

---

ΡΟΗ 2012  
8ο Πανελλήνιο Συνέδριο "Φαινόμενα Ροής Ρευστών"

# Επίδραση Υδατοδιαλυτών Επιφανειοδραστικών στη Ροή Υγρού Υμένα

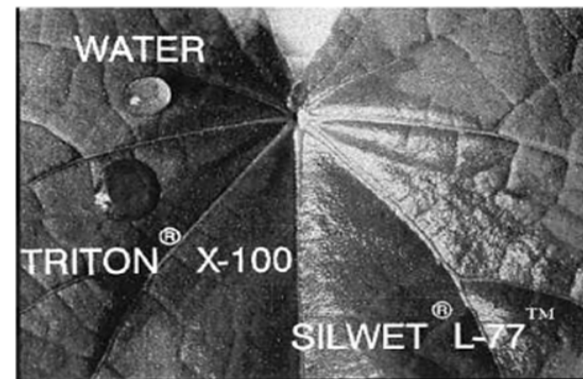
Α. Γεωργαντάκη, Μ. Βλαχογιάννης, Β. Μποντόζογλου  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών  
Εργαστήριο Φυσικών και Χημικών Διεργασιών



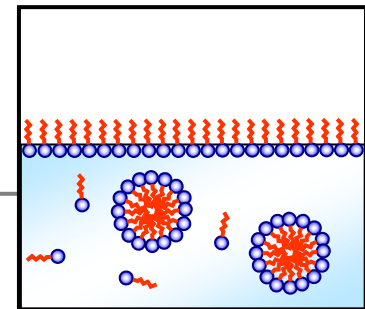
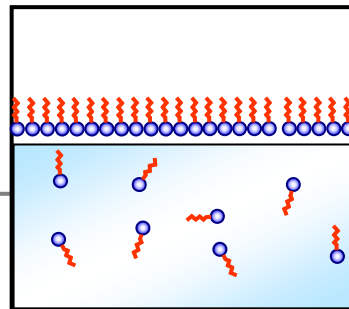
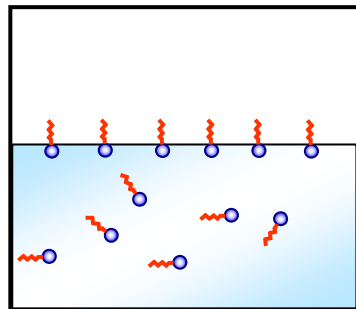
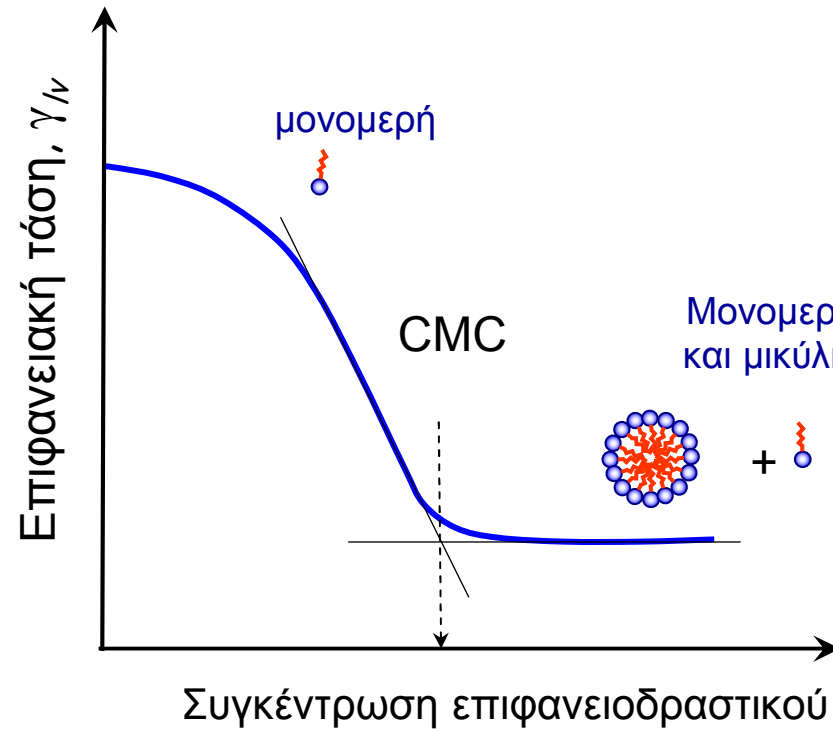
## Τι είναι τα επιφανειοδραστικά και πού χρησιμοποιούνται;

Είναι ουσίες που επενεργούν και μεταβάλλουν την επιφανειακή τάση του μέσου στο οποίο διαλύονται

- σε καταναλωτικά προϊόντα όπως απορρυπαντικά, λοσιόν, σαμπουάν, κρέμες
- στη φαρμακευτική : π.χ οφθαλμολογικά κολλύρια
- στη γεωργία: ενισχυτικά για τον ψεκασμό των φυτοφαρμάκων για καλύτερη εξάπλωση



# Συμπεριφορά που παρουσιάζουν ανάλογα με τη συγκέντρωση



Μελετάμε πειραματικά τις μεταβολές στη δυναμική της ροής υγρού υμένα με την προσθήκη στο νερό των υδατοδιαλυτών επιφανειοδραστικών:

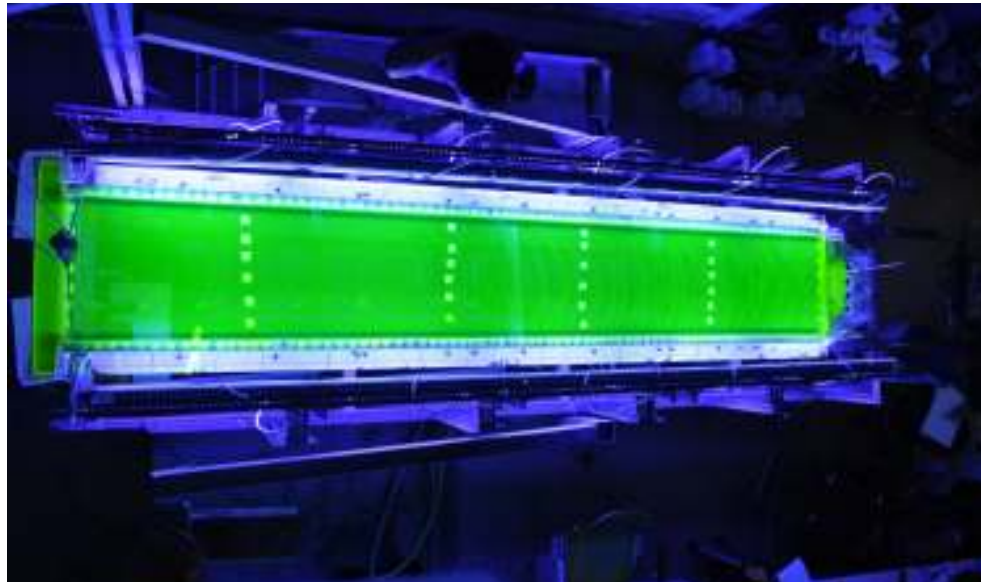
- Ισοπροπυλική Αλκοόλη (IP)
- Sodium Dodecyl Sulfate (SDS)

