



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ  
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**Διερεύνηση της ενεργειακής  
συνιστώσας στη διαχείριση  
του υδροδοτικού  
συστήματος της Αθήνας**

**ΑΝΤΩΝΙΟΣ Ν. ΦΡΑΝΤΖΗΣ**

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ  
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2010

**Επιβλέπων: Δ. Κουτσογιάννης, Καθηγητής**

*Στους γονείς μου*

*Νίκο και Άσπα*

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Καταρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Δημήτρη Κουτσογιάννη γιατί αναλαμβάνοντας την επίβλεψη της μεταπτυχιακής μου εργασίας, μου έδωσε ευκαιρία να συνεργαστώ μαζί του πάνω σε ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον και απαιτητικό θέμα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Δρ. Ανδρέα Ευστρατιάδη για τη σημαντική βοήθεια που μου πρόσφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου εργασίας, τις πολύτιμες συμβουλές του, το προσωπικό ενδιαφέρον που έδειξε και την όρεξη του να με βοηθήσει σε κάθε πρόβλημα που αντιμετώπισα.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον κ. Καραβοκυρό για την επίλυση διάφορων προβλημάτων σχετικά με τον Υδρονομέα και το προσωπικό ενδιαφέρον που έδειξε καθώς και στο Λέκτορα Νίκο Μαμάση για τη διάθεση του να με βοηθήσει .

Επίσης ευχαριστώ όλους τους συμφοιτητές μου που βοήθησαν να περάσουμε πολλές όμορφες στιγμές κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών, στο Σταύρο για την πολύτιμη παρέα του κατά την παραμονή μου στην Αθήνα και στην Ιωάννα που αν και χιλιόμετρα μακριά βοήθησε με τον τρόπο της.

Τέλος θα ήθελα να πω ένα τεράστιο ευχαριστώ στους γονείς μου και τα αδέρφια μου που στάθηκαν δίπλα μου και με στήριξαν σε όλη τη διάρκεια της φοιτητικής μου ζωής και στον άνθρωπο μου την Κική για την υποστήριξη της και το χαμόγελο της.

Φραντζής Αντώνιος

Οκτώβριος, 2010

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	i
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	ii
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	vi
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	ix
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	x
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	xii
EXTENDED ABSTRACT.....	xiii
Introduction .....	xiii
Thesis outline .....	xiii
A short description of the Athens water supply system .....	xiii
Management of Athens water supply system.....	xiv
Economy and energy aspects of management policy.....	xiv
Description of the examined scenarios.....	xv
Conclusions .....	xvi
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.1 Αντικείμενο της εργασίας.....	1
1.2 Διάρθρωση της εργασίας .....	1
2 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	3
2.1 Η άρρηκτη σχέση νερού και ενέργειας.....	3
2.2 Η έννοια της ενεργειακής αποδοτικότητας .....	4
2.3 Η στροφή προς μια ενεργειακά αποδοτικότερη πολιτική.....	4
2.4 Η αλυσίδα του νερού και της ενέργειας μέσα στο υδροσύστημα .....	6
2.5 Υδροσυστήματα: Οι μεγάλοι ενεργειακοί καταναλωτές.....	8
2.6 Μέτρα για την εξοικονόμηση ενέργειας.....	9
2.6.1 Βελτίωση της αποδοτικότητας των αντλιών .....	10
2.6.2 Βελτιστοποίηση λειτουργίας του συστήματος .....	12
2.6.3 Περιορισμός των απωλειών.....	14
2.6.4 Μείωση της αντίστασης ροής μέσα στους αγωγούς.....	16
2.6.5 Αύξηση της κλίμακας της οικονομίας .....	16
2.7 Το παράδοξο ενός φαινομένου .....	16

**Διερεύνηση της ενεργειακής συνιστώσας στη διαχείριση  
του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας**

---

2.7.1	Εμπόδια στην βελτίωση της αποτελεσματικότητας των αντλιών .....	18
3	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	20
3.1	Εισαγωγή .....	20
3.2	Υδατικοί πόροι.....	20
3.2.1	Ταμιευτήρες.....	21
3.2.2	Υπόγειοι υδροφορείς – Γεωτρήσεις .....	23
3.3	Υδραγωγεία .....	23
3.3.1	Περιγραφή υδραγωγείων .....	24
3.3.2	Αντλιοστάσια.....	26
3.4	Μονάδες επεξεργασίας νερού.....	27
3.5	Έργα συντήρησης και αναβάθμισης του υδροδοτικού συστήματος .....	27
3.6	Μικρά υδροηλεκτρικά έργα.....	29
4	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	30
4.1	Εισαγωγή .....	30
4.2	Φορέας διαχείρισης .....	31
4.3	Σχέδιο διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος.....	32
4.4	Η πρόκληση για βελτιστοποίηση της διαχειριστικής πολιτικής.....	32
4.4.1	Επίπεδα πολυπλοκότητας στη διαχείριση του συστήματος .....	33
4.5	Γενική διάταξη και συνιστώσες του ΣΥΑ .....	34
4.6	Μεθοδολογία προσομοίωσης και βελτιστοποίησης του υδροσυστήματος .....	36
4.7	Το λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ .....	37
4.7.1	Πλεονεκτήματα Υδρονομέα .....	38
4.7.2	Αποτελέσματα του Υδρονομέα .....	38
4.8	Περιγραφή του μοντέλου του υδροσυστήματος.....	41
4.8.1	Γενικά .....	41
4.8.2	Χαρακτηριστικά του δικτύου .....	41
4.8.2.1	Γεωτρήσεις .....	41
4.8.2.2	Αντλιοστάσια.....	42
4.8.2.3	Απώλειες νερού στα εξωτερικά υδραγωγεία.....	44
4.8.3	Στόχοι και περιορισμοί του συστήματος .....	44

5	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ	
	47	
5.1	Εισαγωγή .....	47
5.2	Ενεργειακές συνιστώσες του μοντέλου .....	47
5.2.1	Αντλιοστάσια-Στρόβιλοι .....	47
5.2.2	Γεωτρήσεις .....	49
5.2.3	Πολιτική λειτουργίας των γεωτρήσεων.....	50
5.3	Οικονομικά και ενεργειακά δεδομένα μοντέλου.....	50
5.4	Η οικονομική προσέγγιση του σχεδίου διαχείρισης.....	53
5.5	Η ενεργειακή προσέγγιση του σχεδίου διαχείρισης .....	54
5.6	Οι αδυναμίες του σχεδίου διαχείρισης .....	55
5.7	Ο ρόλος του ενωτικού υδραγωγείου.....	56
6	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	58
6.1	Εισαγωγή .....	58
6.2	Σενάρια λειτουργίας των υδραγωγείων .....	59
6.3	Διαμόρφωση σεναρίων λειτουργίας για την ανάλυση ευαισθησίας.....	60
6.4	Υπόβαθρο σεναρίων λειτουργίας .....	61
6.4.1	Υδρολογικά σενάρια.....	61
6.4.2	Πολιτική λειτουργίας των γεωτρήσεων.....	64
6.5	Προσομοίωση-Βελτιστοποίηση.....	65
6.5.1	Μέτρο επίδοσης.....	65
6.5.2	Στοιχεία βελτιστοποίησης.....	65
6.6	Περιγραφή των αποτελεσμάτων .....	67
7	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	70
1.1	Αποτελέσματα βελτιστοποίησης .....	70
7.1.1	Μέση κατανάλωση ενέργειας.....	70
7.1.2	Μέση ετήσια απώληση από υδραγωγείο Μόρνου .....	76
7.1.3	Μέση ετήσια απώληση από υδραγωγείο Υλίκης.....	78
7.1.4	Μέσες απώλειες λόγω διαφυγών ταμιευτήρων .....	79
7.1.5	Μέση ετήσια απώληση από γεωτρήσεις.....	80

**Διερεύνηση της ενεργειακής συνιστώσας στη διαχείριση  
του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας**

7.1.6	Μέσες απώλειες λόγω υπερχείλισης.....	81
7.1.7	Μέσες απώλειες λόγω διαρροών υδραγωγείων.....	83
7.2	Αντλιοστάσια.....	84
7.2.1	Κρεμμίδα-Κλειδί .....	84
7.2.2	Ενωτικό υδραγωγείο (ανάστροφη λειτουργία).....	87
7.2.3	Βίλιζα – Νο10.....	89
7.2.4	Κιούρκα – Δυλιστήρια.....	92
7.2.5	Κιούρκα – Μενίδι .....	94
7.2.6	Νο 3 – Φρέαρ Α (αντ).....	97
7.2.7	Νο 4 – Φρέαρ Α (αντ).....	99
7.2.8	Σίφων Βίλιζας (αντ).....	102
7.2.9	Φ 900 .....	103
7.2.10	Φ 900 (αντ) .....	106
7.2.11	Χελιδονού – Μενίδι (αντ).....	108
7.2.12	Υλίκη - Χωρίς Πλωτά.....	110
7.2.13	Υλίκη - Με Πλωτά.....	113
7.2.14	ΑΔ1 – ΑΔ2 – ΑΔ3 .....	116
7.3	Γεωτρήσεις .....	118
7.3.1	Γεωτρήσεις Υλίκης.....	118
7.3.1.1	Γεωτρήσεις Ούγγρων – Ν.Δ. Υλίκης.....	118
7.3.1.2	Γεωτρήσεις Ταξιαρχών.....	120
7.3.2	Γεωτρήσεις μέσου ρου Βοιωτικού Κηφισού .....	122
7.3.2.1	Γεωτρήσεις Βασιλικών – Παρορίου .....	122
7.3.3	Γεωτρήσεις Β.Α. Πάρνηθας .....	125
7.3.3.1	Γεωτρήσεις Νο 3.....	125
7.3.3.2	Γεωτρήσεις Μαυροσουβάλας .....	127
7.3.3.3	10 <sup>ου</sup> Σίφωνα .....	130
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	132

8.1	Εισαγωγή .....	132
8.2	Συμπεράσματα .....	132
8.2.1	Αντλιοστάσια .....	132
8.2.1.1	Σενάρια μείωσης της ειδικής ενέργειας .....	132
8.2.1.2	Σενάρια αύξησης της ειδικής ενέργειας .....	133
8.2.2	Γεωτρήσεις .....	134
8.2.3	Ενεργειακή κατανάλωση .....	135
8.2.4	Σενάρια λειτουργίας υδροσυστήματος .....	135
8.3	Προτάσεις .....	136
9.	BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....	138

## **ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ**

Διάγραμμα 7.1: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τα σενάρια B1, B2 και B3 .....	72
Διάγραμμα 7.2: Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας για τα αντλιοστάσια του υδραγωγείου Υλίκης (Σενάρια B1, B2 & B3) .....	75
Διάγραμμα 7.3: Μέση ετήσια κατανάλωση από γεωτρήσεις στα σενάρια B1, B2 και B3 .....	76
Διάγραμμα 7.4: Μέση ετήσια απώληση από υδραγωγείο Μόρνου (σε hm <sup>3</sup> ) για τα σενάρια B1, B2 και B3 .....	76
Διάγραμμα 7.5: Μέση ετήσια απώληση από υδραγωγείο Υλίκης (σε hm <sup>3</sup> ) για τα σενάρια B1, B2 και B3 .....	78
Διάγραμμα 7.6: Μέσες απώλειες λόγω διαφυγών ταμιευτήρων (σε hm <sup>3</sup> ) για τα σενάρια B1, B2 και B3 .....	79
Διάγραμμα 7.7: Μέση ετήσια απώληση από γεωτρήσεις (σε hm <sup>3</sup> ) για τα σενάρια B1, B2 και B3 .....	80
Διάγραμμα 7.8: Μέσες απώλειες λόγω υπερχειλίσης (σε hm <sup>3</sup> ) για τα σενάρια B1, B2 και B3 .....	81
Διάγραμμα 7.9: Μέσες απώλειες λόγω διαρροών υδραγωγείων (σε hm <sup>3</sup> ) για τα σενάρια B1, B2 και B3 .....	83
Διάγραμμα 7.10: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Κρεμμίδα-Κλειδί .....	84
Διάγραμμα 7.11: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Κρεμμίδα-Κλειδί .....	84



Διάγραμμα 7.12: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Ενωτικό (ανάστρ.)	87
Διάγραμμα 7.13: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Ενωτικό (ανάστρ.).....	87
Διάγραμμα 7.14: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Βίλιζα-No10 .....	89
Διάγραμμα 7.15: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Βίλιζα-No10 .....	90
Διάγραμμα 7.16: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Κιούρκα-Δυλιστήρια .....	92
Διάγραμμα 7.17: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Κιούρκα-Δυλιστήρια .....	93
Διάγραμμα 7.18: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Κιούρκα-Μενίδι ...	94
Διάγραμμα 7.19: Μέση κατανάλωσης ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Κιούρκα-Μενίδι.....	94
Διάγραμμα 7.20: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Νο3-Φρέαρ Α (αντ) .....	97
Διάγραμμα 7.21: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Νο3-Φρέαρ Α (αντ).....	97
Διάγραμμα 7.22: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Νο4-Φρέαρ Α (αντ) .....	99
Διάγραμμα 7.23: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Νο4-Φρέαρ Α (αντ).....	100
Διάγραμμα 7.24: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Σίφων Βίλιζας (αντ) .....	102
Διάγραμμα 7.25: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Σίφων Βίλιζας (αντ).....	102
Διάγραμμα 7.26: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Φ900 .....	103
Διάγραμμα 7.27: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Φ900 .....	104
Διάγραμμα 7.28: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Φ900 (αντ).....	106
Διάγραμμα 7.29: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Φ900 (αντ)	106
Διάγραμμα 7.30: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Χελιδονού-Μενίδι (αντ).....	108
Διάγραμμα 7.31: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Χελιδονού-Μενίδι (αντ).....	108

Διάγραμμα 7.32: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Υλίκη (Χωρίς Πλωτά) .....	110
Διάγραμμα 7.33: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Υλίκη (Χωρίς Πλωτά) .....	111
Διάγραμμα 7.34: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Υλίκη (Με πλωτά) .....	113
Διάγραμμα 7.35: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Υλίκη (Με πλωτά) .....	113
Διάγραμμα 7.36: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο ΑΔ1-ΑΔ2-ΑΔ3...	116
Διάγραμμα 7.37: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο ΑΔ1-ΑΔ2-ΑΔ3 .....	116
Διάγραμμα 7.38: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για τις γεωτρήσεις Ούγγρων - ΝΔ Υλίκης .....	118
Διάγραμμα 7.39: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τις γεωτρήσεις Ούγγρων - ΝΔ Υλίκης .....	118
Διάγραμμα 7.40: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για τις γεωτρήσεις Ταξιαρχών .....	120
Διάγραμμα 7.41: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τις γεωτρήσεις Ταξιαρχών ..	121
Διάγραμμα 7.42: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για τις γεωτρήσεις Βασιλικών – Παρορίου .....	122
Διάγραμμα 7.43: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τις γεωτρήσεις Βασιλικών – Παρορίου .....	123
Διάγραμμα 7.44: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για τις γεωτρήσεις Νο 3 .....	125
Διάγραμμα 7.45: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τις γεωτρήσεις Νο 3 .....	125
Διάγραμμα 7.46: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για τις γεωτρήσεις Μαυροσουβάλας ...	127
Διάγραμμα 7.47: Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τις γεωτρήσεις Μαυροσουβάλας .....	128
Διάγραμμα 7.48: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για τις γεωτρήσεις 10ου Σίφωνα .....	130
Διάγραμμα 7.49: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τις γεωτρήσεις 10ου Σίφωνα .....	130

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1: Επιφανειακοί υδατικοί πόροι (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009) .....	21
Πίνακας 3.2: Υπόγειοι υδατικοί πόροι (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009).....	21
Πίνακας 3.3: Μέσες και μέγιστες ετήσιες υδρευτικές απολήψεις από τους ταμιευτήρες καθ' όλη την περίοδο λειτουργίας τους (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009) .....	22
Πίνακας 3.4: Χαρακτηριστικά μεγέθη ταμιευτήρων (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009) .....	22
Πίνακας 3.5: Ομάδες γεωτρήσεων (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009).....	23
Πίνακας 3.6: Χαρακτηριστικά υδραγωγείων <sup>(1)</sup> (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009).....	24
Πίνακας 3.7: Χαρακτηριστικά αντλιοστασίων (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009) .....	26
Πίνακας 3.8: Εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού και χαρακτηριστικά τους μεγέθη (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009) .....	27
Πίνακας 3.9: Μικρά υδροηλεκτρικά έργα (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009) .....	29
Πίνακας 4.1: Στόχοι του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας .....	46
Πίνακας 6.1: Έργα στο δίκτυο εξωτερικών υδραγωγείων της ΕΥΔΑΠ και η εκτιμώμενη επίδραση τους στο μοντέλο του υδροσυστήματος (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009).....	60
Πίνακας 6.2: Τιμές ειδικής ενέργειας των αντλιοστασίων (σε GWh/hm <sup>4</sup> ) για τα σενάρια B1, B2 και B3 .....	62
Πίνακας 6.3: Τιμές ειδικής ενέργειας των γεωτρήσεων (σε kWh/m <sup>3</sup> ) για τα σενάρια B1, B2 και B3 .....	63
Πίνακας 7.1: Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τα αντλιοστάσια της Υλίκης (σενάριο B1).....	74
Πίνακας 7.2: Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τα αντλιοστάσια της Υλίκης (σενάριο B2).....	74
Πίνακας 7.3: Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τα αντλιοστάσια της Υλίκης- (σενάριο B3).....	74

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Στάδια ενός τυπικού κύκλου χρήσης νερού που περιλαμβάνουν κατανάλωση ενέργειας (Πηγή: Wolf <i>et al.</i> , 2004).....	7
Εικόνα 2.2: Αναλυτική σχηματική αναπαράσταση ενός τυπικού κύκλου χρήσης νερού.....	8
Εικόνα 2.3: Παράδειγμα εφαρμογής ενεργειακά αποδοτικότερων τεχνολογιών σε σύστημα άντλησης (Πηγή Keulenar <i>et.al.</i> , 2004) .....	11
Εικόνα 2.4: Προτεραιότητες κατά την αγορά νέας αντλίας (Πηγή: European Commission, 2001).....	17
Εικόνα 2.5: Παράδειγμα του κόστους κύκλου ζωής για αντλία .....	17
Εικόνα 4.1: Σχηματική απεικόνιση του υδροδοτικού συστήματος της ΕΥΔΑΠ και χαρακτηριστικά μεγέθη (έκταση και μέση ετήσια εισροή των λεκανών απορροής, μέγιστη στάθμη ελάχιστη στάθμη και ωφέλιμη χωρητικότητα ταμιευτήρων, παροχετευτικότητα αγωγών).....	30
Εικόνα 4.2: Γενική διάταξη και συνιστώσες ΣΥΑ (Πηγή Ευστρατιάδης κ.ά., 2007β) .....	35
Εικόνα 4.3: Μεθοδολογικό σχήμα παραμετροποίηση-προσομοίωση-βελτιστοποίηση εφαρμοσμένο στον έλεγχο ενός υδροσυστήματος (Πηγή: Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2004).....	36
Εικόνα 4.4: Γραφική απεικόνιση παραμετρικών κανόνων λειτουργίας ταμιευτήρων.....	39
Εικόνα 4.5: Παράδειγμα πρόγνωσης μηνιαίας πιθανότητας αστοχίας στόχου.....	39
Εικόνα 4.6: Παράδειγμα αποτελεσμάτων υδατικού ισοζυγίου ταμιευτήρων .....	40
Εικόνα 4.7: Παράδειγμα καμπυλών πρόγνωσης αποθέματος για διάφορες πιθανότητες υπέρβασης .....	40
Εικόνα 4.8: Σχηματική παράσταση του υφιστάμενου μοντέλου του υδροσυστήματος, όπως απεικονίζεται στο γραφικό περιβάλλον του Υδρονομέα .....	43
Εικόνα 5.1: ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ - Φόρμα δεδομένων αντλιοστασίου για τον ορισμό συντελεστή ειδικής ενέργειας συναρτήσε του ύψους πτώσης.....	48
Εικόνα 5.2: ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ-Φόρμα εισαγωγής δεδομένων γεώτρησης .....	49
Εικόνα 5.3: ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ-Φόρμα δεδομένων υδραγωγείου για την εισαγωγή οικονομικών στοιχείων .....	52
Εικόνα 6.1: ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ-Φόρμα εισαγωγής επιλογών προσομοίωσης.....	63

Εικόνα 6.2: ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ- Φόρμα εισαγωγής επιλογών βελτιστοποίησης.....	66
Εικόνα 6.3: ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ-Γράφημα του δείκτη επίδοσης .....	67
Εικόνα 6.4: ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ-Παράδειγμα αποτελεσμάτων ενεργειακού ισοζυγίου .....	68

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Τα συστήματα παροχής νερού καταναλώνουν το 2%-3% της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης, ενώ το 90% -95% αυτής της κατανάλωσης σχετίζεται με την άντληση νερού. Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας είναι ιδιαίτερα σύνθετο, παρουσιάζει υψηλή ενεργειακή κατανάλωση εξαιτίας της χρήσης των αντλιοστασίων του υδραγωγείου Υλίκης και των γεωτρήσεων και αποτελεί ιδανικό πεδίο εφαρμογής επεμβάσεων βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας.

