς των διαλυμένων θρεπτικών ουσιών από την ζώνη ωτοκίας στην υπορροϊκή ανταλλαγή.



Πλημμύρισμα  
Διάβρωση όχθων  
Sediment deposition

Υποροϊκή

Σκίαση

Εισερχόμενος DOC

Διήθηση ιζημάτων θραύσεως

Σταθεροποίηση όχθων

Λίπανση με MDN  
της παραποτάμιας  
βλάστησης

MDN  
μεταφέρεται  
στα ανάντη

Ενισχυμένη παράκτια ανάπτυξη  
Αλλαγές στα spp. (multiple species)  
σύνθεση, ποικιλότητα, εδαφική χημεία

Υλικά μεταφέρονται στα κατάντη

Οι **ισοτοπικές αναλύσεις** έδειξαν ότι σε δέντρα και θάμνους κοντά σε υδρορρέυματα ωοτοκίας, περίπου το 25% του αζώτου των φύλλων τους προέρχεται από σολομούς αναπαραγωγής

Καθώς τα παραποτάμια δάση **επιηρεάζουν την ποιότητα των βιότοπων** εντός του υδρορρέυματος μέσω της σκίασης, των ιζημάτων, της διήθησης θρεπτικών ουσιών και της παραγωγής μεγάλων ξυλωδών υπολειμμάτων,

αυτή η διαδικασία λίπανσης εξυπηρετεί όχι μόνο για την **ενίσχυση της παραποτάμιας παραγωγής**, αλλά μπορεί επίσης να λειτουργήσει ως ένας **θετικός μηχανισμός ανατροφοδότησης** με τον οποίο τα θρεπτικά συστατικά που προέρχονται από σολομό βελτιώσουν την αναπαραγωγή και εκτροφή ενδαιτημάτων για τον επόμενο σολομό.

Το MDN θα μεταφερθεί από υδρορρέυματα ωοτοκίας σε παραποτάμια δάση με πλημμύρες που εναποθέτουν σκελετούς σολομού στις όχθες υδρορρευμάτων και μέσω της μεταφοράς διαλυμένων θρεπτικών ουσιών από υδρορρέυματα

# Πού πραγματοποιείται? παράδειγμα υπορροϊκής ανταλλαγής από τη νοτιοδυτικά Αλάσκα

American Fisheries Society Symposium 33:99–107, 2002  
© Copyright by the American Fisheries Society 2002

## Evidence for Hyporheic Transfer and Removal of Marine-Derived Nutrients in a Sockeye Stream in Southwest Alaska

THOMAS C. O'KEEFE

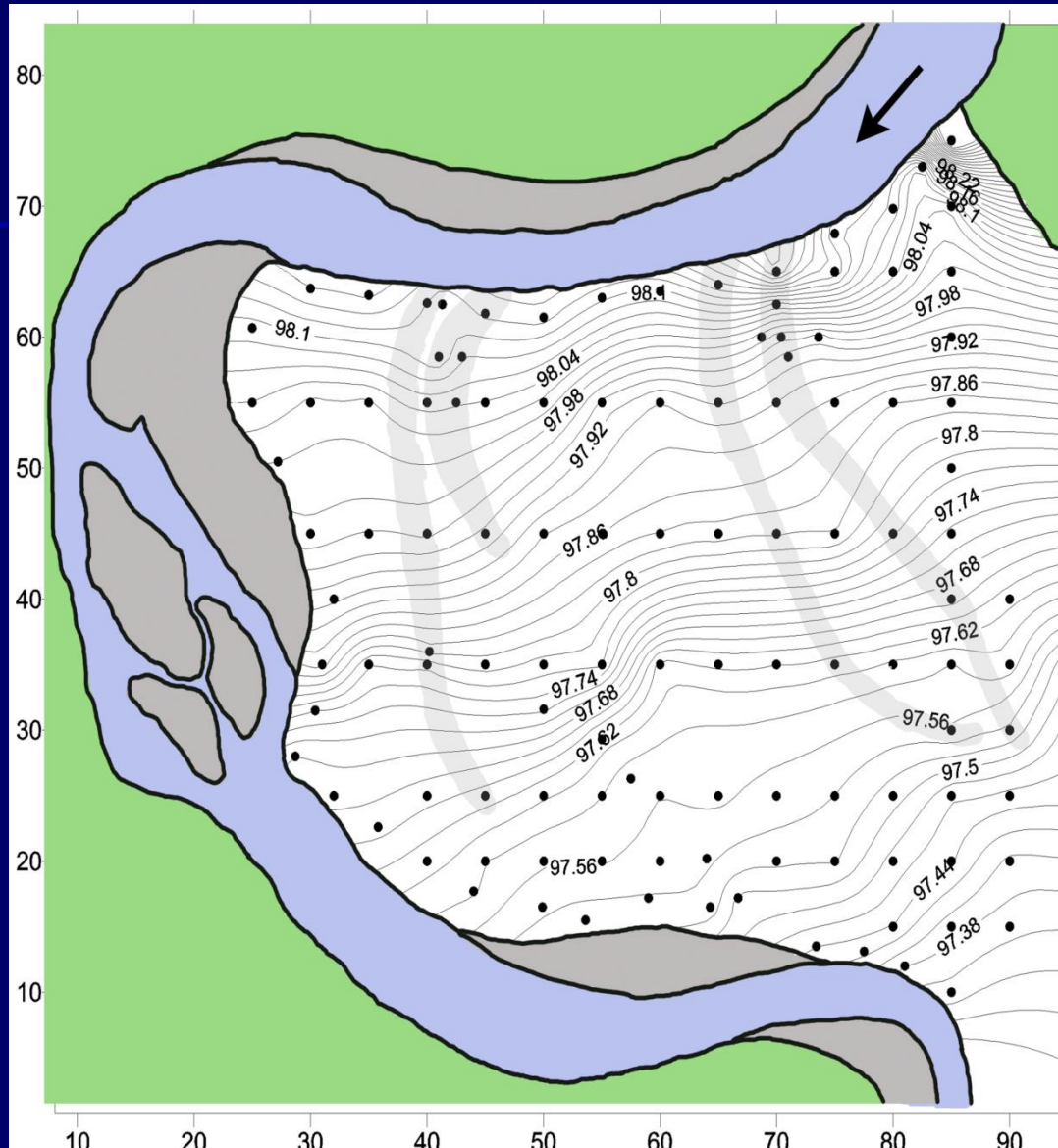
*School of Aquatic and Fishery Sciences,  
University of Washington, Seattle, Washington 98195, USA*

RICK T. EDWARDS

*Aquatic and Land Interactions Program, Pacific Northwest Research Station,  
USDA Forest Service, 2770 Sherwood Lane, Suite 2A, Juneau, Alaska 99801, USA.*

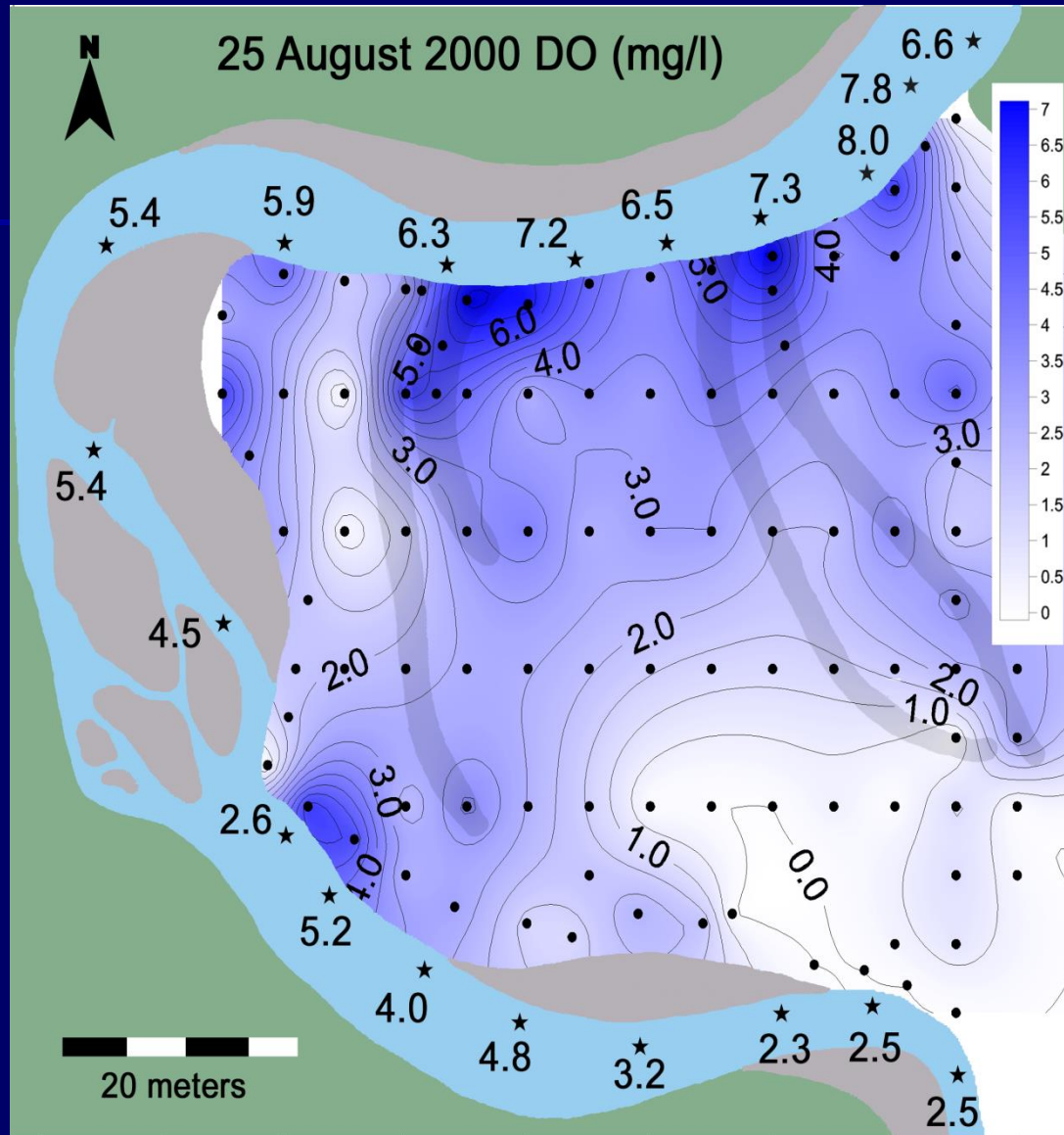
- Πλευρική μεταφορά θρεπτικών ουσιών συμβαίνει στην υπορροϊκή ζώνη και στα παρακείμενα παρόχθια πλημμυρικά πεδία κατά μήκος τμημάτων ωτοκίας.
- Η υπορροϊκή αποθήκευση & επαναπελευθέρωση του MDN είναι ένας σημαντικός μηχανισμός με τον οποίο τα θρεπτικά συστατικά που διατηρούνται κατά το χειμώνα στα οικοσυστήματα του υδρορρέυματος διατίθενται μεταγενέστερα στους πρωτογενείς παραγωγούς την ακολουθούσα αναπτυξιακή περίοδο.

