



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

# Ανάπτυξη υπολογιστικού συστήματος για την ανάλυση των λειτουργικών χαρακτηριστικών έργων δυναμικής ρύθμισης των υδραγωγείων: Η περίπτωση του υδραγωγείου του Μόρνου

Μπουκογιάννης Ευστράτιος

---

Επιβλέποντες: Ανδρέας Ευστρατιάδης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Παναγιώτης Κοσσιέρης, MSc, Δρ. Μηχανικός

Βασίλειος Μπέλλος, Επίκουρος Καθηγητής ΔΠΘ

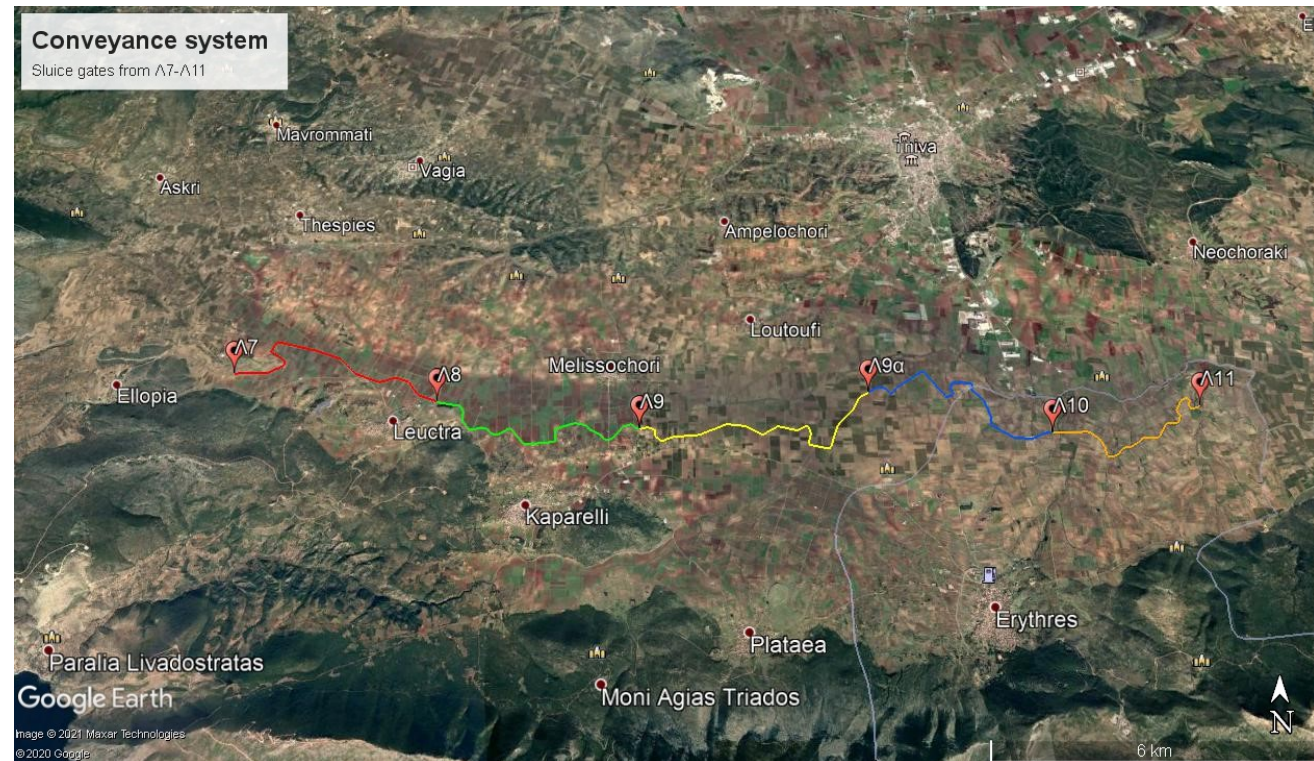
# Περιεχόμενα

- ▶ Εισαγωγή
- ▶ Μεθοδολογία
- ▶ Επεξεργασία Δεδομένων
- ▶ Βαθμονόμηση Μοντέλου
- ▶ Ανάλυση Αποτελεσμάτων
- ▶ Συμπεράσματα



# ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ – ΣΤΟΧΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

- ▶ Υδραγωγείο Μόρνου:
  - ▶ Μήκος: 188 km
  - ▶ Παροχή: 5 - 20 m<sup>3</sup>/s
  - ▶ Ταχύτητα Ροής: 1.50 – 2.00 m/s
  - ▶ Μέσος Χρόνος Ροής: ~ 1 day
  - ▶ Ρύθμιση με:
    - ▶ Τύπου «Ε»
    - ▶ Ρυθμιστές «Λ»
- ▶ 18 Ρυθμιστές «Λ», εκ των οποίων οι 11 τηλεχειριζόμενοι
- ▶ **Στόχος:** Βαθμονόμηση Παραμέτρων Λειτουργίας Ρυθμιστών «Λ»



# Διάταξη Ρυθμιστών «Λ»



Άποψη **Ρυθμιστή Λ10** και **Ρυθμιστή Λ8** στις 2 καταστάσεις λειτουργίας με και χωρίς υπερχείλιση

# Μεθοδολογία

## Δεδομένα Εισόδου

- $\alpha$ : Ποσοστιαία ανοίγματα θυροφραγμάτων
- $H_1$ : Ανάντη στάθμη ροής
- $\gamma_{\dagger}$ : Κατάντη στάθμη ροής
- $Q$ : Παροχή υδραγωγείου

## Μοντέλο & Βαθμονόμηση

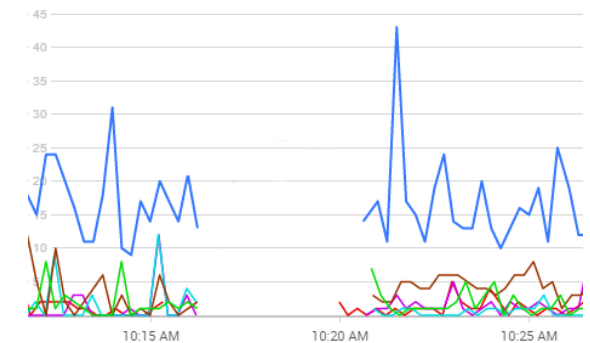
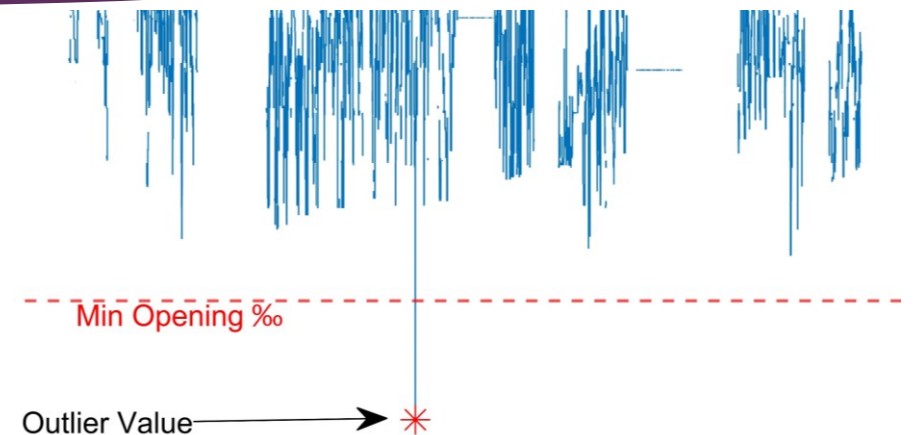
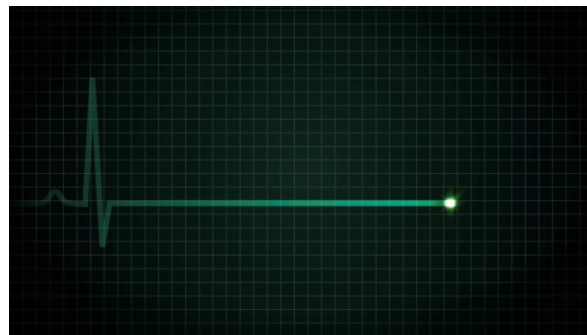
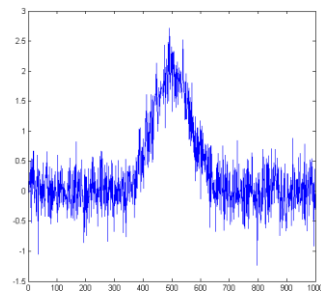
- Καθάρισμα και διόρθωση δεδομένων
- Εντοπισμός και διαχωρισμός επεισοδίων
- Μοντέλο παροχής θυροφράγματος
- Μοντέλο παροχής υπερχειλιστή Ogee
- Παραδοχή:  $Q_{obs} = Q_{sluice} + Q_{spill}$