Έμφαση δίνεται: (a) στην πρωταρχική αστάθεια  
(b) στα χαρακτηριστικά των κυμάτων

---

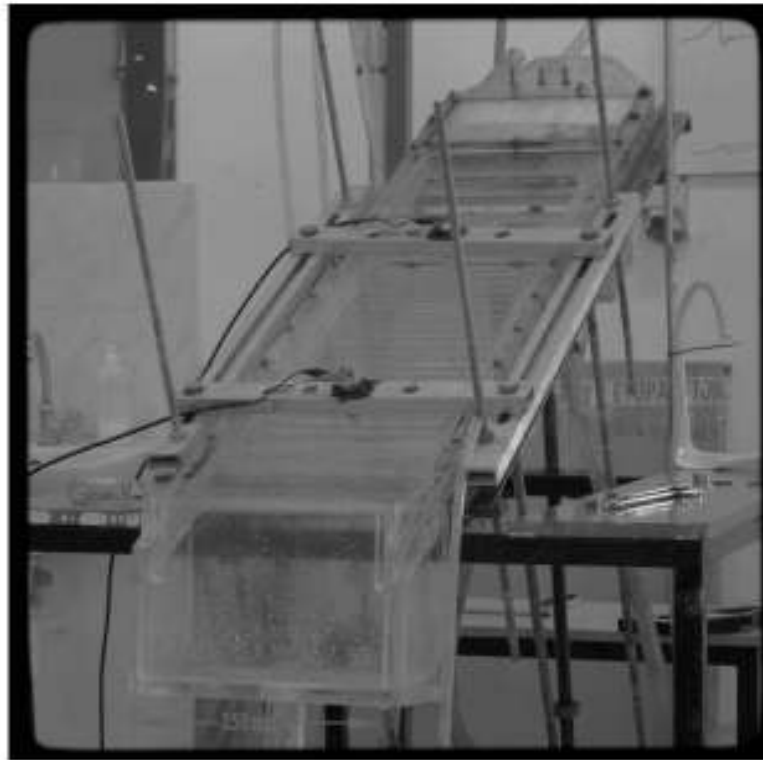
# Πειραματικές Διατάξεις

3000 mm μήκος - μέχρι 450 mm πλάτος  
γωνίες κλίσης 2-20 μοίρες

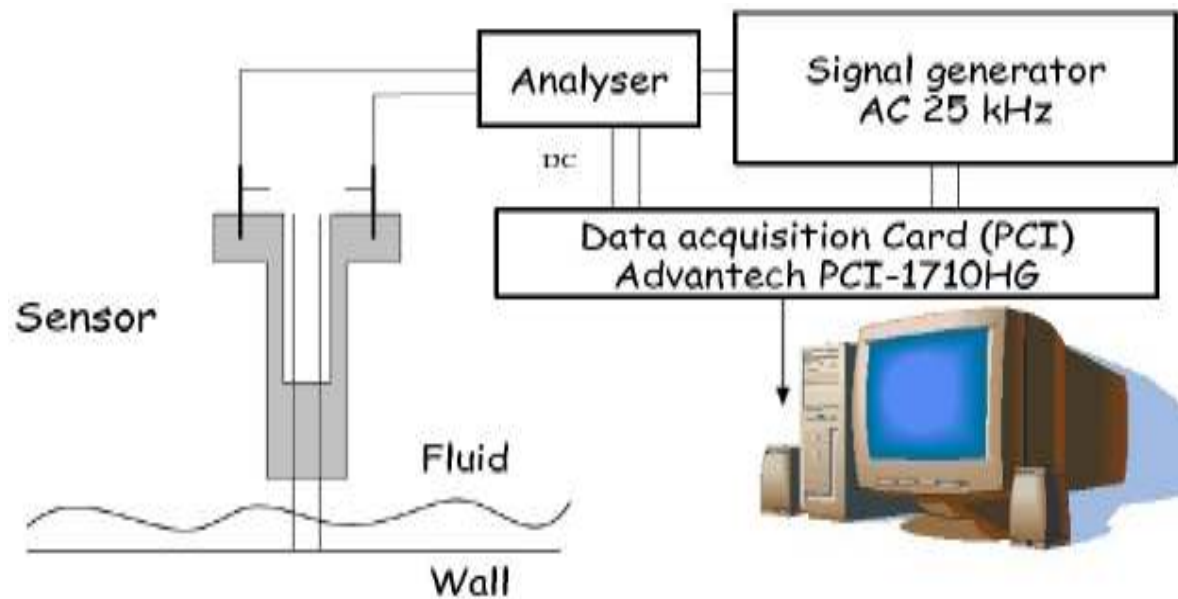


## Πειραματικές Διατάξεις

800 mm μήκος - μέχρι 250 mm πλάτος  
γωνίες κλίσης 0-50 μοίρες



Χρονοσειρές Πάχους Υμένα Με την  
Αγωγιμομετρική Τεχνική



Η επιφανειακή τάση μετριέται με την μέθοδο maximum bubble pressure και την μέθοδο του ζυγού (Du Nouy)

---

Θεωρούμε δύο κατηγορίες υδατοδιαλυτών  
επιφανειοδραστικών

Υδατικά διαλύματα  
ισοπροπυλικής αλκοόλης

↓

Το σύστημα μας  
συμπεριφέρεται σαν  
καθαρό υγρό

Γιατί;

Υδατικά διαλύματα SDS  
(Sodium Dodecyl Sulfate)