Φορέας διαχείρισης του συστήματος είναι η ΕΥΔΑΠ η οποία λειτουργεί με ιδιωτικοοικονομικά κριτήρια. Η ΕΥΔΑΠ από το 2000 έχει υιοθετήσει ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος. Πυρήνας του ΣΥΑ είναι το λογισμικό Υδρονομέας, ένα εξελιγμένο μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης συστημάτων υδατικών πόρων που διαθέτει δυνατότητες ενσωμάτωσης οικονομικών και ενεργειακών κριτηρίων διαχείρισης. Μέχρι σήμερα το λειτουργικό κόστος του συστήματος αποτιμάται σε όρους μέσης ενεργειακής κατανάλωσης σε ετήσια βάση, ενώ το μοναδικό κόστος που ενσωματώνεται είναι το κόστος άντλησης εκφρασμένο σε μονάδες ειδικής ενέργειας ( $\text{kWh/m}^3$ ).

Με στόχο να προσδιορίσουμε –ποσοτικά και ποιοτικά- την επίδραση της ειδικής ενέργειας στην ενεργοποίηση των αντλιοστασίων και των γεωτρήσεων, διαμορφώσαμε τρία βασικά σενάρια λειτουργίας των υδραγωγείων ώστε να εκφράζουν διαφορετικές συνθήκες αποδοτικότητας του συστήματος. Τα σενάρια αυτά στη συνέχεια βελτιστοποιήθηκαν με τη χρήση του Υδρονομέα και κριτήρια βελτιστοποίησης αποτέλεσαν η πιθανότητα αστοχίας του στόχου ύδρευσης και η ενεργειακή κατανάλωση.

Τα αντλιοστάσια Βίλιζα-Νο10, Κρεμμάδα-Κλειδί, Νο3-Φρέαρ Α και Κιούρκα-Μενίδι αποτελούν τις πιο υποσχόμενες περιπτώσεις για την εφαρμογή ενεργειακών επεμβάσεων. Για αύξηση της ειδικής ενέργειας η πιθανότητα ενεργοποίησης μετά από μια αρχική μείωση - ως αντιστάθμισμα στην αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης- σταθεροποιείται. Περαιτέρω μείωση της πιθανότητας δεν είναι εφικτή, γιατί η λειτουργία των αντλιοστασίων είναι απαραίτητη για την κάλυψη της ζήτησης. Η ενεργοποίηση των γεωτρήσεων δεν παρουσιάζει ευαισθησία ως προς την ειδική ενέργεια, καθώς η λειτουργία τους καθορίζεται άμεσα από το τρέχον επιφανειακό απόθεμα του συστήματος. Τέλος, η αποκατάσταση της αμφίδρομης λειτουργίας του ενωτικού υδραγωγείου θα συμβάλει στον περιορισμό των αντλήσεων κατά μήκος του υδραγωγείου Υλίκης, στη μείωση των απωλειών του συστήματος και στην πιο αξιόπιστη λειτουργία του.

## **EXTENDED ABSTRACT**

### **Introduction**

Water supply systems are responsible for 2-3% of the world's energy consumption. Energy inputs to water systems are primarily in the form of electricity for extracting and pumping water. Therefore efficient energy management is important for water companies to meet economic and environmental targets. The water supply system of Athens is an extended, complex and highly energy intensive hydrosystem and consists an ideal field to implement energy efficiency measures.

The scope of this postgraduate thesis is to analyze the energy aspect of management in this hydrosystem. The main goal is to assess the influence of specific energy in the activation (operation) of pumping stations and boreholes.

### **Thesis outline**

The thesis is organized in eight sections:

- Chapter 1: Introduction
- Chapter 2: Facts about energy consumption in water companies, the term of energy efficiency and summary of most promising areas for intervention within water supply systems.
- Chapter 3: Brief description of the water supply system of Athens.
- Chapter 4: Brief description of the decision support system for the management of the Athens water resources system.
- Chapter 5: Description of major economic and energy aspects that management policy takes into account.
- Chapter 6: Analysis of methodology and description of examined scenarios.
- Chapter 7: Analysis of the results for optimized scenarios.
- Chapter 8: Conclusions and suggestions for future research

### **A short description of the Athens water supply system**

The Athens water supply system is a particularly large and complex hydrosystem that extends over an area of around 4000 km<sup>2</sup> and includes surface as well as groundwater resources. It

incorporates four reservoirs, 350 km of main aqueducts, 15 pumping stations, 100 boreholes and four water treatment plants (WTP). The system is run by the Athens Water Supply and Sewerage Company (EYDAP).

The system's main objective is to provide water to the Greater Athens area through the WTP, which lie in the surroundings of Athens. In addition, the water resource system provides water for irrigation, water supply of nearby towns and also environmental preservation ( $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ ) downstream of the Evinos dam.

## **Management of Athens water supply system**

Optimizing the management of Athens water supply system is a real challenge. In fact the system must provide water of sufficient quantity and high quality for about 4 million people who live throughout the Greater Athens area. Moreover, from 2000 EYDAP has operated under a new status and has to make decisions under free-market criteria. Therefore, the management policy has to effectively accomplish the objectives of sustainability, reliability and economy.

To derive optimal management policy, EYDAP since 2000 has used a decision support system for the management of the hydrosystem. The main target of management policy is to optimize annual average failure probability and total energy consumption. The adopted reliability level was set to 99% on an annual basis (only one failure of the system to meet the target is allowed in 100 years), a value that provides a high level of safety. Pumping costs are related to the use of boreholes and pumping stations along the Yliki aqueduct.

The core of the DSS is *Hydronomeas*, the module performing the system simulation and optimization. The basic characteristics of *Hydronomeas* is that provides all results in probabilistic terms and incorporates all natural, operational, environmental, economic and administrative aspects of water resources management.

## **Economy and energy aspects of management policy**

The operational cost is estimated in terms of mean energy consumption on an annual basis. So far operational costs have been incorporated into the model in the form of specific energy values (consumed energy at pumping stations and boreholes per discharge unit). The



conveyance cost is introduced in terms of energy consumption ( $\text{GWh}/\text{hm}^4$  for pumps and  $\text{kWh}/\text{m}^3$  for boreholes)

The estimation of specific energy is based on the analysis of the available historical data, concerning both discharge and energy consumption data. Although this is the most important economic issue, several other issues could be introduced (e.g. activation of backup resources, maintenance costs of pumping stations), in order to provide better approach for the total operational cost.

## **Description of the examined scenarios**

In the framework of the 2008-2009 Master Plan of the Athens water supply system three basic scenarios were studied. These scenarios aimed at evaluating the real potential of the system and finding the suitable policy which, ensuring a 99% reliability level maximizes the system release, and also keeping the total pumping energy as low as possible.

The first scenario (Scenario B1) refers to the actual present configuration of the system whereas the other scenarios (Scenario B2 & Scenario B2) refer to a future configuration, after the implementation of a number of projected works. In the second scenario leakages were considered reduced by 50%. In the third scenario restore of the interconnection between Mornos and Yliki aqueducts was considered. For each one of the aforementioned scenarios specific energy was increased by 25%, 50%, 75%, 100% and reduced by 25%, 50%, 75%.

Optimization was based on steady state simulations with synthetic inflow series of 2000 years length, which were generated through the stochastic simulator Castalia taking into account phenomena of persistent droughts. A particular management policy was considered for groundwater resources, which are regarded as backup resources. Two thresholds were imposed, the upper one to forbid the usage of groundwater if the active shortage of the system is more than 40% of the total active capacity, and the lower one to enforce their usage if the storage is less than 25% of the capacity. Between these thresholds, the usage of groundwater depends on economic criteria. For all scenarios the objective was the minimization of the average operating cost, by keeping the reliability level up to 99%.

For the purpose of this thesis, we considered that operation of pumps and boreholes is described by mean activation probability. Mean activation probability is calculated by dividing the number of months where energy consumption was nonzero to the number of simulated years.

## Conclusions

When the specific energy is increased at the pumps, the mean activation probability is initially reduced and then remains steady at that value. Therefore a minimum limit of operation for the pumps is needed for the system in order to meet the desirable target of reliability. The initial decrease of probability works as a counterbalance to the increasing energy consumption

Decreasing specific energy has significant impact in the operation of the following pumping stations: Kremmada-Kleidi, Kioyrk-Menidi, Viliza-No10 and No3-Frear A. The most promising pumping station for intervention is Viliza-No10. The mean activation probability of pump No3-Frear A in this case depends mainly on economic criteria.

On the other hand mean activation probability of boreholes displays a small range of values and the change of energy doesn't appear to affect the activation of boreholes. The mean activation probability is augmented only by a small percentage when specific energy is changed. Furthermore, the activation of the boreholes depends on the management policy that was considered for the groundwater resources.

The elimination of water losses due to leakage along the Mornos aqueduct (according to Scenario B2) doesn't contribute much in energy savings. The mean energy consumption along the Yliki aqueduct due to pumping water will be reduced about 35 GWh on annual basis due to the implementation of the projected works, as more water would be transferred via gravity. Moreover the mean energy consumption (Scenario B3) is increased due to the intense exploitation of groundwater resources and increasing activation of pumping stations along Marathon aqueduct.

Finally the analysis that was conducted in this thesis can be useful in implementing energy efficiency measures in the Athens water supply system in order to quantify possible energy savings.

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Αντικείμενο της εργασίας

**Α**ντικείμενο της εργασίας είναι η διερεύνηση της ενεργειακής συνιστώσας στην διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας και ειδικότερα ο προσδιορισμός της ποιοτικής και ποσοτικής επίδρασης της ειδικής ενέργειας στην πιθανότητα ενεργοποίησης και την ενεργειακή κατανάλωση των αντλιοστασίων και των γεωτρήσεων του συστήματος.

Αφετηρία και βάση της εργασίας αποτέλεσε το σχέδιο διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας (μοντέλα, δεδομένα, θεωρία) και το λογισμικό Υδρονομέας. Διαμορφώνοντας τα τρία βασικά σενάρια λειτουργίας των υδραγωγείων διερευνήθηκε -με χρήση ανάλυση ευαισθησίας- η επίδραση της ειδικής ενέργειας στην ενεργοποίηση των αντλιοστασίων και των γεωτρήσεων. Για την κατανόηση της ενεργειακής συμπεριφοράς των συνιστωσών του συστήματος, μελετήθηκε συγχρόνως και η εξέλιξη της ενεργειακής τους κατανάλωσης για τα διάφορα σενάρια μεταβολών της ειδικής ενέργειας. Τέλος αναλύθηκε η επίδραση που θα έχει η υλοποίηση μελλοντικών επεμβάσεων που προβλέπονται στα σενάρια λειτουργίας σε βασικά μεγέθη του συστήματος (απώλειες, απολήψεις, ενεργειακή κατανάλωση) και στο βαθμό ενεργοποίησης των αντλιοστασίων και των γεωτρήσεων.

Βασικός στόχος της εργασίας είναι να εντοπίσουμε τα στοιχεία εκείνα που προσφέρουν τις μεγαλύτερες δυνατότητες για εξοικονόμηση ενέργειας και επομένως είναι ιδανικά για την εφαρμογή επεμβάσεων αύξησης της ενεργειακής τους απόδοσης. Παράλληλα θα μπορέσουμε να εντοπίσουμε τις συνιστώσες που θα επηρεαστούν περισσότερο σε περίπτωση μείωση της αποδοτικότητας του συστήματος και να προβλέψουμε τη συμπεριφορά του συστήματος υπό καθεστώς αβεβαιότητας ως προς την αποδοτικότητά του.

### 1.2 Διάρθρωση της εργασίας

Η εργασία περιλαμβάνει, εκτός από την παρούσα εισαγωγή (Κεφάλαιο 1), άλλα έξι Κεφάλαια.

Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφεται η έννοια της ενεργειακής εξοικονόμησης, παρουσιάζονται στοιχεία για τη συνιστώσα της ενέργειας στα συστήματα παροχής νερού και περιγράφονται συνοπτικά βασικοί άξονες επεμβάσεων με στόχο την ενεργειακή εξοικονόμηση.

Στο Κεφάλαιο 3 πραγματοποιείται μια γενική περιγραφή του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας που αποτελεί και την περιοχή της μελέτης της εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι βασικές παράμετροι διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων που χρησιμοποιεί ο φορέας διαχείρισης και τα κυριότερα στοιχεία του μοντέλου του υδροσυστήματος.

Στο Κεφάλαιο 5 αναλύονται βασικές οικονομικές και ενεργειακές παράμετροι που ενσωματώνονται στο διαχειριστικό σχέδιο του υδροσυστήματος, ενώ τονίζονται και οι βασικές του ελλείψεις.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα σενάρια που διαμορφώθηκαν για την διερεύνηση της ενεργειακής συνιστώσας της διαχείρισης, το υπόβαθρο τους και περιγράφονται τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας.

Στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του μοντέλου Υδρονομέα.

Στο Κεφάλαιο 8 παρουσιάζονται τα κυριότερα συμπεράσματα της εργασίας και διατυπώνονται ορισμένες προτάσεις για αξιοποίηση των αποτελεσμάτων σε μελλοντικές έρευνες.

## 2 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ<sup>1</sup>

### 2.1 Η άρρηκτη σχέση νερού και ενέργειας

**T**ο νερό και ενέργεια είναι στοιχεία έντονα αλληλεξαρτώμενα. Χρησιμοποιούμε νερό είτε άμεσα για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας είτε έμμεσα ως νερό ψύξης στα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια. Ενέργεια χρησιμοποιείται για την άντληση, τη μεταφορά, την επεξεργασία και τη διανομή του νερού, για τη μεταφορά και επεξεργασία των λυμάτων, καθώς και για τη λειτουργία των οργανισμών ύδρευσης και αποχέτευσης.

Παρά την ξεκάθαρη σύνδεση τους, ιστορικά οι δύο αυτοί τομείς ρυθμίζονται και διαχειρίζονται ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλον. Παραδοσιακά ο σχεδιασμός για την παροχή ενέργειας έδινε ελάχιστη προσοχή σε θέματα παροχής νερού, ενώ και ο σχεδιασμός για την παροχή νερού συχνά αγνοούσε να λάβει σοβαρά υπόψη τις ενεργειακές απαιτήσεις του συστήματος (Stillwell *et.al.*, 2009).

Η αποτυχία να συνδυάσουμε την ενέργεια και το νερό κάνει αδύναμο και ελλιπή οποιοδήποτε σχεδιασμό, αφού περιορισμοί στην παραγωγή ενέργειας εισάγουν περιορισμούς στην παροχή νερού και αντίστροφα. Π.χ. ξηρασίες περιορίζουν την ποσότητα του νερού θέτοντας περιορισμούς στην παραγωγή ενέργειας, ενώ αστοχίες στο σύστημα ενέργειας μπορούν να εμποδίσουν τη μεταφορά ή την άντληση του νερού προς τον τελικό καταναλωτή.

Ταυτόχρονα νερό και ενέργεια είναι άμεσα συνδεδεμένα με άλλα κρίσιμα παγκόσμια θέματα, όπως η ενεργειακή ασφάλεια και η θεωρία περί κλιματικής αλλαγής. Στο άμεσο μέλλον αναμένονται οι πιέσεις από αυτούς τους παράγοντες να θέσουν περιορισμούς στην παροχή νερού και ενέργειας. Η διαχείριση των συστημάτων με όρους ενεργειακής αποδοτικότητας είναι σήμερα καθοριστικής σημασίας για την μείωση της εξάρτησης από τις παραδοσιακές μορφές ενέργειας και για την επίτευξη των νέων αυστηρότερων περιβαλλοντικών στόχων.

### 2.2 Η έννοια της ενεργειακής αποδοτικότητας

Για τον προσδιορισμό της ενεργειακής αποδοτικότητας (*energy efficiency*) δεν υπάρχει ένας ευρέως διαδεδομένος ορισμός. Από μια τεχνική οπτική, αύξηση στην ενεργειακή

---

<sup>1</sup>Ως *υδροσύστημα* (hydrosystem) ορίζεται ένα σύστημα αποτελούμενο από φυσικά υδάτινα σώματα και τεχνικά έργα, που συνεργαζόμενα εξυπηρετούν έναν ή περισσότερους σκοπούς, που αναφέρονται τόσο στην αξιοποίηση του νερού ως φυσικού πόρου, όσο και στην προστασία από την καταστροφική δράση του ως φυσικού κινδύνου (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999, σ.4).

αποδοτικότητα θεωρούμε ότι πραγματοποιείται είτε όταν έχουμε μείωση της απαιτούμενης ενέργειας για ένα δεδομένο επίπεδο εξυπηρέτησης είτε όταν αυξάνεται το επίπεδο εξυπηρέτησης για δεδομένη ενεργειακή κατανάλωση (EIA, 1995).