# Υδραυλική κλίση σε ένα δίκτυο γεωτρήσεων



Slide courtesy of Tom O'Keefe & Rick Edwards, University of Washington

# DO gradients illustrating hyporheic exchange



Slide courtesy of Tom O'Keefe & Rick Edwards, University of Washington



Photo courtesy of Bob Naiman, University of Washington

**Loss of water from stream reach to the hyporheic zone commonly related to meanders in streambed**

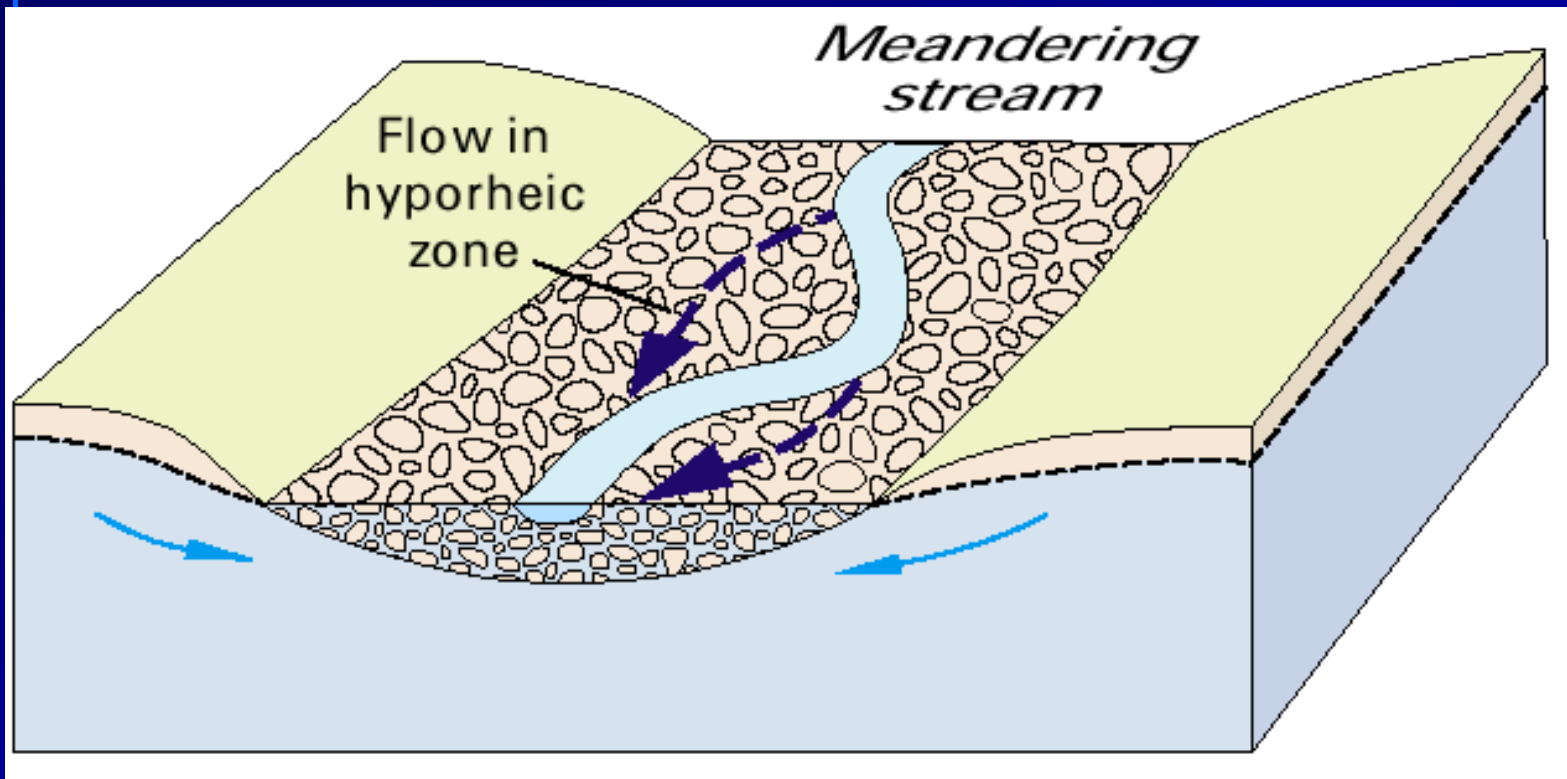


Figure from Winter et al. 2000



# Where does hyporheic exchange take place? example from St. Kevin Gulch, CO

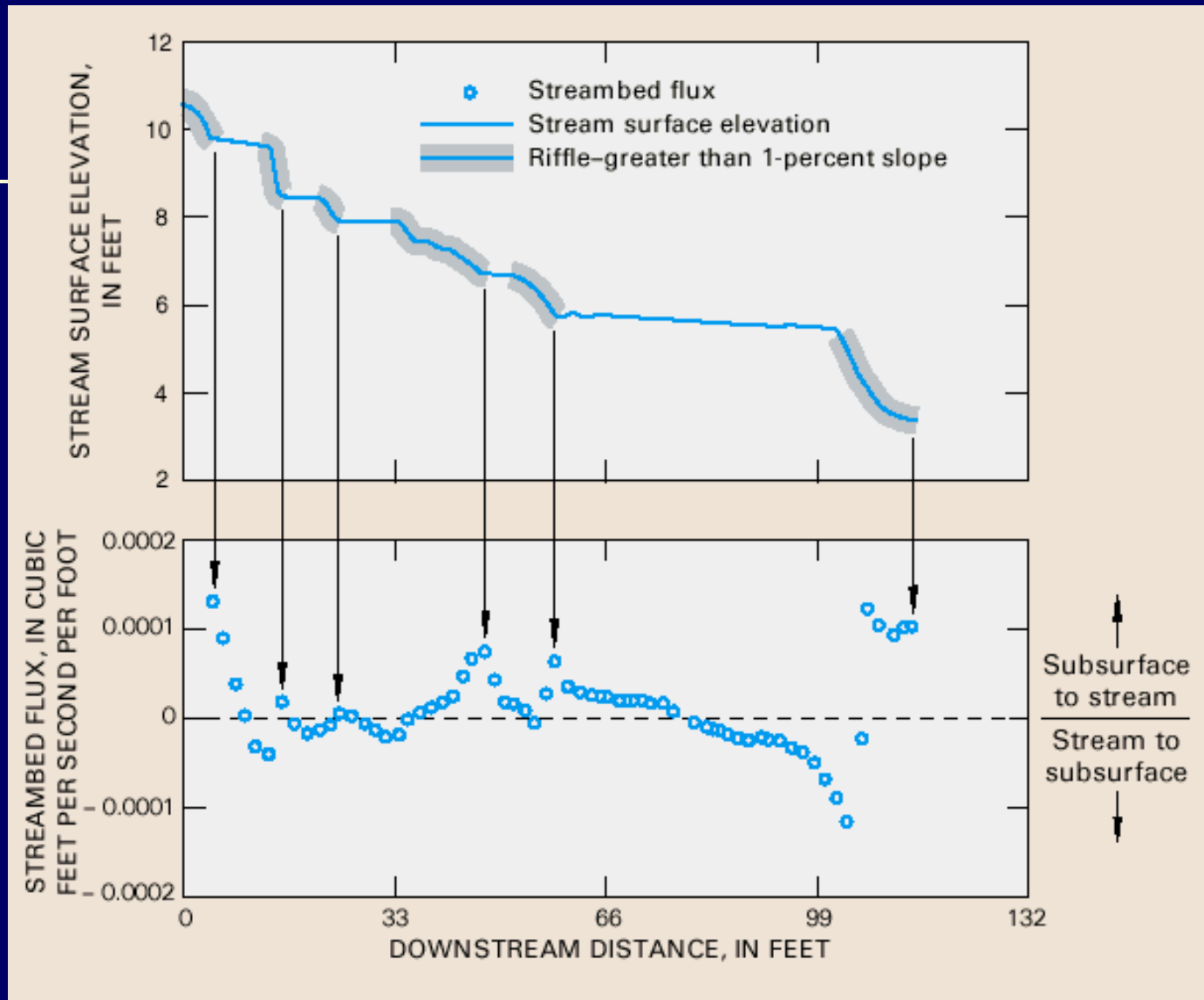
WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 29, NO. 1, PAGES 89-98, JANUARY 1993

## The Effect of Streambed Topography on Surface-Subsurface Water Exchange in Mountain Catchments

JUDSON W. HARVEY AND KENNETH E. BENCALA

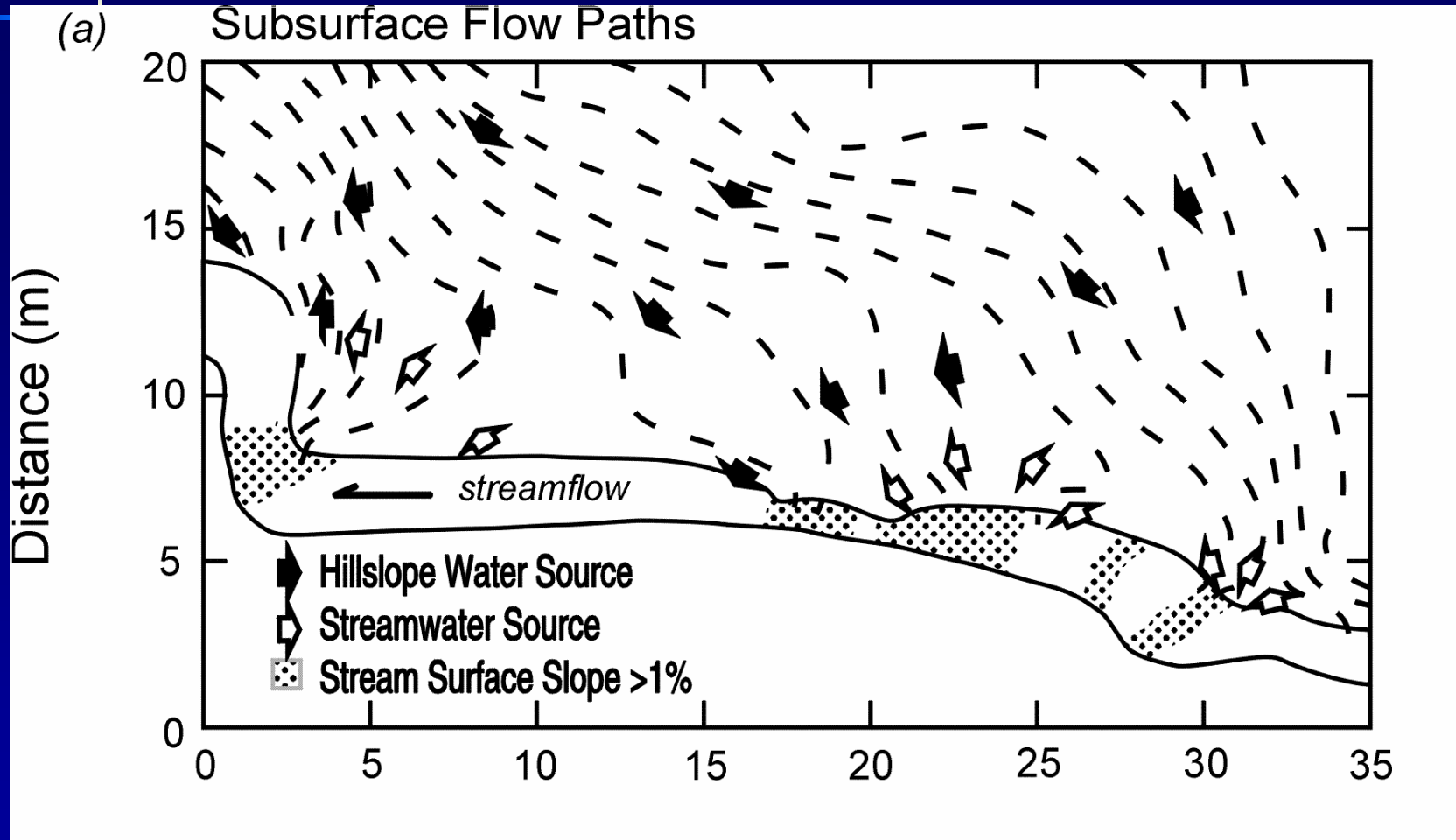
Μια μελέτη σε στρώμα κοίτης υδρορρεύματος τρίτης τάξης από κροκάλες στα Βραχώδη Όρη του Κολοράντο, που χαρακτηρίζεται από βαθιά σημεία και εμπόδια (riffles), υποδεικνύει γεωμορφολογικούς ελέγχους για το πού πραγματοποιείται η υπορροϊκή ανταλλαγή.

Η εισροή νερού από την υπορροϊκή ζώνη στο υδρόρευμα ήταν μεγαλύτερη στο κατάντη άκρο των εμπόδιων (riffles)



After Harvey & Bencala, 1993

Το νερό του υδρορρέυματος ρέει στην υποεπιφάνεια κάτω και προς την πλευρά των απότομων τμημάτων ρευμάτων (riffles) και το υπόγειο νερό εισρέει σε υδρορρέυματα πιο εύκολα στο ανάντη άκρο των βαθιών λιμνών



σημαντικά σημεία σχετικά με τους ελέγχους του πού η υπορροϊκή ανταλλαγή λαμβάνει χώρα

Υπορροϊκή ανταλλαγή προκαλείται σε μεγάλο βαθμό από την ακανόνιστη τοπογραφία του στρώματος της κοίτης, η οποία δημιουργεί λιμνούλες & εμπόδια χαρακτηριστικό των ορεινών χειμάρρων.

Το ακανόνιστο της κοίτης αποτελεί σημαντικό έλεγχο σχετικά με τη θέση εισροής υπογείων υδάτων σε υδρορρεύματα και στο μέγεθος της υπορροϊκής ζώνης στους ορεινούς χειμάρρους, διότι οι αλλαγές στην κλίση καθορίζουν το μήκος και το βάθος των υπορροϊκών διαδρομών ροής

Οι απώλειες νερού από τμήμα υδρορρεύματος προς την υπορροϊκή ζώνη συνήθως σχετίζονται με απότομες αλλαγές στην κλίση του στρώματος της κοίτης του υδρορρεύματος

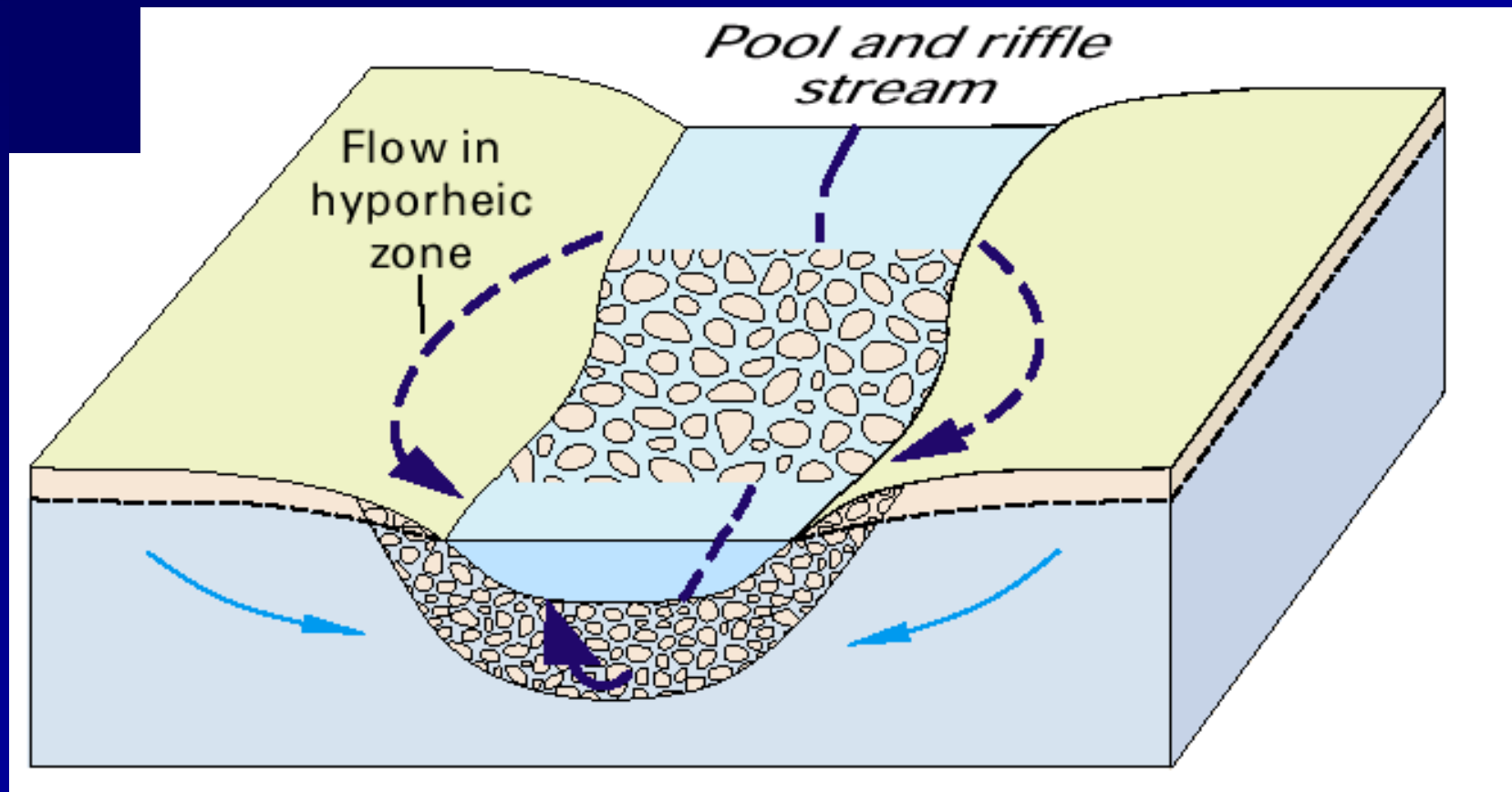


Figure from Winter et al. 2000

## Πόσο εκτεταμένη μπορεί να είναι μια υπορροϊκή ζώνη?

Ανάλογα με:

- τον τύπο των ιζημάτων στο στρώμα της κοίτης και στις όχθες,
- τη μεταβλητότητα στην κλίση του στρώματος της κοίτης, και
- τις υδραυλικές βαθμίδες στο παρακείμενο σύστημα υπόγειου νερού,

η υπορροϊκή ζώνη μπορεί να είναι λίγα μέτρα σε βάθος έως και μερικές δεκάδες μέτρα σε εύρος.