↓

Το σύστημα παρουσιάζει  
επιφανειακή ελαστικότητα  
και επιφανειακό ιξώδες



---

Σύμφωνα με τους Lucassen-Reynders (1969) και Lucassen (1982) , αυτή η συμπεριφορά οφείλεται :

- στη σημαντική διαλυτότητα της αλκοόλης στο νερό η οποία σε συνδυασμό με το χαμηλό ιξώδες του υδατικού διαλύματος, επιτρέπει γρήγορη διάχυση της αλκοόλης ανάμεσα στην επιφάνεια και τον κύριο όγκο του ρευστού

- οι τοπικές μεταβολές της επιφανειακής τάσης που θα μπορούσαν να αποδώσουν ιξωδοελαστικές ιδιότητες στην επιφάνεια είναι αμελητέες για το εύρος των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στην συγκεκριμένη μελέτη (0.125 - 1 hz)

---

---

# Αποτελέσματα - Διαλύματα ΙΡ

Ερωτήματα:

- Η μείωση της επιφανειακής τάσης επηρεάζει την ευστάθεια;
  - Υπάρχουν μεταβολές στο ύψος και στη μορφή των κυμάτων;
-

---

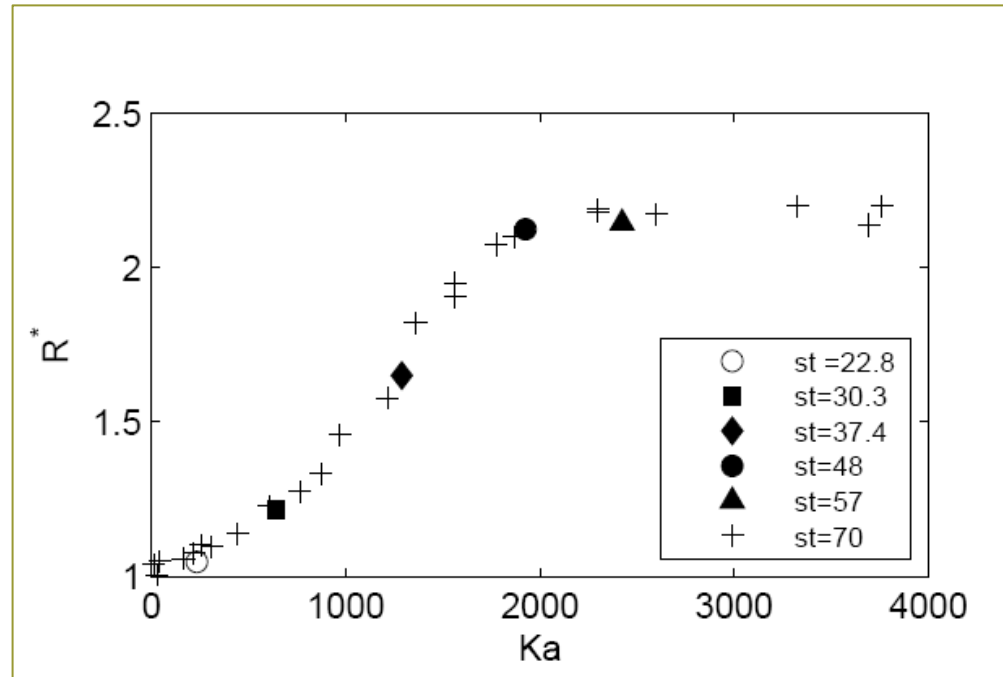
# Παράμετροι Πειραμάτων

Ρευστά: Υδατικά Διαλύματα Ισοπροπυλικής  
Αλκοόλης : 2.5, 5, 15, 30, 70 % wt

Συχνότητες Διαταραχών: 0.167 hz

Πειραματική Διάταξη: μικρό κανάλι

---

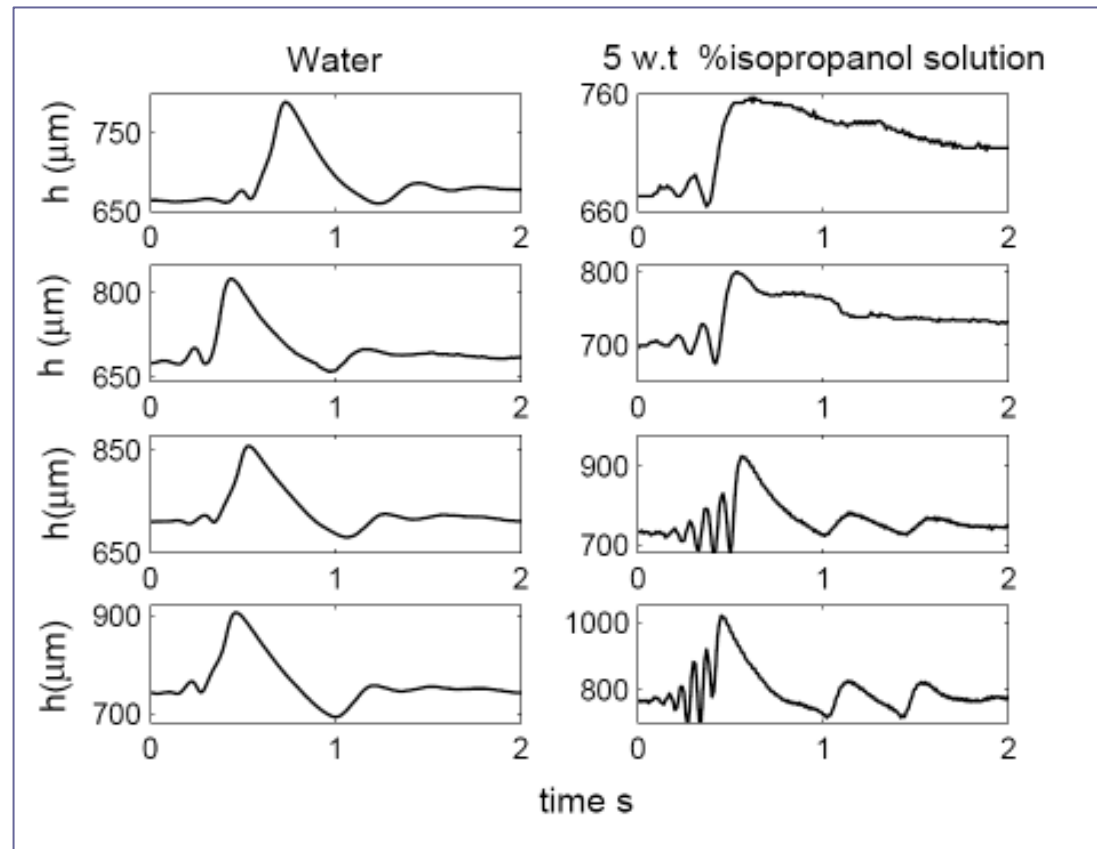


Σε πρόσφατη δημοσίευση, [Georgantaki et. Al, Phys. Rev E (2011)] αποδείξαμε ότι η πρωταρχική ευστάθεια σε κανάλια πεπερασμένου εύρους είναι συνάρτηση του αριθμού Karitza  $Ka = \sigma / \rho g l^{1/3} \nu^{4/3}$  [τριχοειδής / ιξώδης τάσεις]

Η προσθήκη της IP δεν έχει καμία άλλη δυναμική επίδραση, εκτός από τη μείωση της επιφανειακής τάσης

