



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

# ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΥΠΟ ΤΟ ΠΡΙΣΜΑ ΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Εφαρμογή σε φράγμα της Πύλης του νομού Τρικάλων

Χαράλαμπος Σοφιός

Επιβλέπων καθηγητής: Ανδρέας Ευστρατιάδης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2022



# Αντικείμενο εργασίας & Ερευνητικοί στόχοι

## Αντικείμενο μελέτης

- *Ανάλυση εναλλακτικών σχεδιασμών οικονομικά βιώσιμων Υ/Η έργων στη Πύλη Τρικάλων*
- ✓ *Ενός συμβατικού σχεδιασμού* κερδοφόρου έργου σύμφωνα με ένα σενάριο υποθέσεων
- ✓ *Ενός δυσμενούς σχεδιασμού* κερδοφόρου και ανθεκτικού έργου σύμφωνα με πολλά σενάρια υποθέσεων

## Απώτερος στόχος

- *Τυποποίηση διαδικασίας σχεδιασμού Υ/Η έργου με απλουστευμένο τρόπο αξιολόγησης της κερδοφορίας του*



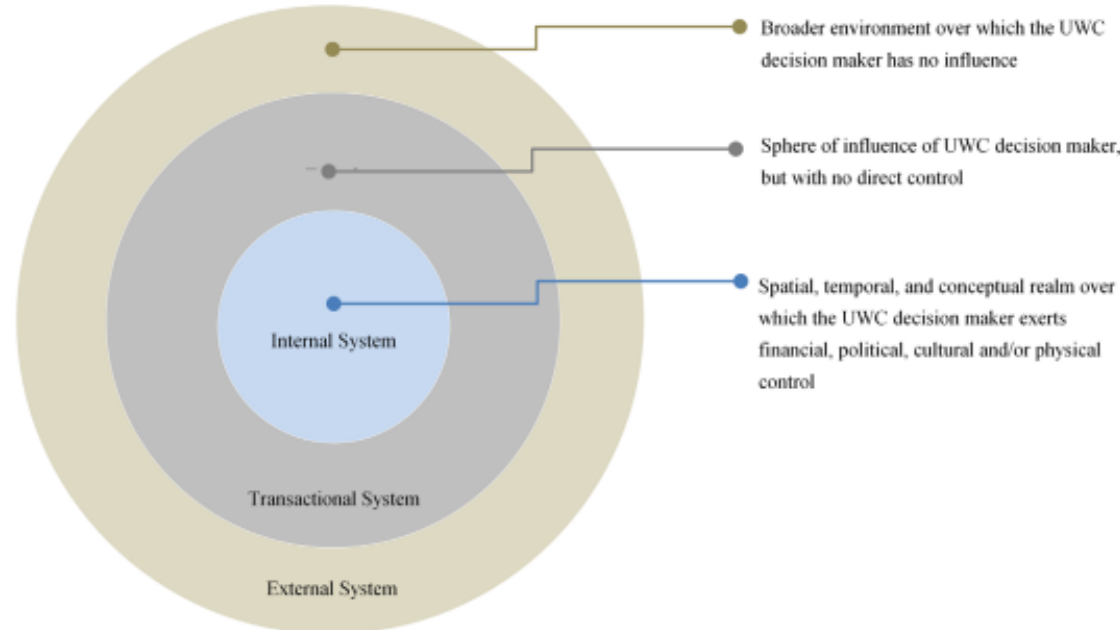
# Σύγχρονες προκλήσεις στη φιλοσοφία σχεδιασμού

Η αναγκαιότητα επαναπροσδιορισμού των τρεχουσών πρακτικών σχεδιασμού

Συμβατική προσέγγιση  
σχεδιασμού με βάση ένα σενάριο

Προκλήσεις που καλείται να  
αντιμετωπίσει το έργο

Νέα πραγματικότητα  
Προσέγγιση σχεδιασμού με βάση  
πολλά δυσμενή σενάρια

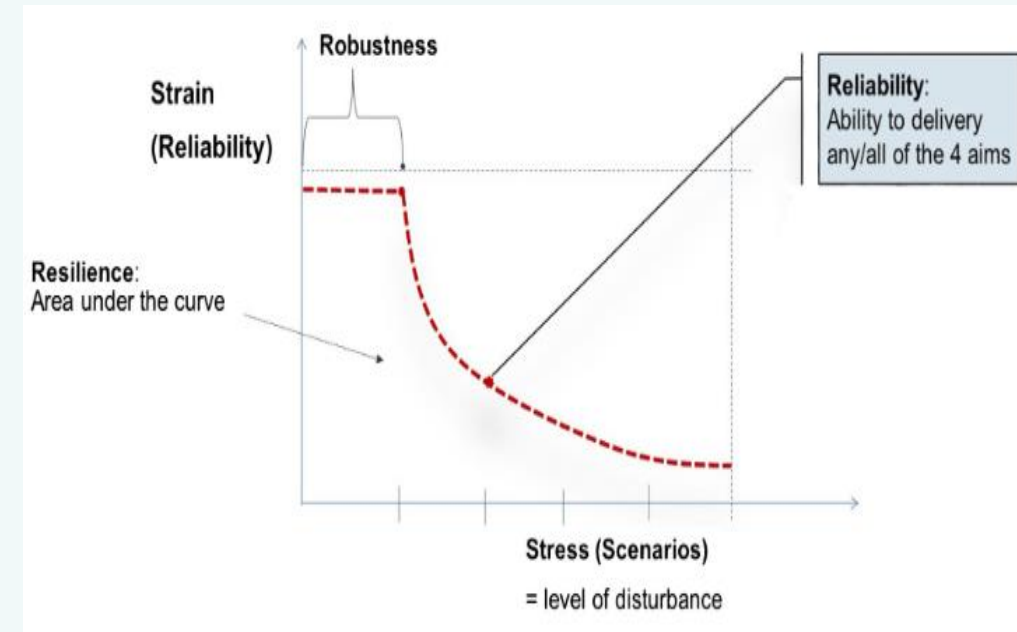


# Σύγχρονες προκλήσεις στη φιλοσοφία σχεδιασμού

Η έννοια της ανθεκτικότητας ως μέγεθος μακροπρόθεσμου σχεδιασμού συστημάτων

## Ανθεκτικότητα (resilience)

- Υλοποίησης σχεδιασμού συστήματος που:
  - θα απορροφά τις προκλήσεις
  - θα ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της νέας πραγματικότητας
- Βαθμός στον οποίο το υδροηλεκτρικό έργο εξακολουθεί να λειτουργεί ομαλά κάτω από σταδιακά αυξανόμενη επιβάρυνση
- Είναι το εμβαδόν που καλύπτει η καμπύλη που προκύπτει από διαφορετικά σενάρια λειτουργίας του έργου που συσχετίζονται με το εκάστοτε εξεταζόμενο μέγεθος βελτιστοποίησης
- Οι καμπύλες της συγκρίνουν εναλλακτικούς σχεδιασμούς συστημάτων

