



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΔΠΜΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ & ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

ΕΚΠΟΝΗΣΗ: ΙΩΑΝΝΑ ΝΤΟΥΞΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ, Α. ΕΥΣΤΡΑΤΙΑΔΗΣ

*Αθήνα, 2016*

# Δομή της παρουσίασης

1. Εισαγωγή
2. Σκοπός
3. Προσομοίωση - Βελτιστοποίηση
4. Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια
5. Διατύπωση Προβλήματος
6. Εφαρμογή
7. Διερεύνηση Προβλήματος
8. Επίλυση - Αποτελέσματα
9. Ανάλυση Ευαισθησίας
10. Συμπεράσματα - Προτάσεις

# 1. Εισαγωγή

## Η Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Το καθεστώς υδρολογικής αβεβαιότητας που επιβάλλεται από τη φύση, καθιστά πολύπλοκη τη διαχείριση των Συστημάτων Υδατικών Πόρων → Απαιτείται η αποδοχή:

- ✓ Της διακινδύνευσης
- ✓ Της αβεβαιότητας

## Υδρολογικές διεργασίες

Χωρική/χρονική εξάρτηση + Αιτιότητα + Τυχαιότητα



Αναγνώριση στοχαστικού χαρακτήρα

Αντιμετώπιση ως στοχαστικές ανελίξεις

Διάχυση της στοχαστικότητας σε κάθε παράγωγο μέγεθος

## 2. Σκοπός

**Σκοπός:** η ανάπτυξη & διερεύνηση του πλαισίου στοχαστικής προσομοίωσης & βελτιστοποίησης της παραγόμενης ενέργειας σε υδροηλεκτρικό (Υ/Η) έργο

Αναπαριστάται η λειτουργία του συστήματος & γίνονται στοχαστικές προγνώσεις (ωφέλιμο απόθεμα, παραγόμενη ενέργεια, όφελος)

Λήψη αποφάσεων σε διαχειριστικό επίπεδο · αναζητάται ο ενεργειακός στόχος που αποφέρει το μέγιστο όφελος

Διερεύνηση ως προς χαρακτηριστικά μεγέθη του Υ/Η συστήματος ➡ χώροι βέλτιστων λύσεων

# 3. Προσομοίωση - Βελτιστοποίηση

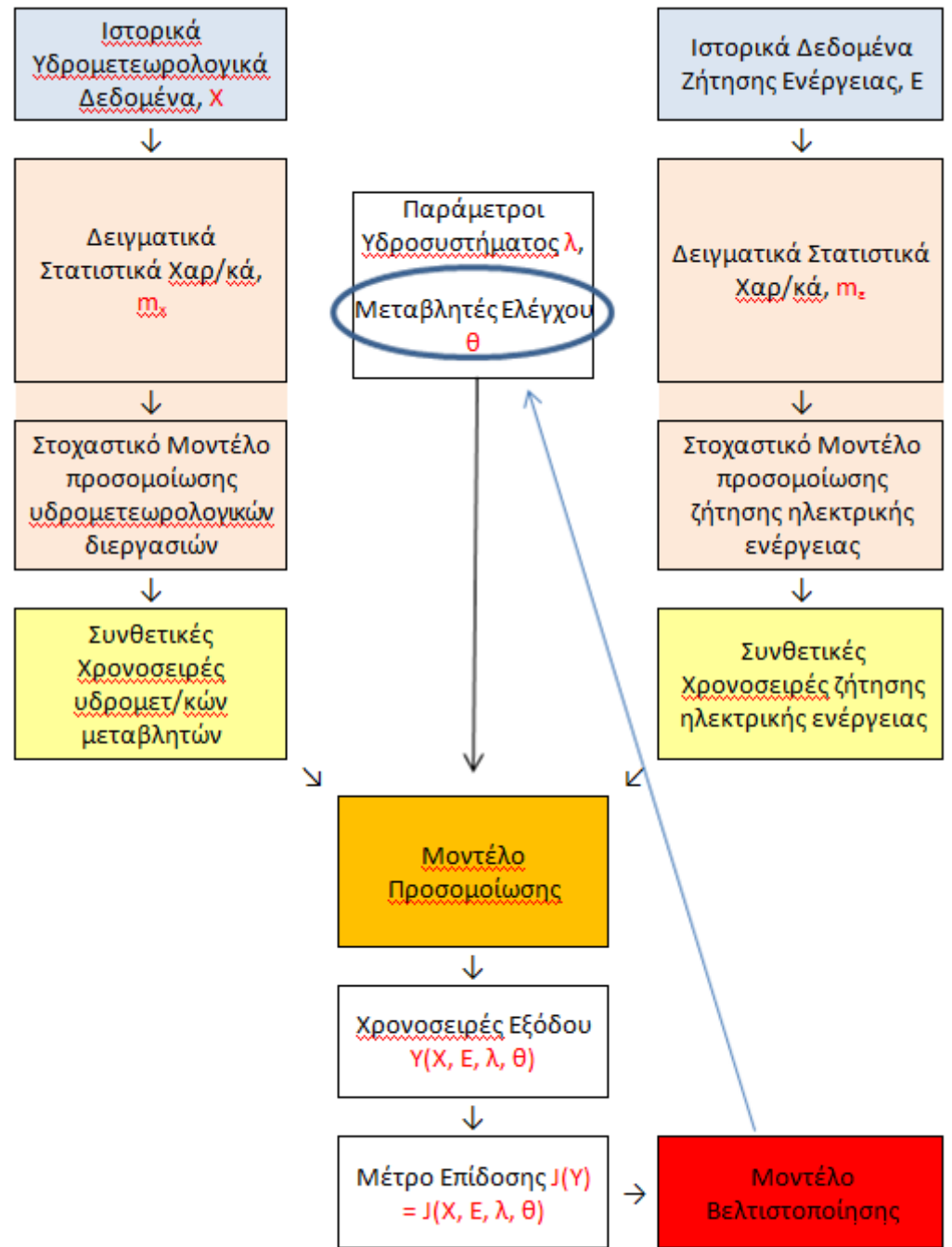
## Σύζευξη

✓ Προσομοίωση & βελτιστοποίηση ως ξεχωριστές τεχνικές οδηγούν σε υπεραπλουστεύσεις



Συνδυασμός των 2 μεθόδων (Στοχαστική Βελτιστοποίηση)

✓ Ανατροφοδοτούμενη μέθοδος: Χρησιμοποιώ κάποιες παραμέτρους & αποτελέσματα της Προσομοίωσης για να βρω Μέσα από τη βελτιστοποίηση τη Συνάρτηση Στόχου



# 4. Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια (I)

Σε ένα Υ/Η έργο:

Δυναμική Ενέργεια  $\xrightarrow{\text{Υδροστρόβιλος}}$  Κινητική  $\xrightarrow{\text{Γεννήτρια}}$  Ηλεκτρική Ε

Ισχύς I (kW):

$$I = \eta \rho g Q H_{\text{net}}$$

&

$$E = \int I dt$$

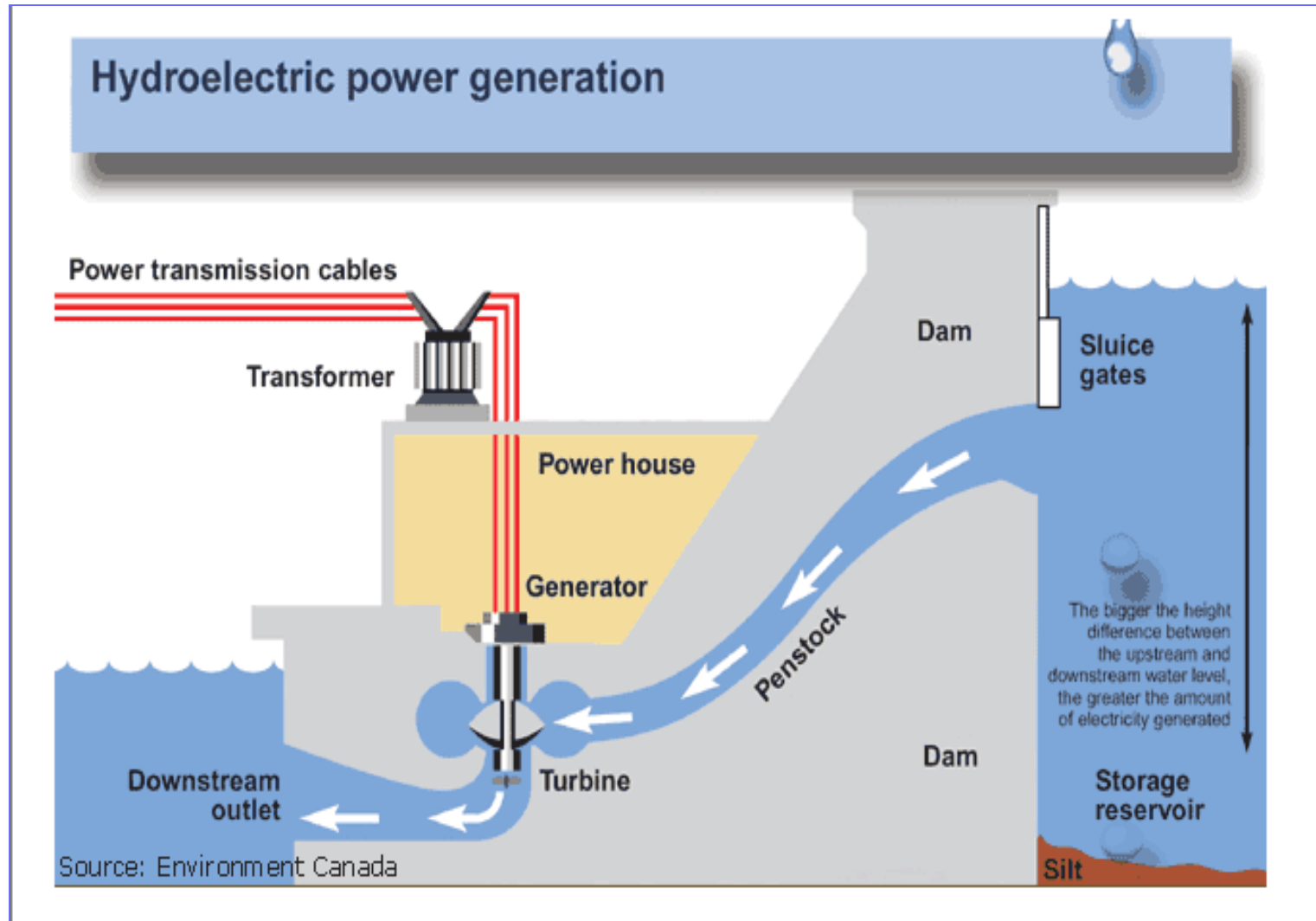


Η παραγόμενη ενέργεια εξαρτάται από το Ύψος Πτώσης  $H_{\text{net}}$   
... το οποίο εξαρτάται από τις συνθετικές ειροές  $Q_t$



Η στοχαστικότητα μεταβιβάζεται στα Output Data (απόληψη, ενέργεια κ.α)

# 4. Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια (II)



## 4. Υδροηλεκτρική Ενέργεια (III)

### Πρωτεύουσα ενέργεια (Π)

Η εγγυημένη ενέργεια για δεδομένη αξιοπιστία · καλύπτει ακριβώς το στόχο  $e^*$  σε ορισμένη χρονική βάση

### Δευτερεύουσα ενέργεια (Δ)

- ✓ Πλεόνασμα παραγόμενης ενέργειας,  $\Pi - e^* \geq 0$
- ✓ Μικρότερης Αξίας από την Πρωτεύουσα

### Έλλειμμα ενέργειας (ΕΛ.)

- ✓ Δεν καλύπτεται ο στόχος,  $\Pi - e^* \leq 0$
- ✓ Επιφόρτιση ποινής

Σε ταμειυτήρες πολλαπλού σκοπού η ενεργειακή παραγωγή βελτιστοποιείται ως προς το οικονομικό όφελος