## Μορφή - Μέγεθος Κυμάτων

Χαμηλής Συχνότητας, ασταθείς διαταραχές, εξελίσσονται σε μοναχικά κύματα με πολύ καλά σχηματισμένους πρόδρομους τριχοειδείς κυματισμούς



Σύγκριση σε ίδιο  $\delta$  ανάμεσα στο νερό (1<sup>η</sup> στήλη) και σε 5% w.t διάλυμα IP solution (2<sup>η</sup> στήλη). Ο αντίστοιχος  $\delta$  για κάθε γραμμή είναι 18, 20, 25, 28

$$\delta = Re^{11/95} Ka^{1/3} 3^{7/9} \rightarrow \text{ανηγμένος αριθμός Reynolds}$$

## Μορφή - Μέγεθος Κυμάτων

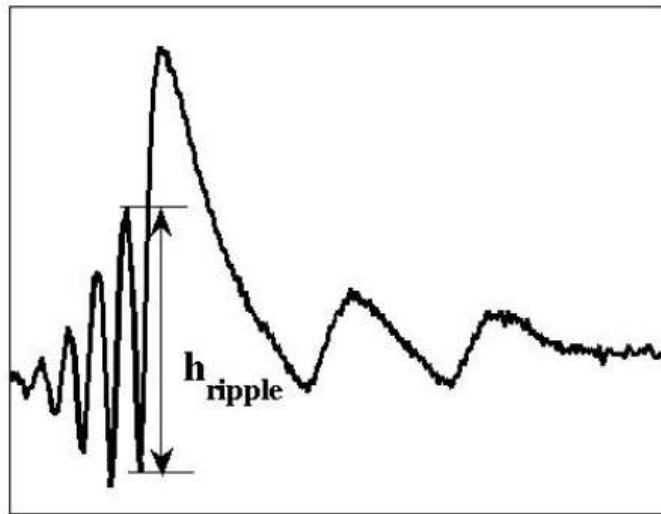
Τα τριχοειδή κύματα σχηματίζονται περισσότερο ευδιάκριτα και μεγαλύτερα σε μέγεθος στα διαλύματα ΙΡ, από ότι σε καθαρό νερό, παρόλο που το τελευταίο έχει υψηλότερη επιφανειακή τάση (70 mN/m σε σχέση με 48 mN/m που έχει το διάλυμα της προπανόλης).

Εξήγηση:

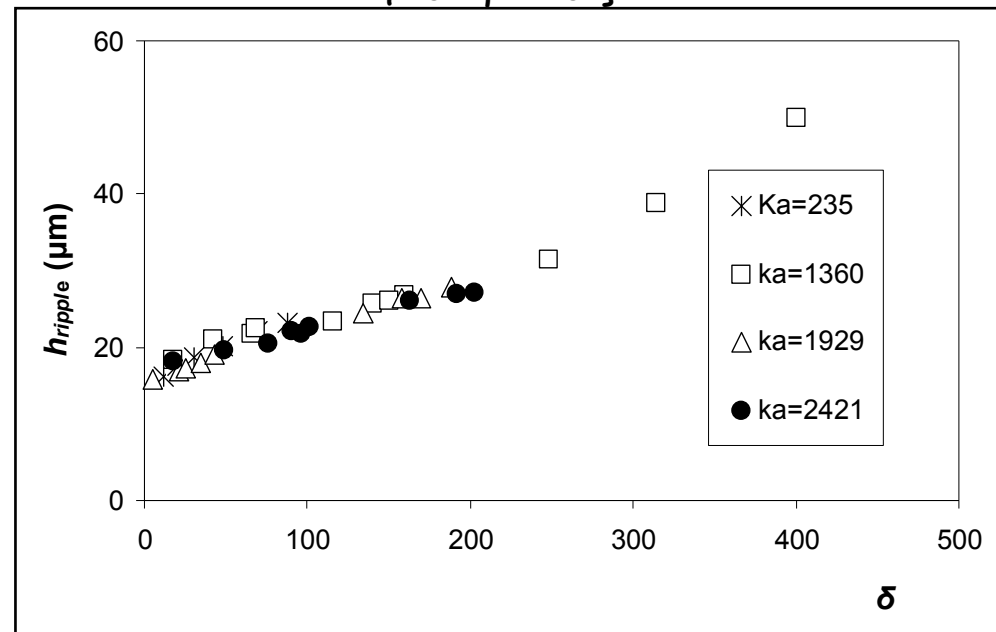
Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην γνωστή "ανώμαλη" συμπεριφορά του νερού, η οποία δημιουργείται από την προσρόφηση στην επιφάνεια διάφορων ακαθαρσιών, οδηγώντας σε μη επαναλήψιμα αποτελέσματα [B. E. Anshus & A. Acrivos, 1966 και E. H. Lucassen-Reynders, A. Cagna & J. Lucassen, 2001],

# Μορφή - Μέγεθος Τριχοειδών Κυμάτων

Ορισμός του μεγέθους των ripples as  $h_{ripple}$



$h_{ripple}$  σε συνάρτηση του  $\delta$  για διάφορες συγκεντρώσεις IP



---

# Αποτελέσματα - Διαλύματα SDS

Ερωτήματα:

- Τι αλλάζει στο μέγεθος και τη μορφή των κυμάτων με την προσθήκη επιφανειοδραστικών;
  - Είναι το μήκος εξέλιξης σημαντικό;
  - Πώς επηρεάζεται η ευστάθεια;
-



---

# Παράμετροι Πειραμάτων

Ρευστά: διαλύματα SDS με συγκεντρώσεις : 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 CMC\*

Συχνότητες Διαταραχών: 0.125, 0.25, 0.5, 0.75, 1 Hz

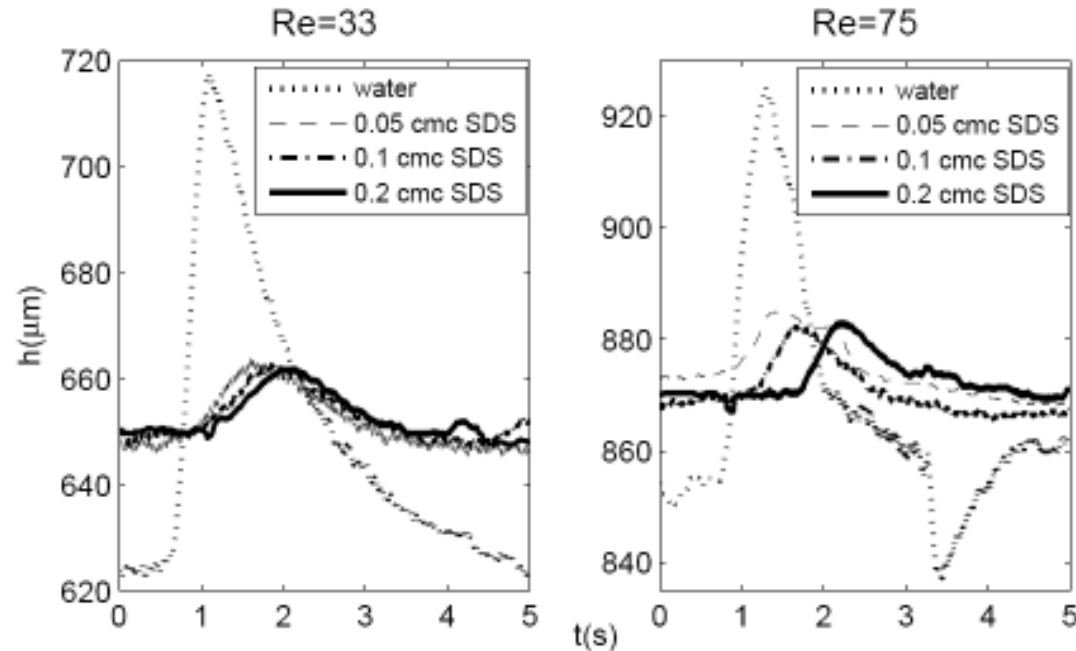
Πειραματικές Διατάξεις: και οι δύο

\*CMC κρίσιμη συγκέντρωση σχηματισμού μικκυλίων, προσδιορισμένη πειραματικά από τους Duangprasert et al. (2007) ως 2.75 g/Litter

---

# Απόσβεση

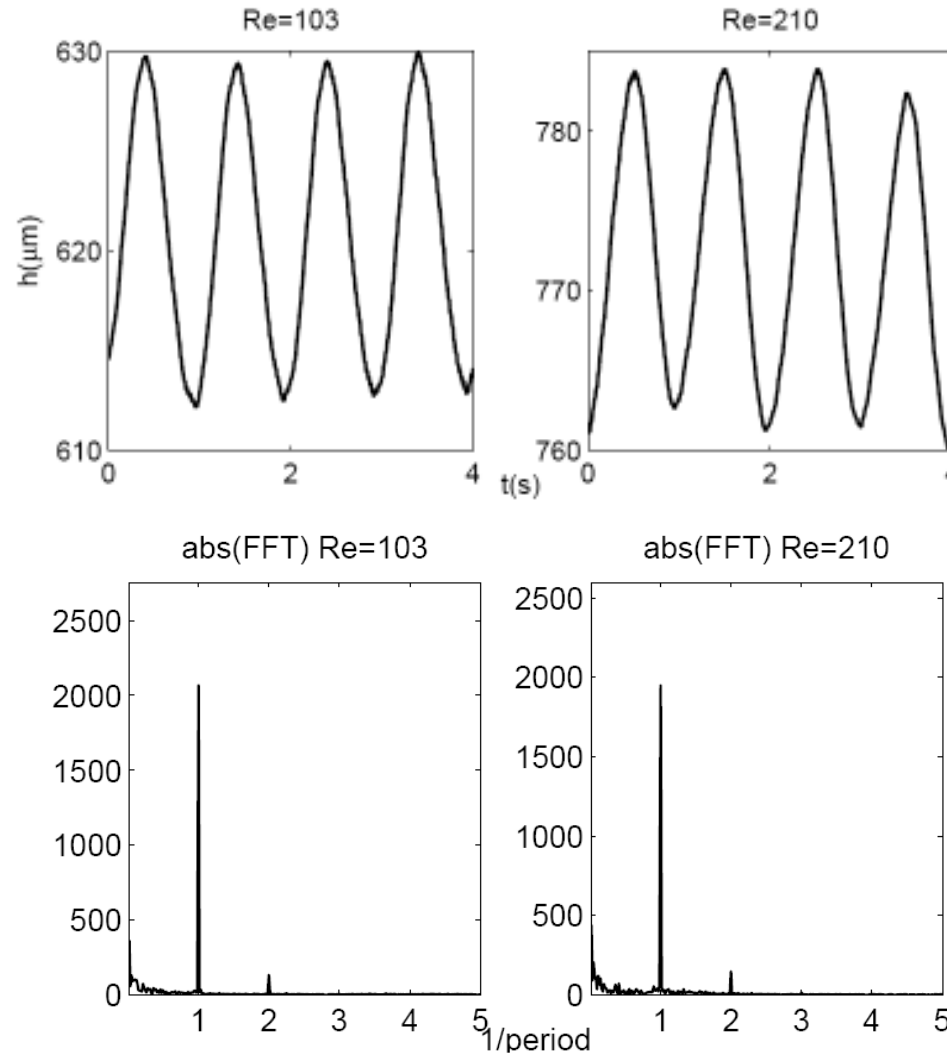
Πολύ δραστική μείωση των διαταραχών που επιβάλλονται στην είσοδο