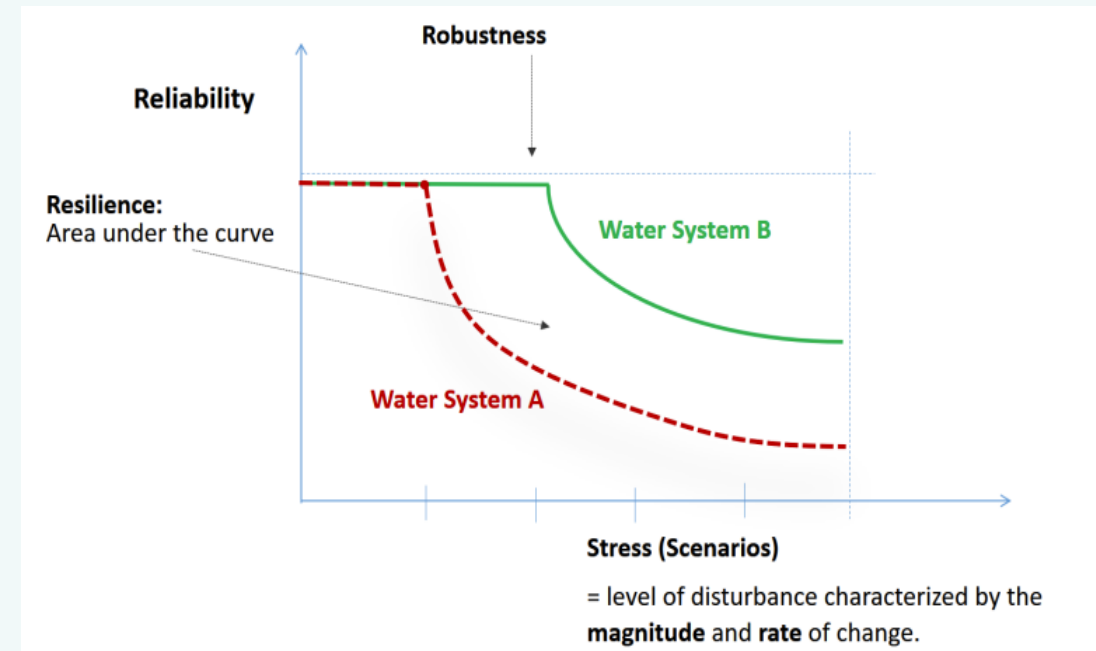


# Σύγχρονες προκλήσεις στη φιλοσοφία σχεδιασμού

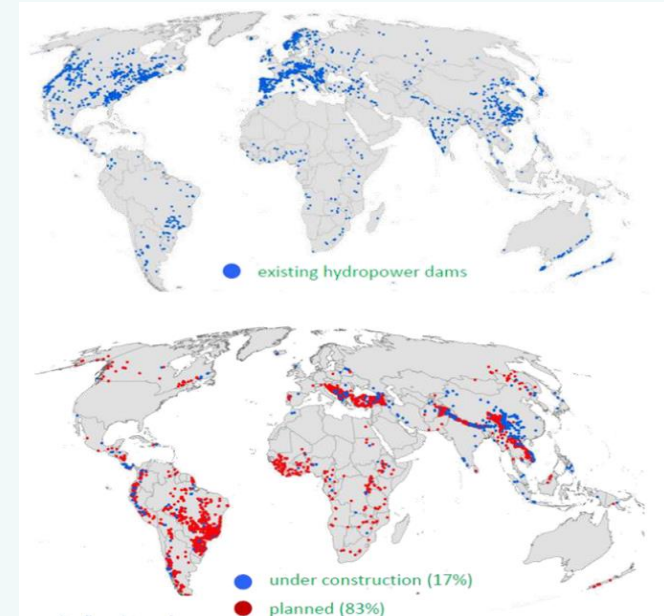
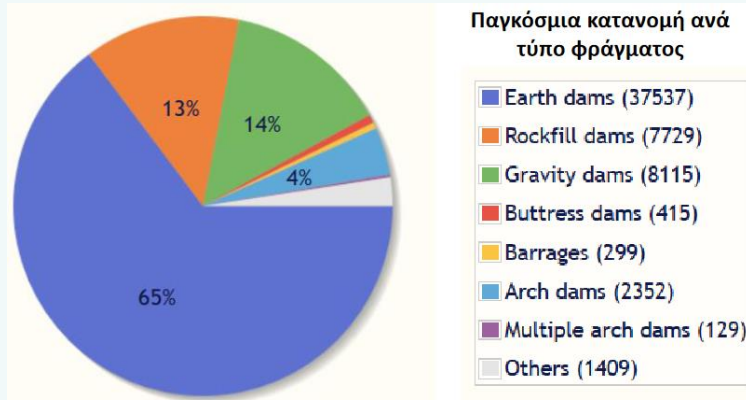
Η έννοια της ανθεκτικότητας ως μέγεθος μακροπρόθεσμου σχεδιασμού συστημάτων

## Ευρωστία (robustness)

- Η δυνατότητα του συστήματος να διατηρεί το εξεταζόμενο μέγεθος βελτιστοποίησης ανεπηρέαστο παρά τη σταδιακά αυξανόμενη επιβάρυνση που του επιβάλλεται
- Είναι το οριζόντιο τμήμα της καμπύλης ανθεκτικότητας
- Αποτελεί μέτρο σύγκρισης ανθεκτικότητας για μέρος των σεναρίων, όσο αυτά δεν επηρεάζουν το εξεταζόμενο μέγεθος του συστήματος
- Η ευρωστία δε μπορεί να αξιολογήσει την ανθεκτικότητα του συστήματος σε σύνολο αλλαγών που δυσχεραίνουν τη λειτουργία του



# Φράγματα & Υδροηλεκτρική ενέργεια



Γεωφράγματα

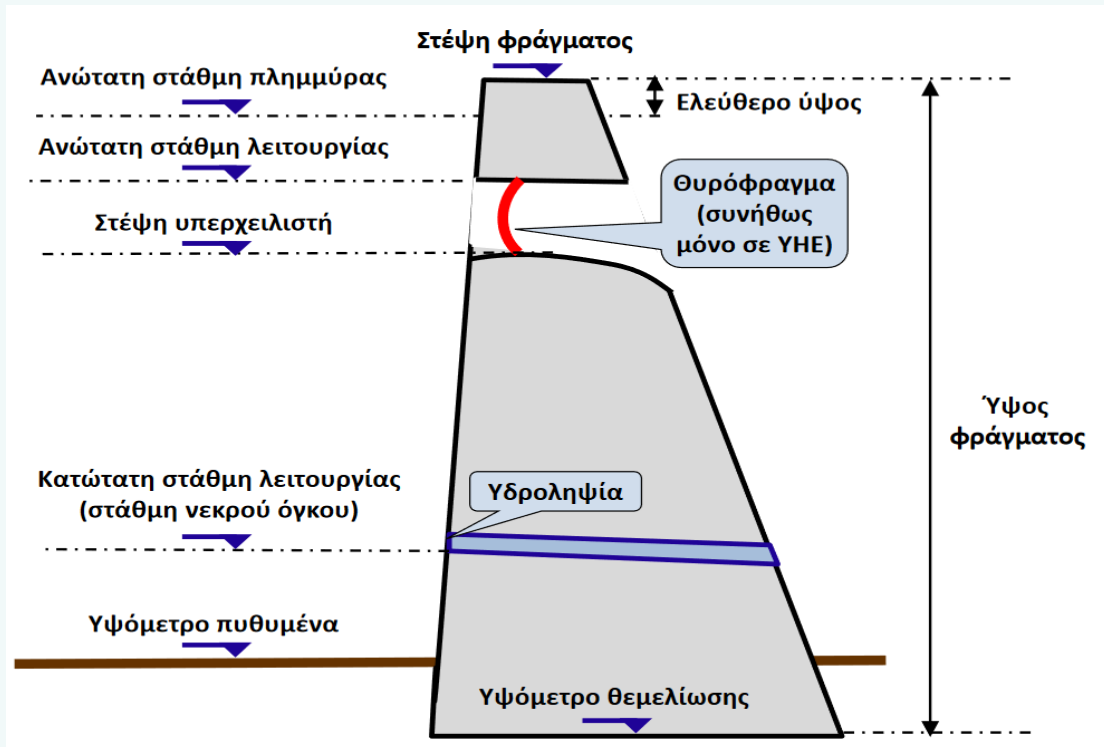
- Χωμάτινα
- Λιθόρριπα

Σκυροδέματος

- Βαρύτητας (RCC, σκληρό επίχωμα)
- Τοξωτά
- Αντηριδωτά

# Μεθοδολογία προσομοίωσης-βελτιστοποίησης υπό το πρίσμα της ανθεκτικότητας

## Ο ταμιευτήρας και το φράγμα ενός Υ/Η έργου



- Συσχέτιση υψών στάθμεων ύδατος με απόθεμα ταμιευτήρα μέσω καμπύλης στάθμης-όγκου της μορφής:

$$S = a * (h - zb)^b$$

*α, b εξαρτώνται από το σχήμα και τη μορφολογία του εξεταζόμενου ταμιευτήρα*

- Νεκρός όγκος ταμιευτήρα

$$S'_{min} = A_{\Lambda} * \frac{G}{10^6 * \rho} * Td$$

- Συσχέτιση ύψους φράγματος με όγκο φράγματος  
από ενδεικτικές ογκομετρήσεις για το εξεταζόμενο φράγμα

$$V = c_1 * H^{c_2}$$



# Μεθοδολογία προσομοίωσης-βελτιστοποίησης υπό το πρίσμα της ανθεκτικότητας

## Βασικά Υδροενεργειακά μεγέθη ενός Υ/Η έργου

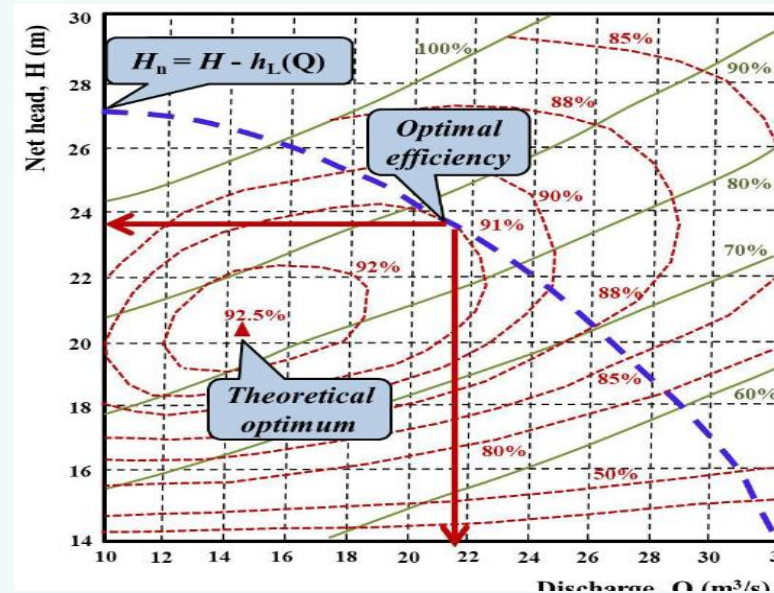
| Υδροενεργειακά μεγέθη | Τύπος υπολογισμού  | Μονάδες             |
|-----------------------|--|---------------------|
| $h_n$                 | $h - h_{\text{ΥΗΣ}} - \Delta H$                          | m                   |
| CF                    | $\frac{T_{\text{ΛΕΙΤ}}(h)}{8760}$                        |                     |
| Q                     | $\frac{1000}{3.6} * \left( \frac{Va}{CF * 8760} \right)$ | $\frac{m^3}{s}$     |
| P                     | $n_m * \gamma * Q * \frac{Hn}{1000}$                     | MW                  |
| $\psi$                | $\frac{1}{3.6} * 9.81 * n * hn * (h - zb)$               | GWh/hm <sup>4</sup> |
| $\gamma_k$            | $100 * \frac{P_{\text{target}}}{\psi * hn_k}$            | hm <sup>3</sup>     |

Γραμμικές απώλειες ( $f * \frac{v^2}{2 * g * D} * L$ )

Κατά μήκος του αγωγού

Τοπικές απώλειες ( $k * \frac{v^2}{2 * g}$ )

Στα σημεία αλλαγής της γεωμετρίας ή κλίσης του αγωγού

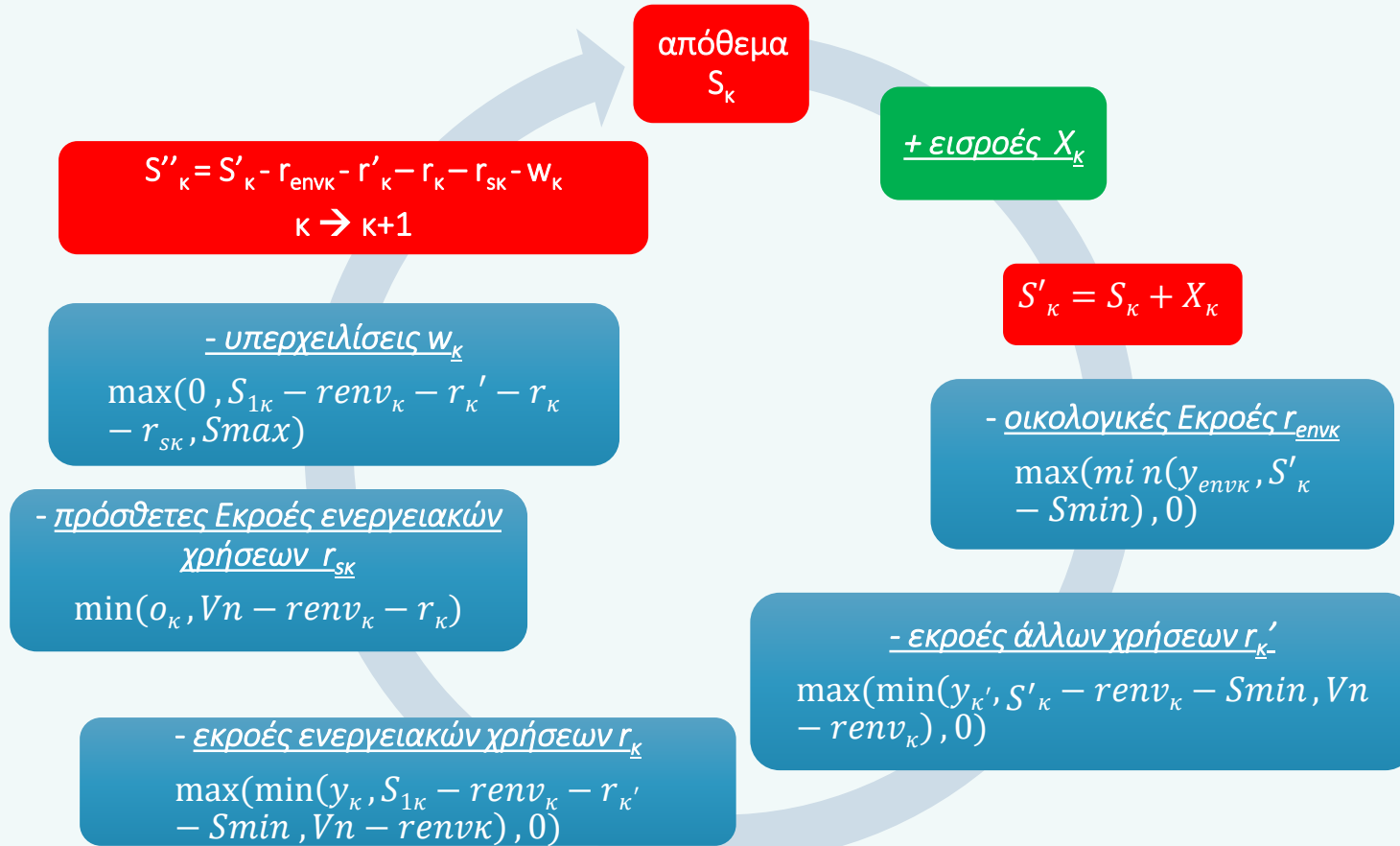






# Μεθοδολογία προσομοίωσης-βελτιστοποίησης υπό το πρίσμα της ανθεκτικότητας

Μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας ενός υδροηλεκτρικού ταμιευτήρα