Μέχρι το 1970 η οικονομική ανάπτυξη ήταν άμεσα συνδεδεμένη με τη χρήση της ενέργειας. Έπειτα όμως από την πετρελαϊκή κρίση στη δεκαετία του 1970 και στις αρχές του 1980 ξεκίνησε η εφαρμογή της ενεργειακής αποδοτικότητας για να αντιμετωπιστούν οι επιπτώσεις της κρίσης στην οικονομική ανάπτυξη. Η πρόοδος στον τομέα της ενεργειακής αποδοτικότητας έχει συνεισφέρει περισσότερο στην οικονομική ανάπτυξη σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη μορφή παραγόμενης ενέργειας. Παρόλα αυτά χρησιμοποιείται σαν προσωρινή λύση και δεν τίθεται ποτέ σε υψηλή προτεραιότητα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι για να επιτύχουμε μια μεγάλης κλίμακας βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας απαιτούνται πάρα πολλές μικρές αποφάσεις ([http://www.eceee.org/why\\_energy\\_efficiency/](http://www.eceee.org/why_energy_efficiency/)).

Τέλος όπως σωστά επισημαίνεται από Andris Piebalgs, πρώην Ευρωπαϊκός Επίτροπος σε θέματα ενέργειας, *η φθηνότερη, πιο ανταγωνιστική, η πιο φιλική στο περιβάλλον και η πιο ασφαλής μορφή ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι αυτή που εξοικονομείται.*

### 2.3 Η στροφή προς μια ενεργειακά αποδοτικότερη πολιτική

Η συνεχής αύξηση των τιμών του πετρελαίου είναι ίσως η προφανής αιτία για την στροφή προς περισσότερο ενεργειακά αποδοτικές πολιτικές. Η εκτίναξη των τιμών του πετρελαίου τη δεκαετία του 1970, έφερε το τέλος της φτηνής ενέργειας, ιδιαίτερα για τις αναπτυσσόμενες χώρες (Swisher *et al.*, 1997). Η συνεχιζόμενη αστάθεια στην αγορά της ενέργειας τις επόμενες δεκαετίες γέννησε την ανάγκη για ανάπτυξη μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας στη διαχείριση των δικτύων. Με το ενεργειακό κόστος να αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό ποσοστό του λειτουργικού κόστους, η εφαρμογή μεθόδων ενεργειακής εξοικονόμησης αποτελεί ουσιαστικά μονόδρομο ώστε οι οργανισμοί ύδρευσης να εξασφαλίσουν όχι μόνο υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης αλλά και την ίδια τη βιωσιμότητα τους.

Συγχρόνως έχουμε την εισαγωγή των εννοιών της ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων και της βιώσιμης διαχείρισης, ενώ η νέα φιλοσοφία της ολιστικής προσέγγισης οδήγησε στην ενσωμάτωση τεχνικών, οικονομικών, ενεργειακών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών παραμέτρων στη διαχείριση των συστημάτων.

Ωστόσο η συνεχώς αυξανόμενη συζήτηση σε παγκόσμιο επίπεδο σχετικά με την κλιματική αλλαγή και το φαινόμενο του θερμοκηπίου ήταν αυτή που έφερε στο προσκήνιο το θέμα της αλλαγής στην ενεργειακή συμπεριφορά των πολιτών. Η συζήτηση για την κλιματική αλλαγή

σε συνδυασμό με την άνθηση του περιβαλλοντικού κινήματος οδήγησε τελικά ανάπτυξη ενός είδους «ενεργειακής συνείδησης».

Τέλος τα συστήματα με την αστικοποίηση, την αύξηση των υδατικών αναγκών και την εισαγωγή στη διαχείριση τους οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών κριτηρίων με έντονα ανταγωνιστική φύση, εξελίσσονται σε συστήματα πολύπλοκα, σύνθετα και δυναμικά. Σε τελική ανάλυση μετατρέπουν το πρόβλημα της βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας των συστημάτων σε ένα ζήτημα αιχμής για τον σημερινό ερευνητή-μηχανικό, υψηλής προτεραιότητας για την κοινωνία και με έντονη πρακτική χρησιμότητα.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση ήδη αναγνωρίζει ότι βρίσκεται σε μία κρίσιμη καμπή για να καθορίσει το ενεργειακό της μέλλον. Οι αυξανόμενες τιμές του πετρελαίου και του φυσικού αερίου εγείρουν απειλές στην ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης, αφού σε μεγάλο βαθμό καλύπτει τις ενεργειακές της ανάγκες με εισαγωγή ενέργειας. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης υιοθετείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση ως ο πιο άμεσος, φθηνότερος και ταχύτερος τρόπος για να ξεπεράσει αυτή την πρόκληση και να την μετατρέψει σε ευκαιρία. Με τις υφιστάμενες τεχνολογίες, η εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 30%, είναι εφικτή, ενώ με την εφαρμογή βελτιωμένων τεχνολογιών μπορεί να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου περίπου 20%. Ωστόσο τα περισσότερα από τα κράτη μέλη δεν εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες που υπάρχουν και δεν εφαρμόζουν τα μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας (Energy Efficiency Watch, 2009).

Η Ευρώπη με σκοπό να μειώσει την εξάρτηση της από το εισαγόμενο πετρέλαιο και φυσικό αέριο και να εξοικονομήσει 100 δισεκατομμύρια ευρώ σε ετήσια βάση, έχει ξεκινήσει ένα φιλόδοξο σχέδιο για περιορισμό κατά 20% της ενεργειακής κατανάλωσης ως το 2020. Εφόσον στεφθεί με επιτυχία το σχέδιο, θα αποφευχθεί η έκλυση  $780 \times 10^9$  kg CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα, ποσότητα διπλάσια από αυτή που έχει συμφωνήσει η Ευρωπαϊκή Ένωση με βάση το πρωτόκολλο του Κιότο (<http://www.euractiv.com/en/energy-efficiency/energy-efficiency-eu-action-plan/article-143199>)

Τα μέλη της Ένωσης χρηματοδοτούν το έργο Energy Efficiency Watch Project (EEW), το οποίο έχει σκοπό να προωθήσει τις πρακτικές σωστής ενεργειακής διαχείρισης, να μελετήσει τις στρατηγικές των κρατών-μελών στον τομέα αυτό και να επισημαίνει τις ενέργειες, τα εργαλεία και πολιτικές που είναι απαραίτητες για να κινηθούν προς τη σωστή κατεύθυνση. Το EEW έχει ως τελικό σκοπό να συνεισφέρει στην επίτευξη των στόχων που έθεσε η Ευρωπαϊκή Ένωση για το 2020 (20% εξοικονόμηση ενέργειας, 20% ενέργεια από ανανεώσιμες, 20% μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου) και στην αύξηση της

ευαισθητοποίησης στο θέμα της ενεργειακής αποδοτικότητας (Energy Efficiency Watch, 2009).

Στις ΗΠΑ πολλές πολιτείες έχουν αναγνωρίσει την ανάγκη για βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, η οποία θεωρείται και το μοναδικό αποτελεσματικό μέσο για τον περιορισμό της ενεργειακής κατανάλωσης και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Harrington *et al.*, 2007). Η πολιτεία της Καλιφόρνια, που διαθέτει ένα από τα πιο ενεργοβόρα υδροδοτικά συστήματα της χώρας (Wilkinson, 2000), στο ενεργειακό σχέδιο που εκπόνησε το 2003 αναγνωρίζει ότι (State of California Energy Action Plan I, 2003): «*πρέπει να μειώσει την κατά κεφαλήν χρήση ηλεκτρικής ενέργειας μέσω αύξησης της ενεργειακής εξοικονόμησης*».

Στην Ελλάδα, η ΕΥΔΑΠ διαχειρίζεται το σημαντικότερο υδροδοτικό σύστημα της χώρας το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλή ενεργειακή κατανάλωση. Μέσα στη συνολική της στρατηγική ως εταιρεία, η ΕΥΔΑΠ αναγνωρίζει ότι : «*η ορθολογική διαχείριση της ενέργειας είναι ουσιώδης για την επιβίωση του ανθρώπινου γένους, ειδικά τώρα περισσότερο από ποτέ*». Επίσης η ΕΥΔΑΠ, με στόχο αφενός να συμβάλλει στην εθνική προσπάθεια βελτιστοποίησης του ενεργειακού ισοζυγίου και αφετέρου να διευρύνει τις κερδοφόρες επιχειρησιακές της δραστηριότητες, ξεκίνησε ένα φιλόδοξο πρόγραμμα αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που διαθέτει και εξοικονόμησης ενέργειας σε όλες τις δραστηριότητες της. Για το σκοπό αυτό ιδρύθηκε το 2008 η νέα Διεύθυνση Ενέργειας της ΕΥΔΑΠ με στόχο : «*το σχεδιασμό της ενεργειακής πολιτικής της επιχείρησης και την ανάπτυξη νέων έργων παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ*» ([http://www.eydap.gr/index.asp?a\\_id=3](http://www.eydap.gr/index.asp?a_id=3)).

## 2.4 Η αλυσίδα του νερού και της ενέργειας μέσα στο υδrosύστημα

Κάθε βήμα που πραγματοποιείται μέσα στον κύκλο του συστήματος, από την εξαγωγή του νερού, τη μεταφορά του και την επεξεργασία του έως τη συλλογή των λυμάτων, την επεξεργασία τους και την τελική τους διάθεση, συνεισφέρει στην συνολική ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος.

Ειδικότερα μπορούν να θεωρήσουμε ότι κάθε κυβικό μέτρο που κυκλοφορεί μέσα στο σύστημα αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό ενεργειακό κόστος, μία -όχι αμελητέα- ενεργειακή κατανάλωση. Αυτή η ενσωματωμένη ενέργεια (*embodied energy*)<sup>2</sup>, μπορεί να οριστεί (Wilkinson, 2000) ως η *συνολική ποσότητα ενέργειας, υπολογισμένη στα πλαίσια του*

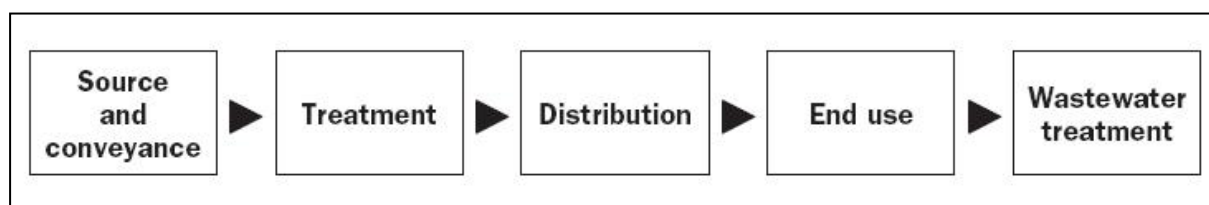
---

<sup>2</sup>Στη βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται επίσης οι όροι: *virtual energy*, *embedded energy* και *energy intensity* (Griffiths-Sattenspiel *et al.*, 2009)



συνολικού συστήματος, που απαιτείται για τη χρήση μιας δεδομένης ποσότητας νερού σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Ο υπολογισμός αυτός μπορεί να διαφέρει σημαντικά με βάση μία πληθώρα παραγόντων, από τους οποίους οι πιο σημαντικοί είναι ο τύπος και η ποιότητα του νερού, οι απαιτήσεις σε άντληση για τη μεταφορά του νερού στους τελικούς χρήστες, η απόδοση του συστήματος και η ενέργεια που καταναλώνεται από τον τελικό χρήστη (Griffiths-Sattenspiel *et al.*, 2009).

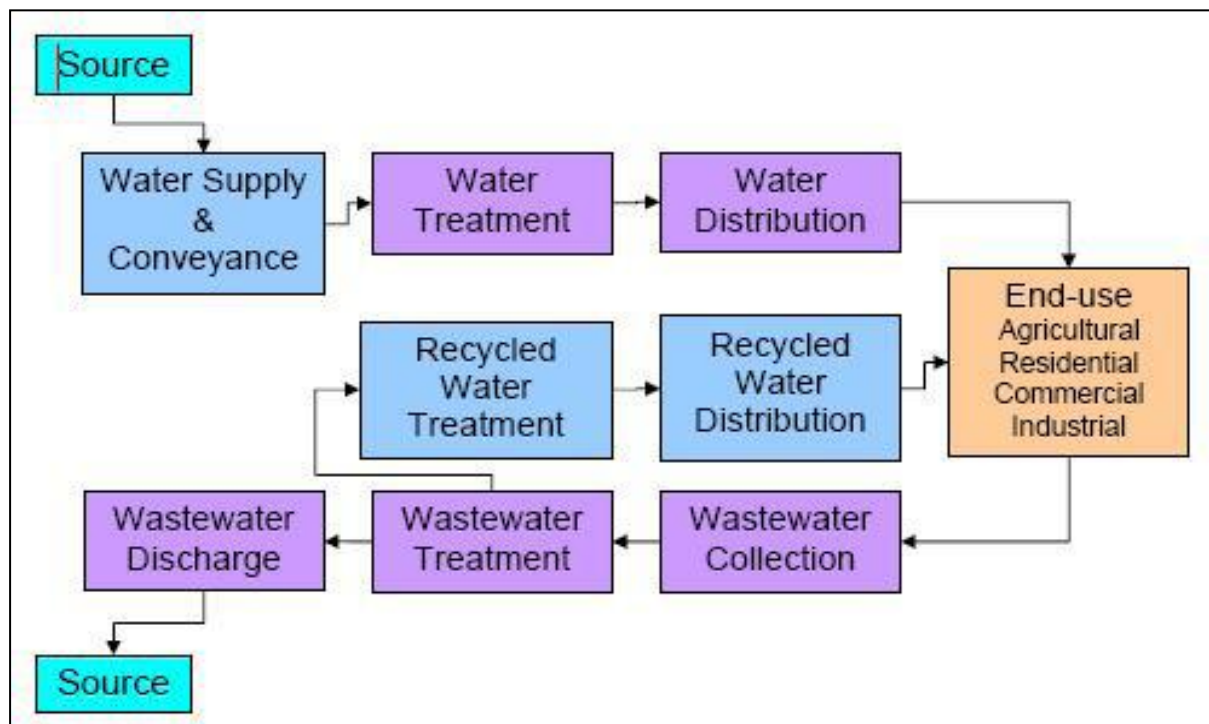
Ως μονάδα μέτρησης της ενσωματωμένης ενέργειας χρησιμοποιούμε κατά κύρια βάση τις kWh (*kilowatt-hours*) αφού η ηλεκτρική ενέργεια είναι η κυρίαρχη μορφή ενέργειας που χρησιμοποιείται στα συστήματα ύδρευσης και αποχέτευσης. Παρά το γεγονός πως και άλλες μορφές ενέργειας είναι συχνά διαθέσιμες, το 93% των συστημάτων παροχής νερού και το 86% των συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια σε ποσοστό 90% και 80% επί των λειτουργικών ενεργειακών δαπανών τους αντίστοιχα (Griffiths-Sattenspiel *et al.*, 2009).



Εικόνα 2.1: Στάδια ενός τυπικού κύκλου χρήσης νερού που περιλαμβάνουν κατανάλωση ενέργειας (Πηγή: Wolf *et al.*, 2004)

Τα πέντε στάδια του κύκλου χρήσης νερού (Εικόνα 2.1) μπορούν να αναλυθούν σε μικρότερα επιμέρους τμήματα για την αναλυτικότερη απεικόνιση της απαιτούμενης ενέργειας σε κάθε στάδιο. Μια αναλυτικότερη απεικόνιση του κύκλου χρήσης νερού δίνεται στην Εικόνα 2.2.

Η χρήση από τον τελικό καταναλωτή (π.χ. περαιτέρω καθαρισμός-επεξεργασία νερού ή θέρμανση του) είναι το μόνο στοιχείο που δεν συμπεριλαμβάνεται στην συνολική κατανάλωση ενέργειας του συστήματος. Επίσης σε έναν συνεχώς αυξανόμενο αριθμό συστημάτων έχει προστεθεί πλέον μία ακόμα παράμετρος της επαναχρησιμοποίησης του νερού μετά την επεξεργασία του.



Εικόνα 2.2: Αναλυτική σχηματική αναπαράσταση ενός τυπικού κύκλου χρήσης νερού (Πηγή: Wilkinson, 2000)

## 2.5 Υδροσυστήματα: Οι μεγάλοι ενεργειακοί καταναλωτές

Τα συστήματα παροχής νερού είναι υπεύθυνα για το 2%-3% της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης (ENERGAIA, 2004), ενώ γενικότερα η βιομηχανία του νερού στις αναπτυγμένες χώρες όπως η ΗΠΑ και η Μεγάλη Βρετανία χρησιμοποιεί περίπου το 3% της συνολικής ηλεκτρικής παραγωγής (Bunn & Reynolds, 2009).

Στις ΗΠΑ οι οργανισμοί ύδρευσης (~60000) και αποχέτευσης (~15000) συγκαταλέγονται μεταξύ των μεγαλύτερων ενεργειακών καταναλωτών της χώρας. Ένα ποσοστό 3%-4% της ενεργειακής κατανάλωσης σε εθνικό επίπεδο οφείλεται σε αντλήσεις για τη μεταφορά και επεξεργασία του νερού και την επεξεργασία των λυμάτων. (Electrical Power Research Institute, 2002). Το ποσοστό αυτό αντιστοιχεί σε μια καθαρή ετήσια κατανάλωση  $75 \times 10^9$  kWh και σε ένα ποσό της τάξης των 4 δισεκατομμυρίων δολαρίων (EPA, 2008), ενώ ισοδυναμεί με έκλυση  $53 \times 10^9$  kg CO<sub>2</sub> ετησίως (Natural Resources Defense Council, 2009). Συγκεκριμένα για την πολιτεία της Καλιφόρνια, ο τομέας του νερού καταναλώνει το 19% της συνολικής ηλεκτρικής παραγωγής της πολιτείας (Natural Resources Defense Council, 2009). Το 80% της ενεργειακής κατανάλωσης στους οργανισμούς ύδρευσης αφορά την επεξεργασία και μεταφορά του νερού (Electrical Power Research Institute, 2002), ενώ το 90%-95% της

ενέργειας που αγοράζει μια εταιρεία ύδρευσης καταναλώνεται για άντληση (γεωτρήσεις, επεξεργασία νερού και ωστικά αντλιοστάσια) (Bunn, 2009).

Στη Μεγάλη Βρετανία η βιομηχανία του νερού είναι υπεύθυνη για το 3% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, που αντιστοιχεί σε 4400 GWh ετησίως και κόστος 200 εκατομμυρίων λιρών. Η ενέργεια αυτή είναι υπεύθυνη για την έκλυση  $1,9 \times 10^9$  kg CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας καταναλώνεται για τη μεταφορά νερού από ποταμούς και για άντληση από υπόγειους υδροφορείς (26%) προς τις μονάδες επεξεργασίας νερού. Το 43% χρησιμοποιείται για την άντληση του επεξεργασμένου νερού από τις μονάδες στις διάφορες δεξαμενές αποθήκευσης, ώστε στη συνέχεια να διαμοιραστεί μέσω των δικτύων διανομής στους τελικούς χρήστες (Reynolds & Bunn, 2010).