μικρό κανάλι.  
γωνία κλίσης  $\theta=2^\circ$ , συχνότητα  
διαταραχής  $f=0.167$  Hz στα 50 mm  
από την είσοδο της ροής

# Μορφή Κυμάτων

Για συχνότητες 0.5, 0.75, 1 hz για όλους τους αριθμούς Re



μικρό κανάλι.  $\theta=7^\circ$ , συχνότητα διαταραχής  $f=1$  Hz στα 550 mm από την είσοδο της ροής  
διάλυμα: 0.1 cmc

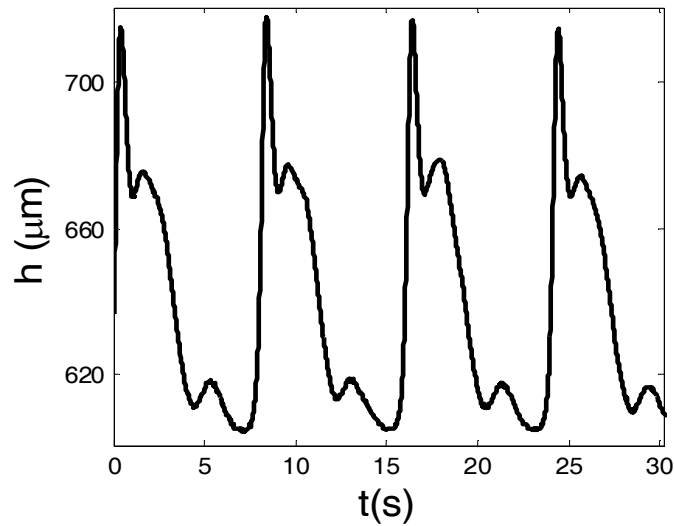
# ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ

Παρατηρήθηκαν για συχνότητες 0.125, 0.25 Hz:

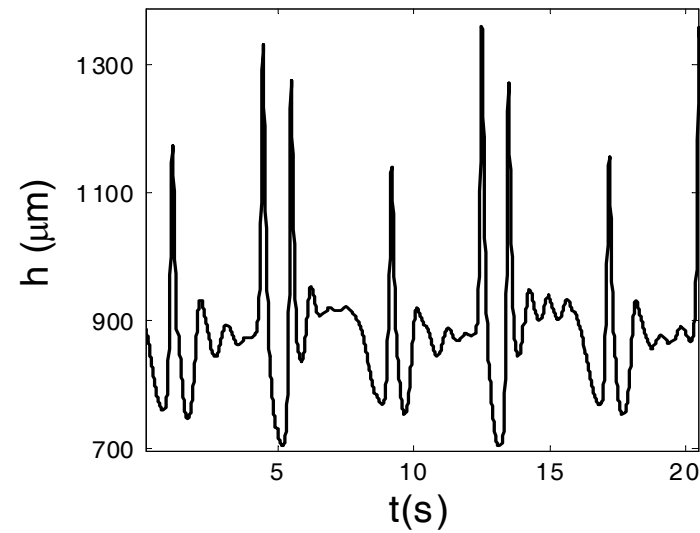
0.125 Hz  $\rightarrow$  για  $Re > Re_{cr}$