## 5. Διατύπωση Προβλήματος (I)

Σε Υ/Η έργο με ταμιευτήρα χωρητικότητας  $k$ , στρόβιλο παροχευτικότητας  $r$ , ζητείται η βελτιστοποίηση της ενεργειακής παραγωγής με προσδιορισμό του στόχου πρωτεύουσας ενέργειας, για χρονικό ορίζοντα  $n$  ετών

**Input Data**

Συνθετική Χρονοσειρά Εισροών  $q_t$   
(6μηνιαία εποχικότητα, 6μηνιαίο βήμα, μήκος 1000 έτη)  
Εξίσωση καμπύλης στάθμης – αποθέματος  
Τιμή μονάδος Πρωτεύουσας (1), Δευτερεύουσας (0.5)  
Ρήτρα Ελλείμματος (-10)

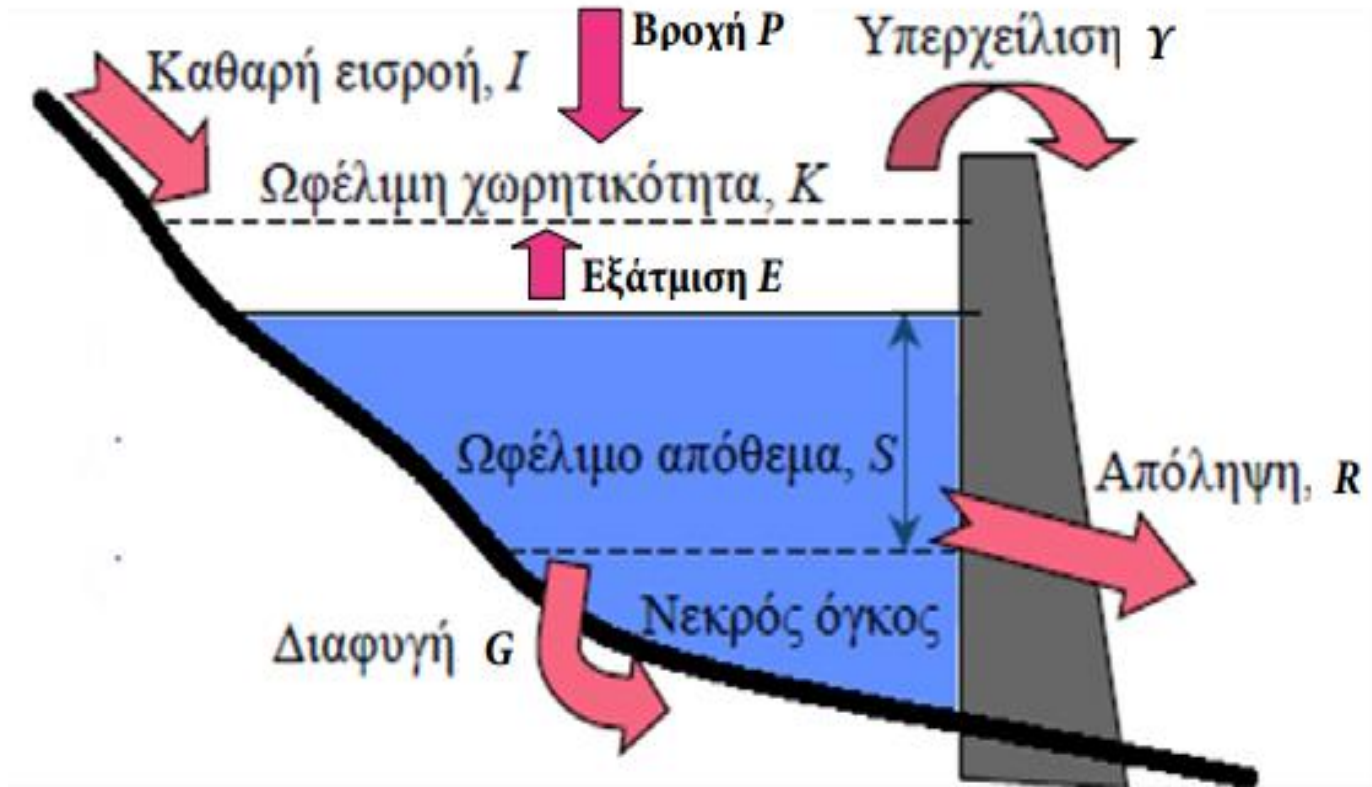


**Μοντέλο Προσομοίωσης – Εξισώσεις Υδατικού Ισοζυγίου**

**Βελτιστοποίηση**

# 5. Διατύπωση Προβλήματος (II)

## Υδατικό Ισοζύγιο ταμιευτήρα

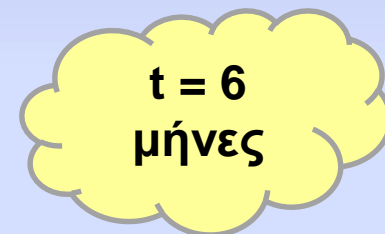


# 5. Διατύπωση Προβλήματος (III)

## Προσομοίωση

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Εισροή $q$	$S_t = S_{t-1} + q$	$z$	$r^*$	$r$ για 1ουσα	$S_t'$	$r$ εναπομ ένον	Υπερχεί λιση?	$r$ για 2ουσα	$S'' = S' - r$	Υπερχείλιση παρόλαυτα?
								esto ->	200	
1511.43	1711.4	27.0	578.9	578.9	1132.5	321.1	0.0	0.0	1132.5	0.0
174.508	1307.0	48.1	422.4	422.4	884.6	477.6	0.0	0.0	884.6	0.0
1249.02	2133.6	44.3	444.0	444.0	1689.6	456.0	0.0	0.0	1689.6	0.0
115.646	1805.2	54.9	388.3	388.3	1416.9	511.7	0.0	0.0	1416.9	0.0

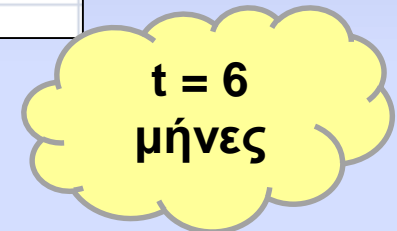


1. Ωφέλιμο Απόθεμα:  $S_t = S_{t-1} + q_t$
2. Στάθμη:  $z(S)_t = z_{\max}(S_t/k)^{1/3}$
3. Απόληψη-Στόχος:  $r_t^* = e^*/(\psi(z_t + z_0))$
4. Απόληψη για Πρωτεύουσα:  $r_t^\Pi = \min(S_t, r_t^*, r_{\max})$
5. Απόθεμα μετά τη δέσμευση 1ουσας:  $S_t' = S_t - r_t^\Pi$
6. Εναπομένουσα διαθέσιμη απόληψη:  $r_t^{\text{εναπομένον}} = r_{\max} - r_t^\Pi$
7. Υπερχείλιση:  $Y_t = \text{if}(S_t' > k, S_t' - k, 0)$
8. Απόληψη για Δευτερεύουσα:  $r_t^\Delta = \text{if}(Y_t < r_t^{\text{εναπομένον}}, Y_t, r_t^{\text{εναπομένον}})$
9. Απόθεμα μετά τη δέσμευση 2ουσας:  $S_t'' = S_t' - r_t^\Delta$
10. Υπερχείλιση μετά τη δέσμευση 2ουσας:  $Y_t' = Y_t - r_t^\Delta$

# 5. Διατύπωση Προβλήματος (IV)

## Προσομοίωση

14	Μέσο όφελος 95.202	Στόχος 82.464	Αστοχία % 50.45			
11		12	13			
e average total	Πρωτ. Ενέργεια	Δευτ. Ενέργεια	Έλλ.	Κέρδος		
97.7	82.464	15.275	0.000	90.101	emax	202.5
80.5	80.456	0.000	2.007	60.384	emin	0.00
88.4	82.464	5.917	0.000	85.422		



t = 6  
μήνες

11. Παραγόμενη ενέργεια:  $e_t^{total} = \psi(z_0 + z_t)(r_t^{\Pi} + r_t^{\Delta})$

12. Πρωτεύουσα ενέργεια :  $e_t^{\Pi} = \min(e_t^*, e_t^{total})$

Δευτερεύουσα ενέργεια:  $e_t^{\Delta} = \max(0, e_t^{total} - e_t^*)$

Έλλειμμα ενέργειας:  $e_t^{έλλειμμα} = \max(0, e_t^* - e_t^{total})$

13. Όφελος ανά βήμα:  $PROFIT_t = 1 * e_t^{\Pi} + 0.5 * e_t^{\Delta} - 10 * e_t^{έλλειμμα}$

14. Μέσο Όφελος για όλο το μήκος:  $AVERAGE PROFIT = \Sigma(PROFIT)/n$

# 5. Διατύπωση Προβλήματος (V)

## Βελτιστοποίηση

Μεγιστοποίηση του μέσου οφέλους, με αλλαγή του ενεργειακού στόχου και υπό τους περιορισμούς ο στόχος να μη ξεπερνά την ενέργεια της μέγιστης παροχτετευτικότητας και να είναι μη αρνητικός

Συνάρτηση Στόχου:  $Z = [\max]f(e^*) = \max [\text{AVERAGE PROFIT}]$

Μεταβλητή Απόφασης:  $e^*$

Περιορισμοί:  $0 \leq e^* \leq e_{\max}$

1 επίλυση

Solver στο Excel

Παράμετροι επίλυσης

Κελί προορισμού:

Τσο με:  Μέγιστο  Ελάχιστο  Τιμή:

Με αλλαγή των κελιών:

Περιορισμοί:

- 
- 

Επίλυση

Κλείσιμο

Επιλογές

Επαναφορά όλων

Βοήθεια

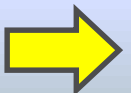
## 6. Εφαρμογή (I)

### Ανάπτυξη Μοντέλου Προσομοίωσης – Βελτιστοποίησης

- A. Παραγωγή συνθετικής χρονοσειράς εισροών  $Q_t$  για διάφορα σενάρια εμμολής
- B. Κατασκευή της συνάρτησης στόχου  $f$  · αυτή εσωκλείει τη δυναμική του ταμιευτήρα & εξαρτάται από τα  $Q_t$ ,  $k$ ,  $r$ ,  $n$  και  $e^*$  (μεταβλητή απόφασης)
- Γ. Αλγόριθμος βελτιστοποίησης (μεγιστοποίησης).  
Δηλώνοντας τις μεταβλητές βρίσκει **το στόχο** και την αντίστοιχη τιμή της  $f$

Πολλές επιλύσεις & σενάρια

κώδικας στο MATLAB



# 6. Εφαρμογή (II)

## Παραγωγή $Q_t$

[...]

```
%steliko zitoumeno: eisroes Q me dedomeno Hurst
for i=2:2:arithmos_eisroon
Z_mi_sigma(i)=Z(i)*typiki_apoklisi_therino + meso_h_vroxis_therino;
if Z_mi_sigma(i)>0
    Q(i)=E*Z_mi_sigma(i);
else
    Q(i)=0;
end
end

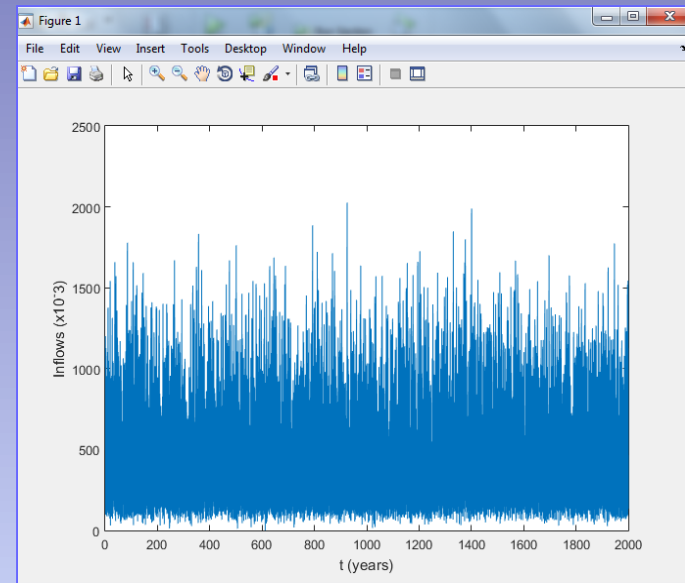
Q = Q(*10^-3);
plot(Q)
|
Q_me_H_0_7=Q'
```