Οι διαστάσεις της υπορροϊκής ζώνης αυξάνουν γενικά με την

**αύξηση του εύρους του υδρορρεύματος** και της **διαπερατότητας**

**των ιζημάτων** του στρώματος της κοίτης.

# Παράδειγμα μεγάλης υπορροϊκής ζώνης: Willamette River: OR



Journal of Hydrology 244 (2001) 157–180

Journal  
of  
Hydrology

www.elsevier.com/locate/jhydrol

## Linking hyporheic flow and nitrogen cycling near the Willamette River — a large river in Oregon, USA

S.R. Hinkle<sup>a,\*</sup>, J.H. Duff<sup>b,2</sup>, F.J. Triska<sup>b,2</sup>, A. Laenen<sup>a,1</sup>, E.B. Gates<sup>c,3</sup>, K.E. Bencala<sup>b,2</sup>,  
D.A. Wentz<sup>a,1</sup>, S.R. Silva<sup>b,2</sup>

<sup>a</sup>US Geological Survey, 10615 SE Cherry Blossom Drive, Portland, OR 97216, USA

<sup>b</sup>US Geological Survey, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, USA

<sup>c</sup>Oregon Water Resources Department, 1340 NW Wall Street, Bend, OR 97701, USA

Received 19 January 2000; revised 14 November 2000; accepted 24 January 2001

### Abstract

Several approaches were used to characterize ground water/surface water interactions near the Willamette River — a large (ninth order) river in Oregon, USA. A series of potentiometric surface maps demonstrated the presence of highly dynamic hydraulic gradients between rivers and the adjacent aquifer. Hyporheic zone gradients extended on the order of hundreds of meters. River gains and losses at the river stretch scale (tens of kilometers) were consistent with fluxes implied by the potentiometric surface maps, and apparently reflect regional ground water/surface water interactions. Gains and losses of up to 5–10% of streamflow were observed at this scale. On the river reach scale (1–2 km), gains and losses on the order of 5% of streamflow were interpreted as representing primarily local hyporheic exchange.

Isotopic and chemical data collected from shallow hyporheic zone wells demonstrated interaction between regional ground

• Ένα μεγάλο υδρόρρευμα 9ης τάξης με διαπερατές, χονδρόκοκκες, αλλουβιακές αποθέσεις στην κοίτη και στο πεδίο πλημμυρών

- Εύρος HZ = εκατοντάδες m
- Το άζωτο που προέρχεται από περιφερειακά υπόγεια ύδατα απομακρύνθηκε από τη HZ
- Τα κέρδη/απώλειες στη ροή της YZ σε τμήματα 1-2 km ήταν της τάξης του 5% της ροής του υδρορρεύματος

## **ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΡΩΤΗΣΗ**

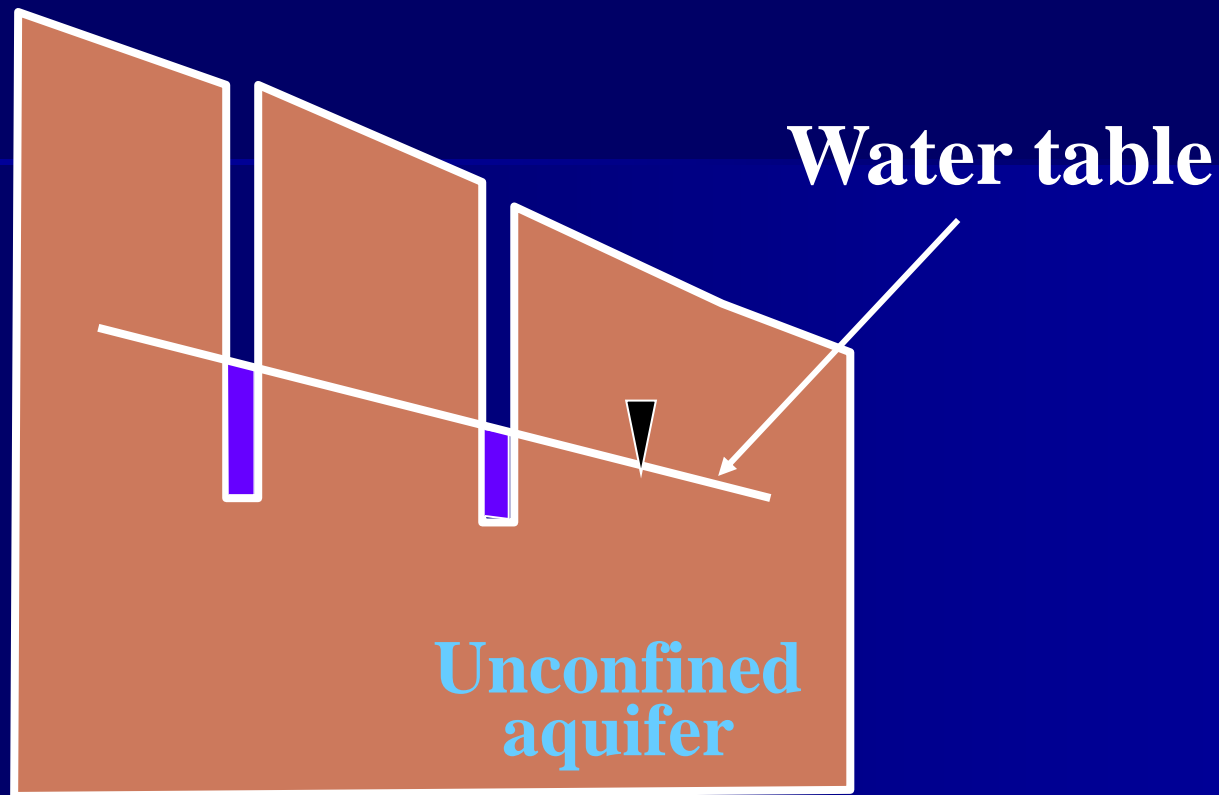
**Ποιες είναι οι συνήθειες μέθοδοι που**

**χρησιμοποιούνται για τον ποσοτικό προσδιορισμό**

**των υπορροϊκών ροών;**

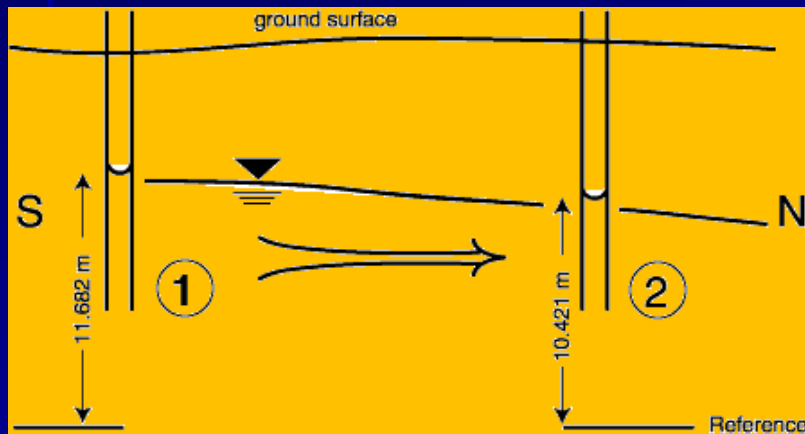


## Υποεπιφανειακές μετρήσεις σε πιεζόμετρα

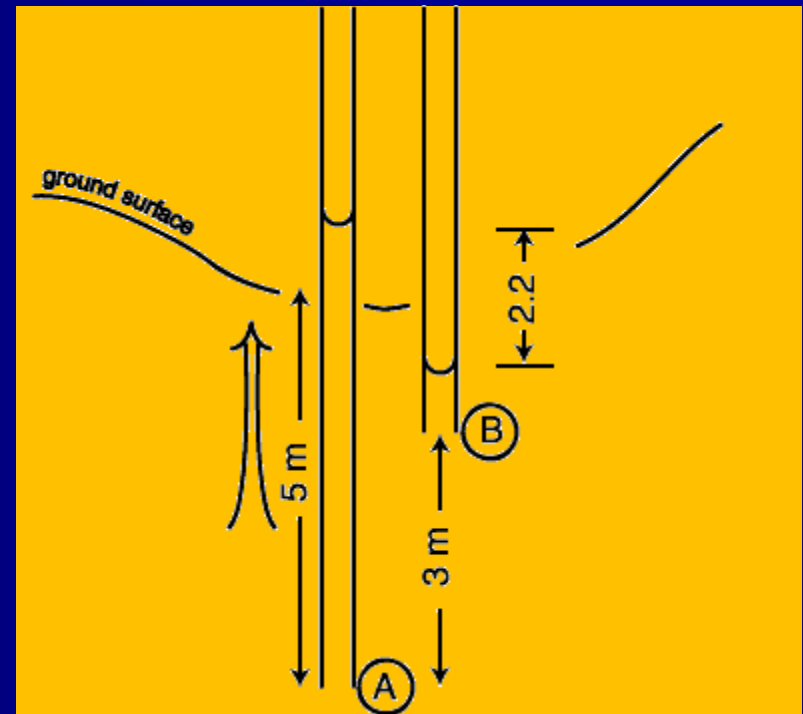


Η στάθμη του νερού στα πιεζόμετρα εντοπίζεται στην υδροστατική επιφάνεια Αυτό το επίπεδο είναι ένα μέτρο του υδραυλικού φορτίου, ή δυναμικού σε αυτό το σημείο.

# Ανοδική & καθοδική κίνηση μπορούν να συναχθούν από τα δεδομένα παρακολούθησης πιεζομέτρου



Horizontal flow direction



Vertical flow direction

# Hydrometric measurements at Rio Calavares, NM

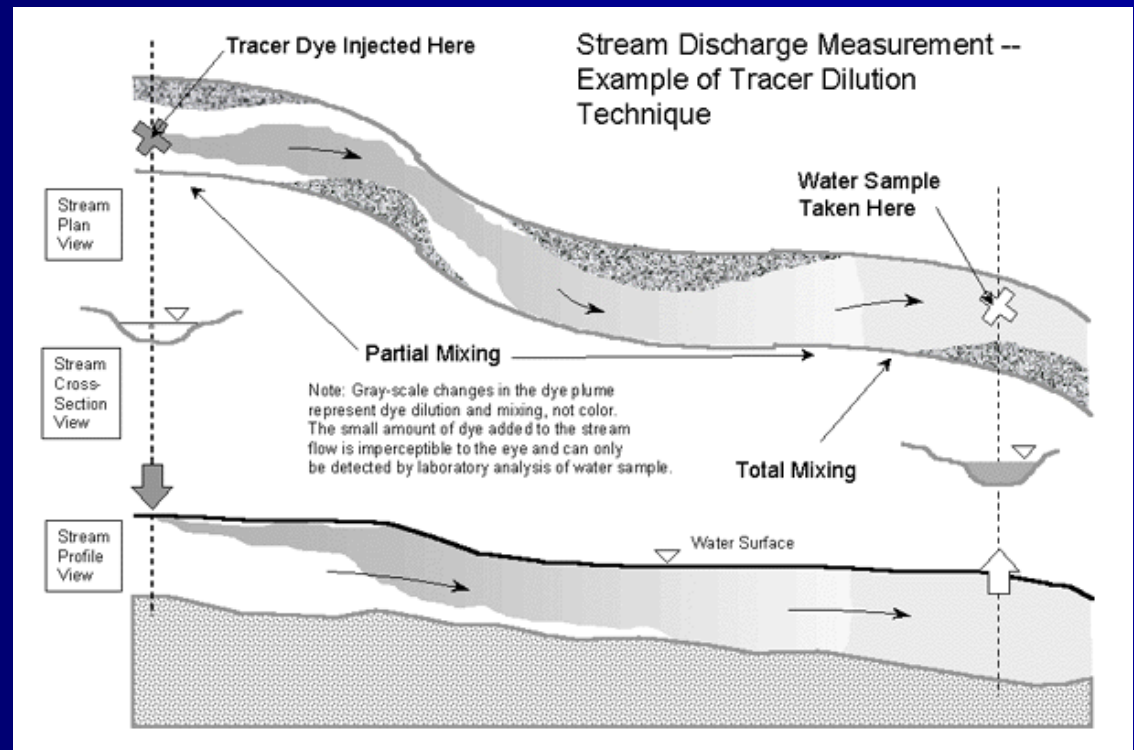


Photo courtesy of Michelle Baker, Utah State University

## Εγχυση & μεταφορά ενός διαλυμένου ιχνηθέτη στο υδρόρρευμα

Ένας ιχνηθέτης απελευθερώνεται, και οι μετρήσεις της διέλευσής του γίνονται σε μια θέση στα κατάντη.

Ποια θα είναι η γραφική παράσταση της συγκέντρωσης του ιχνηθέτη με την πάροδο του χρόνου στο κατάντη σημείο παρακολούθησης;



Οι υδρολόγοι έχουν καταβάλει σημαντική προσπάθεια για την ανάπτυξη μοντέλων που περιγράφουν τη μεταφορά διαλυμένων ουσιών στο ρέον νερό

**Διαλυμένα συστατικά** των οποίων η κυμαινόμενη κατανομή σε υπόγεια και επιφανειακά ύδατα μπορεί να αξιοποιηθεί για την εκτίμηση υδρολογικών και χημικών ροών

### **Παραδείγματα:**

- Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Κύρια ανιόντα και κατιόντα (π.χ. χλωρίο, νάτριο, μαγνήσιο)
- Σταθερά ισότοπα οξυγόνου και υδρογόνου στο νερό ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ )
- Ραδιογενή ισότοπα (π.χ.  $^3\text{H}$ ,  $^3\text{He}$ ,  $^{81}\text{Kr}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ )
- Άλλοι «ιχνηλάτες» (π.χ. CFC's (χλωροφθοράνθρακες, μερικά ζιζανιοκτόνα)

## Έχουν χρησιμοποιηθεί:

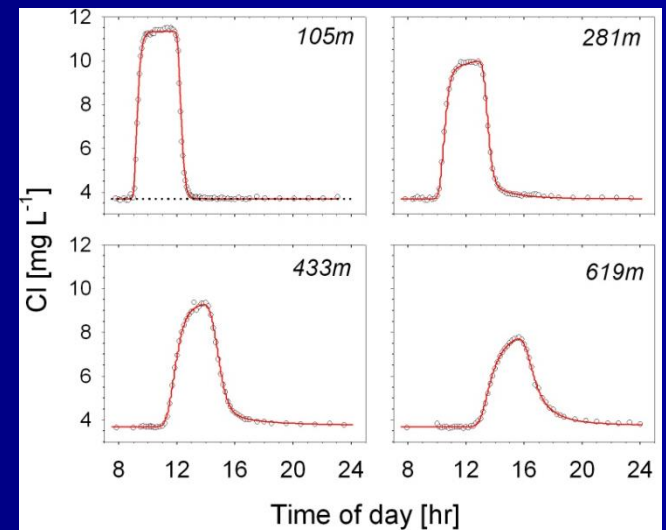
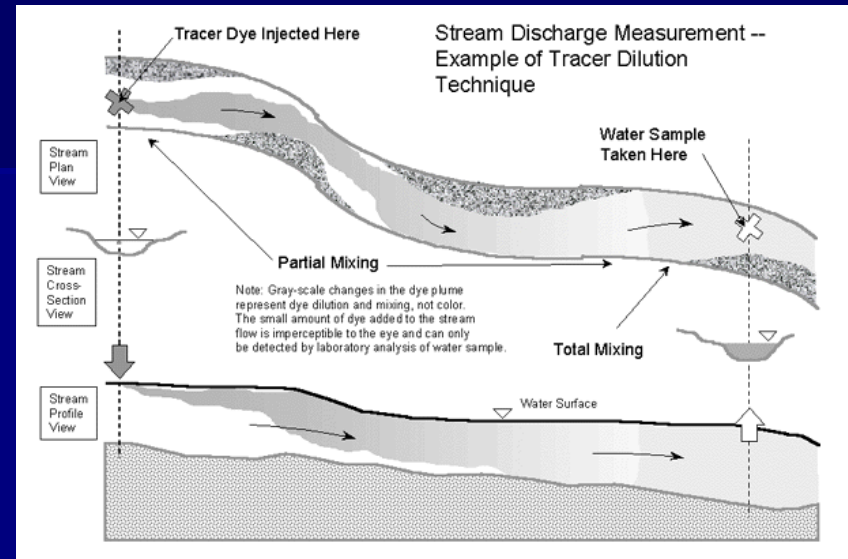
- Για τον προσδιορισμό των περιοχών προέλευσης της ροής των υπόγειων υδάτων σε μια λεκάνη απορροής
- Για την ποσοτικοποίηση των ροών νερού και/ή διαλυμένων ουσιών διαμέσου της διεπιφάνειας υπόγειων/επιφανειακών υδάτων
- Για τον υπολογισμό της καθαρής παραγωγής ή της κατανάλωσης μιας αντιδρούσας (reactive) διαλυμένης ουσίας κατά την μεταφορά της κατά μήκος μιας διαδρομής ροής διαλυμένης ουσίας

# Εγχυση & μεταφορά ενός διαλυμένου ιχνηθέτη στο υδρορρέυμα

Η συγκέντρωση θα αυξηθεί, θα φτάσει σε ένα σταθερό επίπεδο, και στη συνέχεια μειώνεται καθώς ο παλμός περνά από το σημείο ελέγχου

Η διαλυμένη ουσία διασπείρεται από το σημείο της απελευθέρωσης λόγω

- της δύναμης του υδρορρέυματος (advection)
- της διάχυσης και
- της τυρβώδους ανάμιξης κατά μήκος του υδρορρέυματος.