# Ανάλυση οικονομικής βιωσιμότητας υδροηλεκτρικών έργων

## Μηνιαία έσοδα έργου

- Εκτίμηση των μηνιαίων εσόδων  $K_k$  για  $k$  μηνιαία βήματα προσομοίωσης ενός υδροηλεκτρικού ταμιευτήρα.

$$K_k = C_p * \min(P_{targetk}, E_k) + C_s * (\max(0, E_k - P_{targetk}) + E_{envk}) - R_e * \max(0, P_{targetk} - E_k) + C' * \min(Z_k, r_k') - R' * \max(0, Z_k - r_k')$$

κέρδος  
πρωτεύουσας  
ενέργειας
κέρδος δευτερεύουσας ενέργειας
οφειλή ελλείμματος  
ενέργειας
κέρδος από  
πώληση νερού
οφειλή  
ελλείμματος  
παροχής νερού

| $E_{produced/k}$                                    | Υπολογιστικές σχέσεις   | Μονάδες |
|---|---|---------|
| Από κύριο στρόβιλο μερικής λειτουργίας E            | $\frac{1}{100} * \psi_k * (r_k + r_{s_k}) * \frac{h_{nk} + h_{n_{k+1}}}{2}$ | GWh     |
| Από εφεδρικό στρόβιλο πλήρους λειτουργίας $E_{env}$ | $\frac{1}{100} * \psi_k * r_{envk} * \frac{h_{nk} + h_{n_{k+1}}}{2}$        | GWh     |

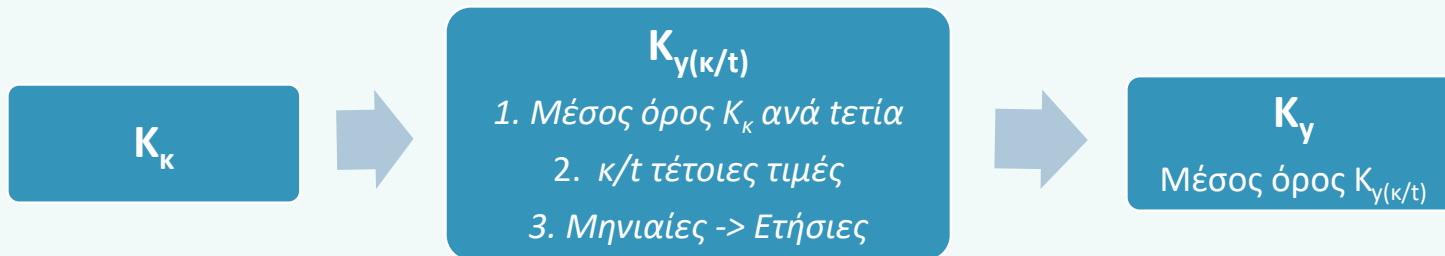


# Ανάλυση οικονομικής βιωσιμότητας υδροηλεκτρικών έργων

## Μέσο ετήσιο κόστος $C_y$ και όφελος $K_y$

- Οι δαπάνες  $C$  μερών  $j$  ενός Υ/Η έργου ανάγονται σε ετήσια βάση λαμβάνοντας υπόψιν πλήθος μακροοικονομικών μεγεθών (επιτόκιο  $i$ , πληθωρισμός  $\lambda$ , χρόνος απόσβεσης  $T$ )
- Για έτος  $k$  εντός περιόδου οικονομικής ανάλυσης  $t$ , και για χρόνο αντικατάστασης εξοπλισμού  $T_{rep} > T$ :

$$\begin{aligned}
 &\checkmark \text{ Av } k < T_j && A_j = C_j * i_j * \frac{(1 + i_j)^{T_j}}{(1 + i_j)^{T_j} - 1} \\
 &\checkmark \text{ Av } T_{rep_j} > k > T_j && A_j = 0 \\
 &\checkmark \text{ Av } k > T_{rep_j} && A_{rep_j} = \frac{1}{(1 + i_j)^{T_j}} * A_j
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} A_j = C_j * i_j * \frac{(1 + i_j)^{T_j}}{(1 + i_j)^{T_j} - 1} \\ A_j = 0 \\ A_{rep_j} = \frac{1}{(1 + i_j)^{T_j}} * A_j \end{aligned}} \right\} A_k = \sum_1^j A_j \xrightarrow{\frac{1}{t} * \sum_1^t A_k} C_y$$





# Ανάλυση οικονομικής βιωσιμότητας υδροηλεκτρικών έργων

## Οικονομικά στοιχεία φραγμάτων

### Δαπάνες έργου C

#### Φράγμα & Υδραυλικά έργα (Μέρος 1)

- φράγμα & συνοδά έργα (υπερχειλίσης, εκκένωσης, εκτροπής, οδοί προσπέλασης, εκσκαφές)
- Λειτουργία(απόσβεση ,ασφάλιστρα ,απρόβλεπτα )
- Γ.Ε. & Ο.Ε.
- μελέτες, αδειοδότηση, επίβλεψη
- έργο υδροληψίας και κτίριο ΥΗΣ

#### Αγωγός προσαγωγής (Μέρος 2)

- αγορά , μεταφορά και εκσκαφές

#### Η/Μ εξοπλισμός (Μέρος 3)

- υδροστρόβιλοι ,γεννήτρια ,μετασχηματιστής, ηλεκτρικοί πίνακες και όργανα, ρυθμιστής στροφών, ηλεκτρική γραμμή μεταφοράς

# Ανάλυση οικονομικής βιωσιμότητας υδροηλεκτρικών έργων

## Οικονομικά στοιχεία φραγμάτων

Προϋπολογισμός  
 $C_{\text{φραγ}}$  (χωρίς Η/Μ  
εξοπλισμό, ΦΠΑ)

- Κόστη για ανάχωμα φράγματος & συνοδά έργα
- Λειτουργικά κόστη (με απρόβλεπτα 9% του προϋπολογισμού)
- Γ.Ε. & Ο.Ε. (18% του προϋπολογισμού)