Το ποσοστό ενέργειας που καταναλώνουν οι οργανισμοί παροχής νερού στην Αυστραλία ως προς τη συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια είναι μικρότερη του 1%, με βάση στοιχεία προ του 2006. Ωστόσο τα τελευταία πέντε χρόνια στις περισσότερες μεγάλες πόλεις της Αυστραλίας η ενέργεια που σχετίζεται με τη βιομηχανία του νερού έχει υπερδιπλασιαστεί (Kenway *et al.*, 2008), ενώ αναμένεται περισσότερη αύξηση τα επόμενα χρόνια λόγω των σημαντικών επενδύσεων σε μεταφορά νερού μεταξύ υδατικών διαμερισμάτων, στον τομέα της αφαλάτωσης και στην επαναχρησιμοποίηση του νερού (Retamal *et al.*, 2009).

Τέλος η Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ) που είναι ο φορέας διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, αποτελεί το σημαντικότερο καταναλωτή της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) στη μέση τάση με συνολική εγκατεστημένη ισχύς αντλιοστασίων και γεωτρήσεων 120 000 Hp. Την περίοδο 2001-02 δαπανήθηκαν  $6.68 \times 10^6$  € για άντληση νερού (υδραγωγείο Υλίκης και γεωτρήσεις) συνολικού όγκου 121.3 hm<sup>3</sup>, γεγονός που συνεπάγεται μία ειδική δαπάνη ίση με 0,55€/m<sup>3</sup> (Νασίκας, 2003).

## **2.6 Μέτρα για την εξοικονόμηση ενέργειας**

Σε όλα τα ενδιάμεσα στάδια του κύκλου του νερού αφθονούν οι τομείς για επεμβάσεις σκοπό την εξοικονόμησης ενέργειας. Μια σημαντική παράμετρος είναι να προσεγγίσουμε συστημικά το πρόβλημα, δηλαδή να βελτιστοποιήσουμε συνολικά το σύστημα και όχι μεμονωμένα συγκεκριμένα τμήματα του συστήματος (DENA, 2007).

Οι κυριότερες επεμβάσεις υψηλής αποτελεσματικότητας είναι οι εξής (Denig-Chakroff, 2008 & Barry, 2007):

- Βελτίωση της αποδοτικότητας των αντλιών

- Βελτιστοποίηση λειτουργίας του συστήματος
- Περιορισμός των απωλειών
- Μείωση της αντίστασης ροής μέσα στους αγωγούς
- Αύξηση της κλίμακας της οικονομίας

### 2.6.1 Βελτίωση της αποδοτικότητας των αντλιών

Η μεγαλύτερη κατανάλωση στα συστήματα παροχής νερού οφείλεται στις αντλήσεις, επομένως μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί αυξάνοντας την απόδοση των αντλιοστασίων. Οι ακριβείς δυνατότητες εξοικονόμησης εξαρτώνται από το διαθέσιμο εξοπλισμό και από το σχεδιασμό του υδροδοτικού συστήματος. Βελτίωση στην απόδοση της αντλίας μπορούμε να επιτύχουμε με τις παρακάτω ενέργειες (Denig-Chakroff, 2008 & Barry, 2007):

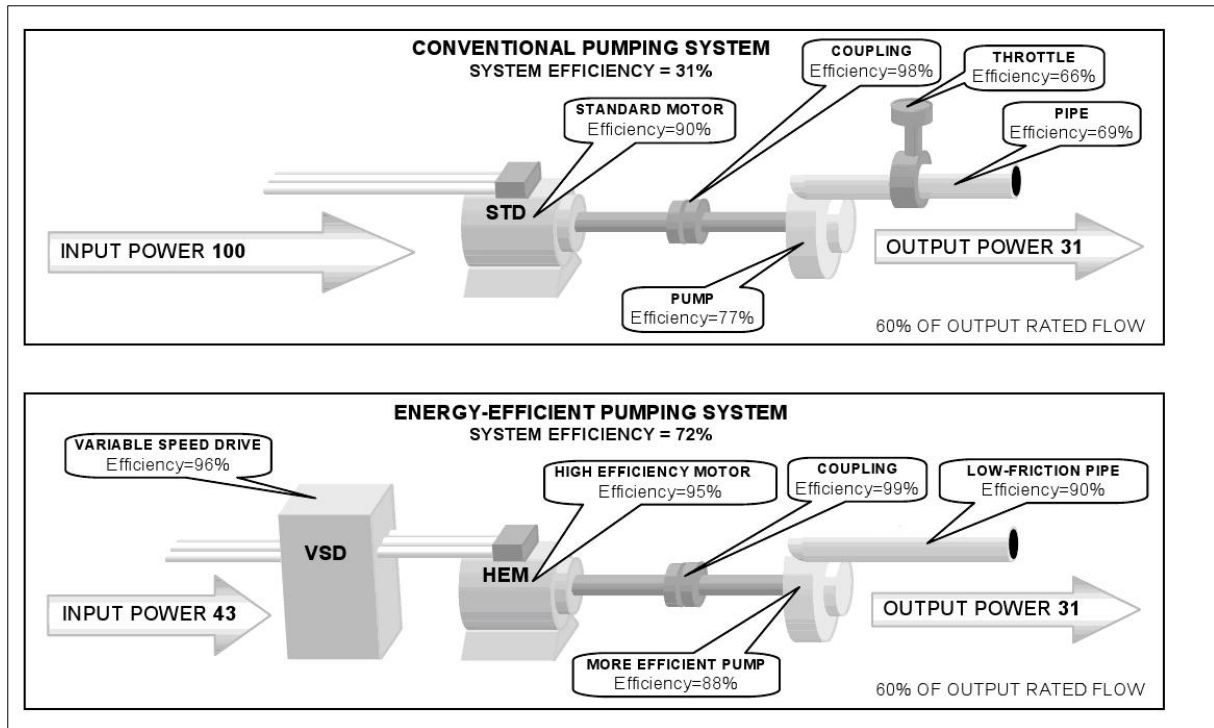
- *Αντικατάσταση μη αποδοτικών αντλιών*

Όταν πρόκειται να πραγματοποιηθεί αντικατάσταση παλιότερων μηχανών χαμηλής αποδοτικότητας, τα αντλιοστάσια πρέπει να εφοδιαστούν με κινητήρες νέας τεχνολογίας σχεδιασμένους για υψηλή αποτελεσματικότητα (*High Efficiency Motors-HEM*). Χαμηλή αποδοτικότητα έχουμε στην περίπτωση που οι κινητήρες είναι υπερδιαστασιοποιημένοι και δεν λειτουργούν με πλήρες φορτίο. Αυτό συμβαίνει γιατί η λειτουργία των αντλιών σχεδιάζεται με χρονικό ορίζοντα, ώστε να καλύψει και τυχόν μελλοντικές ανάγκες και αύξηση της ζήτησης. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε δύο επιλογές, είτε προχωρούμε σε αντικατάσταση με κινητήρες που συμβαδίζουν με τις απαιτήσεις του συστήματος, είτε επεμβαίνουμε στα εξαρτήματα των αντλιών (π.χ. μείωση του μήκους των λεπίδων στα στροφέα).

Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποίησε το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ, η σωστή επιλογή αντλίας ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος, μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση ενέργειας μεταξύ 10% και 30% ως προς τη συνολική κατανάλωση του συστήματος (DOE & EERE,2002). Στην Εικόνα 2.3 παρουσιάζεται ένα απλό παράδειγμα που δείχνει την επίδραση διαφορετικών ενεργειακών τεχνολογιών σε ένα σύστημα άντλησης που μπορούν να οδηγήσουν τελικά σε μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα (Keulenar *et.al.*, 2004).

Τέλος τα στοιχεία δείχνουν ότι ο χρόνος απόσβεσης των περισσότερων επενδύσεων σε μηχανές υψηλής ενεργειακής απόδοσης είναι σχετικά μικρός και κυμαίνεται από 3 μήνες έως

3 χρόνια. Συγχρόνως ο επενδυτής μπορεί να αποκομίσει και οφέλη (μη ενεργειακά) σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα όπως καλύτερο επίπεδο εξυπηρέτησης, ενώ σε μερικές περιπτώσεις αύξηση της αξιοπιστίας. Τα συνολικά κέρδη σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με τα κέρδη από την εξοικονόμηση ενέργειας (Keulenar *et.al.*, 2004).



Εικόνα 2.3: Παράδειγμα εφαρμογής ενεργειακά αποδοτικότερων τεχνολογιών σε σύστημα άντλησης (Πηγή Keulenar *et.al.*, 2004)

- **Χρήση Variable Speed Drives (VDS)**

Οι μηχανισμοί αυτοί έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν είτε με μεταβλητή είτε με σταθερή (καθορισμένη) ταχύτητα. Συγκεκριμένα έχουν τη δυνατότητα να ρυθμίζουν την ταχύτητα του κινητήρα μεταβάλλοντας την τάση και τη συχνότητα του ρεύματος με αποτέλεσμα τελικά η ταχύτητα του να ρυθμίζεται ανάλογα με το φορτίο που δέχονται. Η εξοικονόμηση ενέργειας προκύπτει από το γεγονός ότι οι κινητήρες δεν λειτουργούν συνεχώς με πλήρες φορτίο αλλά η λειτουργία τους ρυθμίζεται ανάλογα με τη ζήτηση (Barry, 2007)..

Οι μηχανισμοί αυτοί είναι περισσότερο αποδοτικοί σε σχέση με τους μηχανισμούς σταθερής ταχύτητας. Έρευνα στις ΗΠΑ έδειξε ότι με τη χρήση των κατάλληλων VSD για τη ρύθμιση της ταχύτητας, μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας 10,5% κατά μέσο όρο (DOE & EERE, 2002).

- **Συντήρηση αντλιών**

Η συντήρηση και η επισκευή των υφιστάμενων αντλιών είναι καθοριστικής σημασίας για την εξοικονόμηση ενέργειας. Κατά τη διάρκεια λειτουργία τους, οι αντλίες για πόσιμο νερό γενικά φθείρονται σημαντικά λιγότερο σε σχέση με τις αντλίες του αποχετευτικού δικτύου. Συγκεκριμένα, η απόδοση στη λειτουργία αντλίας για πόσιμο νερό μειώνεται κατά προσέγγιση 1% σε ετήσια βάση. Αυτή η περιορισμένη και σταδιακή υποβάθμιση στην περίπτωση των αντλιών πόσιμου νερού, ίσως εξηγεί σε ένα βαθμό και την έλλειψη κινήτρου για την πραγματοποίηση προληπτικών ελέγχων και διαδικασιών συντήρησης των αντλιών (Bunn & Reynolds, 2009).

Οι διαχειριστές του συστήματος πρέπει να δημιουργήσουν ένα πρωτόκολλο συντήρησης και τυπικών διαδικασιών ελέγχου των αντλιών και των εξαρτημάτων τους, όπως εντοπισμός των κρίσιμων αντλιών του συστήματος, προληπτικοί έλεγχοι, μικρορυθμίσεις και καθαρισμός εξαρτημάτων. Ορισμένες διαδικασίες συντήρησης που μπορούν να συμβάλουν στην επιμήκυνση του χρόνου ζωής και της αποδοτικότητας των αντλιών είναι οι εξής (Barry, 2007):

- Παρακολούθηση των ηλεκτρικών συστημάτων και των κινητήρων (π.χ. κατανάλωση ενέργειας, φορτία αιχμής, συντελεστή ισχύος)
- Καθαρισμός στροφείων και αντικατάστασή τους όταν χρειάζεται
- Λίπανση των μηχανικών τμημάτων
- Έλεγχος για τυχόν υπερβολικούς θορύβους, έντονη δόνηση ή υπερθέρμανση

Ενδεικτικά η Ευρωπαϊκή Επιτροπή σε ειδική μελέτη διερεύνησε την επίδραση της επιφανειακής τραχύτητας σε διάφορα μέρη της αντλίας και τυχόν οφέλη που μπορούν να προκύψουν από το στίλβωμα και την επένδυση με βαφή των τμημάτων αυτών. Η αύξηση της αποδοτικότητας που επετεύχθη κυμάνθηκε μεταξύ 5% και 18% (European Commission, 2001).

## 2.6.2 Βελτιστοποίηση λειτουργίας του συστήματος

Οι οργανισμοί ύδρευσης μπορούν να ελέγχουν τη λειτουργία των αντλιών είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα. Οι μικρότεροι οργανισμοί δε διαθέτουν αυτόματα συστήματα και η αποτελεσματικότητα του συστήματος εξαρτάται κυρίως από την εμπειρία του διαχειριστή. Οι περισσότεροι οργανισμοί ωστόσο έχουν εφοδιαστεί με αυτοματοποιημένα, υπολογιστικά συστήματα τύπου SCADA (*Supervisory Control and Data Systems*) και συστήματα τηλεμετρίας για τον έλεγχο και τη διαχείριση του συστήματος. Και στις δύο περιπτώσεις

πάντως, είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα, η αποτελεσματικότητα του συστήματος εξαρτάται άμεσα από την εμπειρία του διαχειριστή. Ωστόσο εφόσον το σύστημα SCADA προγραμματιστεί με ένα προκαθορισμένο φάσμα κριτηρίων, μπορεί να αντιδρά άμεσα περιορίζοντας το ανθρώπινο λάθος .

Σκοπός της εγκατάστασης αυτοματοποιημένων συστημάτων, είναι η ανάγκη για την επίτευξη επικοινωνίας μεταξύ των απομακρυσμένων τμημάτων του δικτύου και των διαχειριστών του συστήματος. Με την τηλεμετρία έχουμε μεταφορά πληροφοριών και δεδομένων από απομακρυσμένα στοιχεία σε ένα κεντρικό σταθμό, ενώ με το σύστημα SCADA έχουμε ανάγνωση, αποθήκευση και παροχή συγκεκριμένων πληροφοριών του συστήματος (π.χ. στάθμες, παροχές) σε πραγματικό χρόνο, σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα (από μερικά δευτερόλεπτα έως μερικά λεπτά). Συγχρόνως ο διαχειριστής του συστήματος ή αυτόματα το ίδιο το σύστημα, ελέγχει απομακρυσμένα στοιχεία του συστήματος (π.χ. μια βαλβίδα ή μία αντλία) και με βάση τα δεδομένα που λαμβάνει και την επεξεργασία που γίνεται, να επεμβαίνει στο σύστημα και να αλλάζει τους κανόνες λειτουργίας τους (Denig-Chakroff, 2008).

Τέλος, τα συστήματα SCADA, με την πάροδο των χρόνων συγκεντρώνουν και αποθηκεύουν ένα πλήθος δεδομένων με ιστορικές χρονοσειρές, που η ανάλυσή τους μπορεί να αποτελέσει ένα πολύτιμο εργαλείο για την κατανόηση της συμπεριφοράς και λειτουργίας του συστήματος και η επεξεργασία τους μπορεί να συμβάλει μελλοντικά στη βελτίωση της λειτουργίας του (Bunn & Reynolds, 2009).

Τα αυτοματοποιημένα συστήματα μπορούν να συμβάλουν στην αύξηση της αποδοτικότητας του συστήματος μέσω της βελτιστοποίησης λειτουργίας των αντλήσεων. Ως βασικό κριτήριο αξιολόγησης ενός προγράμματος βελτιστοποίησης των αντλήσεων χρησιμοποιείται συνήθως η ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους, που περιλαμβάνει τα έξοδα για κατανάλωση ενέργειας. Σε πρώτη φάση μπορούμε να πετύχουμε μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος χρησιμοποιώντας τα αντλιοστάσια (π.χ. για τη μεταφορά νερού σε δεξαμενές αποθήκευσης ή για τη λειτουργία των μονάδων επεξεργασίας νερού) σε περιόδους ή διαστήματα της ημέρας όπου έχουμε χαμηλή ζήτηση ρεύματος ή μειωμένα τιμολόγια από τον πάροχο (νυχτερινό τιμολόγιο, διακοπές ή σαββατοκύριακα). Με τον τρόπο αυτό, προσαρμόζοντας δηλαδή τη διαχειριστική πολιτική του συστήματος στον τρόπο τιμολόγησης του ηλεκτρικού ρεύματος, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τη δυνατότητα που έχει το νερό –σε αντίθεση με το ηλεκτρικό ρεύμα- να αποθηκεύεται (Bunn & Reynolds, 2009).

Σε δεύτερο επίπεδο, πρέπει να προσδιορίσουμε τη βέλτιστη πολιτική λειτουργίας των αντλιών λαμβάνοντας υπόψη το μέγιστο βαθμό απόδοσης της κάθε αντλίας. Δηλαδή, ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος να χρησιμοποιούνται οι αντλίες που θα λειτουργήσουν στη μέγιστη απόδοση τους (πιο κοντά στο σημείο βέλτιστης λειτουργίας τους). Επίσης η σωστή εναλλαγή των αντλιών, δηλαδή η παύση λειτουργίας μίας αντλίας με την έναρξη λειτουργίας της επόμενης, μπορεί να μην επηρεάζει τη λειτουργία του συστήματος, αποτελεί ωστόσο ένα ακόμα τομέα όπου υπάρχει δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας (Denig-Chakroff, 2008).

Ορισμένοι ερευνητές (Lansey & Awumah, 1994) προτείνουν μια μεθοδολογία όπου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και ο αριθμός των εναλλαγών μεταξύ των αντλιών<sup>3</sup>, ως κριτήριο αξιολόγησης ενός βέλτιστου προγράμματος άντλησης. Σε ένα πρόγραμμα λειτουργίας όπου οι αντλίες ξεκινούν και σταματούν πολλές φορές, δεν πετυχαίνουμε πάντα εξοικονόμηση ενέργειας. Και αυτό γιατί ένα τέτοιο πρόγραμμα μπορεί να συμβάλλει στην ταχύτερη φθορά των αντλιών προσθέτοντας τελικώς ένα σημαντικό κόστος συντήρησης. Το κόστος συντήρησης μπορεί να μην ποσοτικοποιείται εύκολα, ωστόσο μπορούμε να δεχθούμε ότι η αύξηση του αριθμού των εναλλαγών μεταξύ των αντλιών αυξάνει και το κόστος συντήρησης (Lansey & Awumah, 1994). Επιπλέον για την εκκίνηση του κινητήρα απαιτείται αρχικά αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας, ενώ στη συνέχεια, και όσο συνεχίζεται η άντληση, η κατανάλωση ενέργειας σταθεροποιείται.