**Η χρωστική ιχνηθέτης απεικονίζει την αποθήκευση νερού στα περιθώρια της κοίτης: οι πλευρές αρχικά δεν έχουν βαφή**



Photo courtesy of Jud Harvey, USGS, Reston, VA



2) όλα τα μέρη της κοίτης έχουν χρωστική



Photo courtesy of Jud Harvey, USGS, Reston, VA

3) οι πλευρές διατηρούν τη χρωστική περισσότερο από την κεντρική κοίτη:



Photo courtesy of Jud Harvey, USGS, Reston, VA

**Παροδική αποθήκευση:** η προσωρινή κατακράτηση διαλυμένων ουσιών σε αργά κινούμενο ή στάσιμο νερό, και η ενδεχόμενη μετακίνηση των διαλυμένων ουσιών και του νερού πίσω στην κοίτη του υδρορρεύματος

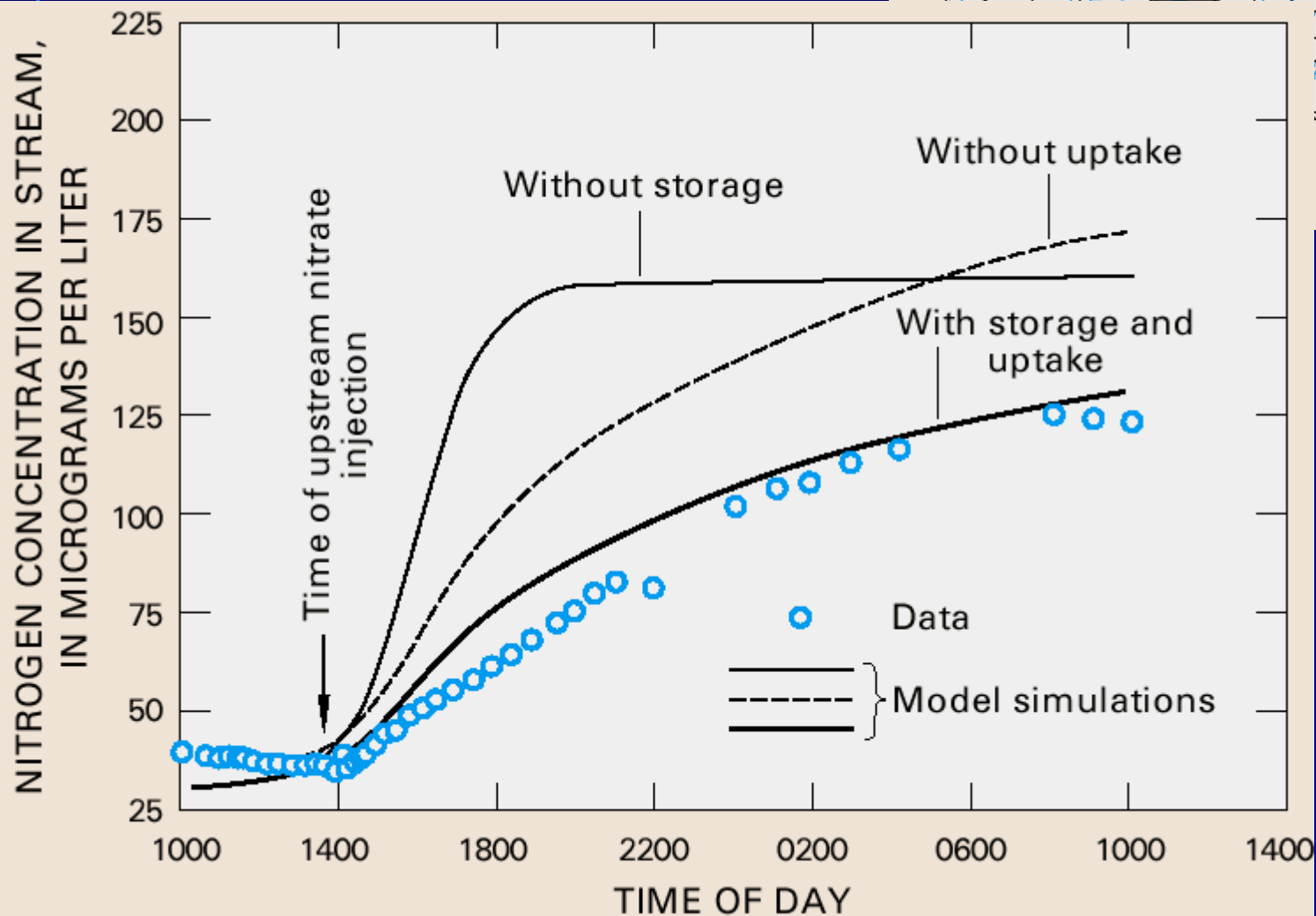
- **Πέντε ζώνες αποθήκευσης παρατηρήθηκαν σε ένα μικρό ορεινό υδρορρέυμα (Bencala & Walters 1983):**
- **τυρβώδεις δίνες που παράγονται από μεγάλης κλίμακας ανωμαλίες του πυθμένα**
- **μεγάλες, αλλά αργά κινούμενες ζώνες επανακυκλοφορίας κατά μήκος των πλευρών βαθιών σημείων**
- **μικρές αλλά γρήγορα ανακυκλοφορούσες ζώνες πίσω από εμπόδια ροής, ιδιαίτερα σε εμπόδια**
- **Πλευρικοί θύλακες**
- **ροή μέσα και έξω από στρώματα χονδρόκοκκου υποστρώματος**

## Υπορροϊκή ζώνη ως μία καταβόθρα θρεπτικών συστατικών: Παράδειγμα προσομοίωσης για την ερμηνεία δεδομένων πεδίου από Little Lost Man Creek, CA

Μια μελέτη παράκτιου ορεινού υδρορρεύματος στη βόρεια Καλιφόρνια αναφέρει ότι η μεταφορά διαλυμένου οξυγόνου, άνθρακα, και άζωτου από το νερό του υδρορρεύματος στην υπορροϊκή ζώνη διέγειρε την πρόσληψη αζώτου από μικρόβια και φύκη προσκολλημένα σε ιζήματα.

- Ένα μοντέλο προσομοίωσης της πρόσληψης αζώτου έδειξε ότι:
  - τόσο η φυσική διαδικασία της ανταλλαγής υδάτων ανάμεσα στο υδρόρρευμα και την υπορροϊκή ζώνη
  - όσο και η βιολογική πρόσληψη νιτρικών στην υπορροϊκή ζώνη επηρέαζαν τη συγκέντρωση του διαλυμένου αζώτου στο υδρόρρευμα

Τα νιτρικά που εγχύθηκαν στο υδρόρρευμα αποθηκεύθηκαν και απορροφήθηκαν από φύκια και μικρόβια στην υποροϊκή ζώνη.



After Kim et al. 1992

Οι γεωμορφολογικές επιπτώσεις στη λειτουργία της υπορροϊκής ζώνης, ειδικά ο ρόλος της αλληλεπίδρασης Ποτάμιων/Ιζηματολογικών διαδικασιών και μορφών, αντιπροσωπεύουν μια σημαντική αναδυόμενη επιστήμη

Οι γεωμορφολογικές επιδράσεις είναι άμεσα εμφανείς σε πολλαπλές χωροχρονικές κλίμακες που συχνά συνδέονται.

Για παράδειγμα, ιζήματα, θρεπτικά συστατικά και ρυπαντές που είναι σημαντικά για τη σταθερότητα, την διαταραχή, την ποιότητα και τη διατήρηση των οικοτόπων της υπορροϊκής ζώνης, μπορούν να διανέμονται επί τόπου από τη λεκάνη ή τα ανάντη τμήματα.

Οι πηγές του προβλήματος μπορεί να βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από τη θέση. Παράλληλα με τις διαδικασίες, είναι επίσης σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη ιστορικά με μεγαλύτερο χρονικό ορίζοντα.

Για παράδειγμα,

τα ποτάμια τείνουν να είναι πολύ πιο δυναμικά και χονδρόκοκα στρώματα κοίτης στη βόρεια και δυτική Βρετανία, που συνδέονται με την πρόσφατη παγετώδη περίοδο και αυτοί οι ποταμοί,

υπό τις ίδιες συνθήκες, μπορεί να σχετίζονται με

υψηλότερες υδραυλικές αγωγιμότητες και αυξημένο δυναμικό ανταλλαγών ροής κοντά στο στρώμα της κοίτης.

πολλά υδρορρεύματα σε κιμωλία με σημαντικές αλληλεπιδράσεις υπόγειων υδάτων/επιφανειακών υδάτων βρίσκονται στο νότο και νοτιοανατολικά

Οι ποταμοί αλλάζουν έντονα σε μια προς τα κατάντη κατεύθυνση,

 ειδικά η γεωμετρία της κοίτης,

 τα υλικά και

 η διαβρωτική και μεταφορική ενέργεια,

Οι **διαχειρίσιμες λύσεις** με αποδεδειγμένη λειτουργικότητα για χαμηλότερα τμήματα ενδέχεται να μην είναι κατάλληλες για ανάντη τμήματα και το αντίστροφο.

Στην **κλίμακα του τμήματος** και **της τοποθεσίας**, οι υπορροϊκές ανταλλαγές οδηγούνται κυρίως από **τοπογραφικά χαρακτηριστικά** και **αλλαγές στη διαπερατότητα του στρώματος της κοίτης**, ειδικά την παρουσία εμποδίων και την ιζηματολογική ετερογένεια.

**Επίπεδης μορφής ανωμαλίες**, όπως μαϊανδροί (ακόμη και ανεπαίσθητες αλλαγές) προκαλούν υπορροϊκή ανταλλαγή

**Λεπτόκοκκα ιζήματα στα στρώματα της κοίτης ποταμού** (συχνά κλάσμα του 1 mm) αναγνωρίζεται όλο και περισσότερο ως πρόβλημα οικολογικά και μπορεί να αντιπροσωπεύει 1 - 70% του συνολικού υλικού της κοίτης του ποταμού.



Το 14% έχει προταθεί ως κατώτατο όριο για επιπτώσεις στην αναπαραγωγή (απαιτείται περισσότερη εργασία για να μπορεί να γίνει αυτή τη γενίκευση).

- Η **απόφραξη μητρών κροκαλών** μέσω προσάμμωσης μπορεί να μειώσει σημαντικά τις ταχύτητες του νερού και
- την παροχή οξυγόνου στα ωάρια των ψαριών

Τέτοιες διαδικασίες **μπορούν να μοντελοποιηθούν εμπειρικά ή αναλυτικά:**

**για παράδειγμα,**

Η ποιότητα των ιζημάτων είναι ζωτικής σημασίας:

τα λεπτόκοκκα ιζήματα του στρώματος της κοίτης παίζουν σημαντικό ρόλο **στην προσωρινή αποθήκευση ή στην κατάληξη θρεπτικών ουσιών και φυτοφαρμάκων** και άλλων ρυπαντών.

Οι ικανότητες εξασθένησης των ρύπων των υπορροϊκών ιζημάτων

θεωρούνται ως μια ολοένα και πιο σημαντική περιοχή στη διαχείριση των ποταμών

## Περίληψη βασικών μηνυμάτων

1. Οι γεωμορφολογικές επιπτώσεις στις υπορροϊκές ζώνες είναι άμεσα εμφανείς σε πολλαπλές και συνδεδεμένες χωροχρονικές κλίμακες.
2. Τα ιστορικά κοιτών ποταμών και λεκανών απορροής ποταμών είναι σημαντικά για την κατανόηση και τη διαχείριση της υπορροϊκής ζώνης.
3. Οι ποταμοί του Ηνωμένου Βασιλείου τείνουν να γίνουν πιο δυναμικοί και ασταθείς από ΝΑ έως ΒΔ, και αυτό θα επηρεάσει την ανταλλαγή υπορροϊκών ροών και τη σταθερότητα των κοιτών: αυτό είναι σημαντικό για το σχεδιασμό αποκατάστασης ποταμών.
4. Οι ποταμοί υφίστανται στα κατάντη έντονες αλλαγές στη γεωμετρία της κοίτης, την ενέργεια και τα υλικά και νέα δεδομένα και μοντέλα αλλάζουν την άποψή μας για τέτοιες διαμήκεις διαδικασίες
5. Σε κλίμακες τμημάτων, οι υπορροϊκές ανταλλαγές οδηγούνται κυρίως από τοπογραφικά χαρακτηριστικά και αλλαγές στη διαπερατότητα του στρώματος της κοίτης.

Τα **γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά** οδηγούν σε ποικίλες **διαφορές στην πίεση** μέσω τριών μηχανισμών:

- (α) προκαλώντας κατακόρυφες διαφορές στο υδροστατικό φορτίο·
- (β) προκαλώντας οριζόντιες διαφορές στο υδροστατικό φορτίο· και
- (γ) προκαλώντας διαφορές στο δυναμικό φορτίο λόγω αλληλεπίδρασης υδρορρεύματος-τοπογραφίας ή υδρορρεύματος-εμποδίου.

**6. Τα εμπόδια** είναι συνήθεις μορφές κοίτης σε ποταμούς και είναι ιδιαίτερα σημαντικά για τις υπορροϊκές ανταλλαγές ροών και ζώνες ανοδικών και καθοδικών ροών (upwelling, downwelling).

Η απόσταση των εμποδίων (riffles) ποικίλλει στο Ηνωμένο Βασίλειο από 3-21 φορές το εύρος της κοίτης.

**7. Οποιαδήποτε τοπογραφική ανωμαλία** (π.χ. μια μαιανδρική κάμψη) προκαλεί υπορροϊκή ανταλλαγή.

8. Σε κλίμακες τοποθεσίας (για παράδειγμα ένα μεμονωμένο εμπόδιο ή βαθύ σημείο (pool)), η τοπογραφία και η ιζηματολογία επηρεάζουν επίσης την υπορροϊκή ανταλλαγή ύδατος και θρεπτικών ουσιών,

τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά γενικά έχουν ως αποτέλεσμα

πιο αβαθή διείσδυση επιφανειακών υδάτων και μικρότερες διαδρομές ροής

σε σχέση με τις ανταλλαγές που προκαλούνται στην κλίμακα τμήματος.