$C_{\text{φραγ}}$

$$C' = \frac{1.26}{TK} * C_{\text{φραγ}}, >2010$$

$$C' = \frac{0.23}{\lambda} * C_{\text{φραγ}}, <2010$$

Επικαιροποιημένος  
 $C'$

Μέρος δείγματος υφιστάμενων γεωφραγμάτων του  
Ελλαδικού χώρου

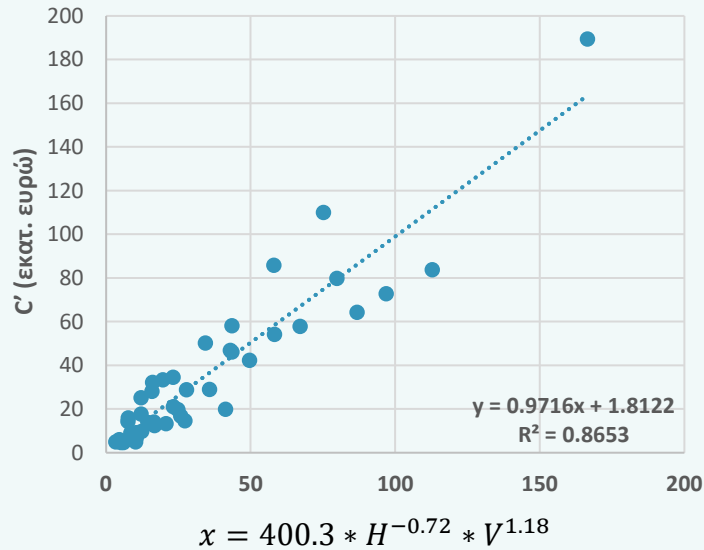
| Φράγμα    | Έτος | H (m) | V (hm <sup>3</sup> ) | $C_{\text{φραγ}}$ (ΕΚΑΤ. €) | $C'$ (ΕΚΑΤ. €) | $Q_{\text{ΥΠΕΡ}}$ (m <sup>3</sup> /s) |
|-----------|------|-------|----------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------------------|
| Ασωπού    | 2008 | 70    | 4.000                | 68.50                       | 72.88          | 2.3                                   |
| Πλατύ     | 2013 | 54    | 1.935                | 40.47                       | 42.32          |                                       |
| Πύλη      | 2010 | 77    | 2.150                | 53.50                       | 58.16          | 1170                                  |
| Αγιονέρι  | 1996 | 48    | 0.542                | 12.91                       | 25.18          | 2298                                  |
| Γρατινής  | 1998 | 53    | 1.682                | 27.46                       | 46.91          | 480                                   |
| Καλαμίου  | 1995 | 35    | 0.3                  | 7.03                        | 14.31          | 210                                   |
| Ινίου     | 1994 | 35.5  | 0.589                | 6.39                        | 14.02          | 20                                    |
| Λιθίνων   | 2005 | 58    | 3.25                 | 50.00                       | 64.29          | 707                                   |
| Νεστορίου | 2007 | 72    | 2.06                 | 39.50                       | 46.21          | 1272                                  |
| Αστερίου  | 2003 | 75    | 6.612                | 136.02                      | 189.45         | 1700                                  |



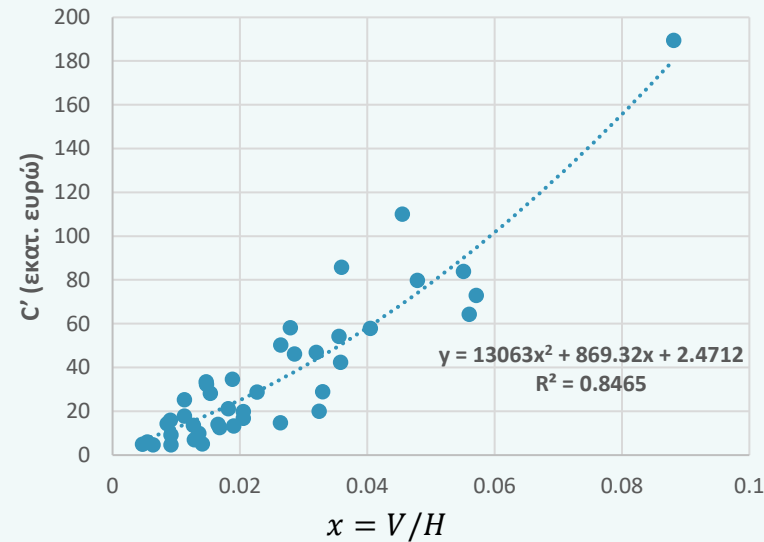
# Ανάλυση οικονομικής βιωσιμότητας υδροηλεκτρικών έργων

## Οικονομικά στοιχεία φραγμάτων

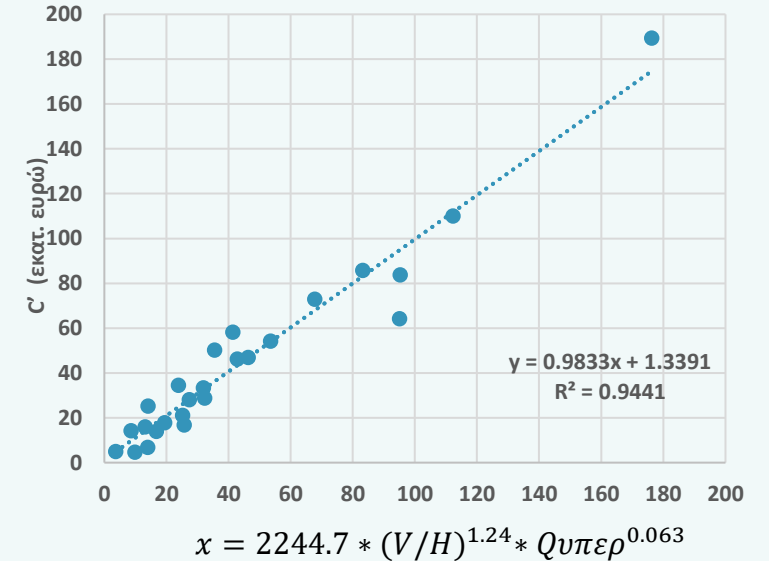
$$C' = 388.9 * H^{-0.72} * V^{1.18}$$



$$C' = 13063 * \left(\frac{V}{H}\right)^2 + 869.32 * \frac{V}{H} + 2.47$$



$$C' = 2207.2 * \left(\frac{V}{H}\right)^{1.24} * Q_{υπερ}^{0.063} + 1.34$$



# Ανάλυση οικονομικής βιωσιμότητας υδροηλεκτρικών έργων

## Οικονομικά στοιχεία φραγμάτων

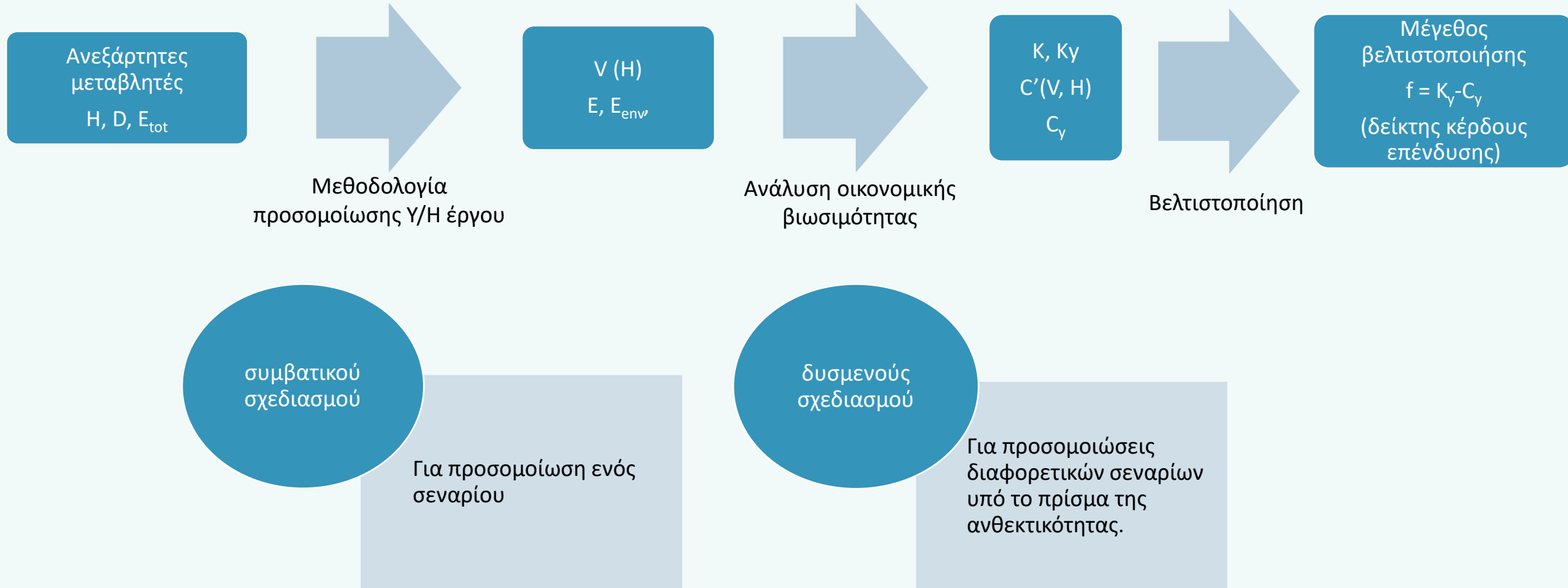
| Μέρος 1                                 | Δαπάνες (€)  |
|---|--|
| Κόστος μελετών, αδειοδότησης, επίβλεψης | $C_{μελ} = 370000 * \left(\frac{P}{H_n^{0.3}}\right)^{0.54}$ |
| Κόστη έργου υδροληψίας                  | $C_{υδρ} = 9236 * Q^{0.72}$                                  |
| Κόστη κτιρίου ΥΗΣ                       |  |