Τα τελευταία χρόνια οι ερευνητές αντιμετωπίζουν το πρόβλημα με πολυκριτηριακή ανάλυση, όπου περισσότεροι και πιο πολύπλοκοι παράγοντες συνυπολογίζονται, όπως η μέγιστη παροχή αιχμής και η ποιότητα του νερού. (Baran *et al.*, 2004). Επίσης ένα μεγάλο μέρος της έρευνας πραγματοποιείται με τη χρήση γενετικών αλγορίθμων, οι οποίοι ταιριάζουν σε δυαδικά προβλήματα όπου μια αντλία λειτουργεί ή όχι (Bunn & Reynolds, 2009).

### 2.6.3 Περιορισμός των απωλειών

Η μείωση της αντλούμενης ποσότητας νερού μπορεί να περιορίσει ακόμα περισσότερο το ενεργειακό κόστος του συστήματος. Η μείωση του νερού μπορεί να προκύψει σε δύο επίπεδα,

---

<sup>3</sup>Σύμφωνα με τους Lansey & Awumah (1994), ως «*pump switch*» ορίζεται μια εναλλαγή σε μία αντλία η οποία δεν λειτουργούσε το προηγούμενο χρονικό διάστημα



στο επίπεδο της προσφερόμενης ποσότητας νερού και στο επίπεδο της ζήτησης από τους καταναλωτές.

Οι συνολικές απώλειες νερού ορίζονται ως η διαφορά του συνολικού όγκου νερού που τιμολογείται από την ποσότητα που καταγράφεται στην είσοδο των εξωτερικών υδραγωγείων. Η διαφορά αυτή επιμερίζεται σε απώλειες των εξωτερικών υδραγωγείων, κατά τη διαδρομή από τις πηγές μέχρι τα διυλιστήρια, και σε απώλειες του εσωτερικού δικτύου ύδρευσης. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας τα τελευταία 15 χρόνια, το ποσοστό των απωλειών από τις πηγές έως τα διυλιστήρια και τους λοιπούς καταναλωτές κυμαίνεται στα επίπεδα του 10-13%, ενώ το 2005 και το 2007, ξεπέρασαν το 15% (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009)

Το πρώτο βήμα για τον περιορισμό των απωλειών είναι ο εντοπισμός τους. Το σημαντικότερο ποσοστό των απωλειών σχετίζεται με διαρροές στους αγωγούς του δικτύου και οφείλεται κυρίως σε βλάβες στις συνδέσεις των αγωγών. Τόσο οι διαδικασίες εντοπισμού των απωλειών, όσο και οι εργασίες περιορισμού τους είναι ιδιαίτερα δαπανηρές και χρονοβόρες. Ωστόσο για κάθε λίτρο που δεν χάνεται, μικρότερη ποσότητα θα αντληθεί και θα επεξεργαστεί και τελικά θα πετύχουμε μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

Μία μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον περιορισμό των απωλειών είναι μέσω της διαχείρισης της πίεσης του συστήματος (*pressure management*) (Barry, 2007). Η βασική αρχή της μεθόδου έγκειται στο γεγονός ότι μειώνοντας την πίεση του νερού στο δίκτυο, μειώνουμε και την ποσότητα νερού που διαφεύγει διαμέσου των ανοιγμάτων των αγωγών. Σε περιπτώσεις όπου οι θαμμένοι αγωγοί παρουσιάζουν σημαντικές απώλειες, η μέθοδος αυτή είναι πιθανότητα πιο αποδοτική ως προς το κόστος της, χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη το κόστος των επεμβάσεων για τη μείωση των διαρροών. Ένα τέτοιο πρόγραμμα που εφαρμόστηκε σε περιοχή της Νότιας Αφρικής, οδήγησε σε εξοικονόμηση ενέργειας  $14 \times 10^6$  kWh και εξοικονόμηση νερού ίση με  $8.0 \text{ hm}^3$  σε ετήσια βάση και με περίοδο ανάκτησης κόστους λιγότερο από τρεις μήνες (Barry, 2007).

Η σωστή πολιτική που μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης ή σε περιορισμό της αυξητικής της τάσης, είναι ένα ακόμα σημαντικό εργαλείο στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του συστήματος, καθώς με μείωση της ζήτησης μικρότερες ποσότητες χρειάζεται να αντληθούν, να επεξεργαστούν και να διανεμηθούν. Η επίτευξη τέτοιων στόχων είναι ρεαλιστική και υπάρχουν επιτυχημένα παραδείγματα περιορισμού της ζήτησης, όπως η

περίπτωση της Αθήνας<sup>4</sup> τη δεκαετία του 1990, χωρίς ωστόσο να υπάρχουν διαθέσιμα τα ενεργειακά κέρδη αυτής της πολιτικής.

#### 2.6.4 Μείωση της αντίστασης ροής μέσα στους αγωγούς

Με την πάροδο του χρόνου, οι σωληνώσεις του δικτύου διαβρώνονται και στην εσωτερική τους επιφάνεια συσσωρεύονται ανόργανα συστατικά, με συνέπεια μέσω αυτής της φθορά των σωληνώσεων να δημιουργούνται αντιστάσεις στη ροή. Για το λόγο αυτό θα απαιτηθεί ισχυρότερη άντληση για τη κίνηση του νερού στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής και επομένως θα χρειαστεί και μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας.

Υπάρχουν ειδικές διαδικασίες (*unidirectional flushing, pigging program*), για τη συντήρηση των αγωγών, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να χρειαστεί και αντικατάσταση των παλιών, διαβρωμένων αγωγών σε μέρος του δικτύου, με επιπρόσθετα οφέλη σε αυτή την περίπτωση (πέρα του ενεργειακού κέρδους, αύξηση αξιοπιστίας του συστήματος, μείωση διαρροών) (Barry, 2007).

#### 2.6.5 Αύξηση της κλίμακας της οικονομίας

Γενικά οι μεγαλύτεροι σε μέγεθος οργανισμοί λειτουργούν πιο αποδοτικά σε σχέση με τους μικρότερους οργανισμούς. Έρευνα για την κατανάλωση ενέργειας στη βιομηχανία νερού της πολιτείας Winsconsin των ΗΠΑ (Elliot T. *et.al.*, 2003), έδειξε ότι η μέση χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για οργανισμούς ύδρευσης που εξυπηρετούν λιγότερους από 1000 πελάτες είναι 25% ψηλότερη από τους οργανισμούς που εξυπηρετούν περισσότερους από 4000 πελάτες. Επομένως η αύξηση της κλίμακας της οικονομίας, μέσω συνενώσεων οργανισμών όπου οι σχετικές εγκαταστάσεις ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιούνται από κοινού, μπορεί τελικά να αποτελέσει σε ορισμένες περιπτώσεις μέτρο για την εξοικονόμηση ενέργειας.

### 2.7 Το παράδοξο ενός φαινομένου

Γνωρίζοντας πως η κατανάλωση ενέργειας στα συστήματα παροχής νερού είναι σημαντική, και με τις απαιτήσεις για άντληση να κατέχουν ένα ποσοστό της τάξης του 90% της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας, η λογική υποδεικνύει ότι το πρώτο κριτήριο στην επιλογή αντλίας θα ήταν το ενεργειακό της κόστος (Bunn & Reynolds, 2009). Στην πραγματικότητα όμως αυτό δε συμβαίνει και οφείλεται στο γεγονός ότι στις αναπτυγμένες χώρες η ενέργεια

---

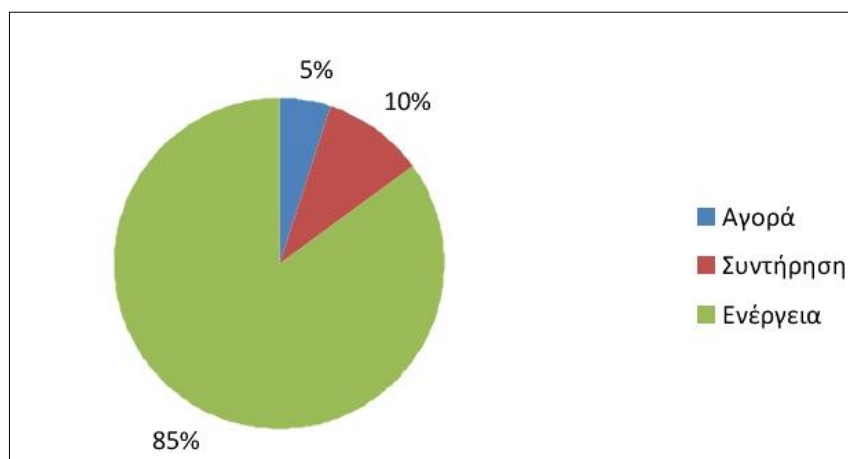
<sup>4</sup>Περισσότερες λεπτομέρειες για το παράδειγμα μείωσης της ζήτησης στην Αθήνα δίνονται από τους Xenos *et. al.* (2002).

δεν ήταν ποτέ ιδιαίτερα ακριβή και οι πρακτικές μείωσης του κόστους δεν επικεντρωνόταν στη μείωση του ενεργειακού κόστους. Ταυτόχρονα, δεν υπήρχε ούτε αυστηρό νομοθετικό πλαίσιο για τους περιορισμούς στις εκπομπές των καυσαερίων, ούτε η έντονη κοινωνική πίεση για περιβαλλοντική πολιτική αλλά ούτε είχε αρχίσει η συζήτηση για το θέμα της κλιματικής αλλαγής.

Σύμφωνα μάλιστα με μελέτη που πραγματοποίησε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή και δημοσιεύτηκε το 2001 σχετικά με την αύξηση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας των αντλιών (European Commission, 2001), αποδείχτηκε ότι ο παράγοντας ενέργεια είναι αποτελεί κριτήριο τελευταίας προτεραιότητας στην αγορά καινούριας αντλίας. Η πρακτική αυτή έρχεται σε άμεση αντίθεση με το πόσο σημαντική είναι η επίδραση της ενέργειας στο κόστος του κύκλου ζωής μίας αντλίας. Τα κριτήρια επιλογής κατά την αγορά καινούριας αντλίας, όπως προέκυψαν από την έρευνα, παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.3, ενώ στην Εικόνα 2.4 παρουσιάζεται σε γράφημα η επίδραση τριών βασικών παραμέτρων στο κόστος του κύκλου ζωής των αντλιών.



Εικόνα 2.4: Προτεραιότητες κατά την αγορά νέας αντλίας (Πηγή: European Commission, 2001).



Εικόνα 2.5: Παράδειγμα του κόστους κύκλου ζωής για αντλία (Πηγή: European Commission, 2001)

Σε αντίστοιχη έρευνα που διενήργησε το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ για τις πρακτικές που ακολουθούνται στην αγορά μηχανών και αντλιών στη βιομηχανία, τα συμπεράσματα αποδεικνύουν πόσο χαμηλή επίγνωση έχουν οι αγοραστές για τις πολιτικές βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των συστημάτων. Μερικά από τα αποτελέσματα της έρευνας είναι τα εξής (DOE & EERE, 2002):

- Ένα μικρό ποσοστό μόνο αντιλαμβάνεται τα πλεονεκτήματα στην απόδοση των ενεργειακά αποδοτικότερων μηχανών.
- Από το ποσοστό των αγοραστών που ερωτήθηκαν στην έρευνα, μόνο το 22% δήλωσε ότι είχε προβεί στην αγορά μίας αποδοτικής μηχανής τον προηγούμενο χρόνο.
- Το 29% των ερωτηθέντων κατά την αντικατάσταση μιας μηχανής, είχε ως *μοναδικό κριτήριο* απόφασης το μέγεθος της προηγούμενης μηχανής.
- Μόνο το 12% των ερωτηθέντων δήλωσε ότι λαμβάνει ως κριτήριο στην αγορά νέας μηχανής τις χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις για τη λειτουργία της.

### 2.7.1 Εμπόδια στην βελτίωση της αποτελεσματικότητας των αντλιών

Η έρευνα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής κατέγραψε, εκτός των άλλων, και τα σημαντικότερα προβλήματα που πρέπει να ξεπεραστούν ώστε να επιτευχθεί η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των αντλιών. Οργανωτικοί και εκπαιδευτικοί παράγοντες αποτελούν τα σημαντικότερα εμπόδια και όχι τεχνολογικοί ή οικονομικοί παράγοντες όπως θα ήταν το αναμενόμενο.

Τα σημαντικότερα εμπόδια που καταγράφονται ανά κατηγορία είναι τα εξής (European Commission, 2001):

#### A. Οργανωτική συμπεριφορά

- Μέσα στον οργανισμό, το τμήμα που είναι υπεύθυνο για την αγορά των αντλιών είναι συνήθως διαφορετικό από εκείνο που διαχειρίζεται τις δαπάνες
- Η έλλειψη προσωπικού και το χαμηλό επίπεδο δεξιοτήτων, οδηγεί σε λιγότερες προσπάθειες εξοικονόμησης
- Δεν υπάρχει σαφής αντίληψη του κόστους άντλησης
- Η επιδιόρθωση αντλιών πραγματοποιείται από μη εξειδικευμένο προσωπικό

#### B. Τεχνικοί-Εκπαιδευτικοί παράγοντες

- Η βελτίωση της απόδοσης της αντλίας δεν πρέπει να μελετάται ανεξάρτητα από τη βελτίωση του συστήματος
- Δεν δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στις αντλίες μέχρι να παρουσιάσουν προβλήματα ή βλάβη

- Δυσκολίες στην μέτρηση βασικών παραμέτρων λειτουργίας
- Αδυναμία επιλογής κατάλληλης αντλίας
- Αβεβαιότητα ως προς τα στοιχεία που παρέχει ο κατασκευαστής

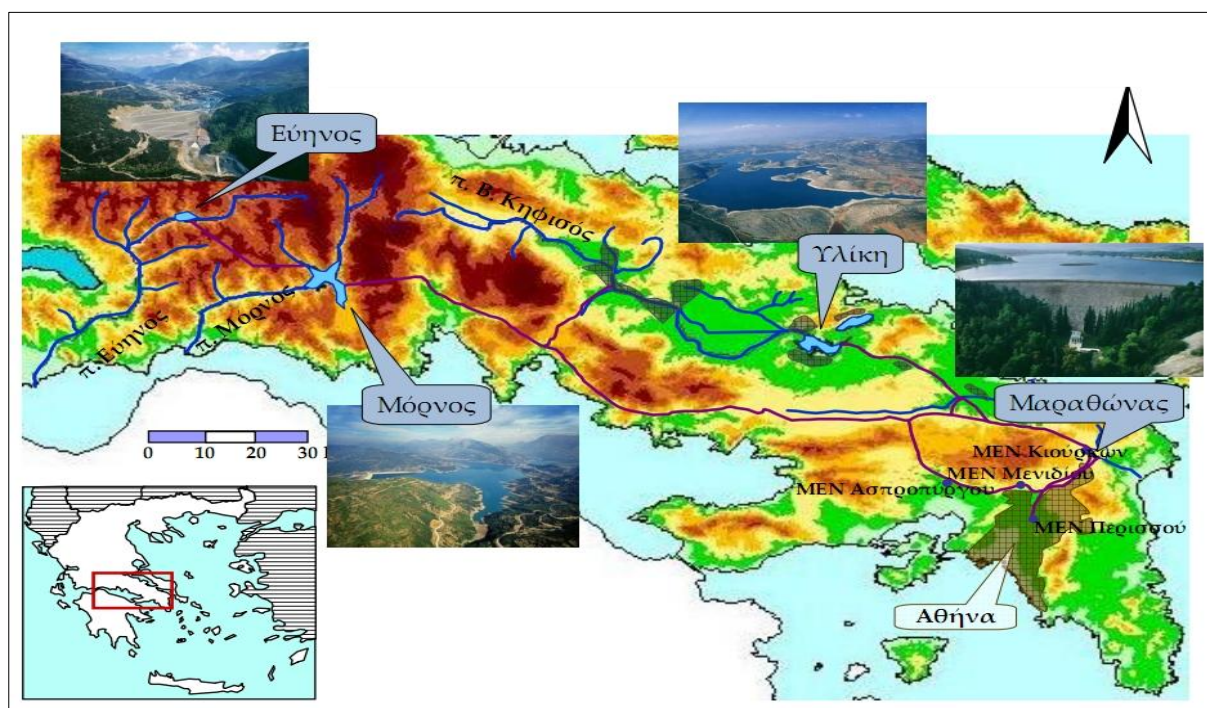
*C. Οικονομικοί παράγοντες*

- Για τους περισσότερους χρήστες η εξοικονόμηση ενέργειας δεν αντιμετωπίζεται ως εξίσου σημαντική με το αρχικό κόστος αγοράς, την ευκολία της συντήρησης ή την αξιοπιστία
- Η απόσβεση μιας ενεργειακά αποδοτικότερης πολιτικής δεν είναι επαρκής
- Οι μεγάλες πόλεις παράγουν ή αγοράζουν ενέργεια χαμηλού κόστους κάνοντας την περίοδο αποπληρωμής όχι τόσο ελκυστική
- Σε ορισμένες περιπτώσεις το συνολικό ενεργειακό κόστος μπορεί να αποτελεί πολύ μικρό ποσοστό του συνολικού κόστους
- Δυσκολίες στην αποτίμηση και εκτίμηση των τυχόν ενεργειακών κερδών
- Έλλειψη κεφαλαίου για την αγορά νέων ή/και ακριβότερων αντλιών

### 3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

#### 3.1 Εισαγωγή

Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας (Εικόνα 3.1) αποτελεί ένα από τα πιο εκτεταμένα και πολύπλοκα υδατικά συστήματα της χώρας. Το σύστημα εκτείνεται σε τρία υδατικά διαμερίσματα (Αττικής, Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας), αναπτυσσόμενο σε έκταση της τάξης των 4000 km<sup>2</sup>. Το υδροδοτικό σύστημα περιλαμβάνει 4 ταμιευτήρες, 350 χιλιόμετρα κύριων υδραγωγείων, 15 αντλητικούς σταθμούς, 100 γεωτρήσεις και 4 μονάδες επεξεργασίας νερού (MEN). Η πολυπλοκότητα του προκύπτει από τις πολλές πηγές επιφανειακού και υπόγειου νερού, τους διαφορετικούς χώρους ταμίευσης και τις εναλλακτικές διαδρομές μεταφοράς του νερού από τις πηγές μέχρι τις ΜΕΝ.



Εικόνα 3.1: Γενική διάταξη του υδροδοτικού συστήματος των Αθηνών  
(Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2007α)

#### 3.2 Υδατικοί πόροι

Στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας αξιοποιούνται κυρίως επιφανειακοί πόροι (ποταμοί Μόρνος, Εύηνος, Βοιωτικός Κηφισός, Χάραδρος και η λίμνη Υλίκη) αλλά και υπόγειοι πόροι (υδροφορείς μέσου ρου Βοιωτικού Κηφισού, Υλίκης και Β.Α. Πάρνηθας). Τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους δίνονται στους Πίνακες 3.1 και 3.2.