9. Η μεταβλητότητα στις υδραυλικές ιδιότητες των ιζημάτων του στρώματος της κοίτης του ποταμού μπορεί επίσης να προκαλέσει υπορροϊκή ροή, ακόμη και σε απουσία διαφορών στην πίεση κατά μήκος της διεπιφάνειας ποταμού-ιζημάτων.

10. Η διαδικασία με την οποία λεπτόκοκκα ιζήματα κινούνται μέσα στα στρώματα κροκαλών ονομάζεται προσάμμωση (colmation)

11. Οι υψηλές ροές μπορούν να προκαλέσουν την καθίζηση λεπτόκοκκων ιζημάτων στο στρώμα της κοίτης.

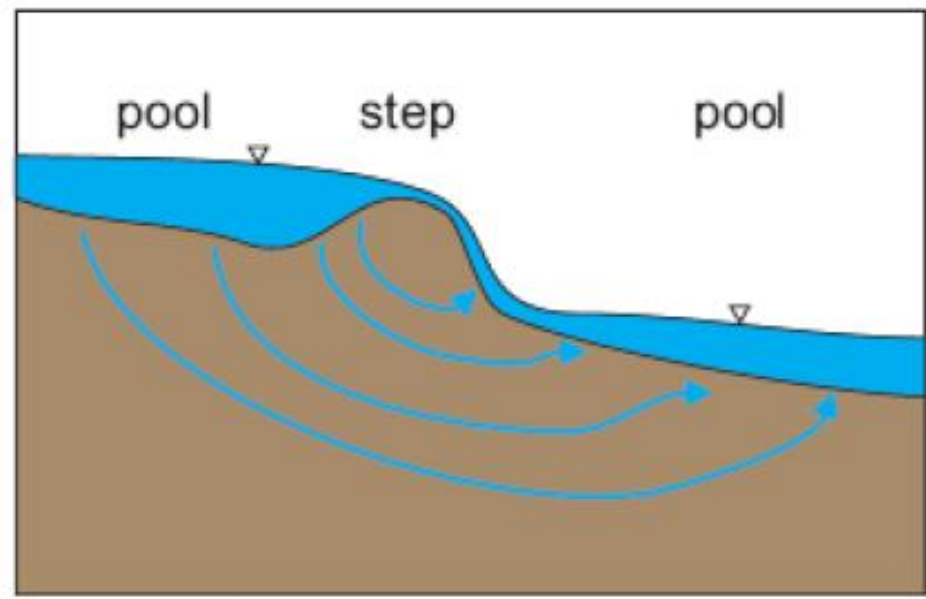
12. Σε πολλά υδρορρέυματα, τα λεπτόκοκκα ιζήματα συνδέονται με οργανικό υλικό που σχετίζεται με την ανάπτυξη της βλάστησης ή τις δραστηριότητες υλοτομίας.

13. Οι διεργασίες ιζημάτων μπορούν να μοντελοποιηθούν σε κοίτες ποταμών από κροκάλες.

14. Η ποιότητα των λεπτόκοκκων ιζημάτων είναι ιδιαίτερα σημαντική, ειδικά οι συνδεόμενοι με αυτά ρύποι και τα οργανικά κλάσματα

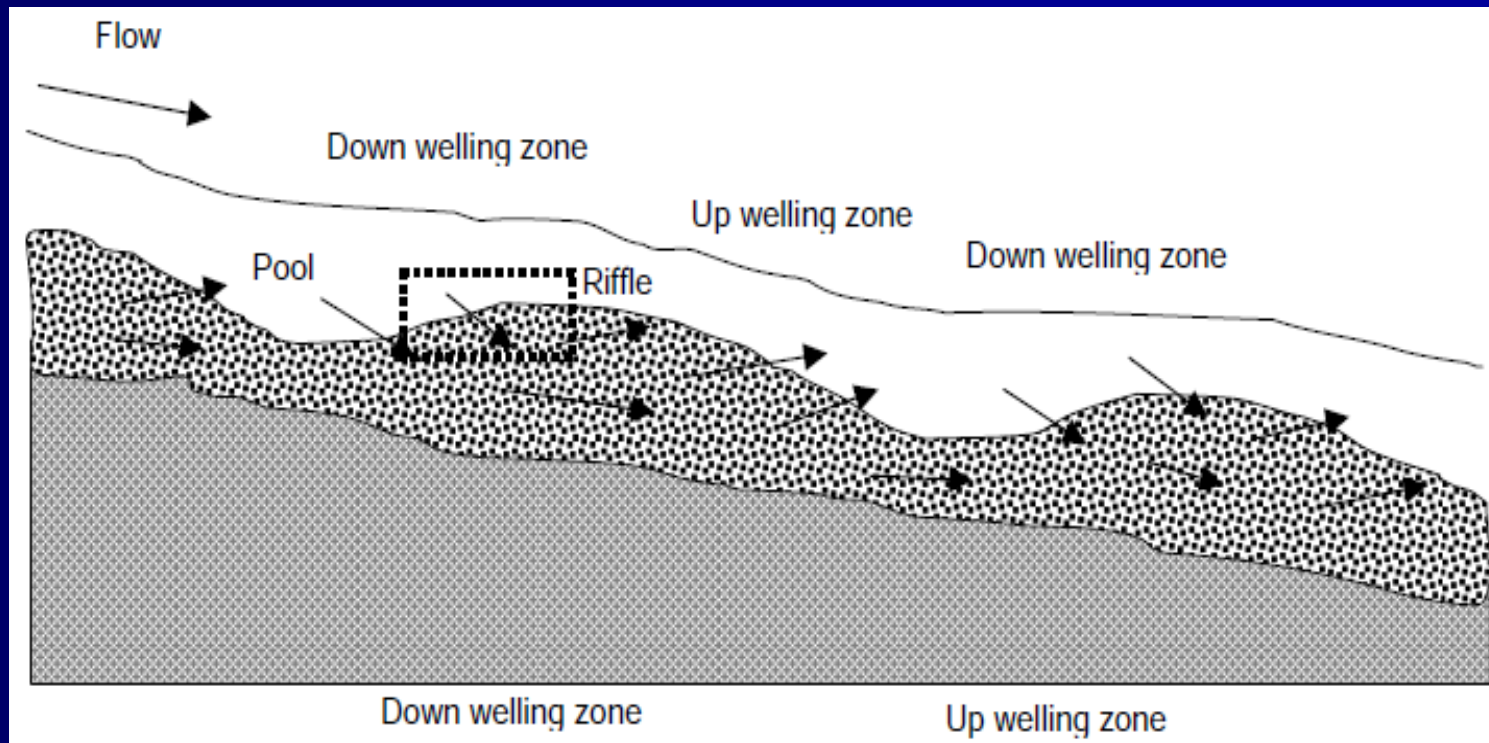
Τα λεπτόκοκκα ιζήματα του στρώματος της κοίτης παίζουν σημαντικό ρόλο στην προσωρινή αποθήκευση ή την κατάληξη θρεπτικών ουσιών και φυτοφαρμάκων και άλλων ρύπων.

Η πρόβλεψη των δυνατοτήτων εξασθένησης των ρύπων των υπορροϊκών ιζημάτων θεωρείται όλο και πιο σημαντική περιοχή στη διαχείριση του περιβάλλοντος.



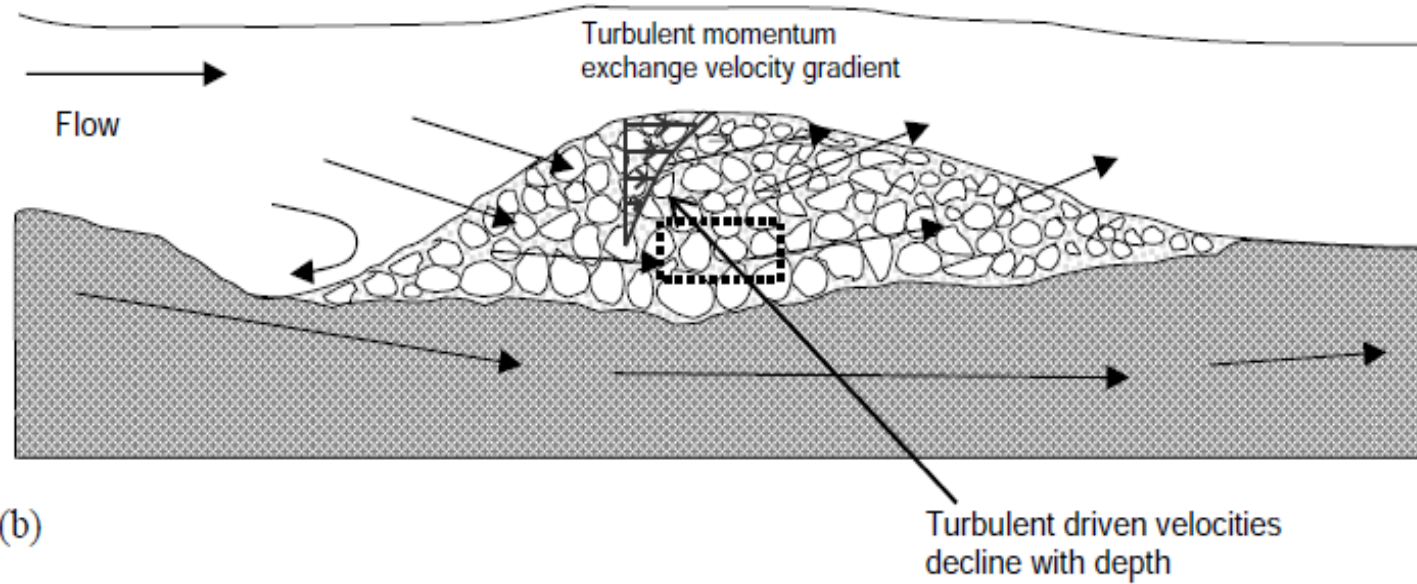
Σχήμα 3.10

Υπορροϊκή ροή λόγω αλλαγών στην ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας του νερού σε μια ακολουθία βαθμίδων με λιμνούλες (βαθιά σημεία).



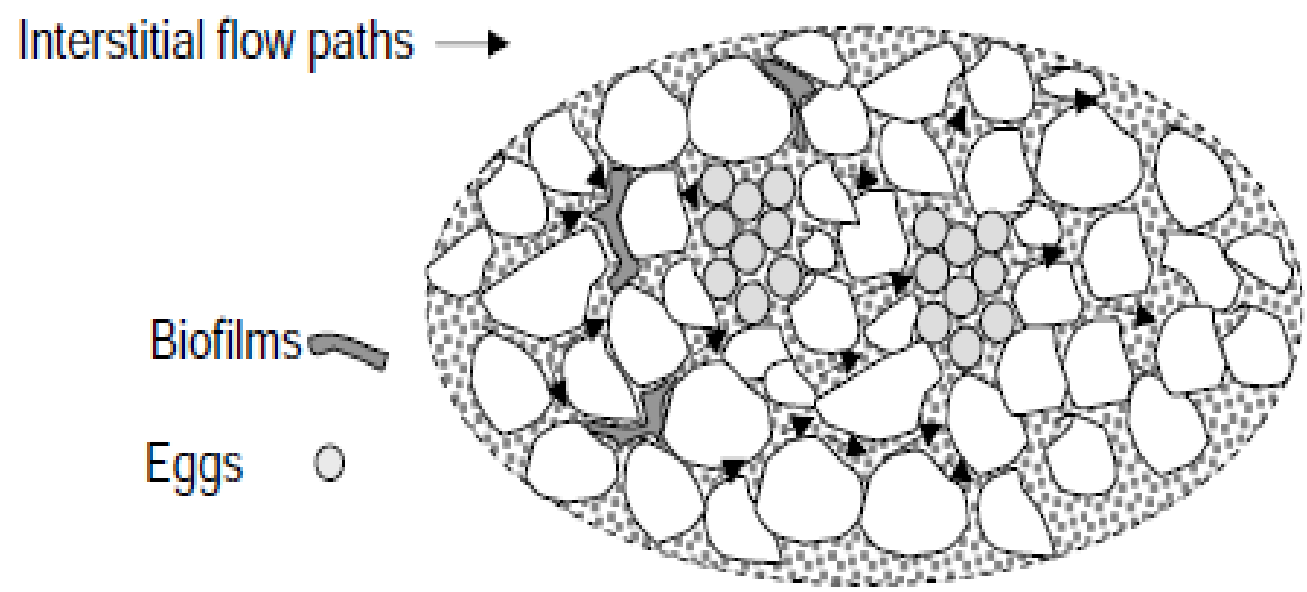
Υποεπιφανειακές Ροές:

(a) Ανταλλαγή επιφανειακής/υποεπιφανειακής ροής στην κλίμακα τμήματος ποταμού.



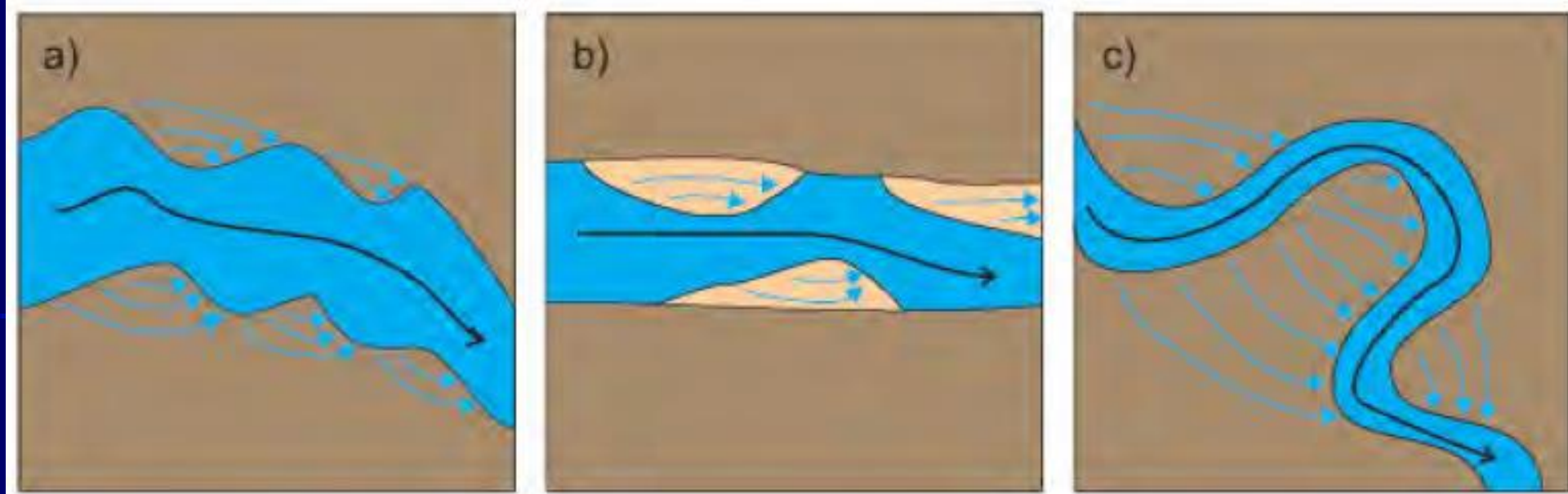
(b)

Υποεπιφανειακές Ροές: (b) Ανταλλαγή ροών σε μικροκλίμακα.