| Μέρος 2                             | Δαπάνες (€)                        |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| Κόστος αγοράς & εγκαθιτισμού αγωγού | Caγωγού = 3 * m(kg)                |
| Κόστος εκσκαφών & μεταφοράς αγωγού  | $C_{αγωγού'} = 100 * D^2 * L * SE$ |

| Μέρος 3               | Δαπάνες (€)                                      |
|-----------------------|--|
| Κόστος Η/Μ εξοπλισμού | $C_{HME} = 14400 * (P(KW))^{0.56} * Hn^{-0.112}$ |



# Τυποποίηση βελτιστοποίησης Υ/Η έργων







# Εφαρμογή σχεδιασμού στο φράγμα της Πύλης

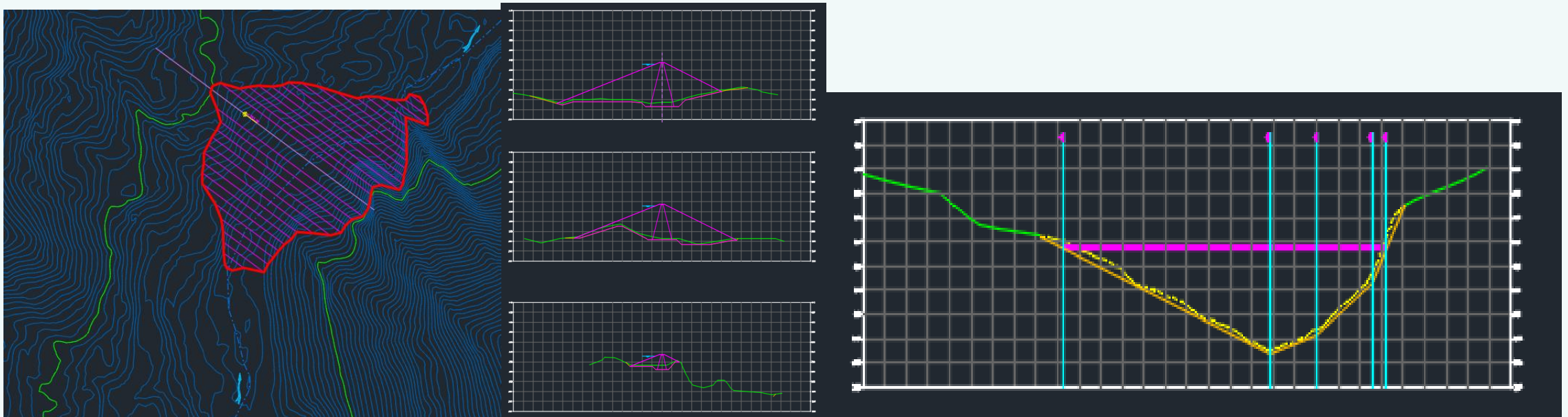
## Περιοχή Μελέτης



# Εφαρμογή σχεδιασμού στο φράγμα της Πύλης

Περιοχή Μελέτης – Συσχέτιση ύψους φράγματος Πύλης με όγκο αναχώματος

- Ογκομέτρηση φράγματος στη Πύλη με βάση τρία (3) ενδεικτικά ύψη φραγμάτων με μέθοδο τραπεζίου (H για 80,105,120 m)
- $V = 24.97 * H^{2.6}$



Ενδεικτικά οι διατομές, μηκοτομή, οριζοντιογραφία για H= 80 m

# Εφαρμογή σχεδιασμού στο φράγμα της Πύλης

## Οι δύο αναλύσεις μέσα από το προγραμματιστικό περιβάλλον R

- **Κώδικας ανάλυσης σχεδιασμών (*sim\_scenario*)**
  - ✓ διαβάζει το σύνολο των δεδομένων των σεναρίων του Υ/Η Πύλης ως data frames
  - ✓ πραγματοποιεί προσομοιώσεις για όλα τα σενάρια παρουσιάζοντας αποτελέσματα σε μορφή πινάκων και διανυσμάτων
  - ✓ δέχεται ως παραμέτρους τις μονοδιάστατες ανεξάρτητες μεταβλητές  $H$ ,  $D$ ,  $E_{tot}$

```
sim_scenario=function(params,inflows,char1,char2,char3,char5,char6){  
  
  H=params[1]  
  D=params[2]  
  Etot=params[3]  
  
  s1final<-matrix(rep(0),nrow=nrow(inflows),ncol=nrow(char1))  
  s0<-matrix(rep(0),nrow=nrow(inflows),ncol=nrow(char1))
```

Παράμετροι βελτιστοποίησης και στοιχεία εισόδου

```
for(k in 1:nrow(char1)){  
  inflows_sim=as.matrix(inflows[,k])  
  for(i in 2:(length(inflows_sim)-1)){  
    Emon[i,k]<-psi[i,k]*(r[i,k]+rnew[i,k])*(hn[i,k]+hn[i+1,k])/2/100  
    EnvEmon[i,k]<-psi[i,k]*rnew[i,k]*(hn[i,k]+hn[i+1,k])/2/100  
    kmon[i,k]<-char1$cp[k]*min(Emon[i,k],Etot/12)+char1$cs[k]*max(0,Emon[i,  
  }  
}
```

Υπολογισμός παραγόμενης ενέργειας  $i$  χρονικών βημάτων προσομοίωσης για  $k$  σενάρια

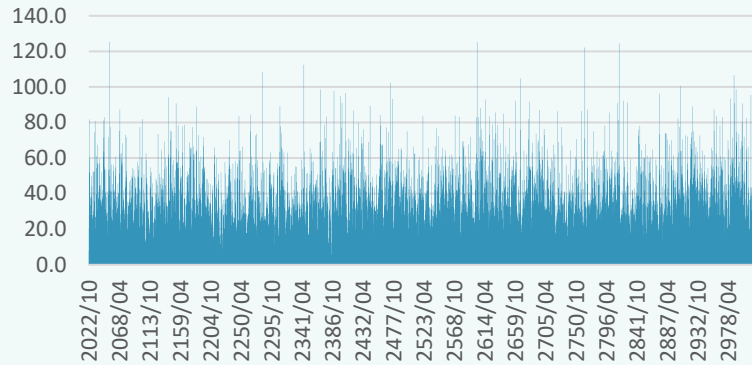
- **Ολική βελτιστοποίηση δυσμενούς σχεδιασμού μέσω εξελικτικού αλγορίθμου ανόπτησης-απλόκου (*eas*)**

```
opt_params=eas(n=3,m=10,xmin=c(60,2,16),  
  xmax=c(120,9,80),xlow=c(60,2,16),xup=c(120,9,80),  
  fn=opt_f,maxeval=100,ftol=1.e-07,ratio=0.99,pmut=0.9,beta=2,maxclimbs=5,inflows=inflows,  
  char1=char1,char2=char2,char3=char3,char5=char5,char6=char6)
```