## Αποτελέσματα

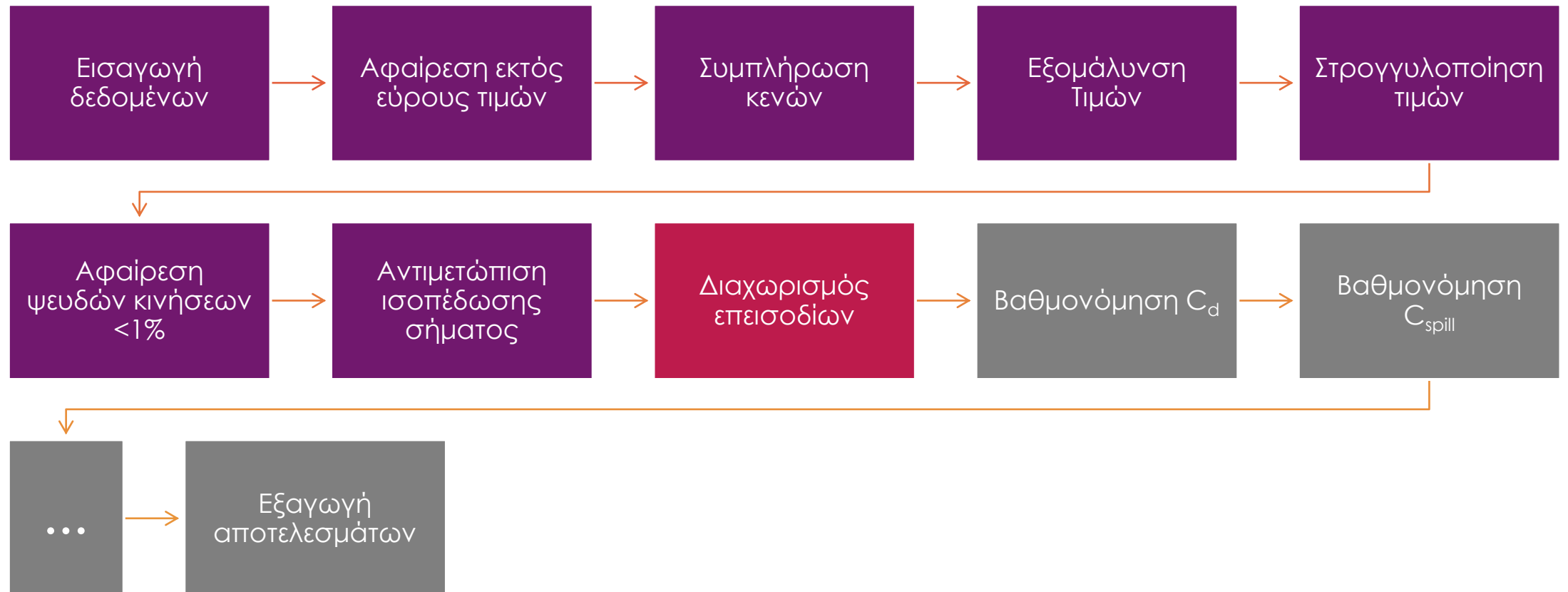
- $C_d$ : Συντελεστής παροχής θυροφράγματος
- $C_{spill}$ : Συντελεστής παροχής υπερχειλιστή