## Διερεύνηση της ενεργειακής συνιστώσας στη διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας

Πίνακας 3.1: Επιφανειακοί υδατικοί πόροι (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009)

Λεκάνη απορροής	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Μέση ετήσια απορροή (hm <sup>3</sup> )
Μόρνου (ανάντη φράγματος)	558.1	234.1
Ευήνου (ανάντη φράγματος)	351.9	276.1
Βοιωτικού Κηφισού και Υλίκης	2466.9	294.1
Χάραδρου (ανάντη φράγματος)	118.0	13.4

Πίνακας 3.2: Υπόγειοι υδατικοί πόροι (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009)

Υδροφορέας	Πλήθος γεωτρήσεων ΕΥΔΑΠ	Ετήσια αντλητική ικανότητα (hm <sup>3</sup> )
Μέσου ρου Β. Κηφισού	16	25
Υλίκης	33	20
Β.Α. Πάρνηθας	34	43

Επιπλέον οι υδατικοί πόροι του συστήματος, με βάση τις σημερινές συνθήκες λειτουργίας μπορούν να διακριθούν σε κύριους (Μόρνος και Ευήνος), που η εκμετάλλευσή τους είναι συνεχής (λόγω κυρίως φτηνότερου κόστους) και βοηθητικούς (Υλίκη και Μαραθώνας) που λόγω υψηλού κόστους λειτουργίας χρησιμοποιούνται μόνο όταν δεν επαρκούν οι κύριοι πόροι ή όταν για οποιαδήποτε λόγο (π.χ. αύξηση της κατανάλωσης) δεν είναι δυνατή η έγκαιρη μεταφορά νερού από τους κύριους πόρους στην Αθήνα. Οι υπόγειοι πόροι τέλος θεωρούνται ως εφεδρικοί και χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις έμμονης ξηρασίας ή έκτακτων περιστατικών (π.χ. βλάβες υδραγωγείων).

### 3.2.1 Ταμιευτήρες

Στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας ανήκουν 4 ταμιευτήρες, του Μόρνου, του Ευήνου, της Υλίκης και του Μαραθώνα. Οι μέσες και μέγιστες ετήσιες ιστορικές απολήψεις από την ΕΥΔΑΠ παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3, ενώ τα κυριότερα χαρακτηριστικά των ταμιευτήρων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4.

Ο ταμιευτήρας της Υλίκης είναι ο μόνος φυσικός ταμιευτήρας και σήμερα χρησιμοποιείται ως βοηθητικός πόρος. Η φυσική λίμνη της Υλίκης προήλθε μετά την αποξήρανση της Κωπαΐδας (αρχές 20<sup>ου</sup> αιώνα), ενώ το καρστικό της υπόβαθρο έχει ως αποτέλεσμα την υπόγεια διαφυγή σημαντικών ποσοτήτων νερού. Έχει υπολογιστεί ότι το 50% των συνολικών εισροών στη λίμνη καταλήγει στους υποκείμενους υδροφορείς και από εκεί τελικά στη θάλασσα (Koutsoyiannis *et al.*, 2003). Η λίμνη βρίσκεται σε χαμηλότερη στάθμη από τη

στάθμη της ΜΕΝ Γαλατσίου, οπού καταλήγει το νερό της, με αποτέλεσμα να απαιτείται άντληση για τη μεταφορά του.

Για τον ταμιευτήρα του Ευήνου, παρά το γεγονός ότι κατασκευάστηκε σχετικά πρόσφατα, η χωρητικότητά του ταμιευτήρα δεν επαρκεί για την αποθήκευση των εισροών του. Για το λόγο αυτό μέρος των ανάντη εισροών του εκτρέπονται μέσω ενωτικής σήραγγας προς τον ταμιευτήρα του Μόρνου ενισχύοντας το δυναμικό του. Είναι χαρακτηριστικό ότι από τη συνολική αποθηκευτική ικανότητα του συστήματος (περίπου 1400 hm<sup>3</sup>) στον ταμιευτήρα του Μόρνου και τη λίμνη της Υλίκης αντιστοιχεί το 88.5% (Koutsoyiannis *et al.*, 2003).

Τέλος ο Μαραθώνας αποτελεί τον παλιότερο (1929) και μικρότερο από τους ταμιευτήρες, ενώ παρουσιάζει και τις μικρότερες εισροές. Χρησιμοποιείται κυρίως για την αποθήκευση νερού, λόγω της εγγύτητάς του στην Αθήνα, ενώ ενεργοποιείται σε έκτακτες περιπτώσεις (π.χ. την καλοκαιρινή περίοδο για την κάλυψη της υψηλής αιχμής).

Πίνακας 3.3: Μέσες και μέγιστες ετήσιες υδρευτικές απολήψεις από τους ταμιευτήρες καθ' όλη την περίοδο λειτουργίας τους (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009)

Ταμιευτήρας	Μέση ετήσια απόληψη (hm <sup>3</sup> )	Μέγιστη ετήσια υδρευτική απόληψη (hm <sup>3</sup> )
Μόρνος	291.0	234.1
Εύηνος <sup>(1)</sup>	202.4 (232.8)	276.1
Μαραθώνας	68.8	294.1
Υλίκη <sup>(2)</sup>	83.3 (104.0)	13.4

(1) Σε παρένθεση αναγράφεται η συνολική μέση ετήσια απόληψη, που περιλαμβάνει και την εκροή κατάντη του φράγματος.

(2) Σε παρένθεση αναγράφεται η συνολική μέση ετήσια απόληψη, που περιλαμβάνει και την άντληση για άρδευση της Κοπαΐδας.

Πίνακας 3.4: Χαρακτηριστικά μεγέθη ταμιευτήρων (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009)

Ταμιευτήρας	Μέγιστη επιφάνεια (km <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	Ολική χωρητικότητα (hm <sup>3</sup> )	Ωφέλιμη χωρητικότητα (hm <sup>3</sup> )	Στάθμη υπερχειλίσσης (m)	Κατώτατη στάθμη υδροληψίας (m)
Μόρνος	19.93	763.71	630.23	435.0	384.0
Εύηνος	3.60	137.63	112.05	505.5	458.3
Υλίκη	27.74	594.75	584.75	79.8	43.5
Μαραθώνας	2.57	42.85	32.20	224.0 <sup>(2)</sup>	204.4

(1) Η μέγιστη επιφάνεια αναφέρεται στη στάθμη υπερχειλίσσης.

(2) Η στάθμη υπερχειλίσσης του ταμιευτήρα Μαραθώνα είναι αυξημένη κατά 1.0 m σε σχέση με την πραγματική, με την τοποθέτηση δοκίδων κατά μήκος του υπερχειλιστή.



### 3.2.2 Υπόγειοι υδροφορείς – Γεωτρήσεις

Η ΕΥΔΑΠ σήμερα έχει στην κυριότητά της 70 περίπου εγκατεστημένες γεωτρήσεις συνολικής ισχύς 17 360 Hp και συνολικής ονομαστικής αντλητικής ικανότητας περίπου 390 000 m<sup>3</sup>/d, η οποία είναι υπολογισμένη με βάση την υφιστάμενη λειτουργικότητα των αντλιοστασίων (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009). Οι γεωτρήσεις που λειτουργούν σε ομάδες, εντοπίζονται κυρίως στο βόρειο τμήμα του υδροσυστήματος και θεωρούνται εφεδρικοί πόροι. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των ομάδων γεωτρήσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.5: Ομάδες γεωτρήσεων (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009)

Όνομα	Πλήθος γεωτρήσεων	Εγκατεστημένη ισχύς (Hp)	Υφιστάμενη αντλητική ικανότητα (x 1000 m <sup>3</sup> /d)
<i>Β.Α. ΠΑΡΝΗΘΑΣ</i>			
Μαυροσουβάλας	20	6110	120
Βίλιζας (10 <sup>οο</sup> Σίφωνα)	7	1740	23
No 3	4	760	13
<i>ΥΛΙΚΗΣ</i>			
Ούγγρων	11	1800	60
Ν.Δ. Υλίκης	14	2450	70
<i>ΜΕΣΣΟΥ ΡΟΥ Β.ΚΗΦΙΣΟΥ</i>			
Βασιλικών-Παρορίου	16	4500	100

### 3.3 Υδραγωγεία

Οι κύριοι αγωγοί μεταφοράς διακρίνονται σε κύρια, ενωτικά και βοηθητικά υδραγωγεία με συνολικά μήκη 310.7 km, 104.7 km και 80.1 km αντίστοιχα. Στον Πίνακα 3.6 παρουσιάζονται τα υδραγωγεία κατά κατηγορία με τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους.

**Διερεύνηση της ενεργειακής συνιστώσας στη διαχείριση  
του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας**

Πίνακας 3.6: Χαρακτηριστικά υδραγωγείων <sup>(1)</sup> (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009)

Όνομα	Διώρυγες (m)	Σίφωνες (m)	Σήραγγες (m)	Κλειστοί αγωγοί (m)	Σύνολο (m)
<b>ΚΥΡΙΑ</b>					
Μαραθώνα-Γαλατσίου			15785	5764	21550
Κακόςάλεσι	362	1350	9325	12769	23810
Υλίκης	23385	7500	3000	3800	37690
Μόρνου	109900	7000	70700		187600
Ευήνου					
<b>ΕΝΩΤΙΚΑ</b>					
Κιούρκων-Μενιδίου				21655	21650
Μαραθώνα (Μόρνος-Βίλιζα)	5720	2680		9450	17850
Διστόμου (Κωπαΐδα-Μόρνος)				19000	19000
Δαύλειας-Υλίκης	14000			26800	40800
Κρεμμάδας-Κλειδιού		2500		2850	5350
<b>ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ</b>					
Παράκαμψη Φ900 Βίλιζας				12700	12700
Παράκαμψη Φ1900 Μαλακάσας				1400	1400
Πλωτού Υλίκης				5170	5170
Γεωτρήσεων Βασιλικών- Παρορίου	2402			5381	7780
Γεωτρήσεων ΝΔ Υλίκης	5189	3985		150	9320
Γεωτρήσεων Ούγγρων- Μουρικού				7615	7620
Γεωτρήσεων Βίλιζας				1450	1450
<b>ΣΥΝΟΛΑ</b>	<b>160958</b>	<b>25015</b>	<b>127810</b>	<b>135954</b>	<b>438310</b>

(1) Στον πίνακα δεν περιλαμβάνονται τα βοηθητικά υδραγωγεία Αγίου Θωμά, συνολικού μήκους 7710 m. και Καλάμου, συνολικού μήκους 16400 m, καθώς το νερό που μεταφέρουν είναι ακατάλληλο για πόση.

### 3.3.1 Περιγραφή υδραγωγείων

Το υδραγωγείο Μόρνου μεταφέρει νερό από τον ταμιευτήρα του Μόρνου στις ΜΕΝ Μάνδρας και Μενιδίου και συνδέεται με το υδραγωγείο Υλίκης στη θέση Δαφνούλα μέσω του ενωτικού υδραγωγείου του Μαραθώνα.

Το *υδραγωγείο (σήραγγα) Ευήνου-Μόρνου* μεταφέρει νερό από τον ταμιευτήρα του Ευήνου στον ταμιευτήρα του Μόρνου με σήραγγα που λειτουργεί υπό πίεση και μεταβλητή παροχτευτικότητα (μέχρι  $27 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ανάλογα με τη στάθμη του ταμιευτήρα Ευήνου.

Το *υδραγωγείο Υλίκης* μεταφέρει νερό από τη λίμνη Υλίκη στον ταμιευτήρα του Μαραθώνα και τα διυλιστήρια των Κιούρκων. Συνδέεται μέσω του ενωτικού υδραγωγείου Μαραθώνα με το υδραγωγείο Μόρνου στη θέση Δαφνούλα (μεριστής Κιθαιρώνα).

Το *ενωτικό υδραγωγείο Κρεμμάδας-Κλειδιού* αποτελείται από δύο αγωγούς που εκτείνονται από το διαχωριστή Κρεμμάδας έως τη δεξαμενή Κλειδιού, μέσω του αντλιοστασίου του Ασωπού.

Το *ενωτικό υδραγωγείο Μαραθώνα* ενώνει τα κύρια υδραγωγεία Μόρνου και Υλίκης. Χρησιμοποιείται για τη μεταφορά νερού από τον υδαταγωγό του Μόρνου προς τον αντίστοιχο της Υλίκης (με βαρύτητα) αλλά και για την εκτροπή νερού προς την αντίστροφη κατεύθυνση. Μετά από αλλεπάλληλες θραύσεις του ενωτικού υδραγωγείου τα τελευταία χρόνια, αυτό χρησιμοποιείται (μετά από σειρά τεχνικών παρεμβάσεων) μόνο κατά τη μία φορά (Δαφνούλα-Κλειδί) με μέγιστη παροχή της τάξεως των  $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , χωρίς να υπάρχει δυνατότητα τροφοδοσίας του υδραγωγείου Μόρνου από το αντίστοιχο της Υλίκης μέσω του αντλιοστασίου Ασωπού.

Επίσης στο υδροδοτικό σύστημα περιλαμβάνονται το *ενωτικό υδραγωγείο Μαραθώνα-Χελιδονού* (από τη σήραγγα Μπογιατίου έως το έργο καταστροφής ενέργειας (ΕΚΕ) Χελιδονούς), το *ενωτικό υδραγωγείο Μενιδίου-Χελιδονού*, καθώς και το *υδραγωγείο Κακοσάλεσι* και το *υδραγωγείο Κόμβου Χελιδονούς-MEN Γαλασίου*. Σκοπός του τελευταίου είναι να μεταφέρει νερό από το υδραγωγείο του Μόρνου στα διυλιστήρια Γαλασίου χωρίς να διέλθει καθόλου το νερό από το υδραγωγείο της Υλίκης.

Η σπουδαιότητα των ενωτικών υδραγωγείων είναι μεγάλη, γιατί συνδέουν τα κεντρικά υδραγωγεία (άρα και τις πηγές υδροληψίας), επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο τη συντήρηση και τον έλεγχο των εγκαταστάσεων, αλλά κυρίως την επιλογή εναλλακτικών τρόπων εκμετάλλευσης των πηγών υδροδότησης και των υδραγωγείων, ανάλογα με τις υδρολογικές συνθήκες ή τις απαιτήσεις της κατανάλωσης.

### 3.3.2 Αντλιοστάσια

Τα αντλιοστάσια του υδροδοτικού συστήματος έχουν συνολική εγκατεστημένη ισχύ 97660 Hp και χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ροής από τις πηγές υδροληψίας με χαμηλό υψόμετρο (Υλίκη, γεωτρήσεις) προς τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα και το υδραγωγείο του Μόρνου. Τα βασικά χαρακτηριστικά των αντλιοστασίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.7.

Πίνακας 3.7: Χαρακτηριστικά αντλιοστασίων (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009)

Όνομα	Εγκατεστημένη Ισχύς (Hp)	Αντλητική Ικανότητα (x 1000 m <sup>3</sup> /d)
Υλίκης – Κεντρικό	17300	560
Βίλιζας	10000	490
ΑΔ1 – Δαύλειας	7700	210
ΑΔ2	7700	210
ΑΔ3	7700	210
Κρεμμάδας	1800	310
Ασωπού	9840	310
Υλίκης- 7 <sup>η</sup> μονάδα	3600	110
Υλίκης – Πλωτά	4880	700
No3 – Αυλώνας	3440	150
No4 – Σφενδάλης	1000	340
Αγ. Θωμά (ανενεργό)	4940	110
Κιούρκων – Αδιύλιστου	3500	300
Κιούρκων – Δυλισμένου	8480	210
Μαρκόπουλου	2340	42
Χελιδονούς	3440	200

Το κεντρικό αντλιοστάσιο Υλίκης (Μουρικίου) λειτουργεί για στάθμες της λίμνης 71.0-78.5 m, ενώ για στάθμες από 44.0-71.0 m λειτουργεί και το πλωτό αντλιοστάσιο της Υλίκης σε τέσσερις θέσεις (Α', Γ', Ε', Ζ'). Οι θέσεις αυτές συνδέονται με μικρή τεχνητή λίμνη (χωρητικότητας 0.6 hm<sup>3</sup>) στην υδροληψία του κεντρικού αντλιοστασίου και διατηρούν τη στάθμη της πάνω από τα 71 m, ώστε να λειτουργεί το κεντρικό αντλιοστάσιο. Το αντλιοστάσιο της Υλίκης χρησιμοποιείται και για τη μεταφορά του νερού των γεωτρήσεων Ν.Δ. Υλίκης και Ούγγρων προς το υδραγωγείο Υλίκης.

Το αντλιοστάσιο Βίλιζας χρησιμοποιείται για τη μεταφορά του νερού προς τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα. Ο συνδυασμός του με τα άλλα μικρότερα αντλιοστάσια της περιοχής (No3 - Αυλώνας, No4 - Σφενδάλης) δίνει παροχτευτική ικανότητα 5.7 m<sup>3</sup>/s.

Τα αντλιοστάσια Διστόμου (ΑΔ1, ΑΔ2, ΑΔ3) μεταφέρουν το νερό από τις γεωτρήσεις Βασιλικών - Παρορίου και το ρέμα Μαυρονερίου προς το υδραγωγείο Μόρνου. Τέλος, τα αντλιοστάσια Κρεμμάδας και Ασωπού χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του νερού από την Υλίκη προς το υδραγωγείο Μόρνου.

### **3.4 Μονάδες επεξεργασίας νερού**

Για την επεξεργασία του νερού χρησιμοποιούνται 4 ΜΕΝ (Γαλασίου, Μενιδίου, Κιούρκων και Μάνδρας) και τα κύρια χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.8.

Οι ΜΕΝ Γαλασίου υδροδοτούν το κέντρο της Αθήνας και το Δήμο Πειραιά και οι ΜΕΝ Μενιδίου τις υψηλές περιοχές του λεκανοπεδίου, ενώ ενισχύουν και τα εσωτερικά δίκτυα διανομής των δήμων Αθήνας και Πειραιά. Οι ΜΕΝ Κιούρκων υδροδοτούν τα ανατολικά προάστια, ενώ ενισχύουν και τα βόρεια. Τέλος οι ΜΕΝ Μάνδρας υδροδοτούν το Θριάσιο πεδίο, τη Σαλαμίνα και χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της υδροδότησης των δυτικών προαστίων (Κουτσογιάννης, 1999).

Τέλος κατά μήκος του υδραγωγείου Μόρνου λειτουργούν έξι μικρές μονάδες επεξεργασίας για την ύδρευση παρακείμενων δήμων.