**6 μηνιαίο βήμα:  
Λαμβάνω υπόψη  
την εποχικότητα**

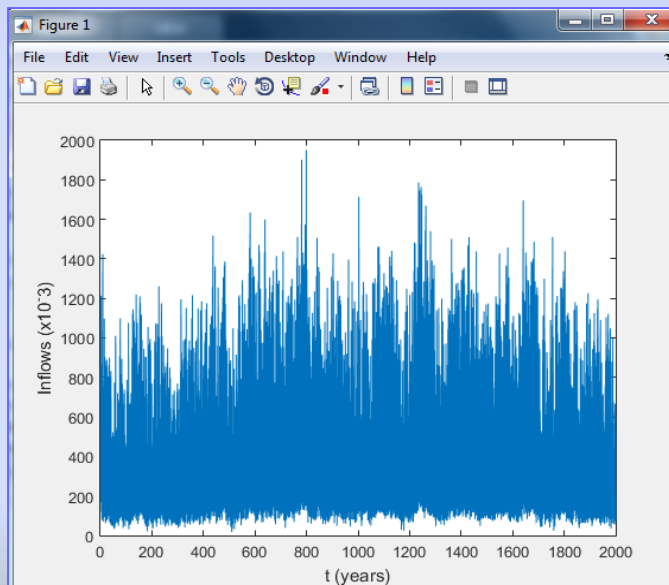
**PLOT Q σε χρονικό  
ορίζοντα 1000 ετών**

# 6. Εφαρμογή (III)

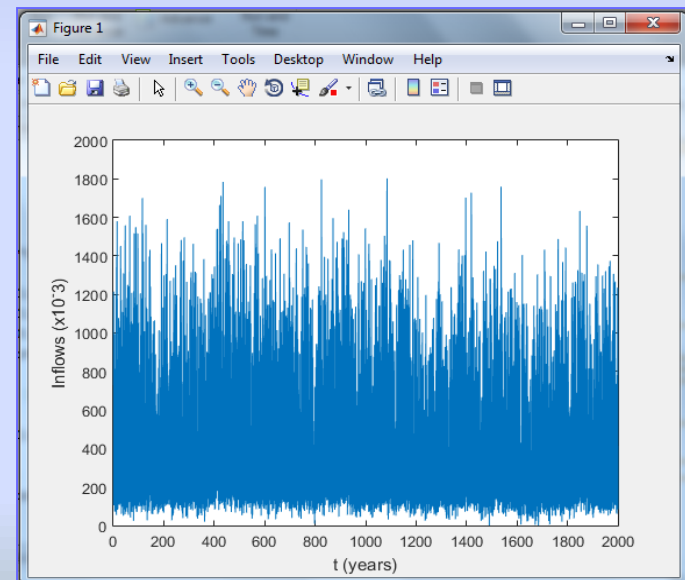
Παραγωγή  $Q_t$



**H = 0.5**



**H = 0.9**



**H = 0.7**



# 6. Εφαρμογή (IV)

## Κατασκευή της f

### Δήλωση της συνάρτησης

```
function [ f ] = Fun1( var,k,p,Flow,n )  
  
%FUN1 Summary of this function goes here  
  
% Detailed explanation goes here  
  
x=var(1);
```

[...]

**Κατάστρωση των εξισώσεων λειτουργίας ταμειυτήρα**

[...]

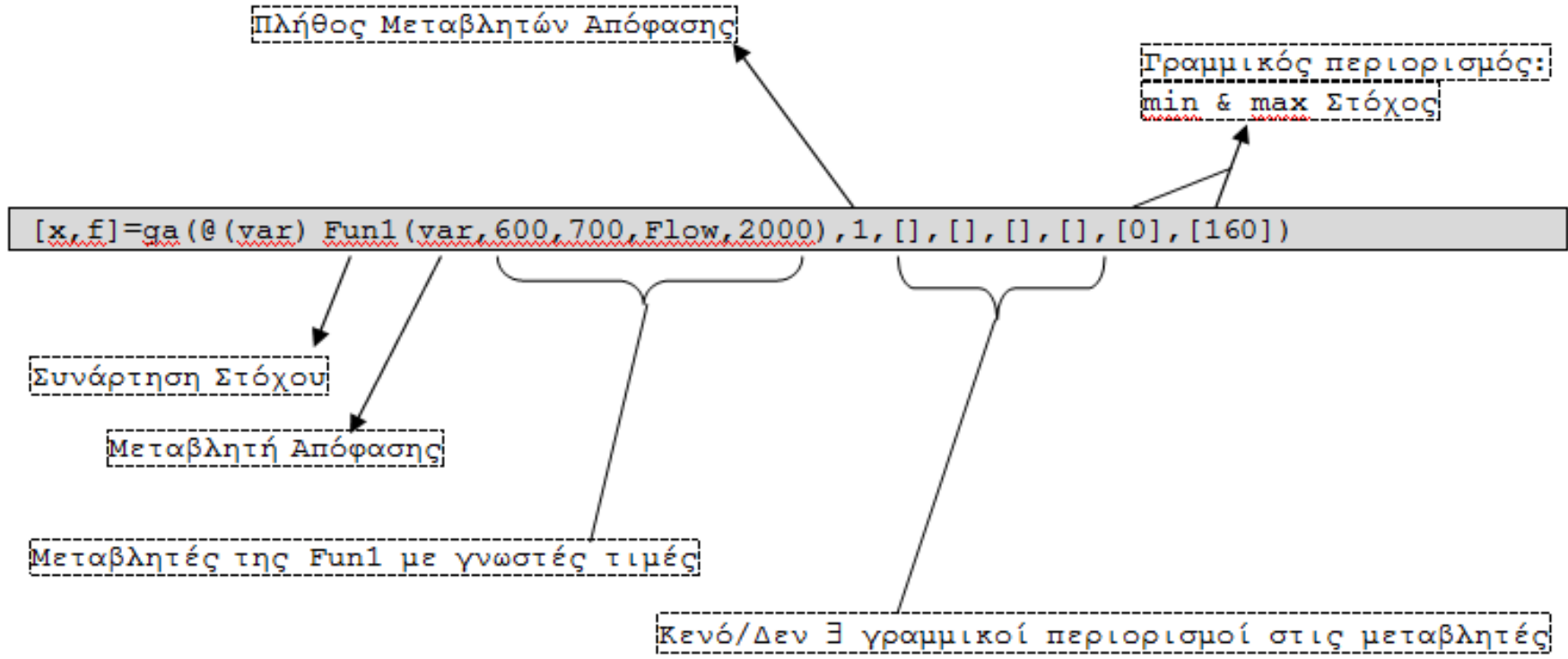
```
profit(indexi)=et1+0.5*et2-10*etplin;  
  
sum=sum+profit(indexi);  
  
end  
  
averageProfit=sum/n;  
f=-averageProfit;  
end
```

**Όφελος ανά βήμα  
΄ συναρτήσσει (1ουσας,  
2ουσας & Ελλείμματος)**

**Μέσο όφελος για όλη τη  
χρονοσειρά**

# 6. Εφαρμογή (V)

## Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης



# 7. Διερεύνηση Προβλήματος (I)

## Αλγόριθμος Πολλαπλών Βελτιστοποιήσεων: Μεταβολή Χωρητικότητας & Παροχτευτικότητας Ταμιευτήρα

Εξετάζεται η εξέλιξη:

- ✓ Του οφέλους (**AVERAGE PROFIT**)
- ✓ Του ενεργειακού στόχου ( $e^*$ )

Με αλλαγή των:

- ✓ Εμμονής στη χρονοσειρά εισροών
- ✓ Χωρητικότητας ταμιευτήρα  $k$
- ✓ Παροχτευτικότητας αγωγού  $r$

Απαγκίστρωση από  
μονάδες μέτρησης:  
ορίζω  $k/Q_w$ ,  $r/Q_w$

Εκλογή βήματος &  
εύρους

# 7. Διερεύνηση Προβλήματος(II)

```
for i=2:15 %domi epanalipsis: skopos einai na vro ola ta k/Qw gia dosmeno vima
    kPROSQw(i)=kPROSQw(i-1)+0.2 %xekino apo to i=2 exontas pro-orisei to Qw(gt gia
    i=0 den orizetai i proti timi)

    k(i)=Qw*kPROSQw(i)

for j=2:10 %entos tis epanalipsis thelo k mia ypoantistoixisi me r/Qw
    rPROSQw(j)=rPROSQw(j-1)+0.1

    r(j)=Qw*rPROSQw(j)
```

[...]

```
%veltistopoiisi me ta proigoumena dedomena
for i = 1:15
    %epilisi
    for j=1:10

        [x(i,j), f(i,j)]=ga(@(var)
Fun1(var, k(i), r(j), Q, me_H_0_7, 2000), 1, [], [], [], [], [0], [160]); %veltistopoiisi:exo
valei k(i) . ara toses veltistopoiises osa kai ta r(i)

        X=x;%orizo pinaka x olous tous stoxous ton veltistopoiiseon

        F=f;%omoios gia ta ofeli

    end

end

end
```

# 8. Επίλυση – Αποτελέσματα (I)

$i = 15, j = 10 \Rightarrow$  Πίνακας (15X10)  $\Rightarrow$  150 Επιλύσεις

<b>F, X, A</b>	<b><math>r/Q_w</math></b>									
<b><math>k/Q_w</math></b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>1</b>
<b>0.2</b>	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>0.4</b>	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>0.6</b>	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>0.8</b>	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>1</b>	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>1.2</b>	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>1.4</b>	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>1.6</b>	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>1.8</b>	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>2</b>	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>2.2</b>	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>2.4</b>	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>2.6</b>	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>2.8</b>	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>3</b>	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

# 8. Επίλυση – Αποτελέσματα (II)

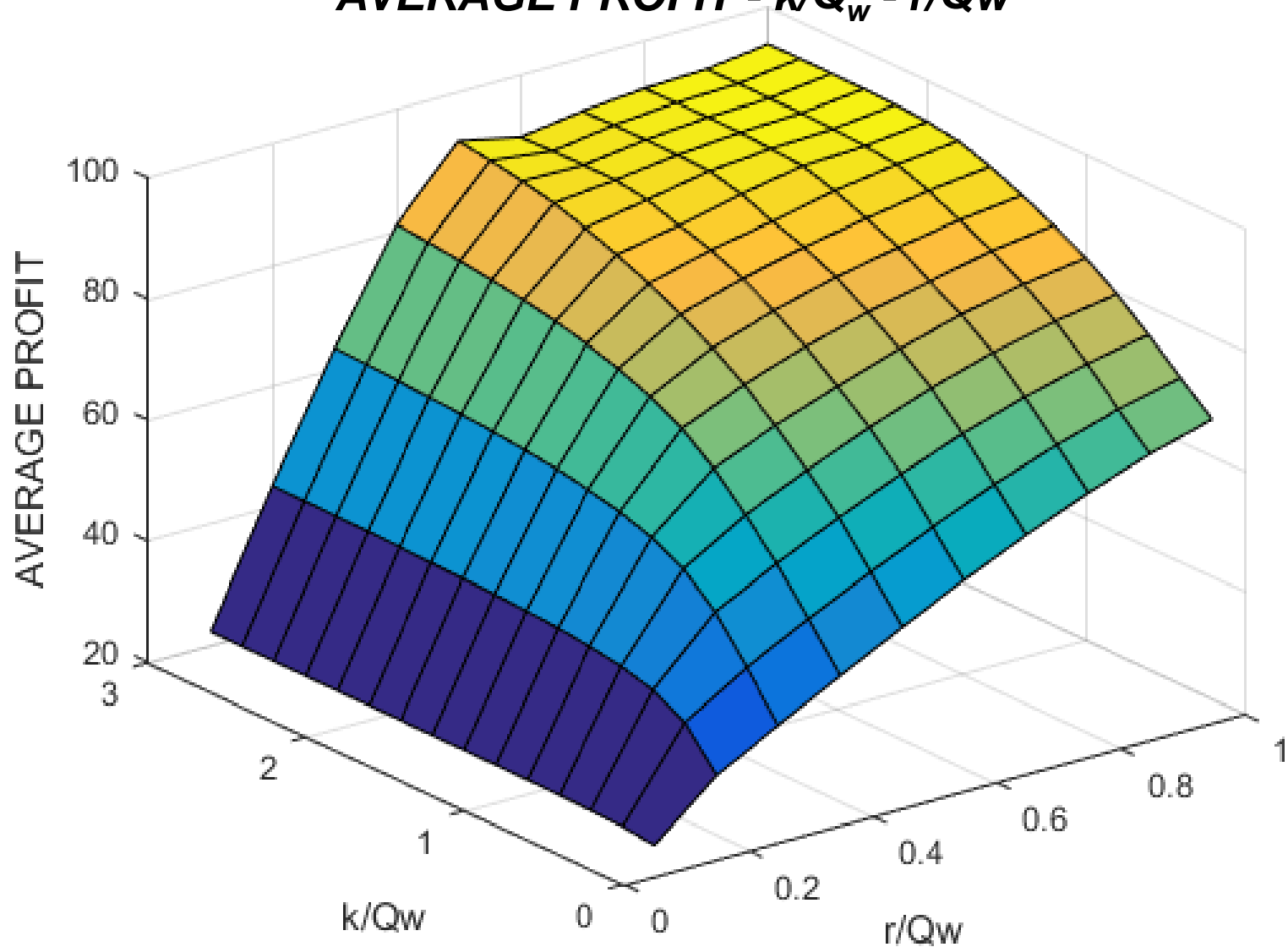
Όφελος  
(μονάδες €)