# Εφαρμογή σχεδιασμού στο φράγμα της Πύλης

## Συμβατικός σχεδιασμός ενός σεναρίου βάσης

- Συνθετική χρονοσειρά εισροών  $X_k$  1000ετίας που συμφωνεί στατιστικά με την ιστορική περίοδο 1969-2019 ( $\mu=212.8$ ,  $\text{var}=332.4$ )



- Οικολογικές εκροές ζήτησης:  
 $y_{env} = 0.05 * \text{average}(X_k)$
- Κάλυψη μόνο ενεργειακών αναγκών ( $y' = 0$ )

| Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού |      |                    |
|--|------|--------------------|
| $z_b (h_{\text{ΥΗΣ}})$                   | +260 | m                  |
| J  | 0.8  |                    |
| G  | 800  | tn/km <sup>2</sup> |
| $\rho$                                   | 1.35 | tn/y               |
| $A_\lambda$                              | 132  | km <sup>2</sup>    |

| Αποτελέσματα βελτιστοποίησης |             |                    |                |
|------------------------------|-------------|--------------------|----------------|
| Ανεξάρτητες μεταβλητές       |             | Εξεταζόμενα μεγέθη |                |
| $H (m)$                      | <b>82.6</b> | Ky(€)              | 2,6 εκ.        |
| $D (m)$                      | <b>5.2</b>  | Cy(€)              | 1,75 εκ.       |
| $E_{tot} (GWh)$              | <b>20.2</b> | <b>f(€)</b>        | <b>879.064</b> |

| Σενάριο βάσης        |        |                   |                       |
|----------------------|--------|-------------------|-----------------------|
| $C_p$                | 105000 | €/GWh             | ενεργειακή αγορά      |
| $C_s$                | 80000  | €/GWh             |                       |
| $R_e$                | 105000 | €/GWh             |                       |
| $T_{1,2}$            | 40     | y                 | Οικονομικά στοιχεία   |
| $T_3$                | 20     | y                 |                       |
| t                    | 50     | y                 |                       |
| $T_{rep}$            | 50     | y                 |                       |
| $i_3$                | 0.1    |                   |                       |
| i                    | 0.04   |                   |                       |
| SE                   | 1.73   |                   | Μεγέθη σχεδιασμού ΥΗΣ |
| CF                   | 0.20   |                   |                       |
| Q                    | 32.5   | m <sup>3</sup> /s |                       |
| P                    | 17.3   | MW                |                       |
| $z_{K\Sigma\lambda}$ | 282.1  | m                 |                       |
| $\psi_m$             | 0,24   |                   |                       |



# Εφαρμογή σχεδιασμού στο φράγμα της Πύλης

Νέες προκλήσεις που δυσχεραίνουν τη λειτουργία του σεναρίου βάσης στη διάρκεια ζωής του έργου

| Σενάρια επιβάρυνσης   | Κατηγορία          |
|---|--------------------|
| <b>Σ1: αύξηση οικολογικών εκροών κατά 50%</b>   | Περιβαλλοντική     |
| <b>Σ2: Πολλαπλές χρήσεις νερού 1</b><br>(Προσομοίωση με προτεραιότητα ύδρευση και άρδευση)<br>( $R_v = 500.000 \text{ €/hm}^3$ , $C = 100.000 \text{ €/hm}^3$ )     | Κοινωνικοπολιτική  |
| <b>Σ3: Πολλαπλές χρήσεις νερού 2</b><br>(Προσομοίωση με προτεραιότητα την ενεργειακή παραγωγή)<br>( $R_v = 120.000 \text{ €/hm}^3$ , $C = 120.000 \text{ €/hm}^3$ ) | Κοινωνικοπολιτική  |
| <b>Σ4: Αύξηση πληθυσμού Πύλης</b> (αύξηση ενεργειακής ζήτησης κατά 14%)   | Κοινωνική          |
| <b>Σ5: Αύξηση αποπληθωρισμένου επιτοκίου Η/Μ εξοπλισμού κατά 30%</b>  | Οικονομική         |
| <b>Σ6: Ο ΥΗΣ λειτουργεί λιγότερες ώρες</b> (C.F.=0.15)  | Λειτουργική        |
| <b>Σ7: Χρήση συνθετικής χρονοσειράς Η-Κ εισροών 1000ετίας</b>   | Κλιματική          |
| <b>Σ8: Αύξηση ρήτρας ελλείμματος ενέργειας κατά 40%</b>   | Πολιτικοοικονομική |
| <b>Σ9: Εισαγωγή ρυθμιστικού όγκου</b> (ανύψωση της $z_{\text{KSL}}$ στα 7 m κάτω από την Α.Σ.Λ.)  | Νομοθετική         |

| Μηνιαίες ζητήσεις γ' για Σ2,Σ3 |                         |                         |
|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Μήνες Έτους                    | Αρδ. (hm <sup>3</sup> ) | Υδρ. (hm <sup>3</sup> ) |
| Οκτώβριος                      | 0                       | 3                       |
| Νοέμβριος                      | 0                       | 3                       |
| Δεκέμβριος                     | 0                       | 3                       |
| Ιανουάριος                     | 0                       | 3                       |
| Φεβρουάριος                    | 0                       | 3                       |
| Μάρτιος                        | 0                       | 3                       |
| Απρίλιος                       | 7                       | 3                       |
| Μάιος                          | 7                       | 3                       |
| Ιούνιος                        | 29                      | 3                       |
| Ιούλιος                        | 29                      | 3                       |
| Αύγουστος                      | 29                      | 3                       |
| Σεπτέμβριος                    | 2                       | 3                       |



# Εφαρμογή σχεδιασμού στο φράγμα της Πύλης

Συμπεριφορά σχεδιασμών στο ευρύτερο πλαίσιο σεναρίων – Αξιολόγηση ανθεκτικότητας

## Έλεγχος ανθεκτικότητας συμβατικού σχεδιασμού

| Σενάρια          | $f_{\Sigma}(\text{€})$ | Ανεξάρτητες μεταβλητές |             |
|------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| Σενάριο βάσης Σο | <b>879.064</b>         |                        |             |
| Σ1               | 841,867                |                        |             |
| Σ2               | 433.157                |                        |             |
| Σ3               | 577.477                |                        |             |
| Σ4               | 837.938                | H (m)                  | <b>82.6</b> |
| Σ5)              | 572.060                | D (m)                  | <b>5.2</b>  |
| Σ6               | 841.303                | $E_{\text{tot}}$ (GWh) | <b>20.2</b> |
| Σ7               | 751.511                |                        |             |
| Σ8               | 865.223                |                        |             |
| Σ9               | 649.344                |                        |             |