# Δεδομένα πεδίου

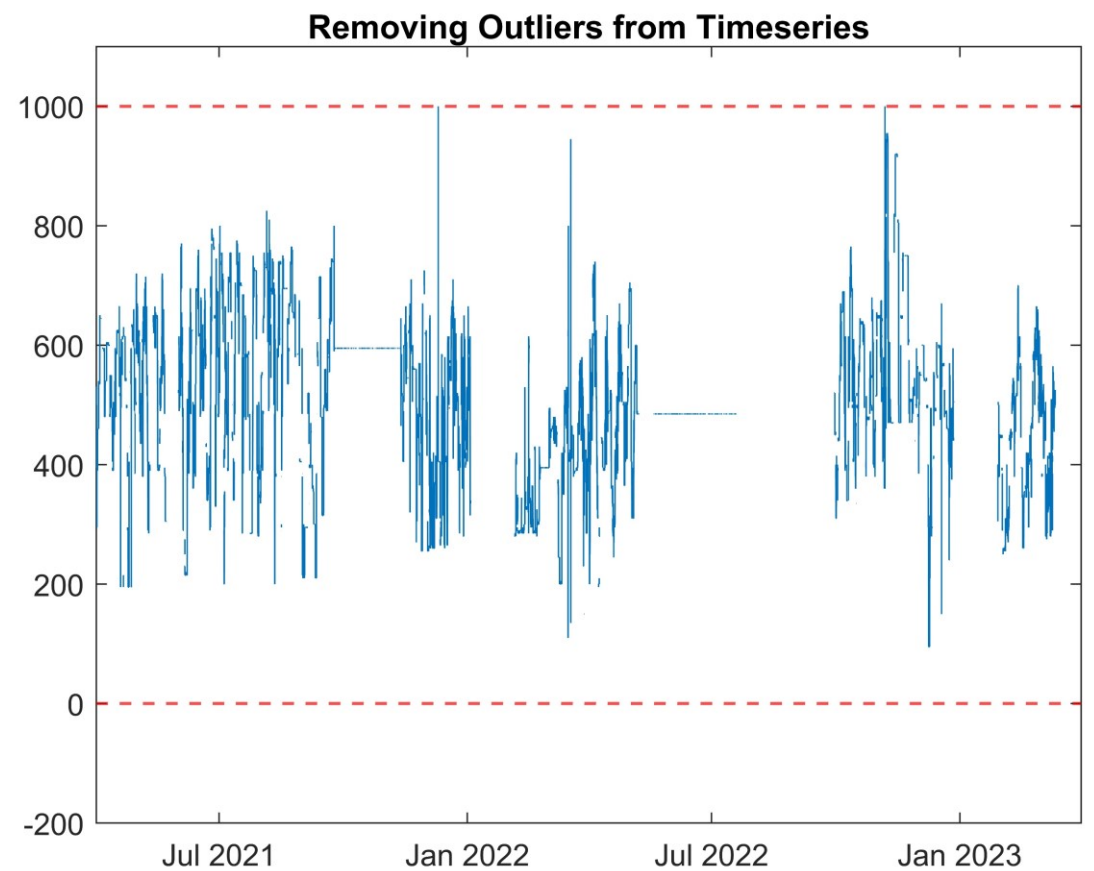
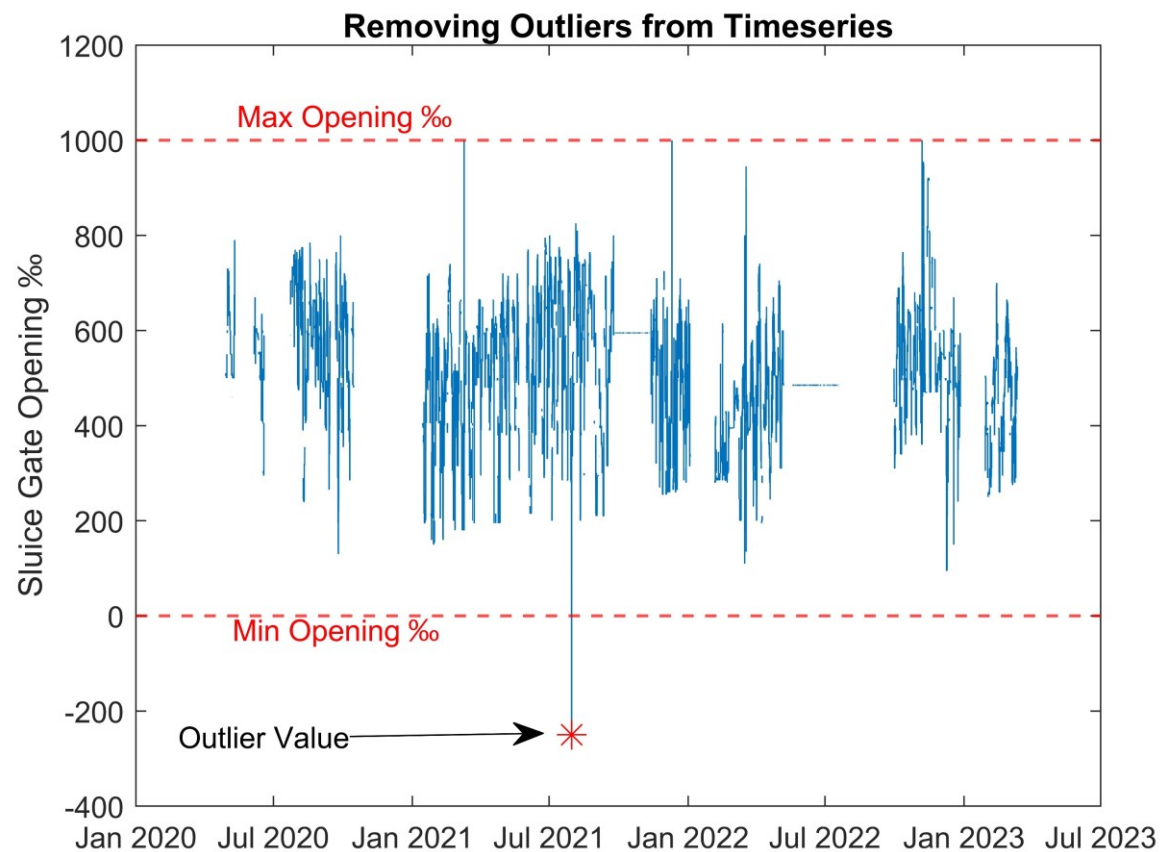
- ▶ Καταγραφές ανά 10 και 15 min, αναλόγως το μετρητή
- ▶ Προβλήματα δεδομένων πεδίου:
  - ▶ Τιμές εκτός λογικού εύρους μεταβλητής
  - ▶ Κενές μετρήσεις
  - ▶ «Ισοπέδωση» σήματος
  - ▶ Θόρυβος Δεδομένων