$i = 15, j = 10 \Rightarrow$  Πίνακας (15X10)  $\Rightarrow$  150 Επιλύσεις

<b>F</b>	<b>r/Q<sub>w</sub></b>									
<b>k/Q<sub>w</sub></b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>1</b>
<b>0.2</b>	21.234	29.839	35.169	40.415	45.607	50.581	55.250	59.301	63.023	65.951
<b>0.4</b>	21.861	35.942	41.873	46.923	51.707	56.175	60.365	64.108	67.409	69.837
<b>0.6</b>	22.068	39.063	48.067	53.056	57.704	61.865	65.316	68.701	71.572	73.823
<b>0.8</b>	22.171	40.541	52.559	58.239	62.878	66.596	69.775	72.381	75.022	77.018
<b>1</b>	22.232	41.425	55.530	62.555	67.051	70.064	72.521	74.375	77.187	79.299
<b>1.2</b>	22.268	41.996	57.604	66.076	70.231	72.713	74.675	77.160	79.801	81.765
<b>1.4</b>	22.289	42.389	59.010	68.912	72.217	74.809	77.070	79.750	82.245	84.056
<b>1.6</b>	22.302	42.676	60.016	70.776	73.681	76.379	78.687	80.264	84.484	86.170
<b>1.8</b>	22.307	42.897	60.783	72.246	74.753	77.523	81.376	84.267	86.477	88.060
<b>2</b>	22.310	43.062	61.388	73.605	76.079	79.946	83.365	86.114	88.203	89.696
<b>2.2</b>	22.312	43.194	61.868	74.736	77.718	81.597	84.805	86.806	88.897	90.386
<b>2.4</b>	22.311	43.302	62.259	75.751	79.314	83.048	86.138	88.046	89.376	90.478
<b>2.6</b>	22.307	43.393	62.586	76.639	80.464	84.146	87.067	88.992	88.924	90.475
<b>2.8</b>	22.303	43.465	62.862	77.451	81.309	84.919	87.741	89.598	89.804	90.415
<b>3</b>	22.299	43.523	63.083	78.152	82.090	85.631	88.362	89.867	89.791	90.321