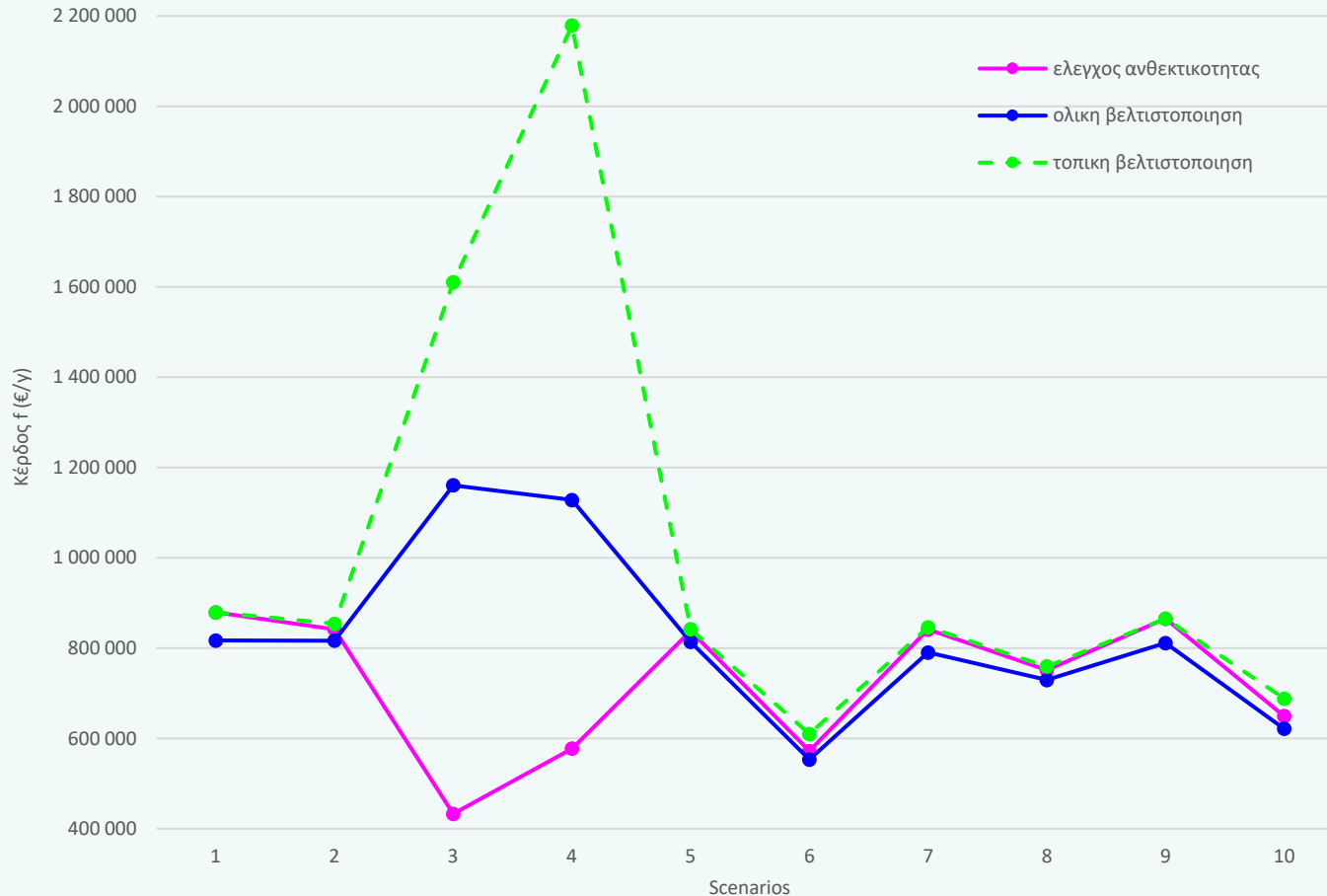
## Ολική βελτιστοποίηση δυσμενούς σχεδιασμού

| Σενάρια          | $f_{\Delta}(\text{€})$ | Ανεξάρτητες μεταβλητές |              |
|------------------|------------------------|------------------------|--------------|
| Σενάριο βάσης Σο | <b>817.035</b>         |                        |              |
| Σ1               | <b>816.408</b>         |                        |              |
| Σ2               | <b>1.160.528</b>       |                        |              |
| Σ3               | <b>1.128.116</b>       | H (m)                  | <b>75.6</b>  |
| Σ4               | <b>813.576</b>         | D (m)                  | <b>6.6</b>   |
| Σ5               | <b>553.289</b>         | $E_{\text{tot}}$ (GWh) | <b>16.44</b> |
| Σ6               | <b>790.186</b>         |                        |              |
| Σ7               | <b>729.380</b>         |                        |              |
| Σ8               | <b>811.406</b>         |                        |              |
| Σ9               | <b>621.474</b>         |                        |              |

| Σενάρια                            | $f_{\Sigma} - f_{\Delta}$ | $f_{\Sigma} (f_{\Delta})$ |
|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Βάσης                              | +62.029                   | +7.5%                     |
| $\gamma_{\text{env}_{\text{new}}}$ | +25.459                   | +3%                       |
| Νέες χρήσεις νερού                 | -727.371                  | -37%                      |
|                                    | -550.639                  | -51%                      |
| $\gamma_{\text{new}}$              | +24.362                   | +2.9%                     |
| $i_{\text{H/M}_{\text{new}}}$      | +18.771                   | +3.4%                     |
| $\text{CF}_{\text{new}}$           | +51.117                   | +6.4%                     |
| $X_{\text{new}}$                   | +22.131                   | +3%                       |
| $\text{Re}_{\text{new}}$           | +53.817                   | +6.7%                     |
| $\text{Κ.Σ.Λ.}_{\text{new}}$       | +27.870                   | +4.5%                     |

# Εφαρμογή σχεδιασμού στο φράγμα της Πύλης

## Συμπεριφορά σχεδιασμών στο ευρύτερο πλαίσιο σεναρίων – Αξιολόγηση ανθεκτικότητας



### Σχολιασμός αποτελεσμάτων των δύο αναλύσεων

- ✓ Η καμπύλη τοπικής βελτιστοποίησης παρουσιάζει το κάθε σενάριο βελτιστοποιημένο ξεχωριστά και αποτελεί την άνω περιβάλλουσα των αποτελεσμάτων των δύο αναλύσεων.
- ✓ Ο έλεγχος ανθεκτικότητας συμβατικού σχεδιασμού παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα για όλα τα σενάρια εκτός αυτών των πολλαπλών χρήσεων νερού που υστερεί αρκετά σε σχέση με τον μακροπρόθεσμο.
- ✓ Παρά τη φαινομενική υπεροχή του συμβατικού σχεδιασμού, η καμπύλη ανθεκτικότητας του, ορίζει εμφανώς μικρότερο εμβαδόν σε σχέση με αυτό της καμπύλης της ολικής βελτιστοποίησης (δυσμενούς) για το σύνολο των σεναρίων.
- ✓ Ο δυσμενής σχεδιασμός οδηγεί σε ανθεκτικότερο σύστημα για το Υ/Η έργο της Πύλης.



## Συμπεράσματα & Προτάσεις

| Συμβατικός σχεδιασμός                      | Δυσμενής σχεδιασμός                       |
|--|---|
| Βέλτιστη λύση για σενάριο βάσης            | Βέλτιστη λύση για όλα τα σενάρια συνολικά |
| Δεν λαμβάνει υπόψιν μελλοντικές αλλαγές    | Συνυπολογίζει μελλοντικές αλλαγές         |
| Δημιουργεί το πιο κερδοφόρο σύστημα για Σο | Δημιουργεί κερδοφόρο & ανθεκτικό σύστημα  |

### Από το φράγμα της Πύλης...σε ευρύτερο πλαίσιο φραγμάτων

Η έρευνα στα Ελληνικά γεωφράγματα στα πλαίσια της οικονομοτεχνικής μελέτης, δημιούργησε σχέσεις που επιτρέπουν τη **γενίκευση του προβλήματος βελτιστοποίησης για διαφορετικά φράγματα μέσω εύκολου προσδιορισμού των δαπανών τους.**

Η **έννοια της ανθεκτικότητας** αποτελεί χρήσιμο εργαλείο σύγκρισης τόσο διαφορετικών αναλύσεων βελτιστοποίησης για ένα έργο όπως στη παρούσα διπλωματική, όσο και στην **αξιολόγηση της συμπεριφοράς διαφορετικών έργων στο πλαίσιο κοινών υποθετικών συνθηκών λειτουργίας**





*Ευχαριστώ για την  
προσοχή σας!*