# Διάγραμμα ροής Διαδικασιών



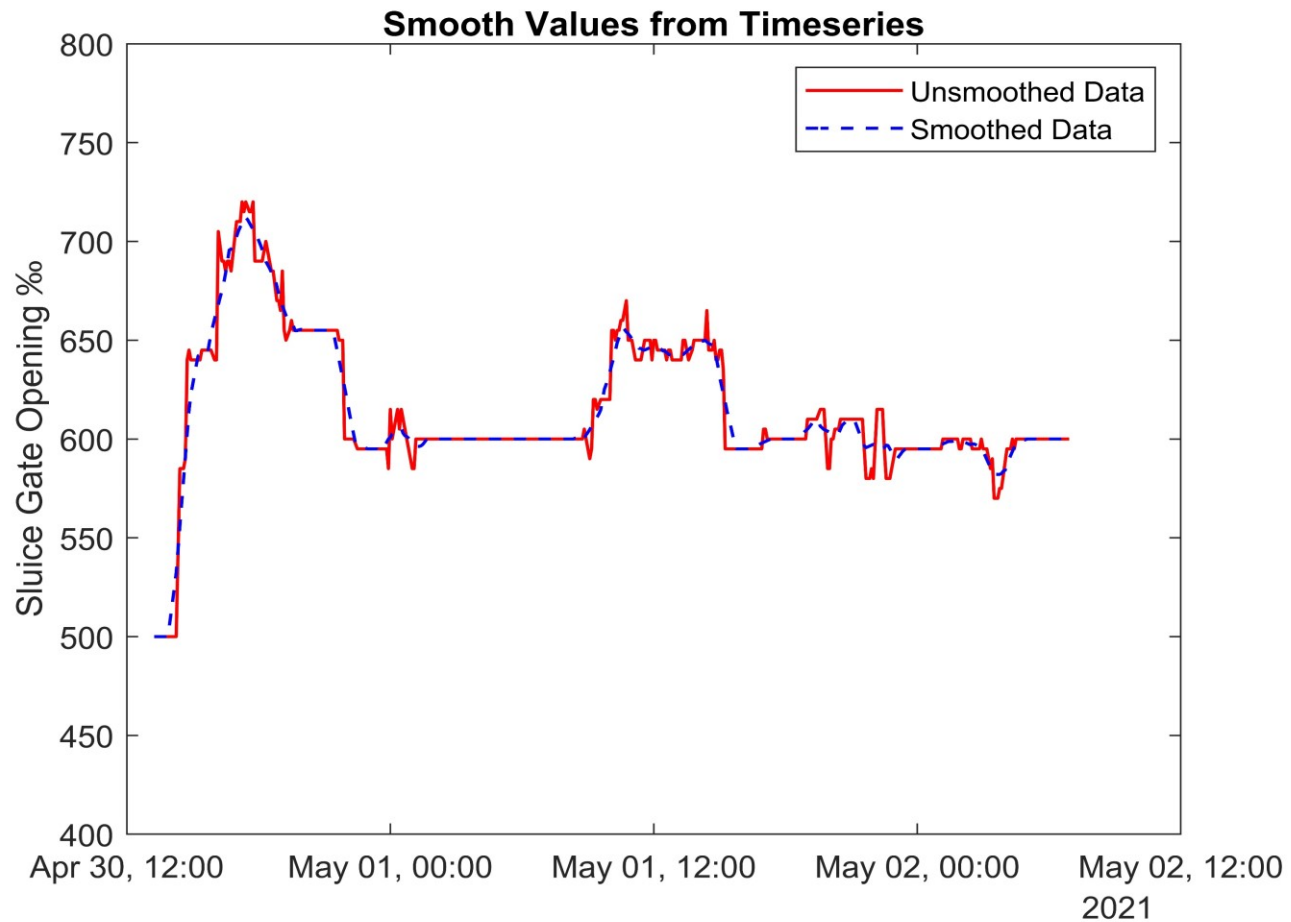
# Αφαίρεση Ακραίων Τιμών



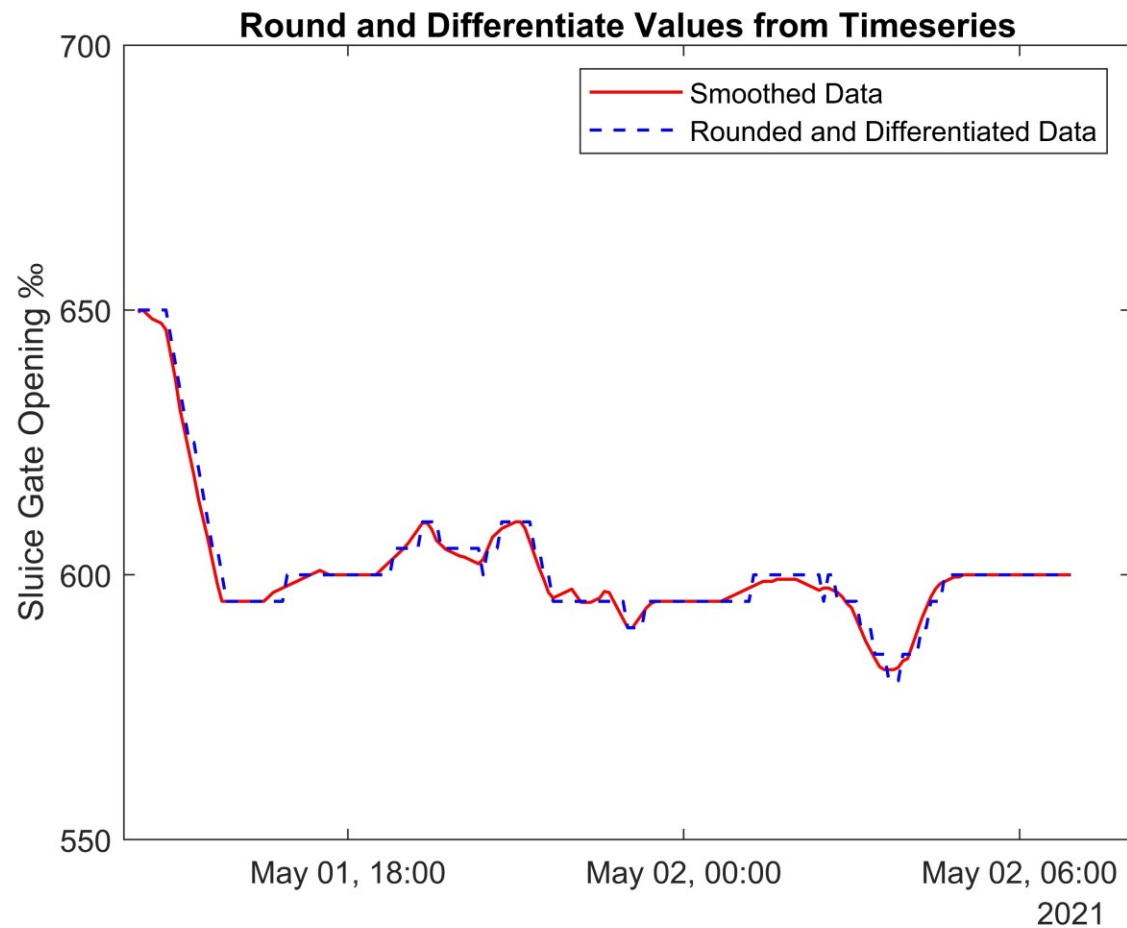




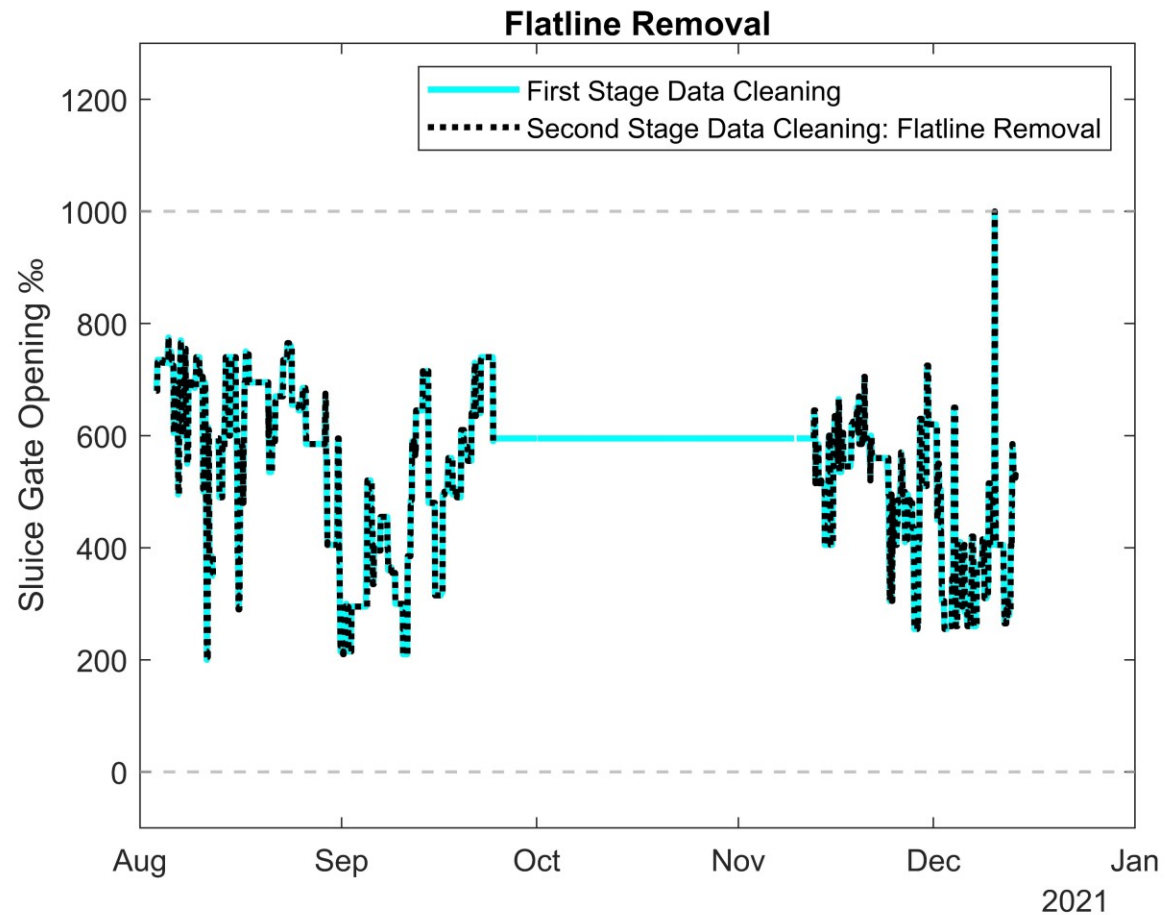
# Εξομάλυνση Τιμών



# Στρογγυλοποίηση και Διακριτοποίηση τιμών



# Ανίχνευση και Αφαίρεση Ισοπέδωσης Σήματος



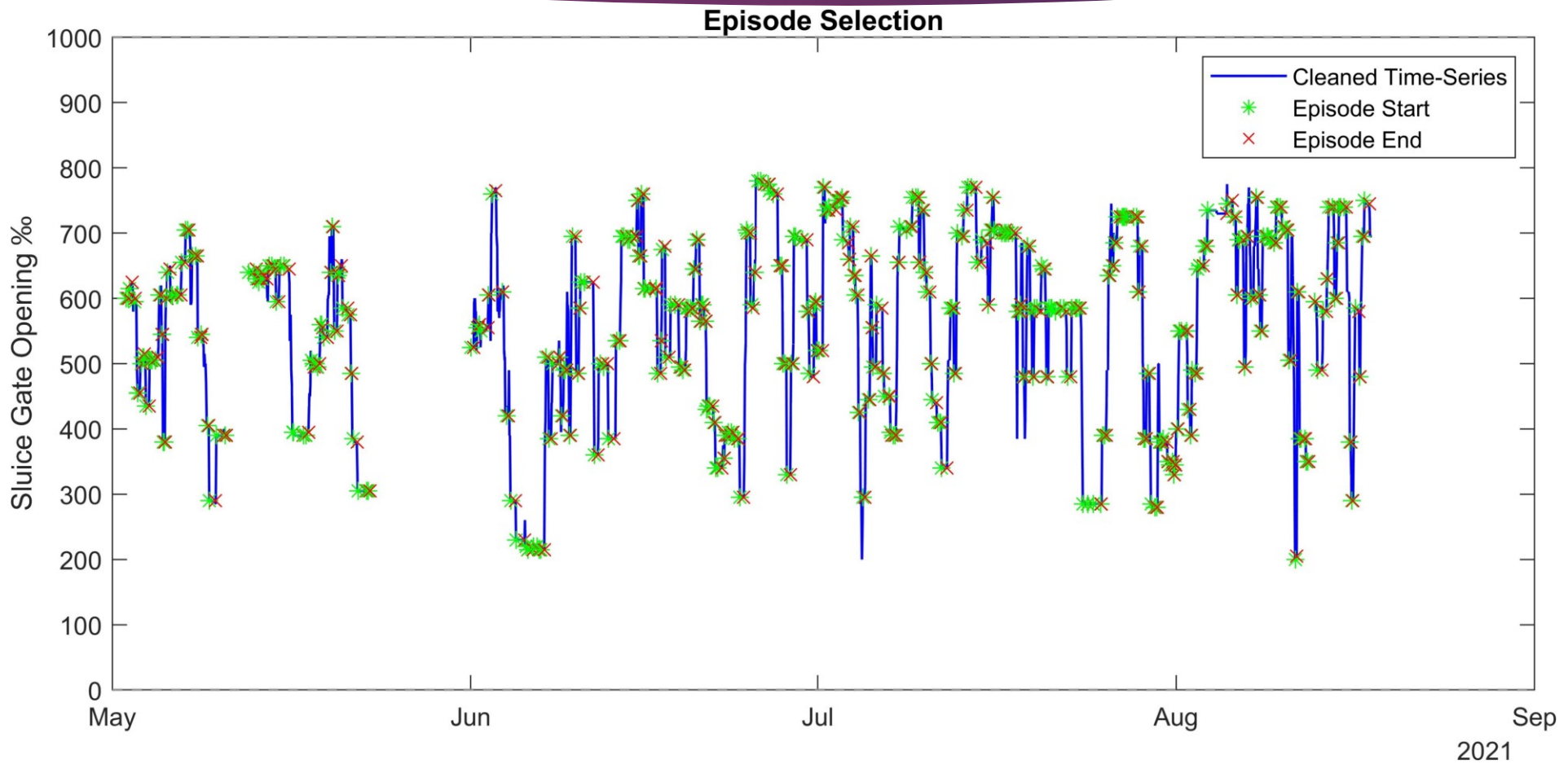
# Ανίχνευση και Εξαγωγή Επεισοδίων

Χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση περιοχών όπου:

- ▶ Δεν συντελείται μεταβολή της ροής:
  - ▶ μέσω μεταβολής του ανοίγματος των θυροφραγμάτων
  - ▶ μέσω μεταβολής υπερκείμενου θυροφράγματος (αποτυπώνεται στην ανάντη στάθμη)
- ▶ Τα δεδομένα είναι πλήρη και ορθά (χωρίς Flags και Errors)

**Εξαγωγή επεισοδίων διαφόρων μηκών από 1 έως 24 ώρες με βήμα 1 ώρας**

# Ανίχνευση και Εξαγωγή Επεισοδίων

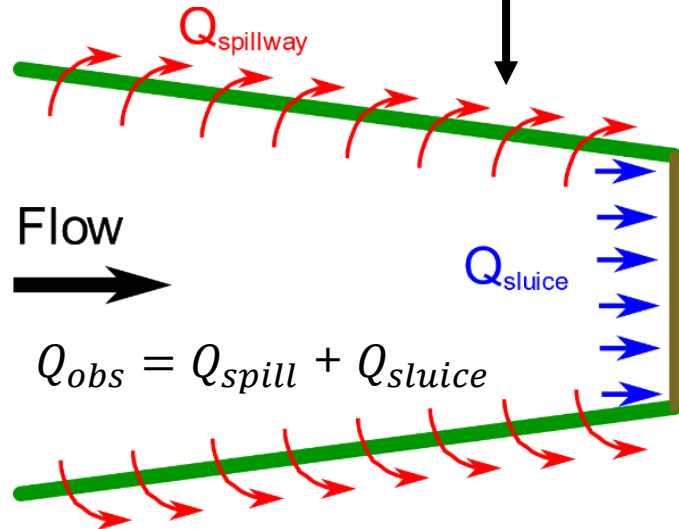


# Μοντελοποίηση Ρυθμιστών «Λ»

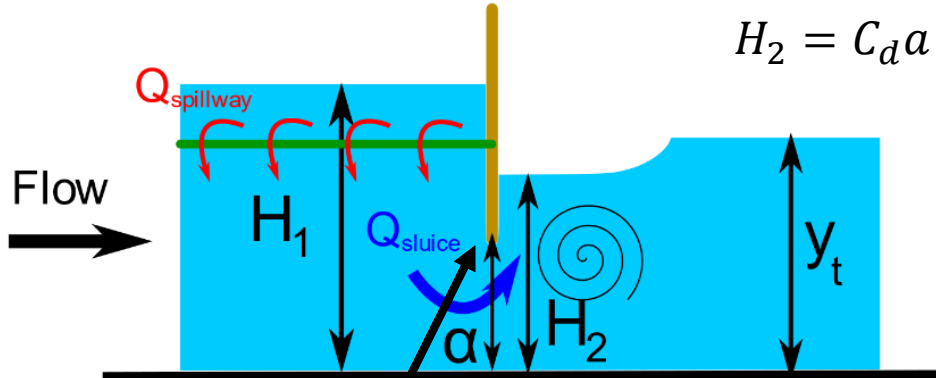
$$Q_{spill} = C_{spill} L H^{3/2}$$

Στέψη Υπερχειλιστή Ρυθμιστή «Λ»