# 8. Επίλυση-Αποτελέσματα (III)

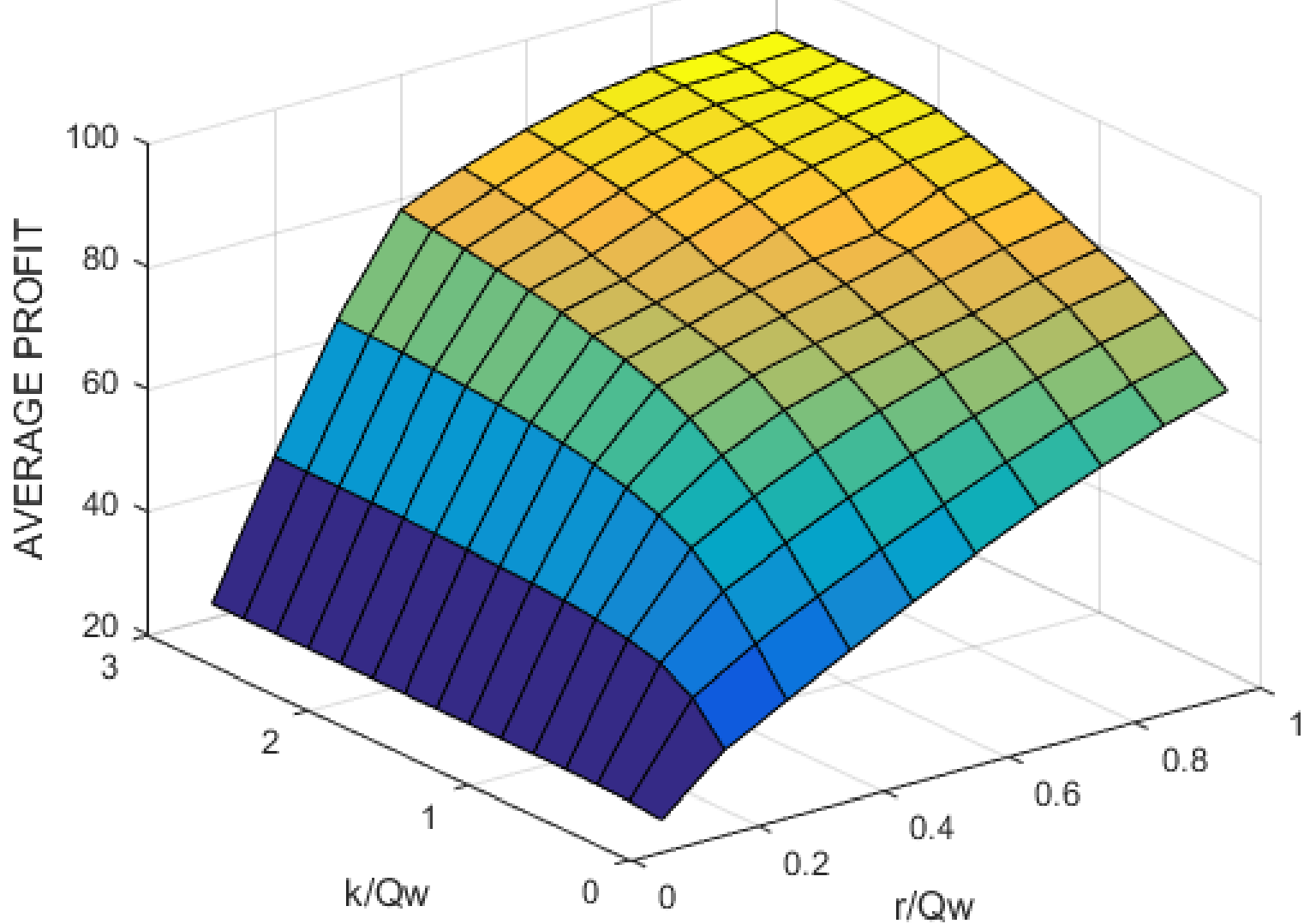
*AVERAGE PROFIT -  $k/Q_w$  -  $r/Q_w$*



**H = 0.5**

# 8. Επίλυση-Αποτελέσματα (IV)

*AVERAGE PROFIT -  $k/Q_w - r/Q_w$*

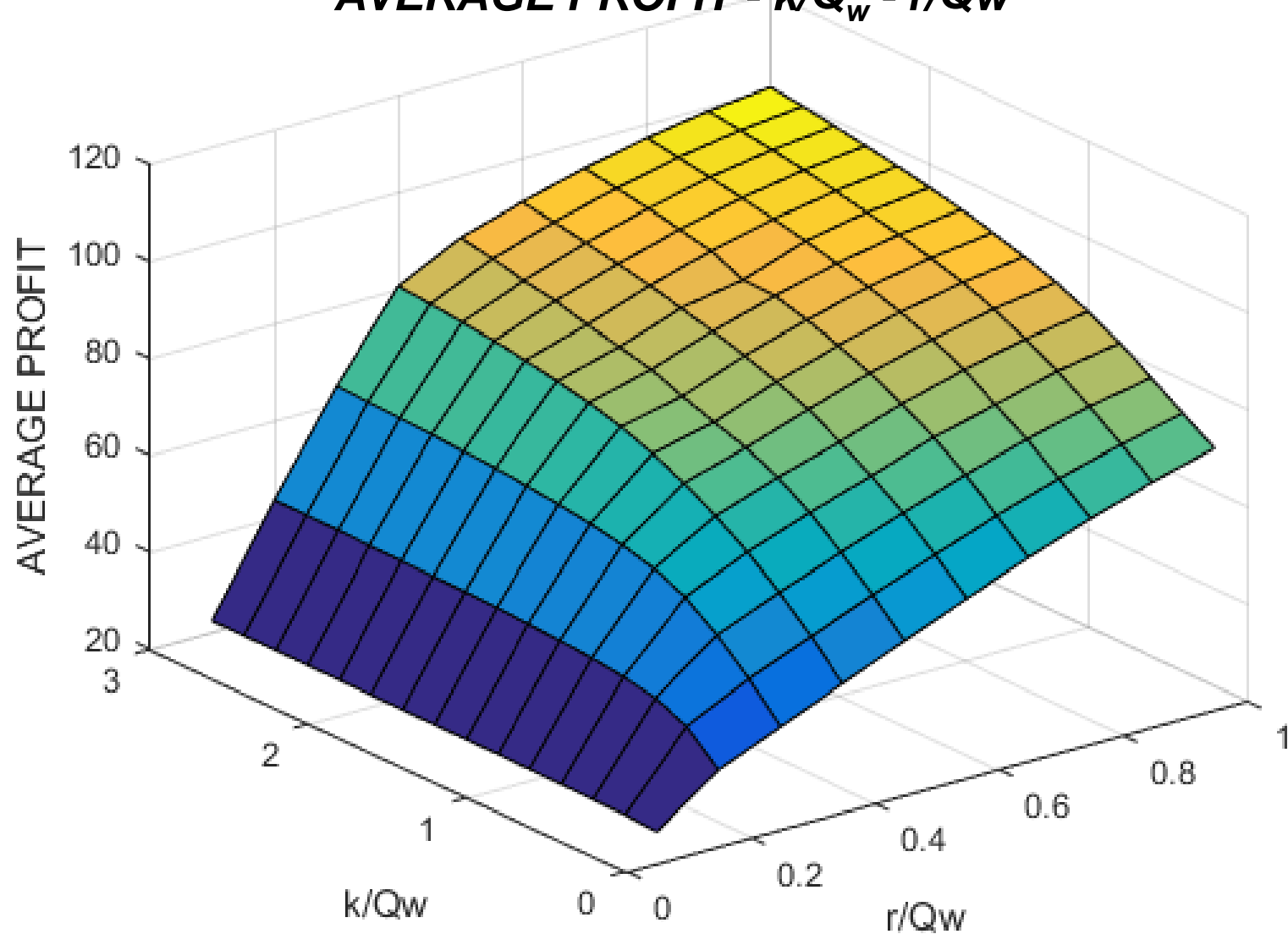


**H = 0.7**



# 8. Επίλυση-Αποτελέσματα (V)

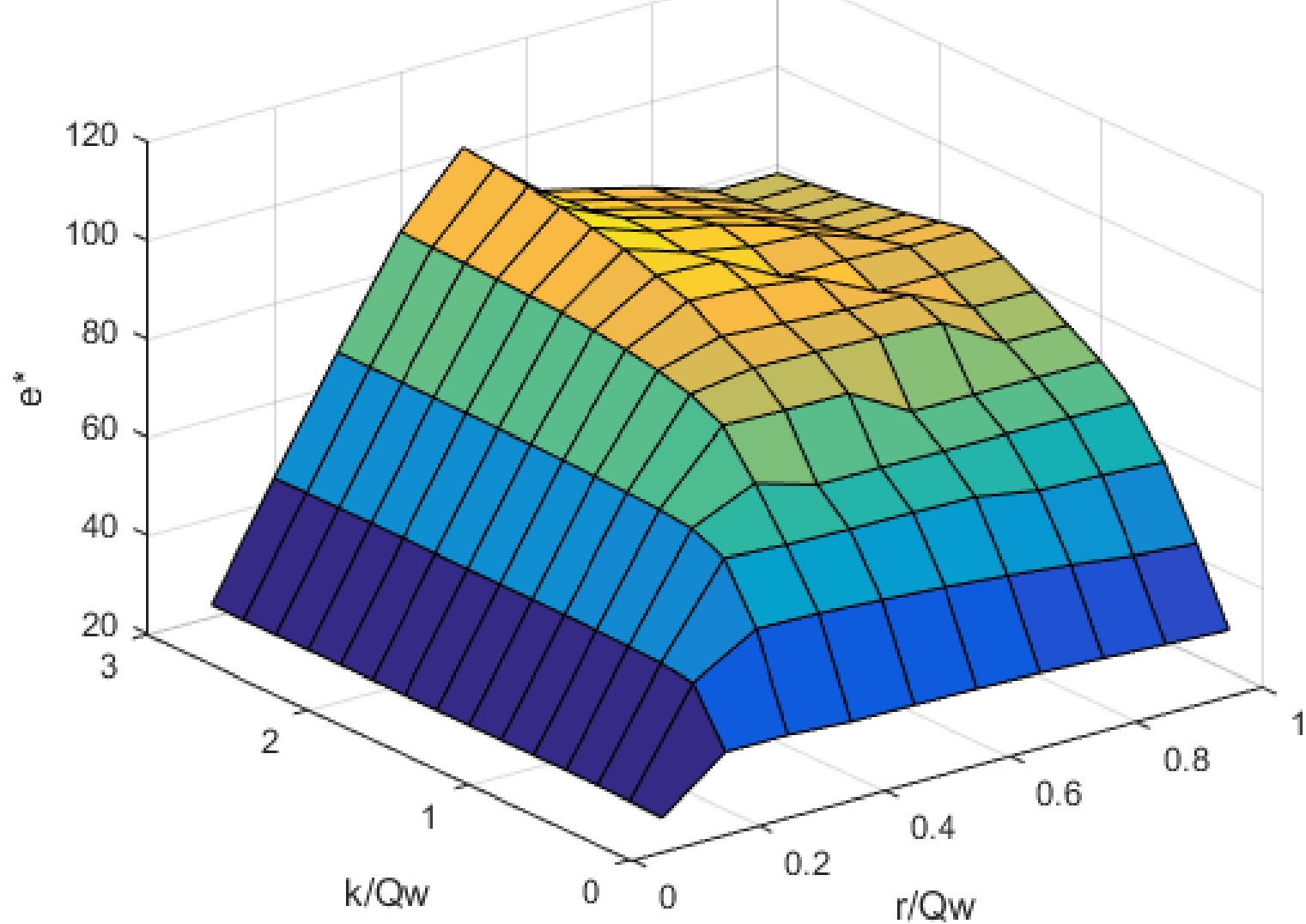
*AVERAGE PROFIT -  $k/Q_w - r/Q_w$*



**H = 0.9**

# 8. Επίλυση-Αποτελέσματα (VI)

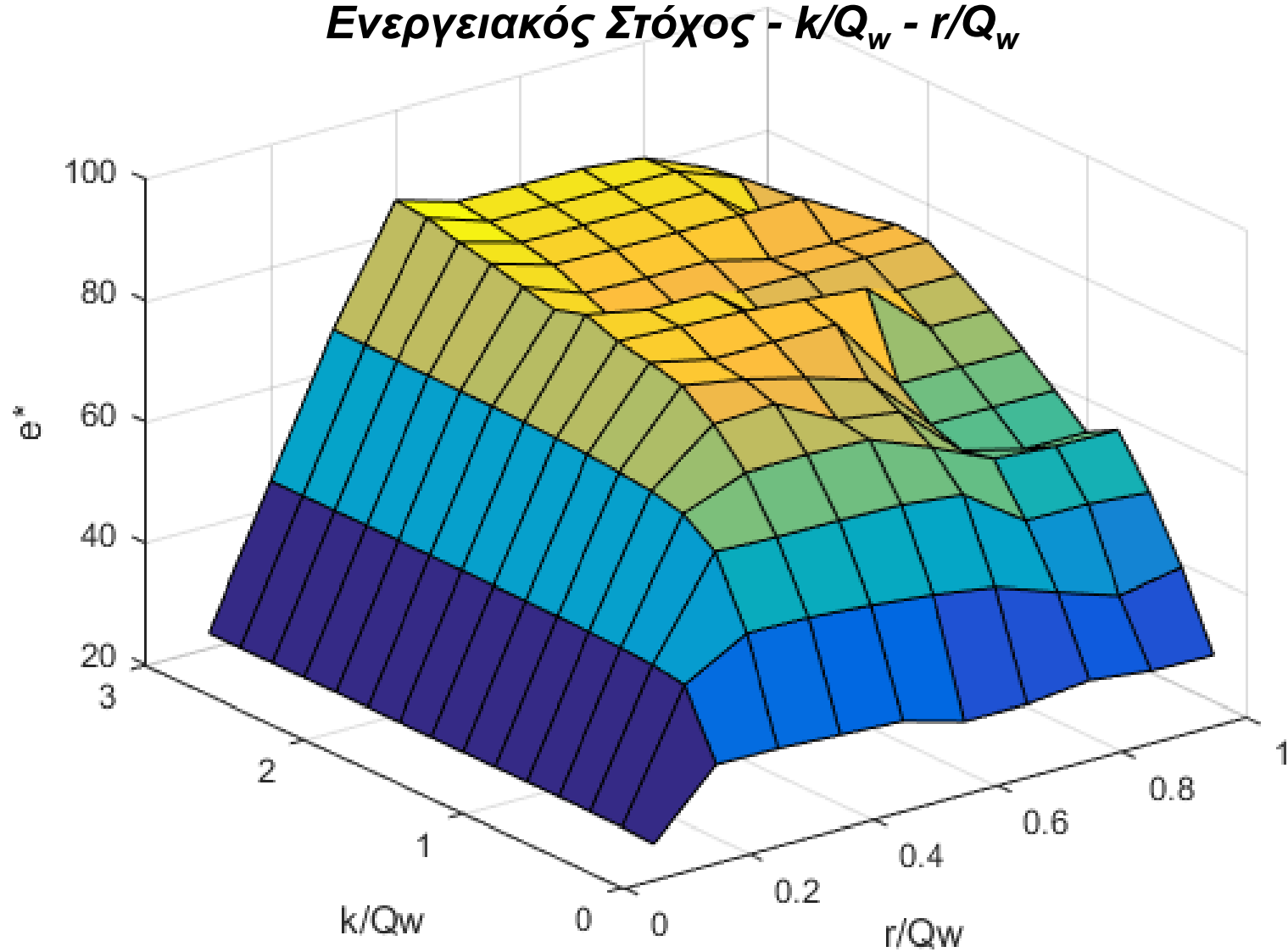
Ενεργειακός Στόχος -  $k/Q_w - r/Q_w$



**H = 0.5**

# 8. Επίλυση-Αποτελέσματα (VII)

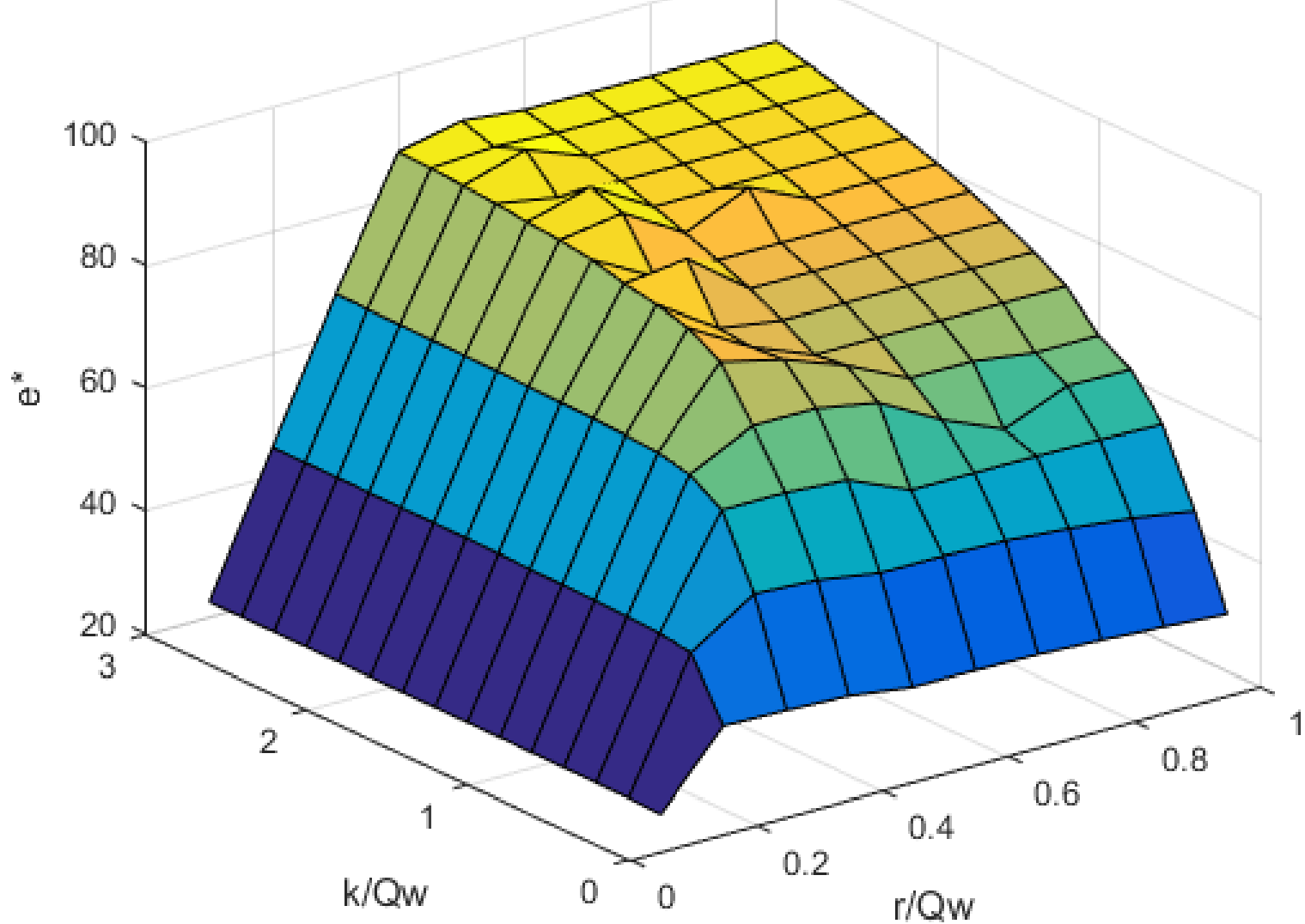
Ενεργειακός Στόχος -  $k/Q_w - r/Q_w$



**H = 0.7**

# 8. Επίλυση-Αποτελέσματα (VIII)

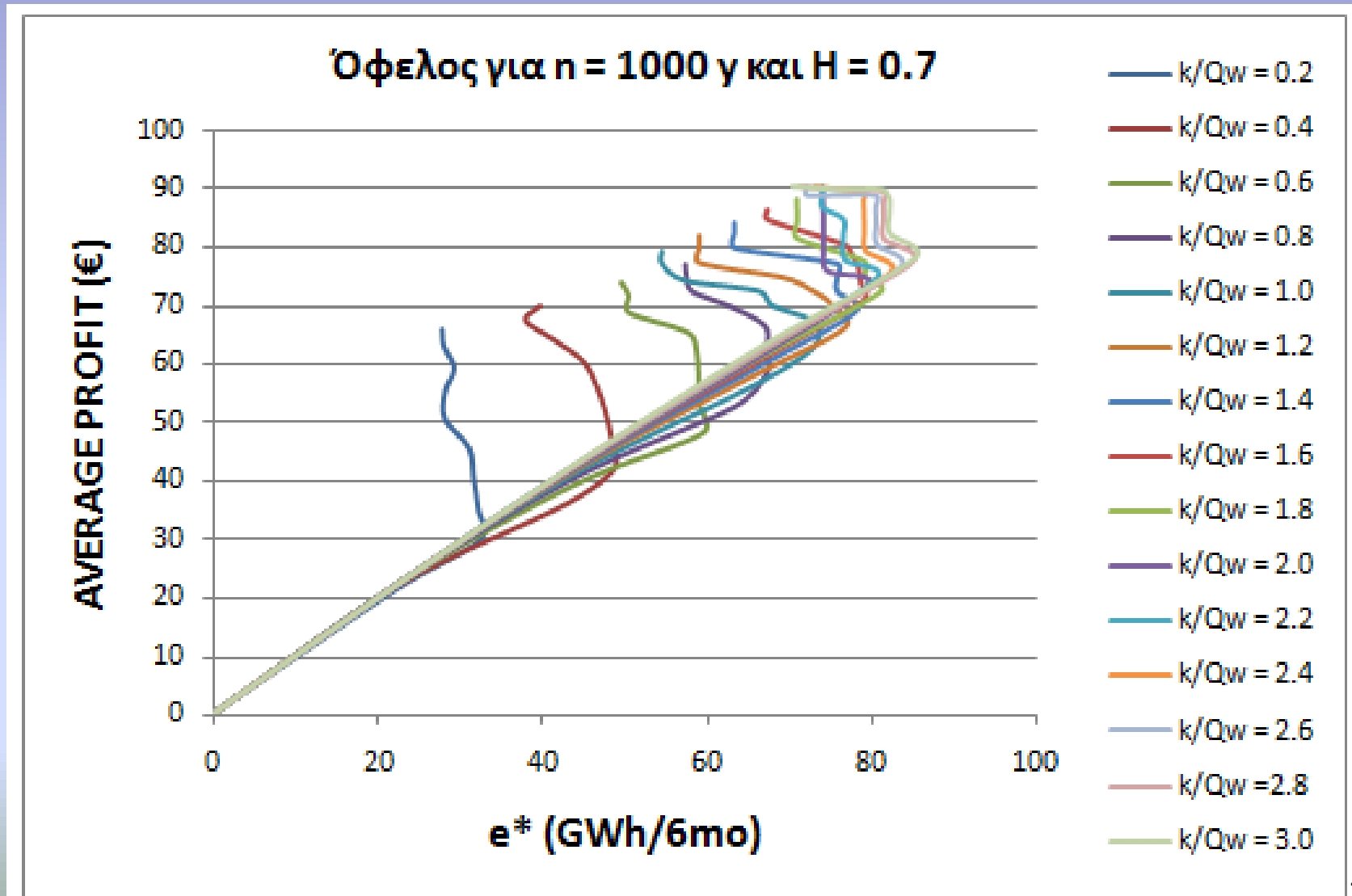
Ενεργειακός Στόχος -  $k/Q_w - r/Q_w$



**H = 0.9**

# 8. Επίλυση-Αποτελέσματα (ΙΧ)

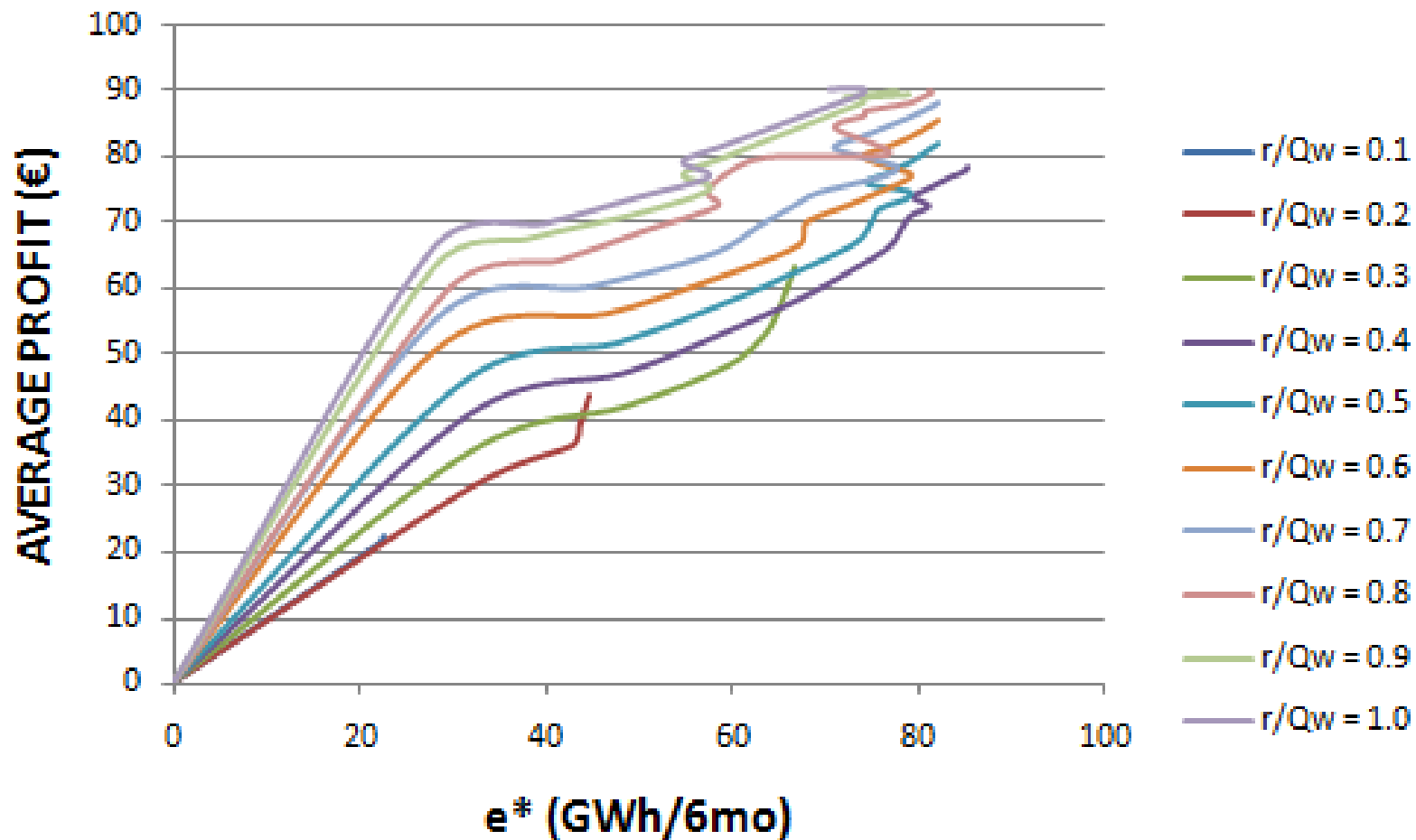
## Χαρακτηριστικές Τομές



# 8. Επίλυση-Αποτελέσματα (X)

## Χαρακτηριστικές Τομές

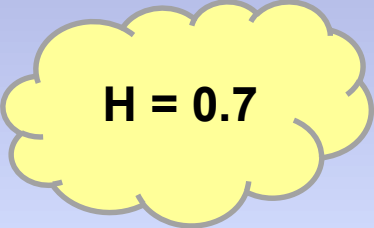
Όφελος για  $n = 1000$  γ και  $H = 0.7$



## 9. Ανάλυση Ευαισθησίας (I)

### Μεταβολή του μήκος της χρονοσειράς εισροών

- A.** Κατάτμηση της συνθετικής χρονοσειράς εισροών  $Q_t$  των 1000 ετών σε
- 10 χρονοσειρές των 100 ετών
  - 5 χρονοσειρές των 200 ετών
- B.** Επίλυση (αλγόριθμος πολλαπλών βελτ/σεων) για μικρότερα μήκη χρονοσειράς εισροών
- Γ.** Χαρακτηριστικές τομές των επιφανειών & σύγκριση με τα 1000 έτη
- Δ.** Συντελεστής μεταβλητότητας των μικρότερων δειγμάτων