0.25 Hz  $\rightarrow$  για  $Re > 1.3 Re_{cr}$

Re=104

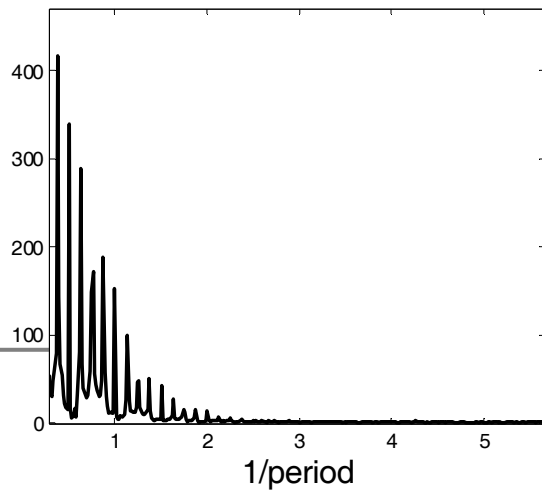


Re=277

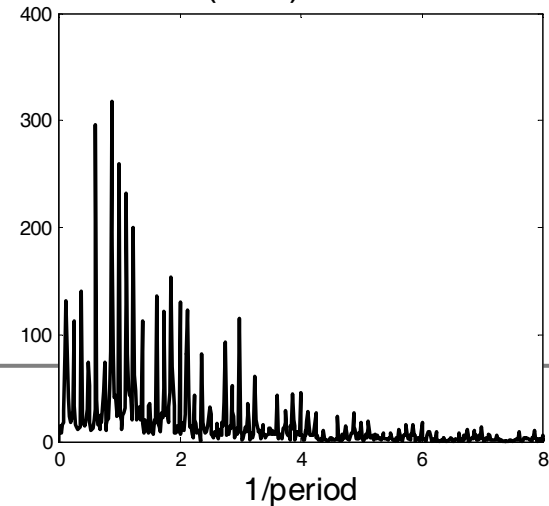


0.3 cmc,  
0.125 hz,  
 $\theta=5^\circ$

abs(FFT) Re=104

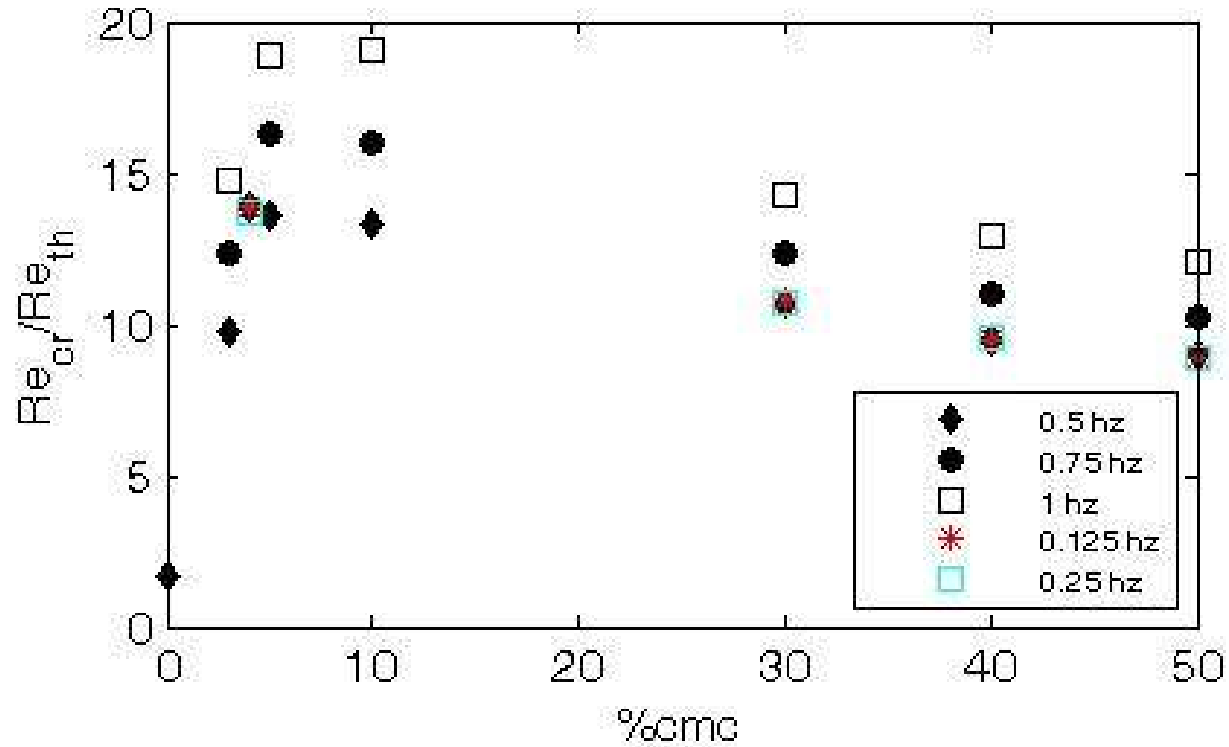


abs(FFT) Re=277



# Αποτελέσματα Ευστάθειας

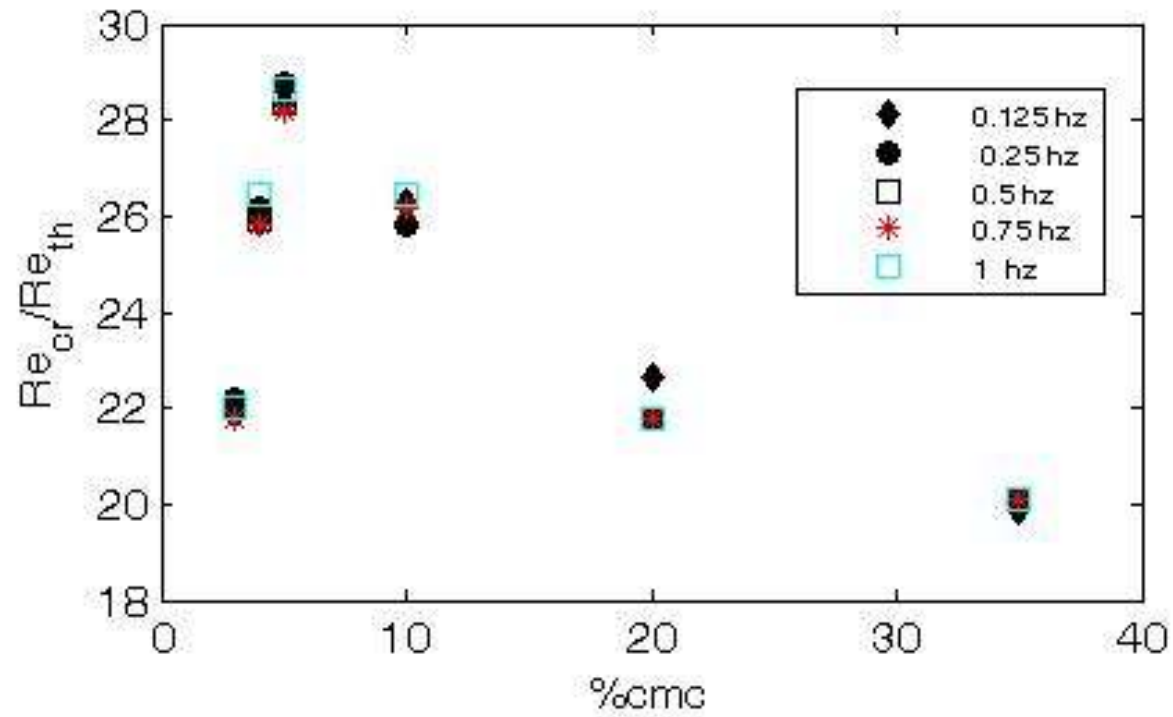
## 5 μοίρες γωνία κλίσης



$Re_{cr}/Re_{th}$  για το νερό  $\approx 1.2$

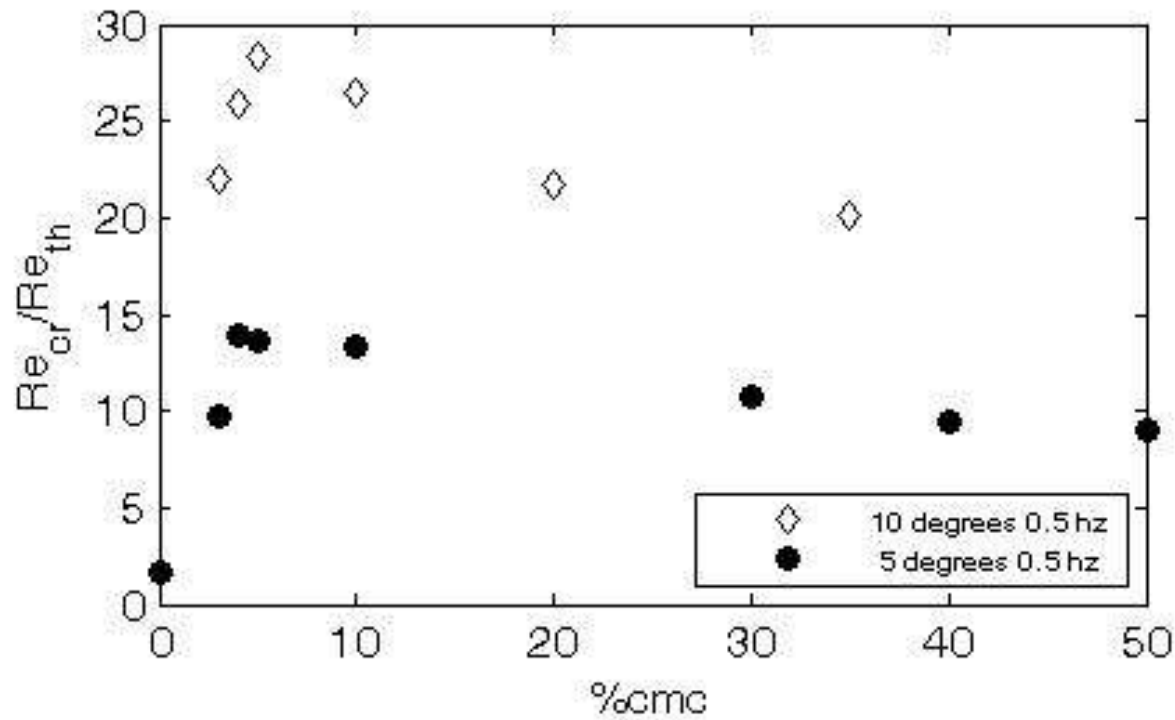
# Αποτελέσματα Ευστάθειας

10 μοίρες γωνία κλίσης

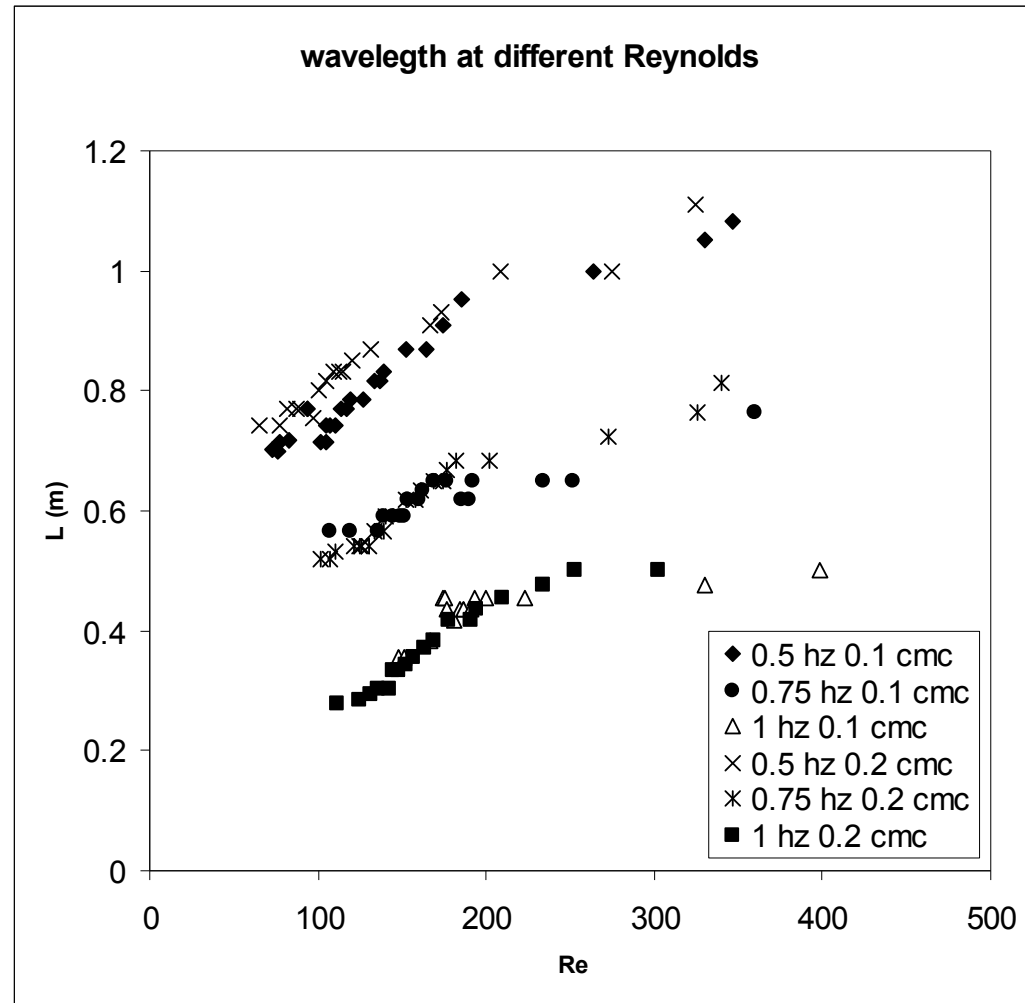


$Re_{cr}/Re_{th}$  για το νερό  $\approx 1.2$

## Αποτελέσματα Ευστάθειας



$Re_{cr}/Re_{th}$  για το νερό  $\approx 1.2$



Δεν επηρεάζεται από τη συγκέντρωση του επιφανειοδραστικού μέσο μήκος κύματος  $> 0.5$  m  $\rightarrow$  long wave instability



## Σύνοψη Αποτελεσμάτων

### Διαλύματα ισοπροπυλικής αλκοόλης:

- το σύστημα συμπεριφέρεται σαν καθαρό ρευστό
- έχουμε εμφανή δημιουργία πρόδρομων τριχοειδών κυμάτων
- τα τριχοειδή κύματα είναι συνάρτηση του ανηγμένου αριθμού Reynolds  $\delta$

### Διαλύματα SDS:

- ισχυρή απόσβεση των διαταραχών εισόδου
- κυρίαρχες δομές → ημιτονοειδή κύματα πολύ μικρού ύψους - υπάρχουν εξαιρέσεις για πολύ μικρές συχνότητες
- το όριο ευστάθειας είναι 8-10 φορές αυξημένο σε σχέση με το νερό. Παρουσιάζει ένα μέγιστο στα 0.04 cmc και μετά, παρατηρείται μια πτώση σε σχέση με την αύξηση της συγκέντρωσης του επιφανειοδραστικού
- σε μικρές συχνότητες (0.125, 0.25, 0.5 Hz) δεν παρατηρείται διαφορά στο όριο της ευστάθειας
- έχουμε αστάθεια μεγάλων κυμάτων

Η παρούσα έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) - Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: Ηράκλειτος ΙΙ . Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.