$$Q_{sluice} = C_d a b \sqrt{2g(H_1 - H_2)}$$



$$Q_{obs} = Q_{spill} + Q_{sluice}$$



$$H_2 = C_d a \left( 2C + \sqrt{4C^2 + A^2 - 4BC} \right)$$

$$A = \frac{y_t}{C_d a}$$

$$B = \frac{C_d a}{H_1}$$

$$C = 1 - \frac{C_d a}{y_t}$$

$$y_{t\_obs} + \frac{Q_{obs}^2}{2gb_1^2 y_{t\_obs}^2} = y_{t\_corr} + \frac{Q_{sluice}^2}{2gb_2^2 y_{t\_corr}^2}$$

Άξονας θυροφραγμάτων

Wu and Rajaratnam –  
Solutions to Rectangular  
Sluice Gate Flow  
Problems(2015)

# Μοντέλο σειριακής βαθμονόμησης

Πορεία βαθμονόμησης Συντελεστών

Βαθμονόμηση συντελεστών  $C_d$

Συλλογή επεισοδίων χωρίς υπερχείλιση και  
εξαγωγή χαρ/κων τιμών

Υπολογισμός συντελεστών  $C_{spill}$  με χρήση  
συσχέτισης  $C_d - a/H_1$

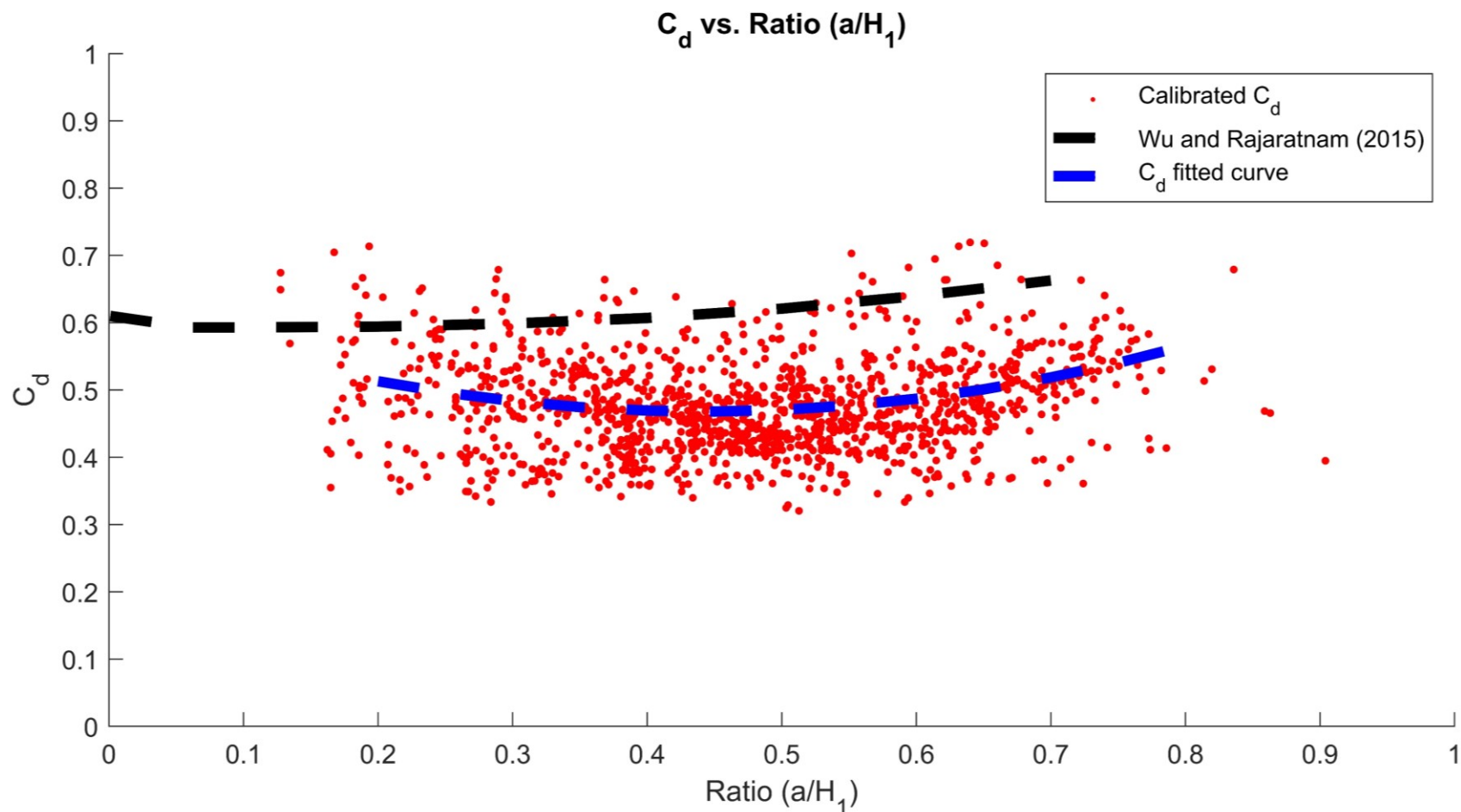
Βαθμονόμηση  $C_{spill}$  και σύγκριση με  
υπολογισμένα  $C_{spill}$