- Ε.** Σύγκριση 100 & 200 ετών


$$H = 0.7$$

# 9. Ανάλυση Ευαισθησίας (II)

## Επίλυση για μικρότερα μήκη $Q_t$

```
%veltistopoiisi me ta proigoumena dedomena
for i = 1:15
    %epilisi
    for j=1:10
        [x(i,j),f(i,j)]=ga(@(var)
Fun1(var,k(i),r(j),Q me H 0 7,200),1,[],[],[],[],[0],[160]); %veltistopoiisi:exo
valei k(i). ara toses veltistopoiises osa kai ta r(i)

X=x;%orizo pinaka x olous tous stoxous ton veltistopoiiseon

F=f;%omoios gia ta ofeli
end
```

*Εισάγω τη νέα χρονοσειρά  
 $n = 200$  εξάμηνα (100 έτη)*

```
[...]
```

```
%veltistopoiisi me ta proigoumena dedomena
for i = 1:15
    %epilisi
    for j=1:10
        [x(i,j),f(i,j)]=ga(@(var)
Fun1(var,k(i),r(j),Q me H 0 7,400),1,[],[],[],[],[0],[160]); %veltistopoiisi:exo
valei k(i). ara toses veltistopoiises osa kai ta r(i)
X=x;%orizo pinaka x olous tous stoxous ton veltistopoiiseon
F=f;%omoios gia ta ofeli
end
end
[...]
```

*Εισάγω τη νέα χρονοσειρά  
 $n = 100$  εξάμηνα (200 έτη)*



## 9. Ανάλυση Ευαισθησίας (III)

### Ο συντελεστής μεταβλητότητας

Για δείγμα μέσης τιμής  $\bar{X}$  και τυπικής απόκλισης  $S$ , είναι

$$CV = \frac{S}{\bar{X}}$$

σε ποσοστιαία έκφραση, ανεξάρτητα από μονάδες μέτρησης

Αν **CV**:

< 10% , ο πληθυσμός θεωρείται ομοιογενής

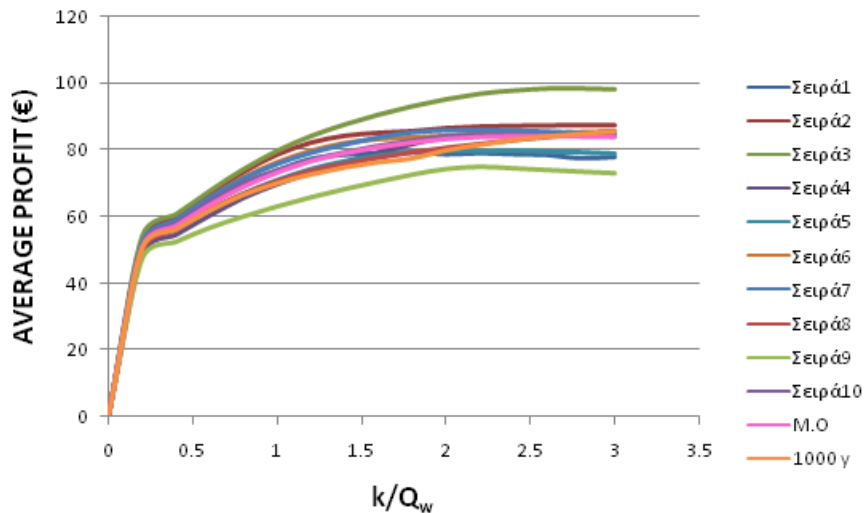
≥ 10 % , ο πληθυσμός θεωρείται ανομοιογενής

Για  $r/Q_w = 0.6$  &  $k/Q_w = 0.8$ , εξετάζω τα δείγματα των 100 & 200 ετών ως προς την ομοιογένεια του Οφέλους & του Ενεργειακού Στόχου