(c)

Υποεπιφανειακές Ροές: (c) Διάμεσες διαδρομές ροής σε στρώμα από κροκάλες (Grieg et al., 2007).



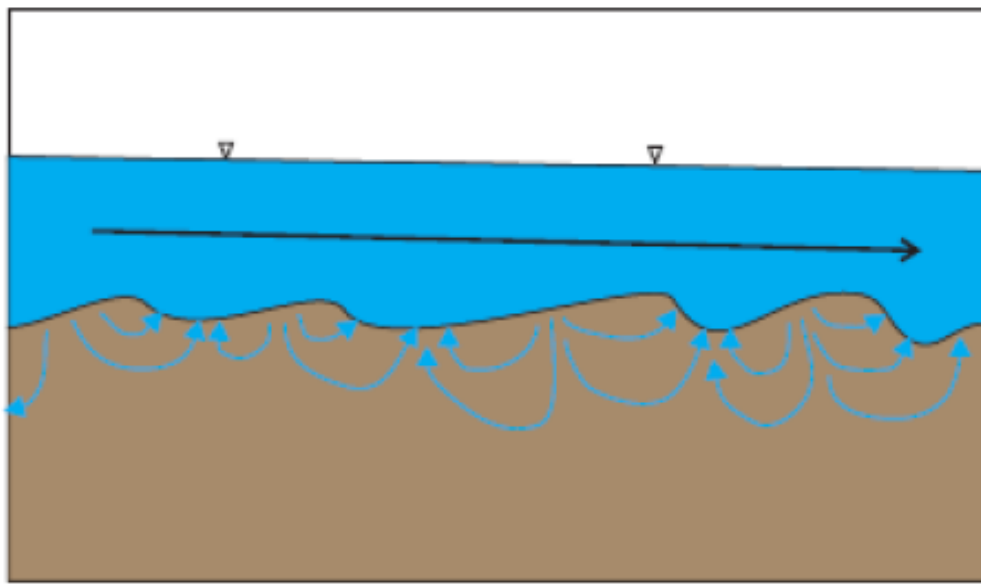
Σχήμα 3.12 Υπορροϊκή ροή που οφείλεται σε πλευρικές αλλαγές στη μορφολογία της κοίτης και των όχθων.

α) υπορροϊκή ροή λόγω ανεπαίσθητων αλλαγών στη μορφολογία των όχθων, ακόμη και χωρίς μέση αλλαγή στο ημιτονοειδές της κοίτης,

β) υπορροϊκή ροή κατά μήκος μονάδων φραγμών στις πλευρές της κοίτης,

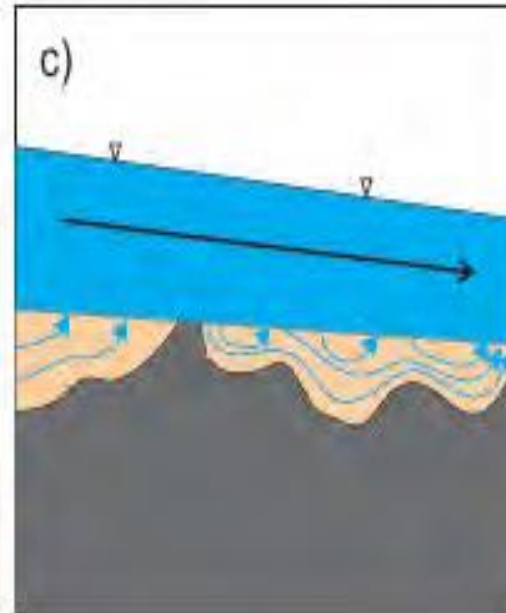
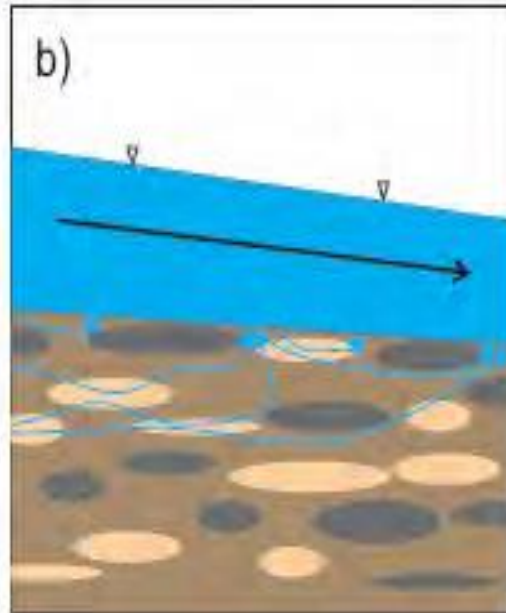
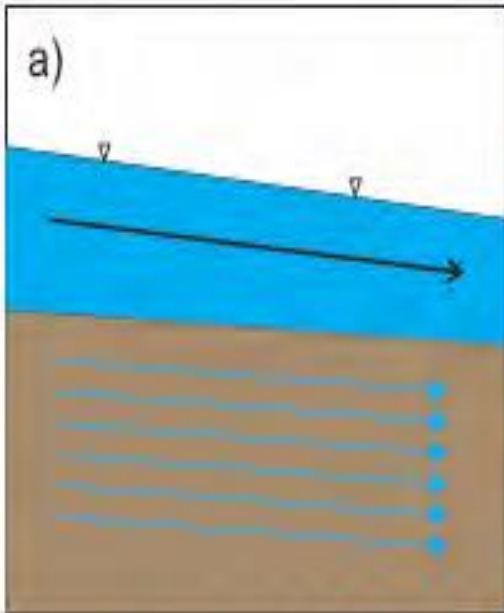
γ) υπορροϊκή ροή που οφείλεται στην ημιτονοειδή κοίτη.





Σχήμα 3.13

Υπορροϊκή ροή λόγω διαφορών στο δυναμικό φορτίο που εμφανίζονται όταν η ροή του νερού συναντά ένα ακανόνιστο όριο (μορφή στρώματος κοίτης).



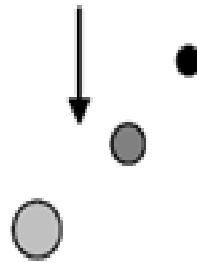
Σχήμα 3.14 Υπορροϊκή ροή που οφείλεται στη διακύμανση υδραυλικών ιδιοτήτων του αλλουβιακού υλικού.

α) περίπτωση χωρίς διακύμανση που δεν οδηγεί σε υπορροϊκή ροή,

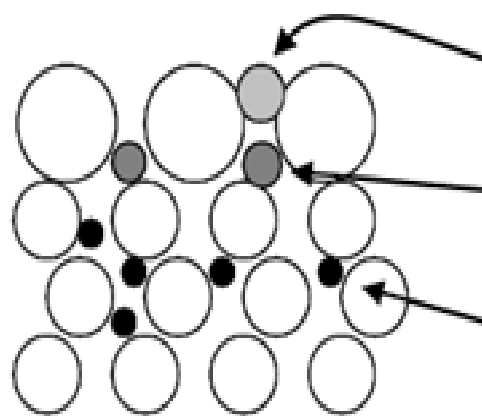
β) ετερογενή στρώματα κοίτης,

γ) διακύμανση στην τοπογραφία του υποβάθρου ή του ημιπερατού σχηματισμού.

(a)



Particles settling – varying size and density



Μεγάλα σωματίδια δεν διειδύουν μέσω των επιφανειακών πόρων

Σωματίδια διηθούνται στην επιφάνεια αλλά είναι πολύ μεγάλα για να κινηθούν βαθύτερα σχηματίζοντας μια υποεπιφανειακή μόνωση

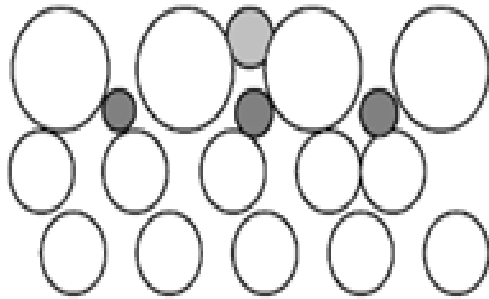
Λεπτόκοκκα σωματίδια καθιζάνουν πιο βαθειά μέσα στο στρώμα

Σκελετός στρώματος κροκαλών

Σχήμα 3.15 Διήθηση ιζημάτων μέσα σε στρώμα κροκαλών:  
α: Παθητική διήθηση μέσα σε στρώμα κροκαλών

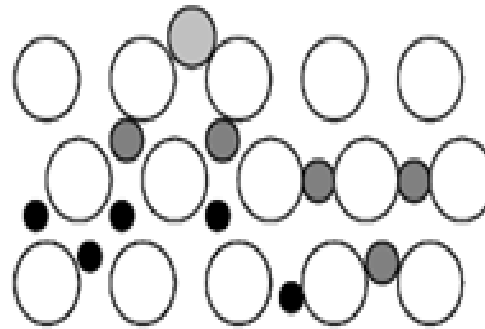
b

1.



Χονδρόκοκκη επιφάνεια με πιο  
λεπτόκοκκο υποεπιφανειακό σκελετό  
- Διεisdύοντα σωματίδια από μία  
μόνωση εμποδίζουν την βαθύτερη  
διείδυση επειδή δεν μπορούν να  
διείδυσουν από την υποεπιφάνεια

2.



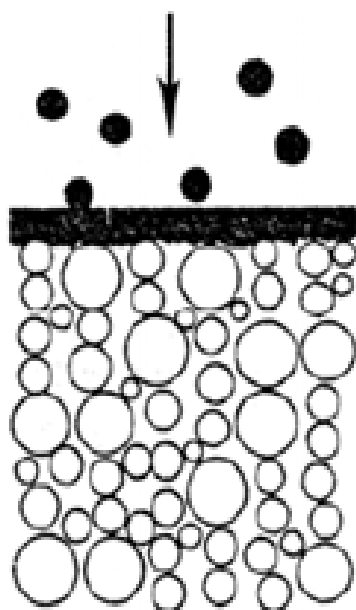
Επιφανειακός και υποεπιφανειακός  
σκελετός ίδιου μεγέθους -  
διείδύοντα σωματίδια πληρούν  
τον σκελετό περισσότερο σταθερά

Σχήμα 3.15 Διήθηση ιζημάτων μέσα σε στρώμα κροκαλών:

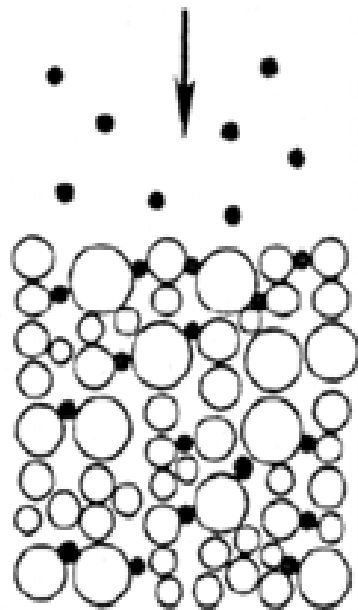
β: Σχέση μεταξύ τύπου στρώματος κροκαλών και διηθημένων ιζημάτων.

c

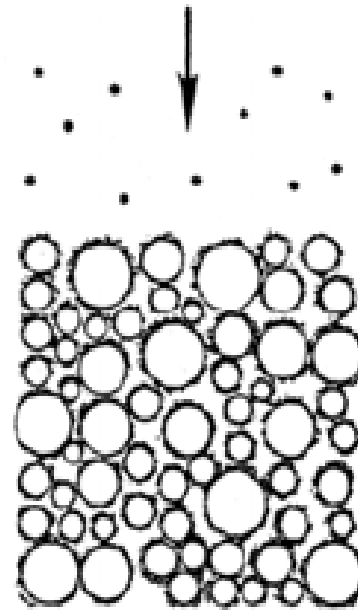
Διεισδύοντα σωματίδια



Επιφάνεια (καλυμμένη)



Παραμορφωμένη

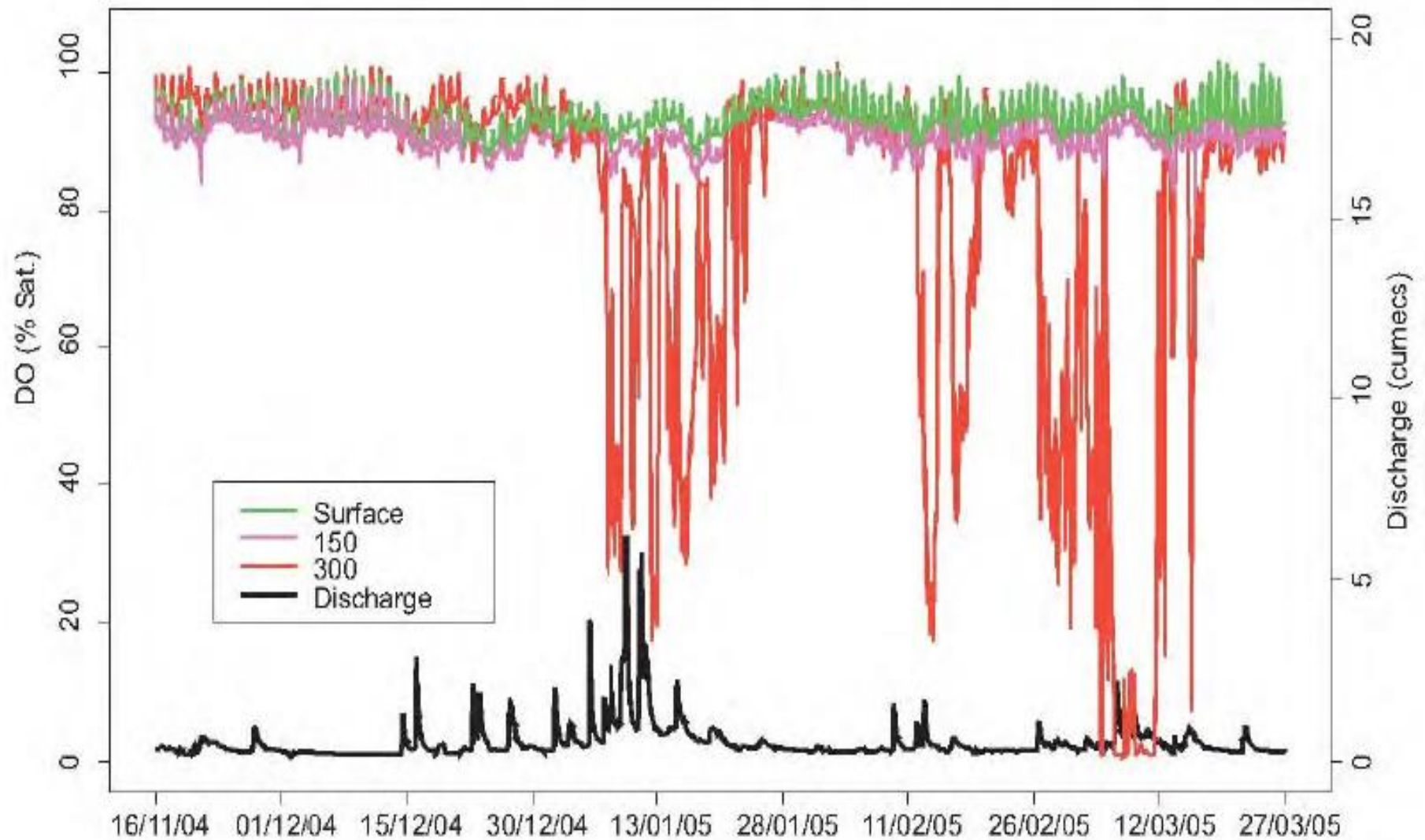


Φυσικά-Χημικά

Σχήμα 3.15 Διήθηση ιζημάτων μέσα σε στρώμα κροκαλών:

γ: Τρεις μηχανισμοί διήθησης για διήθηση ιζημάτων σε πορώδη στρώματα.