Προσαρμογή σχέσης  $C_{spill} - \text{Spill Head}$



# Μοντέλο σειριακής βαθμονόμησης

## Βαθμονόμηση Συντελεστή $C_d$



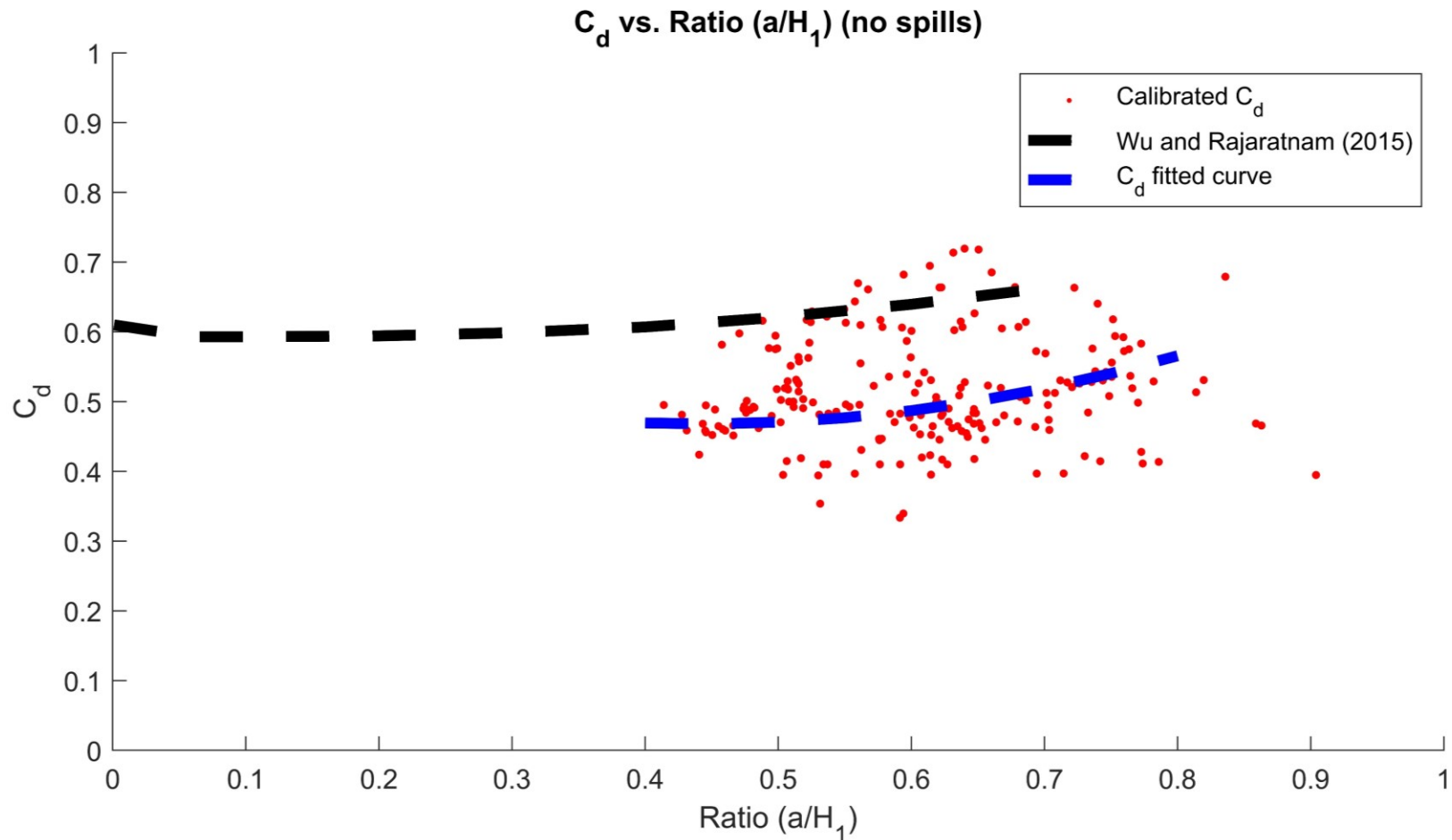
Επαλήθευση  
νομογραφήματος

$C_d$  – Ratio: Σφάλμα  
9.2% (σε  $m^3/s$ ) →

Σφάλμα σύγχρονων  
παροχόμετρων 2 - 5%

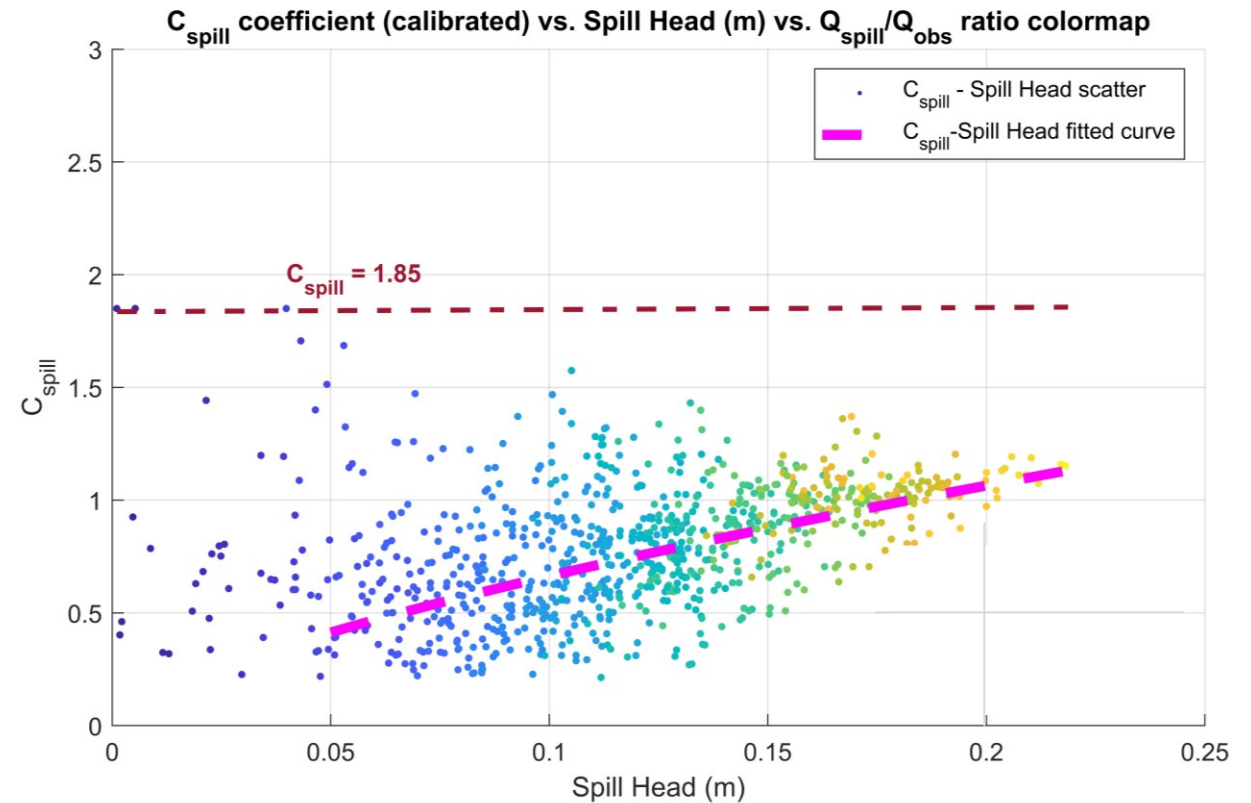
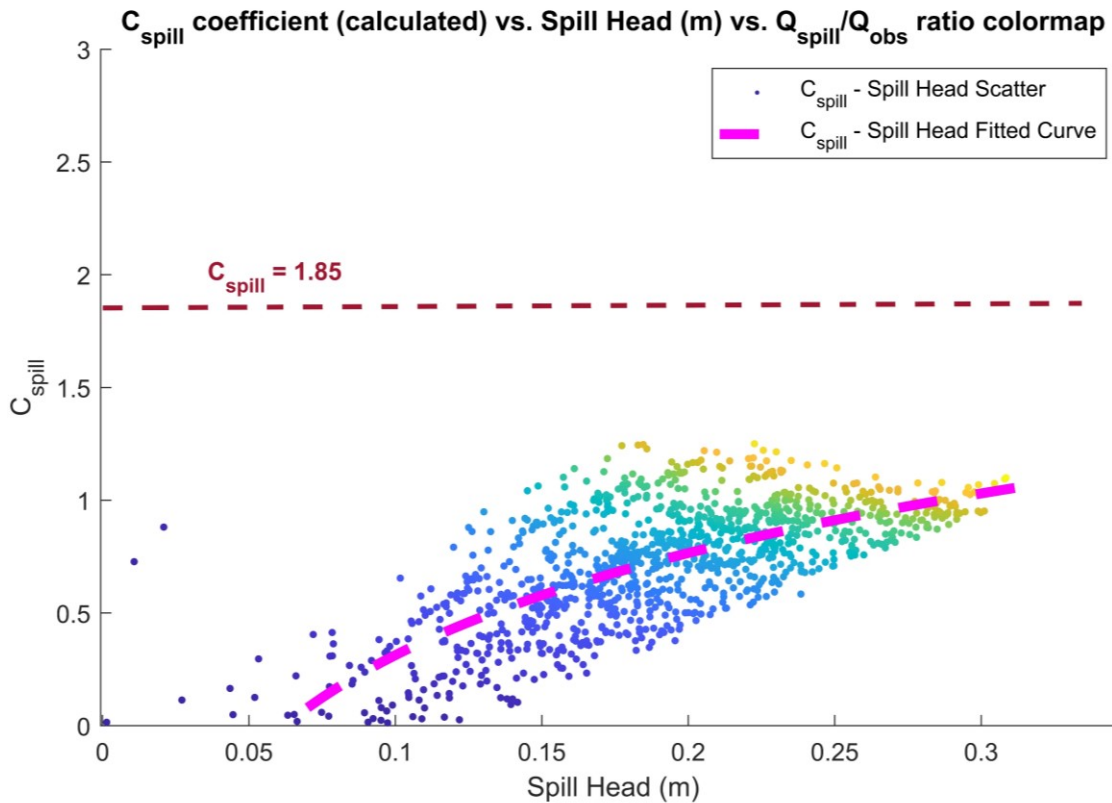
# Μοντέλο σειριακής βαθμονόμησης