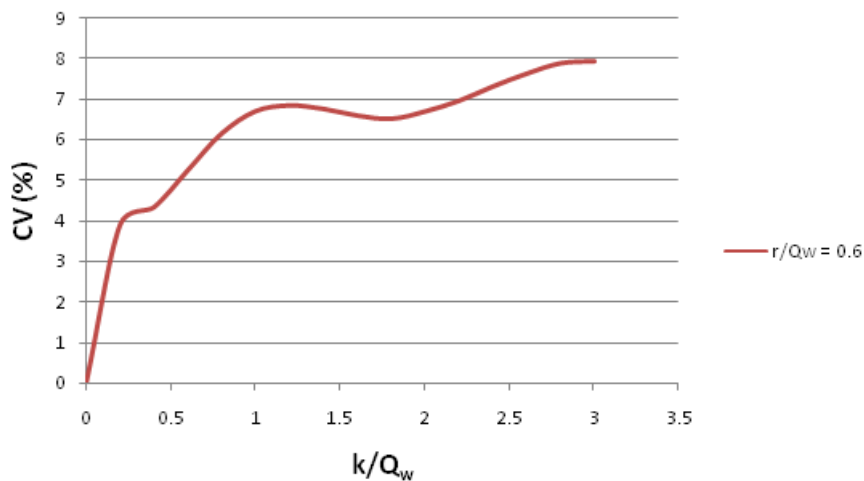
**H = 0.7**

# 9. Ανάλυση Ευαισθησίας (IV)

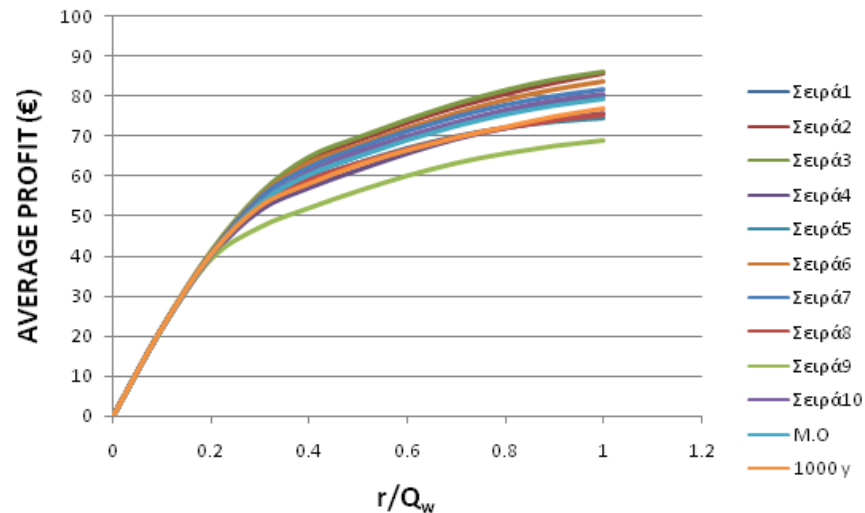
Όφελος για  $n = 100$  γ και  $r = 60 \text{ hm}^3/\text{μο}$  ( $r/Q_w = 0.6$ )



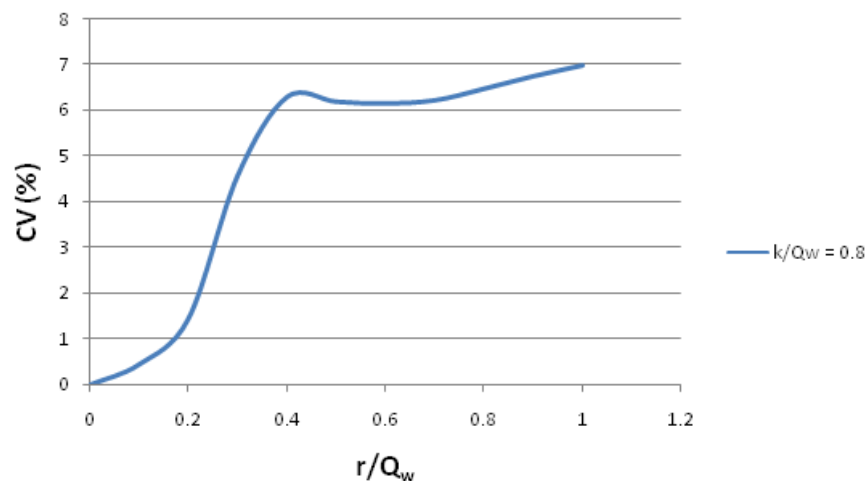
Συντελεστής Μεταβλητότητας Οφέλους για  $n = 100$  γ και  $r = 60 \text{ hm}^3/\text{μο}$  ( $r/Q_w = 0.6$ )



Όφελος για  $n = 100$  γ και  $k = 800 \text{ hm}^3$  ( $k/Q_w = 0.8$ )

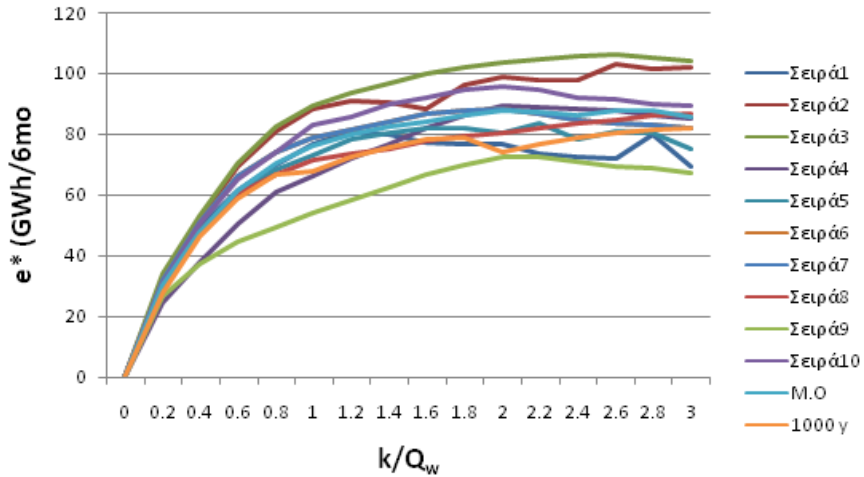


Συντελεστής Μεταβλητότητας Οφέλους για  $n = 100$  γ και  $k = 800 \text{ hm}^3$  ( $k/Q_w = 0.8$ )

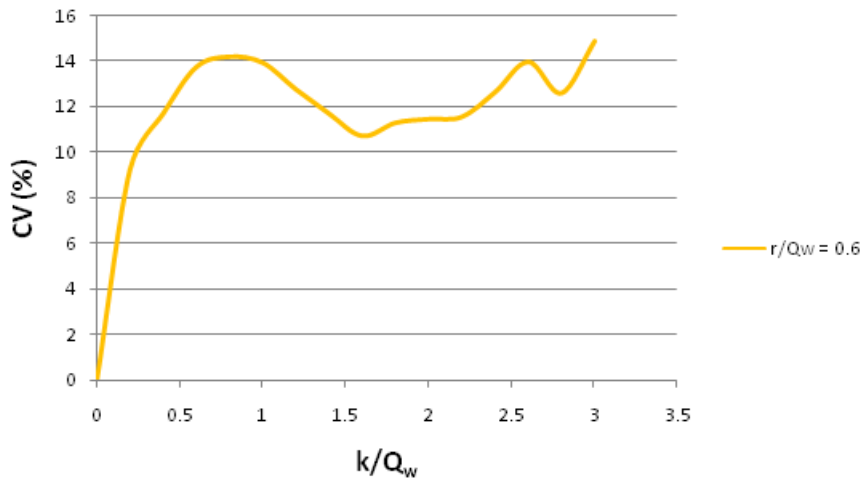


# 9. Ανάλυση Ευαισθησίας (V)

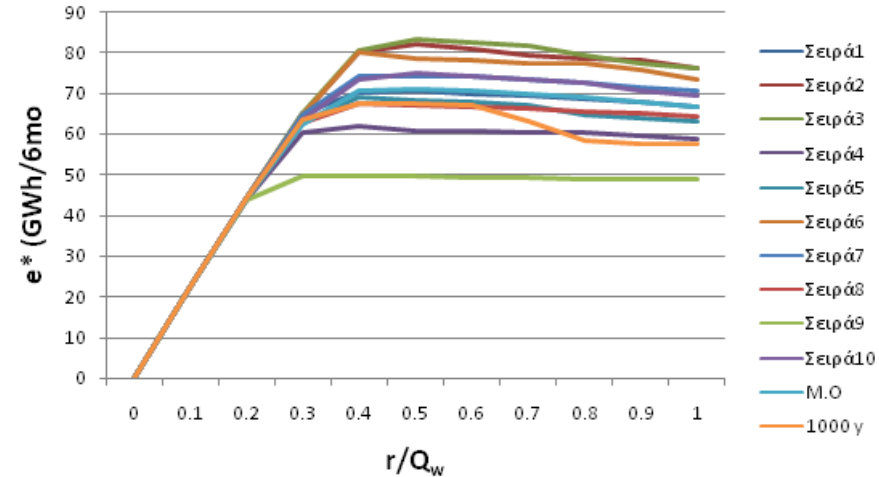
Ενεργειακός Στόχος για  $n = 100$  γ και  $r = 60 \text{ hm}^3/\text{mo}$   
( $r/Q_w = 0.6$ )



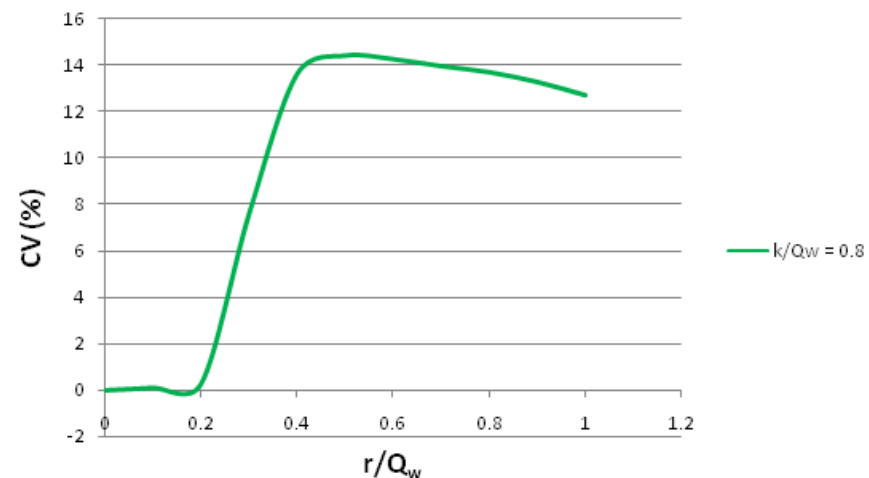
Συντελεστής Μεταβλητότητας Ενεργειακού Στόχου για  $n = 100$  γ και  $r = 60 \text{ hm}^3/\text{mo}$  ( $r/Q_w = 0.6$ )



Ενεργειακός Στόχος για  $n = 100$  γ και  $k = 800 \text{ hm}^3/\text{mo}$   
( $k/Q_w = 0.8$ )



Συντελεστής Μεταβλητότητας Ενεργειακού Στόχου για  $n = 100$  γ και  $k = 800 \text{ hm}^3$  ( $k/Q_w = 0.8$ )



# 9. Ανάλυση Ευαισθησίας (VI)

Αλγεβρικό  $CV_{100 \text{ ετών}} - CV_{200 \text{ ετών}}$   
 ως προς το Όφελος

	$r/Q_w$									
$k/Q_w$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0.2	0.79	2.24	1.45	1.87	1.80	1.84	1.96	2.09	2.27	2.60
0.4	0.37	1.16	1.12	1.12	1.28	1.43	1.74	1.95	2.33	2.67
0.6	0.24	0.90	0.42	0.07	0.99	1.26	1.51	1.90	2.30	2.63
0.8	0.21	0.66	-0.13	0.69	0.71	1.33	1.59	1.90	2.30	2.60
1	0.27	0.59	0.07	0.27	0.93	1.36	-0.09	2.00	2.36	2.64
1.2	0.34	0.61	0.66	0.41	0.96	1.36	1.67	2.08	2.43	2.70
1.4	0.39	0.62	0.77	0.37	1.49	1.85	2.04	2.41	2.72	2.93
1.6	0.38	0.62	0.84	0.16	1.56	1.96	2.40	2.69	2.96	3.19
1.8	0.36	0.61	0.83	0.44	1.52	2.06	2.47	2.75	3.08	3.36
2	0.39	0.62	0.85	0.55	1.44	2.13	2.26	2.60	3.01	3.34
2.2	0.42	0.61	0.84	0.09	0.91	1.62	1.69	2.09	2.59	2.99
2.4	0.42	0.60	0.81	-0.34	0.33	0.95	0.95	1.41	2.00	2.48
2.6	0.42	0.58	0.78	-0.66	-0.19	0.29	0.25	0.48	1.47	2.01
2.8	0.42	0.56	0.73	-0.97	-0.66	-0.23	-0.27	0.31	1.02	1.60
3	0.41	0.55	0.66	-1.23	-1.05	-0.78	-0.53	-0.04	0.73	1.32