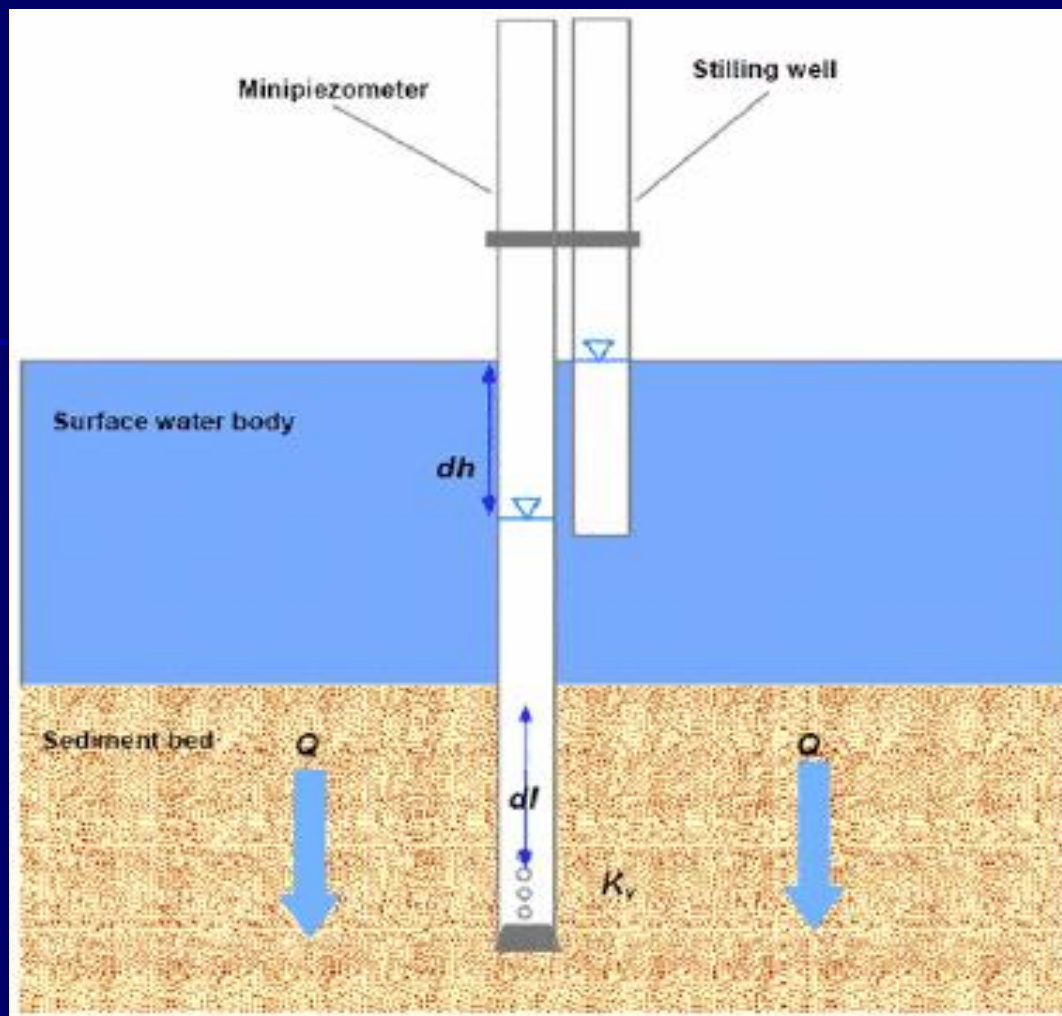
Σημειώστε την εξάρτηση από το μέγεθος των σωματιδίων και τη διαφορά στη μορφολογία των αποθέσεων



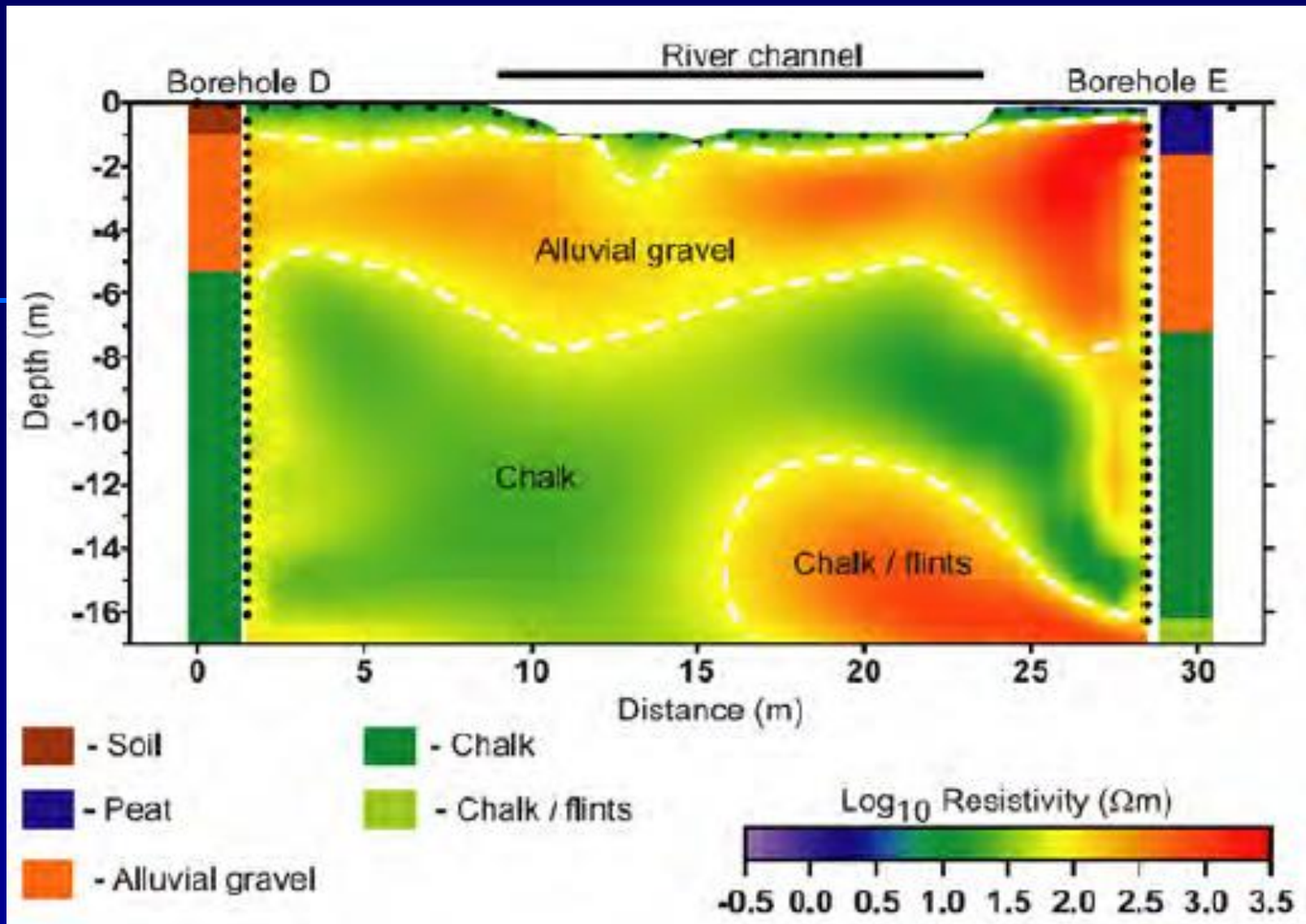
Σχήμα 7.3 Συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου στο τδρόρρευμα και στην υπορροϊκή ζώνη (150 και 300 mm). Τα δεδομένα παροχών εμφανίζονται στον δευτερεύοντα άξονα γ (after Malcolm et al., 2006).



Σχήμα 8.1 Δίκτυο μίνι πιεζομέτρων (σωλήνες PVC) εγκατεστημένα για παρακολούθηση VHGs (Vertical Hydraulic Gradient) και διαρροές στο ποτάμι (photo: Daniel Käser).



Σχήμα 8.3 Η διαρροή μετρήθηκε χρησιμοποιώντας ένα μίνι πιεζόμετρο και μια γεώτρηση ηρεμίας. Το  $Dh$  αντιπροσωπεύει τη διαφορά στάθμης μεταξύ της στάθμης του υδρορρέματος και της στάθμης του στρώματος της κοίτης του ποταμού, και  $dl$  το μήκος του πιεζομέτρου μέσα στο στρώμα της κοίτης. Η κατακόρυφη υδραυλική κλίση είναι ίση με  $dh/dl$  και η διαρροή υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την κατακόρυφη συνιστώσα της  $K$  ( $K_v$ ). Σε αυτήν την περίπτωση, καθώς η στάθμη του νερού στο στρώμα της κοίτης του ποταμού είναι χαμηλότερη από τη στάθμη του υδρορρέματος, η VHG είναι αρνητική και η διαρροή προσανατολισμένη προς τα κάτω. (Source: Australian Government Department of Agriculture, Fisheries and Forestry.)



Σχήμα 8.11 Μοντέλο ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από μια έρευνα μεταξύ γεωτρήσεων. Οι θέσεις των ηλεκτροδίων στην επιφάνεια και στις γεωτρήσεις υποδεικνύονται από τους μαύρους κύκλους. Οι γεωλογικές διαγραφίες από την ανάλυση των πυρήνων κάθε γεώτρησης συμπεριλαμβάνονται για σύγκριση, and the key for these can be found at the bottom left of the figure. και το κλειδί για αυτήν βρίσκεται στο κάτω αριστερό μέρος του σχήματος. From Crook et al., 2008.



Η διεπιφάνεια υπογείων υδάτων/επιφανειακών υδάτων (GW/SW) συμπεριλαμβανομένης της υπορροϊκής ζώνης, περιλαμβάνει ποτάμια ιζήματα εντός των οποίων υπάρχει ανταλλαγή νερού μεταξύ ενός υδρορρεύματος και της υποεπιφάνειας (Σχήμα 1.1).

Συχνά χαρακτηρίζεται από διαφορές στη χημεία και στη θερμοκρασία που ασκούν έλεγχο στη συμπεριφορά χημικών και οργανισμών, τόσο στη διεπιφάνεια όσο και στα παρακείμενα περιβάλλοντα υδροφόρων και υδρορρευμάτων.

Υπάρχει ένας σημαντικός όγκος γνώσεων σχετικά με τις διαδικασίες που συμβαίνουν τόσο στους ποταμούς όσο και στους υδροφόρους,

πολύ λιγότερα είναι γνωστά σχετικά με τις διαδικασίες που συμβαίνουν στη διεπιφάνεια αυτών των περιβαλλοντικών συστημάτων.

Η **ολιστική αξιολόγηση και διαχείριση** των λεκανών απορροής απαιτεί μια καλύτερη κατανόηση των διεπιφανειών μεταξύ των παραδοσιακών περιβαλλοντικών συστημάτων

**Αυτές οι διεπιφάνειες ήταν** προηγουμένως τα όρια των περιβαλλοντικών μονάδων διαχείρισης,

αλλά τώρα αναγνωρίζονται ως σημαντικοί τομείς για την ανακύκλωση:




- της ενέργειας,
- των θρεπτικών συστατικών και
- των οργανικών ενώσεων

**και ασκούν σημαντικό έλεγχο:**

- στη μεταφορά ρύπων σε όλη τη λεκάνη απορροής και
- την οικολογική υγεία





Η αποτελεσματική ολοκληρωμένη διαχείριση της λεκάνης απορροής απαιτεί βελτιωμένη **μεταφορά γνώσεων** από την έρευνα στην επιστημονική κοινότητα των τελικών χρηστών

**Νέες ερευνητικές προτεραιότητες** αναγνωρίστηκαν μέσω νέων προσεγγίσεων για

-  τη διαχείριση της λεκάνης απορροής,
-  τη διαχείριση τοποθεσιών και
-  τις νομοθετικές/πολιτικές εξελίξεις που πρέπει να μεταφερθούν από την κοινότητα περιβαλλοντικής διαχείρισης στον ακαδημαϊκό χώρο.

**Γιατί είναι η διεπιφάνεια υπόγειου-επιφανειακού νερού σημαντική;**

Η διεπιφάνεια GW/SW είναι η μεταβατική ζώνη μεταξύ υπογείων και επιφανειακών υδρόβιων περιβαλλόντων και παρέχει μια σειρά οικολογικών αγαθών και υπηρεσιών, όπως:

-  έλεγχος της ροής και της θέσης ανταλλαγής νερού μεταξύ υδρορρευμάτων και υποεπιφάνειας
-  παρέχει βιοτόπους για βενθικούς και διάμεσους (interstitial) οργανισμούς
-  παρέχει περιοχές αναπαραγωγής και καταφύγιο σε ορισμένα είδη ψαριών
-  παρέχει μια ζώνη ριζοβολίας στα υδρόβια φυτά

- παρέχει μια σημαντική ζώνη ανακύκλωσης άνθρακα, ενέργειας και θρεπτικών συστατικών
- παρέχει μια φυσική ζώνη εξασθένησης ορισμένων ρύπων μέσω βιοαποικοδόμησης, προσρόφησης και ανάμιξης
- μετριάζει τη θερμοκρασία του νερού του ποταμού
- Παρέχει μια καταβόθρα/πηγή ιζημάτων μέσα σε μία κοίτη ποταμού

Η εκτίμηση των διεργασιών που συμβαίνουν στη διεπιφάνεια GW/SW είναι κρίσιμη κατά την αποτίμηση και τον ποσοτικό προσδιορισμό ροών νερού και ρύπων διαμέσου μιας λεκάνη απορροής,

καθώς και κατά την αξιολόγηση και προστασία των ποτάμιων οικοσυστημάτων

Πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την αξιολόγηση

το πλήρες φάσμα των οικολογικών υπηρεσιών ενός μεμονωμένου ποταμού

Ορισμένες υπηρεσίες οικοσυστήματος είναι πιθανό

να είναι πιο σημαντικές από άλλες σε διαφορετικούς τύπους ποταμών.

Διεργασίες στη διεπιφάνεια GW/SW έχουν αποδειχθεί ότι

εξασθενούν φυσικώς ρύπους προτεραιότητας, όπως:

🌱 θρεπτικά συστατικά (άζωτο και φώσφορος) από γεωργικές και αποχετευτικές απορροές,

🌱 μέταλλα από δραστηριότητες εξόρυξης και

🌱 οργανικούς ρύπους, συμπεριλαμβανομένων φυτοφαρμάκων, χλωριωμένων διαλυτών και υδρογονανθράκων πετρελαίου (συστατικά καυσίμου)

κατά συνέπεια υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση του δυναμικού φυσικής

εξασθένησης των ρύπων, της χωροχρονικής ετερογένειας και

των τεχνικών προκαταρκτικού ελέγχου και αξιολόγησης της διαχείρισης.