## Βαθμονόμηση Συντελεστή $C_d$ (no spills)



# Μοντέλο σειριακής βαθμονόμησης

Βαθμονόμηση και Υπολογισμός Συντελεστή Υπερχειλιστή  $C_{spill}$



Εκτίμηση ΕΥΔΑΠ  $C_{spill} = 1.85$

# Μοντέλο σειριακής βαθμονόμησης

Συντελεστής Υπερχείλισης  $C_{spill}$



Ανάπτυξη αλγών + Υδραυλική φθορά σκυροδέματος → Αύξηση της τραχύτητας των εξαρτημάτων → Μείωση συντελεστή υπερχείλισης

Μετρημένη τιμή ΕΥΔΑΠ:  $C_{spill} = 1.85$

Διάμεση τιμή βαθμονόμησης:  $C_{spill} = 0.85$

# Ανάλυση Επιρροής Παραμέτρων

Παράμετρος	Παρατήρηση
Διάρκεια Επεισοδίου	↑ Διάρκεια επεισοδίου → Πλήθος ↓
Τυπική Απόκλιση Ανάντη Στάθμης	$dH_1/dt \approx 0$
Τυπική Απόκλιση Κατάντη Στάθμης	$dy/dt \approx 0$
Τυπική Απόκλιση Παροχής	Τυπική Απόκλιση Παροχής $\leq 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ → $dQ/dt \approx 0$
Τυπική Απόκλιση Ανοίγματος Θυροφράγματος	Τυπική Απόκλιση Ανοίγματος $\leq 3\%$ → Καλή λειτουργία αλγορίθμου
Παροχή Υπερχειλίσης	Αβεβαιότητα λόγω της τιμής του $C_{spill}$
Διαφορά Ανοίγματος Αριστερού – Δεξιού Θυροφράγματος	$C_d = f(a/H1) \rightarrow a_{RIGHT} \neq a_{LEFT} \rightarrow$ Εξετάζεται η χρήση του μέσου ανοίγματος

# Συμπεράσματα

## Βαθμονόμηση Συντελεστών

### ▶ Βαθμονόμηση $C_d$

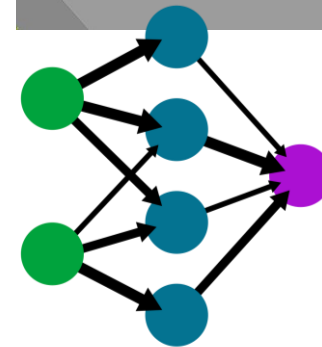
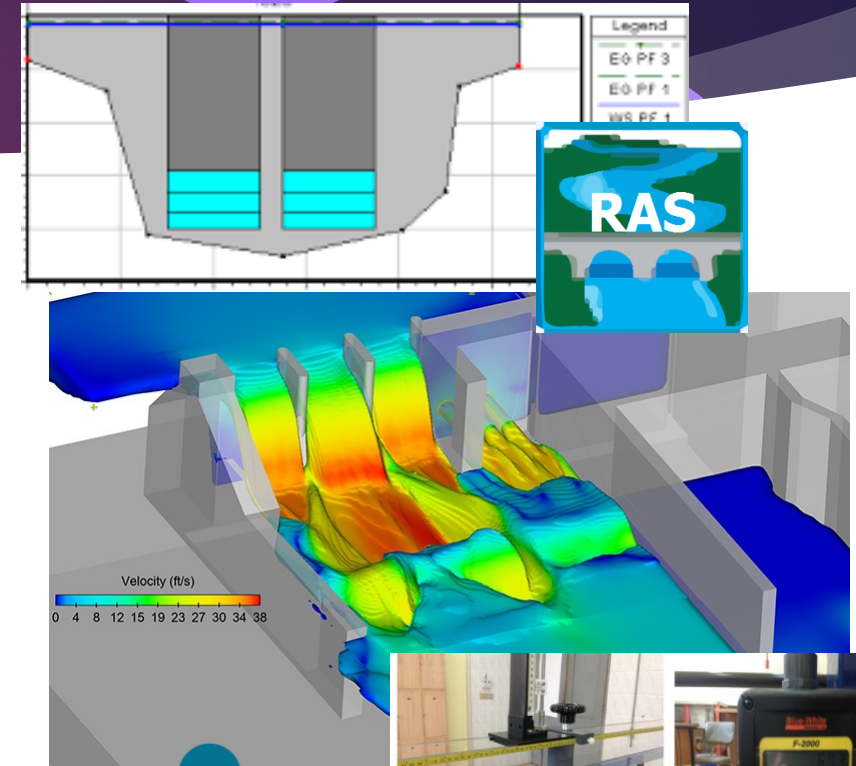
- ▶ Συστηματική υποεκτίμηση σε σχέση με τις βιβλιογραφικές πηγές (π.χ. Wu and Rajaratnam (2015))
- ▶ Η μορφή της συνάρτησης παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά


### ▶ Βαθμονόμηση $C_{spill}$

- ▶ Παρουσιάζει μείωση ως προς τη μετρημένη τιμή (ΕΥΔΑΠ) → αναμενόμενη μείωση: υδραυλική φθορά → ↑ αύξησης της τραχύτητας → ↓ μείωση  $C_{spill}$

# Περαιτέρω Έρευνα

- ▶ Ανάπτυξη εναλλακτικών ημι-εμπειρικών σχέσεων για την μελέτη λειτουργίας ρυθμιστών τύπου Λ.
- ▶ Σύγκριση αποτελεσμάτων με:
  - ▶ Μοντέλα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD)
  - ▶ Φυσικά μοντέλα εργαστηρίου
  - ▶ Μοντέλα μηχανικής μάθησης





Ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας!!!