# 9. Ανάλυση Ευαισθησίας (VII)

Αλγεβρικό  $CV_{100 \text{ ετών}} - CV_{200 \text{ ετών}}$

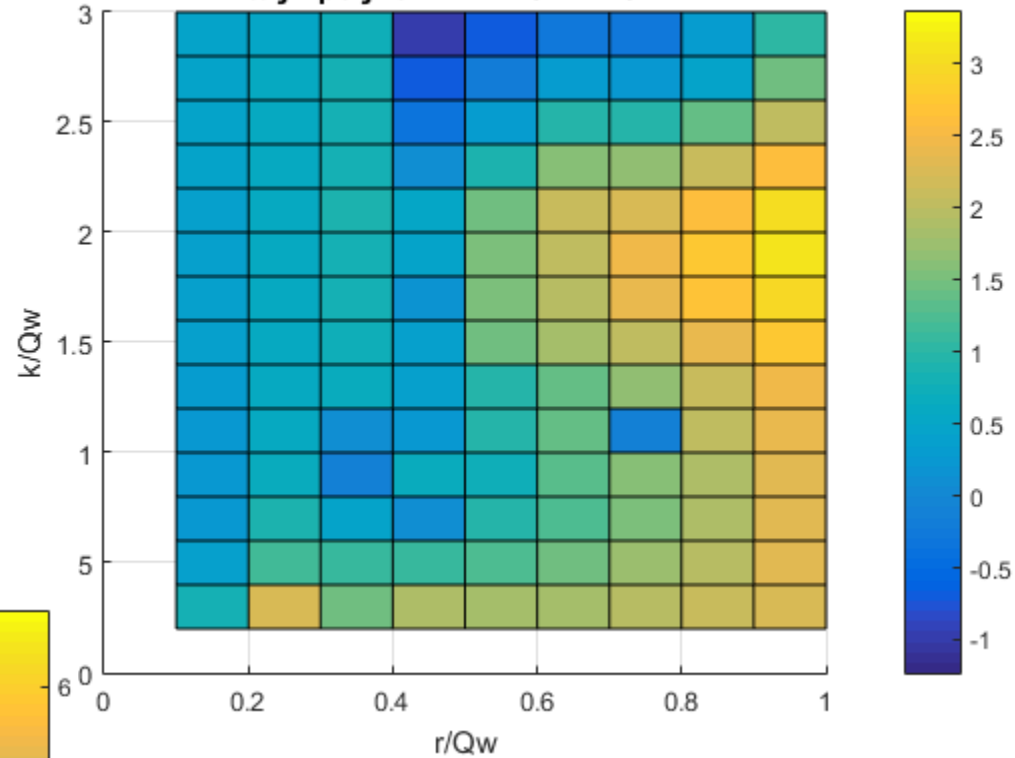
ως προς το το στόχο πρωτεύουσας ενέργειας

	$r/Q_w$									
$k/Q_w$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0.2	0.25	0.45	2.75	0.73	1.26	3.53	3.64	3.88	4.03	4.56
0.4	0.09	0.60	1.46	-1.60	0.34	0.03	0.23	-1.20	0.57	0.30
0.6	0.07	0.39	-1.74	7.40	0.94	-0.68	0.63	-0.67	-0.72	-0.36
0.8	0.04	0.19	2.69	0.09	2.34	0.82	0.63	0.56	0.46	0.18
1	0.03	0.14	3.12	6.17	4.82	0.55	2.50	0.35	0.48	0.24
1.2	0.03	0.09	2.14	4.38	0.24	0.38	0.56	0.54	0.83	0.93
1.4	0.02	0.10	1.62	4.24	1.98	0.87	1.49	1.32	1.38	2.58
1.6	0.02	0.10	1.00	-1.12	-0.58	-0.31	2.84	2.31	2.20	3.96
1.8	0.02	0.09	0.85	0.07	-0.82	1.30	2.67	2.44	2.52	2.45
2	0.02	0.07	1.16	0.12	-1.14	2.82	3.23	1.62	1.68	1.65
2.2	0.02	0.06	0.76	-1.54	-2.18	1.50	1.64	-0.11	-0.06	-0.03
2.4	0.02	0.10	0.96	-1.88	-0.85	1.24	0.17	-1.59	-1.73	-1.80
2.6	0.02	0.10	0.64	-2.20	-2.58	1.05	-1.39	-2.26	-3.49	-3.18
2.8	0.02	0.10	0.76	-2.35	-2.52	-1.22	-2.43	-4.41	-4.40	-4.00
3	0.01	0.09	0.70	-2.81	-2.41	-0.07	-2.75	-4.49	-4.95	-4.61

Όφελος



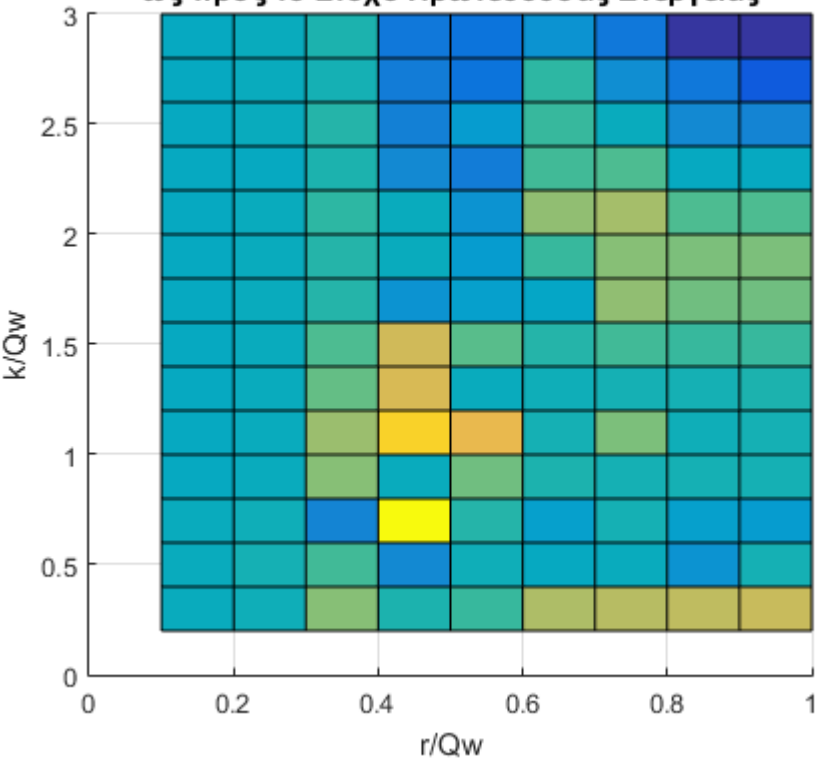
Διαφορά (CV 100 ετών - CV 200 ετών) %  
ως προς το AVERAGE PROFIT



Στόχος



Διαφορά (CV 100 ετών - CV 200 ετών) %  
ως προς το Στόχο Πρωτεύουσας Ενέργειας



## 9. Ανάλυση Ευαισθησίας (VIII)

Αλγεβρικό  $CV_{100 \text{ ετών}} - CV_{200 \text{ ετών}}$

# 10. Συμπεράσματα - Προτάσεις (I)

## Συμπεράσματα

- ❑ Όσο χαμηλότερα τίθεται ο ενεργειακός στόχος, τόσο μεγαλύτερο το επίπεδο αξιοπιστίας
- ❑ Ενδείκνυται η επίλυση ομοειδών προβλημάτων σε γλώσσα προγραμματισμού ή εξειδικευμένο λογισμικό
  - ✓ Εσωκλείονται αβεβαιότητες, μη γραμμικές διεργασίες & ποικίλοι περιορισμοί
  - ✓ Ένα υπολογιστικό φύλλο δεν εκτελεί ταυτόχρονα πολλές βελτιστοποιήσεις, αυξάνοντας το χρόνο & φόρτο επίλυσης
- ❑ Η στατιστική μεταβλητότητα της συνθετικής χρονοσειράς εισροών αντανακλάται στα εξαγόμενα μεγέθη (ενέργεια, όφελος κτλ)
  - ✓ Ειδικότερα η ύπαρξη εμμονής επηρεάζει το στόχο και το διαχειριστικό αποτέλεσμα
- ❑ Το ιδανικό: Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας χωρίς περίσσειες & ελλείμματα. Αν όμως υπάρχουν υπερχειλίσεις τότε αξιοποιούνται ως δευτερεύουσα ενέργεια
  - ✓ Αυξάνει το Όφελος για την ίδια τιμή στόχου

# 10. Συμπεράσματα - Προτάσεις (II)

## Συμπεράσματα

- ❑ Σε ένα τυπικό υδρευτικό ή αρδευτικό ταμιευτήρα, η σχέση στόχου και οφέλους είναι καθαρά αύξουσα. Σε Υ/Η έργο η δευτερεύουσα ενέργεια & η ρήτρα ελλείμματος εισάγουν αβεβαιότητα στο σύστημα η οποία μόνο μέσω προσομοίωσης μπορεί να ποσοτικοποιηθεί
- ❑ Όσο μεγαλύτερα τα  $k$ ,  $r$  τόσο μεγαλύτερο το όφελος. Αυξάνει όμως το κατασκευαστικό κόστος
- ❑ Ένα γενικός κανόνας βάσει αδρομερούς εκτίμησης με την υπόθεση συνεχούς λειτουργίας, είναι η παροχετευτικότητα του στροβίλου να είναι περίπου το  $\frac{1}{4}$  της μέσης ετήσιας απορροής και αντίστοιχα η χωρητικότητα του ταμιευτήρα το  $\frac{1}{2}$  αυτής
- ❑ Το μήκος χρονοσειράς καθορίζει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.  
Χρονοσειρές 100 και 200 ετών εισάγουν αβεβαιότητα της τάξης του 15 - 20 %
  - ✓ Στην πράξη μία ιστορική χρονοσειρά είναι 50 ή 100 έτη, άρα η αβεβαιότητα θα ήταν μη αποδεκτή. Συνιστάται η κατασκευή συνθετικών χρονοσειρών μήκους 1000 ετών και άνω



# 10. Συμπεράσματα - Προτάσεις (III)

## Προτάσεις

- ❑ Αντίστοιχη εφαρμογή σε διαφορετικά χρονικά βήματα (μήνας, έτος κτλ) & σε άλλες χρονοσειρές εισροών
- ❑ Για το βέλτιστο συνδυασμό θα ήταν σκόπιμη η διαθεσιμότητα καμπυλών κόστους για το φράγμα και το σταθμό παραγωγής ώστε σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες καμπύλες οφέλους να βρεθεί η τομή τους
- ❑ Τα περισσότερα συμπεράσματα προκύπτουν με κοστολόγηση πρωτεύουσας ενέργειας κατά 1 μονάδα, δευτερεύουσας μισής αξίας & ελλείμματος 10 φορές μικρότερης αξίας από την πρωτεύουσα. Μπορούν να εξεταστούν επομένως σενάρια με διαφορετικές, πραγματικές κοστολογήσεις
- ❑ Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα έχει η ανάλυση σε σύστημα ταμιευτήρων με αντλησιοταμίευση, για την καλύτερη διαχείριση και καταμερισμό των πλεονασμάτων και των ελλειμμάτων ενέργειας

**Ευχαριστώ**

**:)**