Πίνακας 3.8: Εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού και χαρακτηριστικά τους μεγέθη (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009)

Όνομα	Υψόμετρο εγκατάστασης (m)	Μέγιστη επεξεργασία 1996-2008 (hm <sup>3</sup> /d)	Επεξεργασία αιχμής (hm <sup>3</sup> /d)	Αποθηκευτική ικανότητα (hm <sup>3</sup> /d)
Γαλασίου	+159	0.600	0.700	0.215
Μενιδίου	+232	0.678	0.800	0.280
Κιούρκων	+248	0.239	0.310	0.060
Μάνδρας	+232	0.200	0.215	0.050
Σύνολο		1.540	2.025	0.590

### **3.5 Έργα συντήρησης και αναβάθμισης του υδροδοτικού συστήματος**

Η ΕΥΔΑΠ υλοποιεί ένα πρόγραμμα κρίσιμων έργων που συγχρηματοδοτούνται από το Ταμείο Συνοχής της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα έργα αυτά αφορούν τη συντήρηση και βελτίωση του υπάρχοντος υδροδοτικού συστήματος, καθώς και νέα έργα αύξησης της

παροχαρακτηριστικότητας των υδραγωγείων και συστήματος ελέγχου και διαχείρισης των υδατικών πόρων (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009).

### **Αύξηση παροχαρακτηριστικότητας ενωτικού υδραγωγείου Υλίκης – Μόρνου στο τμήμα Κρεμμίδα – Δαφνούλα**

Τα οφέλη από το συγκεκριμένο έργο είναι καθοριστικής σημασίας για τη λειτουργία του συστήματος, καθώς με την εκτέλεση του (*Έργο Ενίσχυσης του Ενωτικού Υδραγωγείου Μόρνου - Υλίκης*), επιδιώκεται αφενός η ενίσχυση της παροχαρακτηριστικότητας στην κατεύθυνση από Υλίκη προς Μόρνο και η διασφάλιση της τροφοδοσίας στην κατεύθυνση από τον Μόρνο προς την Υλίκη.

Το έργο αποτελείται από δύο νέα αντλιοστάσια (Ασωπού & Β2) και ένα σύνολο νέων αγωγών από Κρεμμίδα έως τη δεξαμενή Κλειδιού. Πρόκειται για σημαντικότατο έργο ασφαλείας αφού παρέχει τη δυνατότητα τροφοδοσίας του υδραγωγείου Μόρνου με παροχή  $6.75 \text{ m}^3/\text{s}$  από το υδραγωγείο Υλίκης. Το έργο έχει περατωθεί, πλην όμως η λειτουργία του είναι αδύνατη λόγω των σοβαρών προβλημάτων του ενωτικού υδραγωγείου Δαφνούλας-Κλειδιού το οποίο έχει παρουσιάσει σοβαρότατα προβλήματα (θραύσεις) τα τελευταία χρόνια.

### **Αναβάθμιση υδραγωγείου Μόρνου κατάντη σήραγγας Κιθαιρώνα**

Το συγκεκριμένο έργο αποσκοπεί στη δυνατότητα χρησιμοποίησης εναλλακτικών διαδρομών μέσα στο δίκτυο, ώστε κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες, να μη διακόπτεται η υδροδότηση του Αττικού Λεκανοπεδίου. Ουσιαστικά στην περίπτωση αυτή, επιτρέπεται η παράκαμψη (bypass) της ΜΕΝ Μενιδίου και η χρησιμοποίηση της ΜΕΝ Μάνδρας για την κάλυψη του κρίσιμου στόχου «*Ζήτηση Μενίδι*».

Το έργο έχει ολοκληρωθεί μερικώς έχοντας κατασκευασθεί περίπου το ήμισυ του μήκους του αρχικά προβλεπόμενου αγωγού και τρεις συνδέσεις (κατάντη σίφωνα 168, κατάντη ΜΕΝ Μάνδρας και κατάντη σίφωνα 183). Στην παρούσα φάση, το εν λόγω τμήμα του αγωγού λειτουργεί με παροχαρακτηριστικότητα  $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### **Ενίσχυση, υπερύψωση και κάλυψη υδραγωγείου από έξοδο σήραγγας Κιθαιρώνα μέχρι Μενίδι**

Με το έργο αυτό επιδιώκεται η διασφάλιση της τροφοδοσίας και η αύξηση της παροχαρακτηριστικότητας στην γραμμή του Υδραγωγείου Μόρνου προς τα διωλιστήρια Μάνδρας

και Μενιδίου. Το έργο έχει περατωθεί μερικώς, καθώς εκκρεμεί η κατασκευή νέων σιφώνων (διδυμοποίηση).

### 3.6 Μικρά υδροηλεκτρικά έργα

Κατά μήκος των εξωτερικών υδραγωγείων έχουν κατασκευαστεί 6 μικρά υδροηλεκτρικά έργα (ΜΥΕ). Τα υδροηλεκτρικά έργα Κίρφη και Ελικώνα βρίσκονται σε πλήρη λειτουργία από το 2005, ο σταθμός Κιθαιρώνας από το 2007 και ο σταθμός Μάνδρας από το 2008. Εντός του 2009, ολοκληρώθηκε η κατασκευή και δοκιμαστική λειτουργία του μικρού υδροηλεκτρικού έργου του Εύηνου ([http://www.eydap.gr/index.asp?a\\_id=726](http://www.eydap.gr/index.asp?a_id=726)).

Ο ΥΗΣ Κλειδιού έχει κατασκευαστεί χωρίς μέχρι σήμερα να είναι δυνατή η λειτουργία του λόγω των σοβαρών προβλημάτων του ενωτικού υδραγωγείου Δαφνούλας-Κλειδιού. Στον Πίνακα 3.9 παρουσιάζονται ορισμένα χαρακτηριστικά των ΜΥΕ.

Πίνακας 3.9: Μικρά υδροηλεκτρικά έργα (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009)

Όνομα	Ισχύς (kWh)	Ενέργεια (Gwh/έτος)	Ειδικό κόστος ισχύος <sup>(1)</sup> (€/kWh)
Κίρφη	800	8.5	1.638
Ελικώνας	700	5.6	1.638
Κιθαιρώνας	1240	10.0	2.823
Κλειδί <sup>(2)</sup>	500	2.2	-----
Μάνδρα	450	4.9	3.614
Εύηνος	820	6.5	1.544

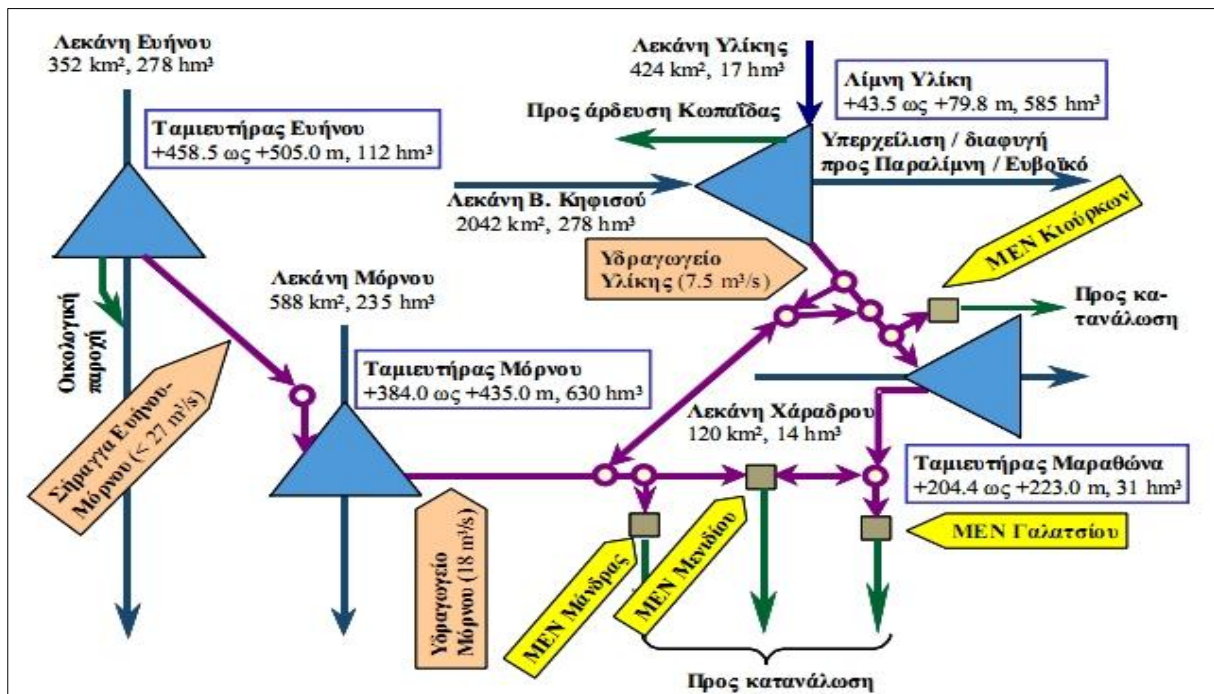
(1) Πηγή: [http://www.eydap.gr/media/DimosiesSxeseis/pinakas\\_myhe.pdf](http://www.eydap.gr/media/DimosiesSxeseis/pinakas_myhe.pdf)

(2) Δεν είναι δυνατή η λειτουργία του έργου

## 4 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

### 4.1 Εισαγωγή

Η διαχείριση του συστήματος υδατικών πόρων της ΕΥΔΑΠ συνίσταται στον καθορισμό των απολήψιμων ποσοτήτων από τους ταμιευτήρες και τους υδροφορείς καθώς και τον τρόπο διοχέτευσής τους στο δίκτυο των εξωτερικών υδραγωγείων, ώστε να εξασφαλίζεται η μακροπρόθεσμη επάρκεια των πόρων ύδρευσης της Αθήνας με το ελάχιστο δυνατό κόστος (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009). Το δίκτυο εξωτερικών υδραγωγείων περιλαμβάνει το σύνολο των αγωγών και λοιπών έργων (π.χ. αντλιοστάσια) από την έξοδο των ταμιευτήρων μέχρι τα δυλιστήρια. Μια σχηματική παρουσίαση του υδροδοτικού συστήματος απεικονίζεται στην Εικόνα 4.1. Το σχήμα είναι απλουστευτικό, αφού δεν περιλαμβάνει τις γεωτρήσεις και τα ΜΥΕ.



Εικόνα 4.1: Σχηματική απεικόνιση του υδροδοτικού συστήματος της ΕΥΔΑΠ και χαρακτηριστικά μεγέθη (έκταση και μέση ετήσια εισροή των λεκανών απορροής, μέγιστη στάθμη ελάχιστη στάθμη και ωφέλιμη χωρητικότητα ταμιευτήρων, παροχετευτικότητα αγωγών)

(Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009)



## 4.2 Φορέας διαχείρισης

Φορέας διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος είναι η Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ), η οποία ιδρύθηκε το 1980 με το Νόμο 1068/1980, μετά από συγχώνευση της Ανωνύμου Ελληνικής Εταιρείας Υδάτων των Πόλεων Αθηνών - Πειραιώς και περιχώρων (ΕΕΥ) και του Οργανισμού Αποχετεύσεων Πρωτεύουσας (ΟΑΠ) .

Η *περιοχή ευθύνης* της εταιρείας, που σχεδόν ταυτίζεται με την Περιφέρεια Πρωτεύουσας, αποτελείται από δήμους και κοινότητες των οποίων τα δίκτυα διανομής λειτουργεί και εκμεταλλεύεται η ΕΥΔΑΠ. Η *περιοχή αρμοδιότητας*<sup>5</sup> της εταιρείας περιλαμβάνει περιοχές που το δίκτυο διανομής είναι δημοτικό αλλά ενισχύεται από τους κεντρικούς τροφοδοτικούς αγωγούς της ΕΥΔΑΠ (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009).

Το 1999 με το Νόμο 2744/1999 η εταιρεία αναδιοργανώθηκε σε ΕΥΔΑΠ ΑΕ (ή ΕΥΔΑΠ) με σκοπό τη βελτίωση των προσφερόμενων από αυτή υπηρεσιών. Παράλληλα το 2000 έγινε και εισαγωγή της εταιρείας στο Χρηματιστήριο Αξιών Αθηνών με δυνατότητα διάθεσης μετοχών μέχρι ποσοστού 49%, ώστε να διατηρήσει το δημόσιο χαρακτήρα της.

Στο Νόμο 2744/1999 (Παράγραφος 4 του Άρθρου 1) περιγράφεται ο κύριος σκοπός της εταιρείας, ο οποίος είναι *«η παροχή υπηρεσιών ύδρευσης και αποχέτευσης, η μελέτη, κατασκευή, εγκατάσταση, λειτουργία, εκμετάλλευση, διαχείριση, συντήρηση, επέκταση και ανανέωση των συστημάτων ύδρευσης και αποχέτευσης. Στις δραστηριότητες και τα έργα αυτά συμπεριλαμβάνονται η άντληση, αφαλάτωση, επεξεργασία, αποθήκευση, μεταφορά, διανομή και διαχείριση των προς τους σκοπούς αυτούς αποδιδόμενων υδάτων πάσης φύσεως καθώς και τα έργα συλλογής, μεταφοράς, επεξεργασίας, αποθήκευσης και διαχείρισης των πάσης φύσεως λυμάτων (πλην των τοξικών) και η επεξεργασία, διανομή, διάθεση και διαχείριση των προϊόντων των δικτύων αποχετεύσεως»*.

Στα πλαίσια της αναδιοργάνωσης της εταιρείας, με τον ίδιο Νόμο, ιδρύεται Νομικό Πρόσωπο Δημοσίου Δικαίου (ΝΠΔΔ) με την επωνυμία «Εταιρεία Παγίων ΕΥΔΑΠ» (ΕΠΕΥΔΑΠ) με σκοπό τη διαχείριση, συντήρηση και λειτουργία των κυριότερων παγίων της εταιρείας, μεταξύ των οποίων και τα πάγια στρατηγικής σημασίας, όπως τα φράγματα και οι ταμιευτήρες Μόρνου, Ευήνου και Μαραθώνα καθώς και τα έργα και οι εγκαταστάσεις της Υλίκης. Στην κυριότητα της ΕΠΕΥΔΑΠ ανήκουν επίσης τα εξωτερικά υδραγωγεία και αντλιοστάσια, καθώς και οι άλλες εγκαταστάσεις που εξασφαλίζουν την ασφαλή μεταφορά του νερού μέχρι τις ΜΕΝ. Τέλος με βάση τη σύμβαση που υπογράφηκε μεταξύ του

<sup>5</sup>Η περιοχή αρμοδιότητας της ΕΥΔΑΠ καθορίζεται στον ιδρυτικό Νόμο 1068/1980 της εταιρείας.

Ελληνικού Δημοσίου και της ΕΥΔΑΠ (1999), η τελευταία συνεχίζει να λειτουργεί τα έργα για λογαριασμό της ΕΠΕΥΔΑΠ.

### 4.3 Σχέδιο διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος

Το σχέδιο για τη διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας είναι αποτέλεσμα της σύμβασης που έχει συναφθεί μεταξύ του Ελληνικού Δημοσίου και της ΕΥΔΑΠ και η οποία βρίσκεται σε ισχύ από τις 25-10-1999 (ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΔΑΠ, 1999). Το σχέδιο δημιουργήθηκε ώστε να αποτελέσει την απαραίτητη βάση για τη ρύθμιση θεμάτων που άπτονται σχέσεων μεταξύ των φορέων που εμπλέκονται στο υδροσύστημα της Αθήνας και ειδικότερα της ΕΥΔΑΠ, της ΕΠΕΥΔΑΠ και των συναρμόδιων υπουργείων (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009). Το πιο πρόσφατο σχέδιο διαχείρισης αφορά το υδρολογικό έτος 2008-09<sup>6</sup> και αποτελεί την όγδοη επικαιροποίηση του σχεδίου που εκδόθηκε για πρώτη φορά τον Οκτώβριο του 2000 σε εφαρμογή των άρθρων της προαναφερθείσας σύμβασης.

Στα πλαίσια της ολιστικής προσέγγισης το σχέδιο διαχείρισης έχει ενσωματώσει όλες τις πτυχές (τεχνικές, οικονομικές, ενεργειακές και περιβαλλοντικές) της διαχείρισης των υδατικών πόρων. Συγκεκριμένα μέσα στο σχέδιο διαχείρισης ορίζεται ως αντικείμενο του «η μελέτη ορθολογικών, αποδοτικών και βιώσιμων τρόπων και μεθοδολογιών διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος με στόχο την ποσοτικά αξιόπιστη, ποιοτικά και περιβαλλοντικά ασφαλή, και οικονομικά πρόσφορη κάλυψη της ζήτησης υδρευτικού νερού στην περιοχή αρμοδιότητας της ΕΥΔΑΠ, μέσω της κατάλληλης αξιοποίησης των υδατικών πόρων που διατίθενται για την κάλυψη της ζήτησης αυτής» (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009).

Οι αναζητούμενοι τρόποι διαχείρισης πρέπει να διέπονται από (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009):

- ορθολογικότητα, δηλαδή να είναι επιστημονικά θεμελιωμένοι ·
- αποδοτικότητα, δηλαδή να αξιοποιούν τους υδατικούς πόρους στο μέγιστο δυνατό βαθμό ·
- βιωσιμότητα, δηλαδή να μη δημιουργούν πρόβλημα εξάντλησης των υδατικών πόρων στο μέλλον για την κάλυψη των αναγκών του σήμερα.

### 4.4 Η πρόκληση για βελτιστοποίηση της διαχειριστικής πολιτικής

Η δομή του υδροδοτικού συστήματος και ο υψηλός βαθμός πολυπλοκότητας που διέπει τη λειτουργία του, προσφέρουν τη δυνατότητα πολλών εναλλακτικών διαχειριστικών επιλογών

<sup>6</sup>Στη συνέχεια όταν γίνεται αναφορά στο σχέδιο διαχείρισης, αυτή αφορά την τελευταία του επικαιροποίηση του για το υδρολογικό έτος 2008-2009.

αλλά και περιορισμών, με αποτέλεσμα να προκύπτει σε κάθε περίπτωση η ανάγκη για επιλογή της καλύτερης λύσης, δηλαδή για βελτιστοποίηση<sup>7</sup> της διαχείρισης.

Η προσπάθεια να βελτιστοποιήσουμε τη διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας αποτελεί μια πρόκληση από τη στιγμή που οι αποφάσεις που λαμβάνουμε σήμερα επιδρούν σημαντικά στη μακροχρόνια απόδοση του συστήματος. Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί η ξηρασία στις αρχές της δεκαετίας του 1990, που ήταν στην πραγματικότητα αποτέλεσμα της διαχειριστικής πολιτικής που εφαρμόστηκε στα μέσα του 1980 (Efstratiadis *et al.*, 2004).

Σήμερα η ΕΥΔΑΠ καλείται να προμηθεύσει 4 εκατομμύρια κατοίκους στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας με σημαντικές ποσότητες νερού υψηλής ποιότητας, ενώ συγχρόνως με την είσοδο της στο χρηματιστήριο πρέπει να λειτουργεί με βάση τους νόμους της ελεύθερης αγοράς. Παράλληλα η σύγχρονη αντίληψη για τη διαχείριση των υδατικών πόρων επιβάλλει τη κάλυψη της ζήτησης με όρους βιωσιμότητας, οικονομίας και αξιοπιστίας<sup>8</sup>, με τους στόχους της αξιοπιστίας και της οικονομικότητας να είναι προφανώς αντικρουόμενοι.