οι υπεραντλήσεις υπόγειων υδάτων έχουν αποδειχθεί ότι **καταστρέφουν τους ποταμούς** και **προκαλούν οικολογική βλάβη** που σχετίζεται με συνθήκες χαμηλής ροής.

Η εισαγωγή ιζημάτων σε ποτάμια προκαλεί **προσάμμωση των ιζημάτων** του στρώματος της κοίτης στη διεπιφάνεια GW/SW που είναι επιζήμια για την επιτυχή αναπαραγωγή ψαριών.

Το **εύρος των οικολογικών υπηρεσιών** πρέπει να αξιολογηθεί μαζί με παράγοντες που ενδέχεται **να επηρεάζουν τον τρόπο λειτουργίας** τους,

έτσι ώστε τα συστήματα επιφανειακών υδάτων να μπορούν **να προστατευθούν** και να αποκατασταθούν όπου είναι απαραίτητο

Τα τρέχοντα μοντέλα περιβαλλοντικών διεργασιών λεκάνης απορροής συχνά δεν είναι ακριβή σε σύγκριση με τις παρατηρήσεις πεδίου.

Αυτό οφείλεται εν μέρει:

στην έλλειψη δεδομένων και

στην ανεπαρκή κατανόηση των διαδικασιών και εν μέρει

στην απλούστευση των εννοιολογικών μοντέλων της λεκάνης απορροής,

τα οποία συχνά αποκλείουν ορισμένες διαδικασίες και ζώνες, συμπεριλαμβανομένης της διεπιφάνειας GW/SW.

Όταν συμπεριλαμβάνεται η διεπιφάνεια GW/SW σε κλίμακα λεκάνης απορροής ποταμού οι προβλέψεις ρύπανσης από νιτρικά βελτίωσαν την ακρίβεια της προγνωστικής μοντελοποίησης που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό προστατευόμενων περιοχών, όπως οι ευάλωτες σε νιτρικά ζώνες.

Η παράλειψη διαδικασιών στη διεπιφάνεια GW/SW κατά το σχεδιασμό σχεδίων αποκατάστασης ποταμών μπορεί να οδηγήσει στην αποτυχία του έργου, χωρίς καμία σημαντική βελτίωση στην υγεία του οικοσυστήματος.

Τα ιζημάτα της κοίτης του ποταμού μπορούν να λειτουργήσουν ως μακροπρόθεσμη πηγή φωσφόρου για τους ποταμούς, μειώνοντας έτσι δυνητικά τα βραχυπρόθεσμα έως μεσοπρόθεσμα οφέλη από βελτιώσεις που στοχεύουν στη βελτίωση της ποιότητας των απορροών από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων

**Πώς μπορεί να υποστεί ζημιά η υπορροϊκή ζώνη;**

Η υπορροϊκή ζώνη είναι χωροχρονικά δυναμική, εμφανίζοντας συχνά συνεχείς αλλαγές σε χημικές και φυσικές συνθήκες.

Οι ανθρώπινες ενέργειες μπορούν να βλάψουν σοβαρά τη δομή των ιζημάτων ή τις υδρολογικές, χημικές ή βιολογικές συνθήκες μέσα σε αυτά.



Η υπορροϊκή ζώνη **μπορεί να υποβαθμιστεί** άσκοπα από άστοχες διαχειριστικές ενέργειες: Οι ακόλουθες (νόμιμες) δραστηριότητες έχουν συνέπειες που πρέπει να αξιολογούνται στο πλαίσιο των αποφάσεων διαχείρισης:

- **Βυθοκόρηση**: αφαιρεί ιζήματα (δυναμικός βιότοπος), αφαιρεί τη φυσική ικανότητα εξασθένησης. μπορεί κατά προτίμηση να αφαιρέσει χαλίκια (χώροι ωτοκίας) ·
- **Φράγμα και κατακράτηση νερού**: τροποποιούν την ικανότητα του ποταμού γύρω από τη δομή, οδηγώντας σε εναπόθεση λεπτόκοκκων ιζημάτων ανάντη ενός φράγματος και καλύπτοντας τα ιζήματα της κοίτης του ποταμού
- **Διαχείριση γης**: η διάβρωση του εδάφους από γεωργική γη είναι μια σημαντική πηγή λεπτόκοκκων ιζημάτων και θρεπτικών ουσιών στα ποτάμια, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν προσάμωση και ευτροφισμό.
- **Αντιπλημμυρική προστασία**: η κατασκευή αντιπλημμυρικών κατασκευών (π.χ. τσιμεντένια τοιχία ποταμών) έχει μειώσει σημαντικά τη συνδετικότητα του ποταμού – πλημμυρικού πεδίου και υποβάθμισε την οικολογική ακεραιότητα, τόσο του παραποτάμου όσο και του υπορροϊκού περιβάλλοντος.

## Αποκατάσταση ποταμών:

επιδιώκει να ενισχύσει και να βελτιώσει ένα υποβαθμισμένο τμήμα ποταμού,

αλλά στο παρελθόν πολλά σχέδια αποκατάστασης είχαν επικεντρωθεί στην επίτευξη περιορισμένου εύρους ωφελειών (συχνά, απλώς αισθητική βελτίωση όπως επαναφορά καμπών σε μια ευθυγραμμισμένη υδάτινη διαδρομή).

Οι σχεδιαστές σχεδίων αποκατάστασης ποταμών θα πρέπει να εξετάσουν τον τρόπο με τον οποίο θα μπορούσαν να αναπτυχθούν τα έργα για να βελτιωθεί το πλήρες φάσμα των οικολογικών αγαθών και υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων των υπορροϊκών οικοτόπων,

- 🌍 της ανταλλαγής GW/SW και
- 🌍 της κατακόρυφης συνδετικότητας

Τα **μη τρισδιάστατα** σχέδια αποκατάστασης (και πέρα από την άμεση έκταση της κοίτης του ποταμού) είναι πιθανό **να μην επιτύχουν τα βέλτιστα οφέλη** που θα μπορούσαν να προκύψουν από τον καλό σχεδιασμό.

## Εννοιολογικά μοντέλα

### Εννοιολογικά μοντέλα

- της διεπιφάνειας GW/SW,
- της υπορροϊκής ζώνης και
- των διαδικασιών που συμβαίνουν σ' αυτές

έχουν αναπτυχθεί από ερευνητές σε ένα αριθμό διαφορετικών πεδίων (Σχήμα 1.2).

Το **διαφορετικό ερευνητικό υπόβαθρο** των ερευνητών σημαίνει ότι υπάρχει ποικιλία στους ορισμούς και στα μέσα που χρησιμοποιούνται για την παραμετροποίηση

■ **Πολλοί συγγραφείς δεν κατάφεραν να προσδιορίσουν με σαφήνεια**

■ τον τρόπο που χαρακτήρισαν την διεπιφάνεια GW/SW και

■ τι αυτοί ορίζουν ως **υπορροϊκή ζώνη** και μια καλύτερη περιγραφή της τελευταίας (είτε αυτοί τη θεωρούν μια ζώνη ενεργού ανταλλαγής νερού με παρουσία μιας χαρακτηριστικής υπορροϊκής οικολογίας, είτε βιογεωχημικά ενεργές ζώνες)

## Αυτό θα βοηθούσε την επικοινωνία

μεταξύ διαφορετικών επιστημονικών κλάδων και με τους διαχειριστές ποταμών,

η οποία είναι τελικά απαραίτητη και για την επικοινωνία με ευρύτερες ομάδες ενδιαφερομένων και υπευθύνους λήψης αποφάσεων

Η **διεπιφάνεια GW/SW** θεωρείται ότι είναι τα ποτάμια ιζήματα της κοίτης ποταμού μέσω των οποίων υπάρχει ανταλλαγή νερού (για οποιαδήποτε χρονική περίοδο) μεταξύ ενός υδρορρεύματος και γεωλογικών μέσων.

Η **υπορροϊκή ζώνη** είναι εκείνο το τμήμα των ποτάμιων ιζημάτων στο οποίο υπάρχει ανταλλαγή νερού από το υδρόρρευμα προς τα ιζήματα της κοίτης του ποταμού που στη συνέχεια επιστρέφει στο υδρόρρευμα, εντός χρονικών ορίων από ημέρες έως μήνες.

Η διεπιφάνεια μεταξύ υδρορρευμάτων και υπόγειων υδάτων αποτελεί ειδικό μέρος του υδρολογικού συστήματος.

Χαρακτηρίζεται συνήθως από υψηλή βιοποικιλότητα και ισχυρή χημική αντιδρασιμότητα.

το περιβάλλον αυτό είναι ετερογενές και δυναμικό, και ως εκ τούτου είναι δύσκολο να μελετηθεί

Οι υδρολογικές και βιογεωχημικές του ιδιότητες μπορεί να φαίνεται να αλλάζουν με την κλίμακα παρατήρησης

Για την παρακολούθηση των υδρολογικών, χημικών ή βιολογικών παραμέτρων, δεν απαιτείται μόνο τεχνολογική εμπειρογνωμοσύνη, αλλά και γνώση σχετικά με τις φυσικές διεργασίες που δομούν τη διεπιφάνεια.

Μαζί, αυτές οι δεξιότητες θα βοηθήσουν **στο σχεδιασμό προγραμμάτων παρακολούθησης** προσαρμοσμένων σε συγκεκριμένες θέσεις και έρευνες



Μια **ολόκληρη σειρά κλιμάκων** μπορεί να καλυφθεί από τις διάφορες προσεγγίσεις.

Πριν από την επιλογή μιας μεθόδου, **είναι σημαντικό να κατανοήσουμε** τόσο **τους περιορισμούς** της όσο και το **φυσικό σύστημα** που βρίσκεται υπό διερεύνηση.

Μια **κατάλληλη προσέγγιση παρακολούθησης** είναι πιθανό να κάνει χρήση διαφόρων εργαλείων και να βασιστεί σε μια κατάλληλη εξισορρόπηση (χρυσή τομή) μεταξύ μιας υψηλής ανάλυσης μέτρησης και μιας εκτεταμένης περιοχής ή χρονικής κάλυψης.

Οι περισσότεροι συντάκτες μοντέλων υποστηρίζουν ότι τα κύρια οφέλη της μοντελοποίησης είναι να φέρουν σαφήνεια στη σκέψη και να ενσωματώνουν όλες τις πληροφορίες σχετικά με μια ερώτηση.

Τα μοντέλα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για:

-  τον ποσοτικό προσδιορισμό διαδικασιών και αποτελεσμάτων,
-  την πραγματοποίηση προβλέψεων και για την κατανόηση της αβεβαιότητας,

αλλά αυτά τα οφέλη είναι λιγότερο εύκολο να γίνουν αντιληπτά

Η παραπάνω κριτική δείχνει ότι υπάρχουν διαθέσιμα εργαλεία μοντελοποίησης για την ανάλυση πολλών πτυχών της διεπιφάνειας υπόγειου-επιφανειακού νερού, αλλά όχι όλων.

Η ευρύτετη γκάμα εργαλείων είναι για την ανάλυση ροών και κυμαίνεται από απλά αναλυτικά μοντέλα σε εύχρηστα υπολογιστικά φύλλα έως πολύπλοκα αριθμητικά μοντέλα που απαιτούν σημαντικές ποσότητες δεδομένων και εξειδίκευση

Διατίθεται μια σειρά εργαλείων για την ανάλυση της μεταφοράς διαλυμένων ουσιών.

Μερικοί εστιάζουν στα υπόγεια ύδατα, και άλλοι εξετάζουν κυρίως τον ποταμό.

Τα απλούστερα μοντέλα διαλυμένης ουσίας δεν επιτρέπουν ρητά την προσομοίωση της διεπιφάνειας υπόγειων-επιφανειακών υδάτων και τα πιο περίπλοκα απαιτούν εμπειρογνωμοσύνη και σημαντικό χρονικό διάστημα για να είναι χρήσιμα.

Κανένα από τα άμεσα διαθέσιμα εργαλεία δεν υπολογίζει τις επιπτώσεις της διεπιφάνειας υπόγειου-επιφανειακού νερού στην οικολογία



## Διαχείριση ποταμών/λεκανών απορροής

Οι στρατηγικές και τα σχέδια διαχείρισης ποταμών και λεκανών απορροής θα πρέπει να αναπτυχθούν λαμβάνοντας υπόψη το πλήρες φάσμα αγαθών και υπηρεσιών του οικοσυστήματος που εμφανίζονται σε μια λεκάνη απορροής.

Η εξέταση των διαδικασιών σε ένα πλήρες φάσμα επιστημονικών κλάδων (δηλαδή εκτός τεχνικών ή νομοθετικών σιλό) και ζητημάτων θα συμβάλει στη διασφάλιση των βέλτιστων συνολικών αποφάσεων.

Η συνδεσιμότητα ποταμών - υπόγειων υδάτων φαίνεται να είναι βασική για μια σειρά υδατικών πόρων, οικολογικών, διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας και ζητημάτων μείωσης ρύπων.

Η υδρολογική συνδεσιμότητα πρέπει να αποκατασταθεί όπου αυτό είναι εφικτό και όπου δεν θα προκαλούσε διάθεση ρύπων από το ένα υδατικό σύστημα στο άλλο.

## Αποκατάσταση και εξυγίανση

Η αποκατάσταση του ποταμού πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις διαδικασίες και τις λειτουργίες της υπορροϊκής και παραποτάμιας ζώνης και να επιδιώκει να βελτιώσει αυτές τις διαδικασίες για να διασφαλίσει την παρουσία ενός πλήρως λειτουργικού διαδρόμου του ποταμού.

## Η κατακόρυφη και οριζόντια συνδεσιμότητα

πρέπει να αποκαθίστανται εκεί που αρχικά υπήρχαν.

Πρέπει να καθοριστούν σαφείς στόχοι του έργου πριν από το σχεδιασμό και την εφαρμογή της αποκατάστασης του ποταμού, η οποία επιδιώκει να βελτιστοποιήσει τα συνολικά οικολογικά και υδρολογικά οφέλη.

Τα κριτήρια επιτυχίας πρέπει να τεκμηριώνονται νωρίς στη διαδικασία, η οποία κανονικά θα περιλαμβάνει την αποκατάσταση των λειτουργιών της υπορροϊκής ζώνης ως μέρος μιας ολιστικής προσέγγισης για τη βελτίωση του διαδρόμου του ποταμού

Η αξιολόγηση μετά το έργο είναι απαραίτητη μετά από οποιοδήποτε έργο παρέμβασης.

Η παρακολούθηση πριν και μετά πρέπει να έχει πόρους και να σχεδιάζεται αντικειμενικά για την αξιολόγηση των παρατηρούμενων επιπτώσεων έναντι των επιθυμητών στόχων

Η δημοσίευση των αποτελεσμάτων ενθαρρύνεται και θα επιτρέψει σε μια βιβλιοθήκη αξιολογημένων αποτελεσμάτων έργων να τα αξιολογήσει για να βοηθήσει την μελλοντική ανάπτυξη επιτυχημένων προσεγγίσεων.