Η ανάγκη για ολοκληρωμένη και συστημική προσέγγιση του προβλήματος της διαχείρισης των υδατικών πόρων μπορεί να καλυφθεί σήμερα από ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων (ΣΥΑ), το οποίο είναι σχεδιασμένο ώστε να βοηθάει τις εταιρίες ύδρευσης να λαμβάνουν αποφάσεις σε ένα έντονα ανταγωνιστικό οικονομικό περιβάλλον (Efstratiadis *et al.*, 2004). Με το σκεπτικό αυτό η ΕΥΔΑΠ από το 2000 έχει υιοθετήσει ένα ολοκληρωμένο ΣΥΑ για τη βέλτιστη διαχείριση του υδροσυστήματος της Αθήνας.

#### **4.4.1 Επίπεδα πολυπλοκότητας στη διαχείριση του συστήματος**

Καταρχήν στο πρόβλημα της διαχείρισης του συστήματος προκύπτουν δύο αντικρουόμενα κριτήρια, η απαίτηση κάλυψης της ζήτησης νερού στη μείζονα περιοχή της Αθήνας με πολύ υψηλή αξιοπιστία και με το ελάχιστο κόστος. Ως αποδεκτή αξιοπιστία θεωρείται το 99%, η οποία αντιστοιχεί σε ένα, κατά μέσο όρο, έτος με έλλειμμα νερού στην εκατονταετία<sup>9</sup>. Ωστόσο εκτός από την ύδρευση της Αθήνας το υδροδοτικό σύστημα πρέπει να καλύψει και

---

<sup>7</sup>Βελτιστοποίηση (*optimization*) ορίζεται η διαδικασία εύρεσης της βέλτιστης δράσης σε ένα σύνολο εφικτών δράσεων (Κουτσογιάννης, 2000).

<sup>8</sup>Αξιοπιστία (*reliability*) ορίζεται η πιθανότητα επίτευξης μιας συγκεκριμένης επίδοσης για καθορισμένο χρονικό διάστημα και καθορισμένες συνθήκες (Chow *et al.*, 1988, σ.434)

<sup>9</sup>Σημειώνεται ότι αν το έλλειμμα εμφανίζεται μόνο σε ένα διυλιστήριο, θεωρείται ότι αναφέρεται σε όλη την Αθήνα.

χρήσεις ανταγωνιστικές προς αυτήν (άρδευση Κωπαΐδας και άλλες μικρές υδρευτικές χρήσεις).

Επιπλέον η λειτουργία του υδροσυστήματος πραγματοποιείται σε συνθήκες αβεβαιότητας, τόσο ως προς την εξέλιξη της κατανάλωσης όσο και ως προς τη λειτουργικότητα των κρίσιμων έργων. Ωστόσο η σημαντικότερη πηγή αβεβαιότητας είναι η υδρολογική (μη προβλέψιμες εισροές στο σύστημα) και οφείλεται στην αδυναμία πρόβλεψης των υδρομετεωρολογικών διεργασιών. Όπως ήδη αναφέρθηκε, το σύστημα λόγω της δομής του προσφέρει τη δυνατότητα εφαρμογής εναλλακτικών πολιτικών διαχείρισης, ως προς τις εκροές από τους υδατικούς πόρους (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις) αλλά και ως προς τον τρόπο κατανομής των εκροών στα υδραγωγεία.

Μια από τις σημαντικότερες ιδιαιτερότητες του συστήματος είναι ότι το υδραγωγείο Υλίκης παρουσιάζει υψηλό κόστος λειτουργίας (λόγω άντλησης) έναντι του μηδενικού κόστους της σήραγγας Ευήνου-Μόρνου και του υδραγωγείου Μόρνου που λειτουργούν με βαρύτητα.

Το σύστημα παρουσιάζει και σημαντικές απώλειες λόγω υπόγειων διαφυγών, κυρίως στη λίμνη Υλίκης (καρστικό υπόβαθρο), λόγω υπερχειλίσεων (ταμιευτήρας Ευήνου) και λόγω διαρροών από τα υδραγωγεία, κυρίως σε τμήματα του δικτύου που λειτουργούν υπό πίεση.

Τέλος υφίστανται συγκεκριμένοι περιορισμοί για τη διατήρηση περιβαλλοντικής παροχής κατάντη φράγματος Ευήνου και τον περιορισμό του ρυθμιστικού όγκου Μαραθώνα (αποφυγή υπερχειλίσης).

#### 4.5 Γενική διάταξη και συνιστώσες του ΣΥΑ

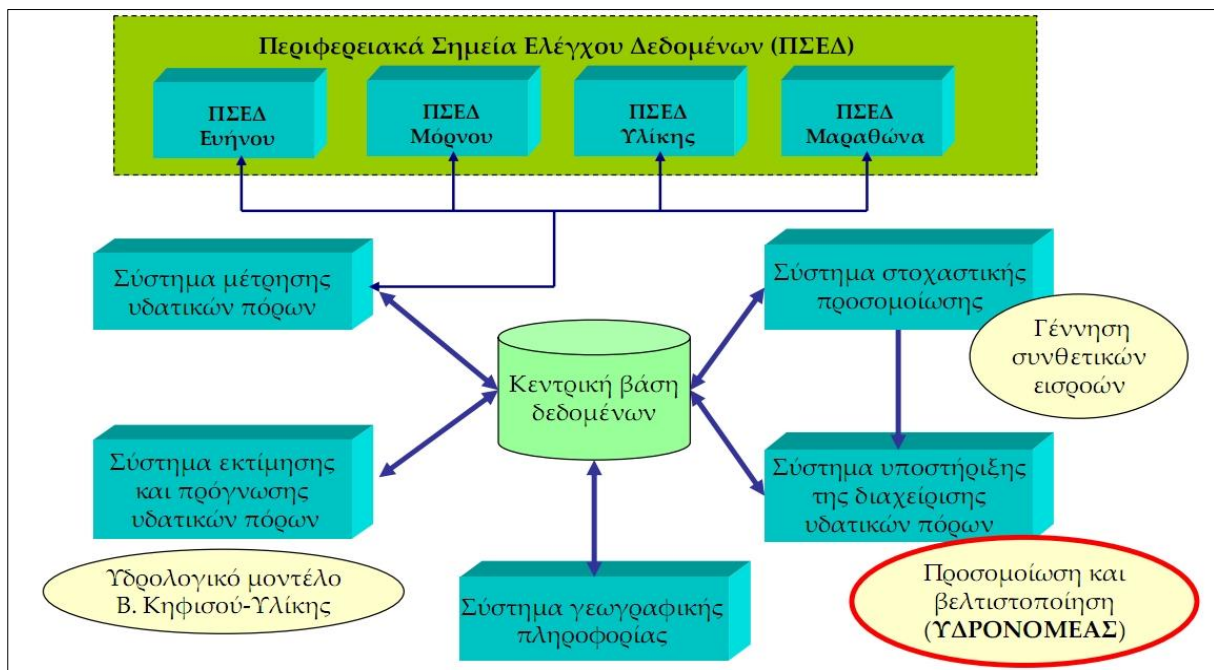
Στα πλαίσια του ερευνητικού έργου *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*<sup>10</sup> (1999-2003) το ΕΜΠ ανέπτυξε ένα ολοκληρωμένο ΣΥΑ, το οποίο χρησιμοποιείται επιχειρησιακά από την ΕΥΔΑΠ για την εποπτεία και διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος. Η γενική διάταξη και οι συνιστώσες του ΣΥΑ απεικονίζονται στην Εικόνα 4.2.

---

<sup>10</sup>Τα τεύχη του συγκεκριμένου ερευνητικού έργου είναι διαθέσιμα στην ηλεκτρονική διεύθυνση: [http://www.itia.ntua.gr/el/project\\_reports/14/](http://www.itia.ntua.gr/el/project_reports/14/)

Το ΣΥΑ στην υφιστάμενη του μορφή περιλαμβάνει τις εξής συνιστώσες (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009):

- Σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας για την απεικόνιση και εποπτεία του υδροδοτικού συστήματος, που περιλαμβάνει ένα σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων και γεωγραφικής πληροφορίας, με τα απαραίτητα δεδομένα και τα κατάλληλα υπολογιστικά εργαλεία (λογισμικό Υδρογνώμων).
- Σύστημα μέτρησης των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας, που περιλαμβάνει ένα δίκτυο αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών μέτρησης υδρολογικών και μετεωρολογικών μεταβλητών.
- Σύστημα εκτίμησης και πρόγνωσης των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας, που περιλαμβάνει το λογισμικό Κασταλία, που υλοποιεί ένα μοντέλο στοχαστικής προσομοίωσης<sup>11</sup> και πρόγνωσης των εισροών των ταμιευτήρων, καθώς και ένα μοντέλο προσομοίωσης του υδρολογικού κύκλου στη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού.
- Σύστημα υποστήριξης της διαχείρισης των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας, που αποτελεί το κεντρικό διαχειριστικό εργαλείο και περιλαμβάνει το μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης του υδροσυστήματος (λογισμικό Υδρονομέας).



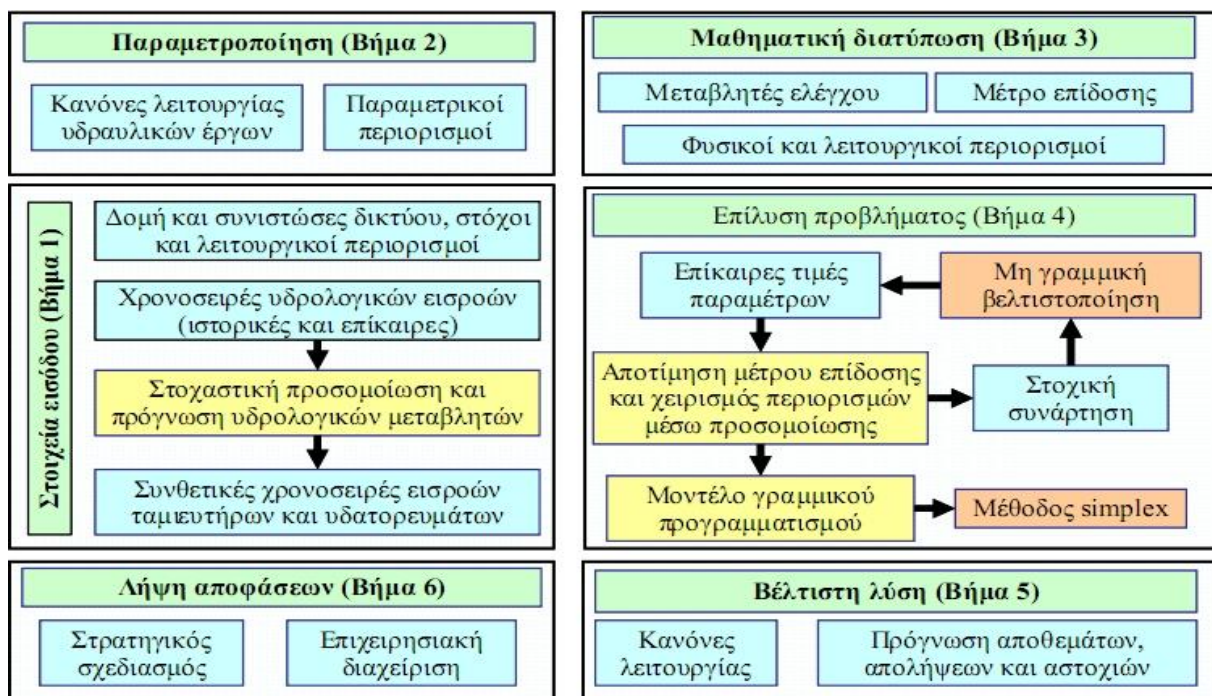
Εικόνα 4.2: Γενική διάταξη και συνιστώσες ΣΥΑ (Πηγή Ευστρατιάδης κ.ά., 2007β)

<sup>11</sup>Προσομοίωση (*simulation*) είναι η τεχνική μίμησης της λειτουργίας ενός πραγματικού συστήματος όπως αυτό εξελίσσεται στο χρόνο (Winston, 1994, σ.23) με σκοπό τη μελέτη συμπεριφοράς ενός συστήματος, όταν η εφαρμογή αναλυτικών μεθόδων είναι ανέφικτη ή ιδιαίτερα δυσχερής (Κουτσογιάννης, 2000).

#### 4.6 Μεθοδολογία προσομοίωσης και βελτιστοποίησης του υδροσυστήματος

Η μεθοδολογία διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας βασίζεται εξολοκλήρου σε πρωτότυπη ερευνητική εργασία (Nalbantis and Koutsoyiannis, 1997) της οποίας θεωρητική βάση είναι το σχήμα παραμετροποίηση-προσομοίωση-βελτιστοποίηση για την αντιμετώπιση προβλημάτων βέλτιστου ελέγχου υδροσυστημάτων<sup>12</sup>.

Στόχος του μαθηματικού μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης είναι αφενός η όσο το δυνατόν ακριβέστερη αναπαράσταση των διεργασιών που σχετίζονται με τη λειτουργία ενός συστήματος υδατικών πόρων και αφετέρου η εύρεση πρόσφορων πολιτικών διαχείρισης, που βελτιστοποιούν την επίδοση του συστήματος (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2004).



Εικόνα 4.3: Μεθοδολογικό σχήμα παραμετροποίηση-προσομοίωση-βελτιστοποίηση εφαρμοσμένο στον έλεγχο ενός υδροσυστήματος (Πηγή: Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2004)

Στην Εικόνα 4.3 απεικονίζεται το γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο του μοντέλου όπως αυτό υλοποιήθηκε στο λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ.

Η κεντρική ιδέα της μεθοδολογίας συνίσταται στην παραμετρική διατύπωση των πρακτικών διαχείρισης των κύριων υδραυλικών έργων (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις), ώστε να

<sup>12</sup>Λεπτομερής περιγραφή της μεθοδολογίας δίνεται από τους Ευστρατιάδη κ.ά. (2007β).

περιορίζεται δραστικά το πλήθος των βαθμών ελευθερίας του μαθηματικού μοντέλου. Οι πρακτικές αυτές, καθώς και το σύνολο των φυσικών και λειτουργικών περιορισμών του υδροσυστήματος, ενσωματώνονται σε μια διαδικασία προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αξιολογούνται ποσοτικά, με σκοπό την αποτίμηση ενός μέτρου επίδοσης. Ακολούθως, ένας αλγόριθμος μη γραμμικής βελτιστοποίησης αναλαμβάνει τον εντοπισμό των βέλτιστων τιμών των παραμέτρων ως προς το εν λόγω μέτρο επίδοσης, εξετάζοντας συστηματικά ένα πλήθος εναλλακτικών τιμών παραμέτρων (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009).

#### **4.7 Το λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ**

Το μεθοδολογικό πλαίσιο της διαχείρισης του υδροσυστήματος υλοποιήθηκε στο λογισμικό Υδρονομέας<sup>13</sup>. Ο Υδρονομέας είναι ένα εξελιγμένο μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης συστημάτων υδατικών πόρων και αποτελεί την κεντρική εφαρμογή του ΣΥΑ του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας.

Το λογισμικό λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά του φυσικού συστήματος (υδρολογικές εισροές), τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά των υδραυλικών έργων καθώς και τις υδατικές ανάγκες και τους λειτουργικούς περιορισμούς και εντοπίζει την πλέον πρόσφορη πολιτική διαχείρισης με τη μορφή κανόνων λειτουργίας των κύριων υδραυλικών έργων.

Στην ουσία πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο υπολογιστικό σύστημα επιχειρησιακού προσανατολισμού που δίνει απαντήσεις σε ερωτήματα της μορφής (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2004):

- Ποια είναι η μέγιστη ετήσια δυνατότητα απόληψης νερού, για δεδομένο υδρολογικό καθεστώς και δεδομένη αξιοπιστία;
- Με ποια διαχειριστική πολιτική και με ποιο κόστος εξασφαλίζεται η παραπάνω απόληψη νερού;
- Ποια είναι η βέλτιστη πολιτική διαχείρισης για την κάλυψη δεδομένης ζήτησης, για δεδομένο υδρολογικό καθεστώς και δεδομένη αξιοπιστία;
- Ποιο είναι το ελαχιστοποιημένο κόστος της πολιτικής αυτής;
- Πως θα εξελιχθεί η διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων κατά τους επόμενους μήνες, με βάση διάφορα υδρολογικά σενάρια;

---

<sup>13</sup>Λεπτομερής περιγραφή του λογισμικού δίνεται από τους Καραβοκυρό κ.ά. (2004), ενώ η πρόσφατη έκδοση του Υδρονομέα (4.1) είναι διαθέσιμη για λήψη στην ηλεκτρονική διεύθυνση: <http://www.odysseusproject.gr/gr/download/index.htm>.

- Ποια είναι η επίπτωση στο μέλλον (π.χ. σε ορίζοντα δεκαετίας) ενός συγκεκριμένου διαχειριστικού μέτρου;
- Ποιες είναι οι επιπτώσεις ενός νέου έργου, και ποιος ο βέλτιστος χρόνος ένταξής του στο σύστημα;
- Ποιες είναι οι επιπτώσεις ενός αρνητικού κλιματικού σεναρίου (έμμονη ξηρασία, κλιματική αλλαγή) και πως αυτό πρέπει να αντιμετωπιστεί;
- Πόσο επαρκή είναι τα υφιστάμενα έργα αξιοποίησης για την κάλυψη ειδικών συνθηκών (π.χ. απότομη αύξηση της κατανάλωσης) ή έκτακτων περιστατικών (π.χ. βλαβών), και με ποιον τρόπο αντιμετωπίζονται τα περιστατικά αυτά;

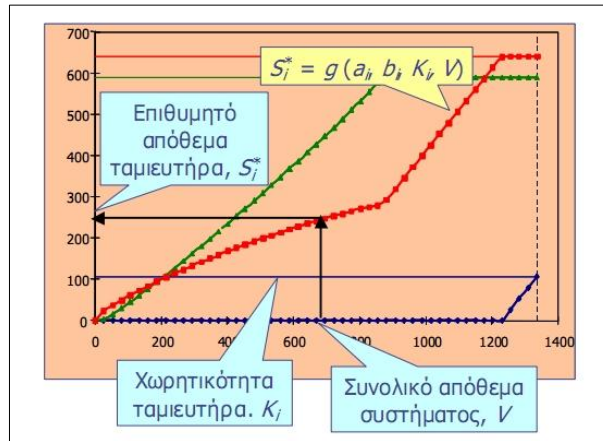
#### **4.7.1 Πλεονεκτήματα Υδρονομία**

Το λογισμικό έχει μεγάλη ευελιξία ως προς τις δυνατότητες σχηματοποίησης, ενώ το μαθηματικό του μοντέλο αποσκοπεί στη ρεαλιστική αναπαράσταση των διεργασιών του συστήματος. Επίσης δίνει ιδιαίτερη έμφαση στη φειδωλή παραμετροποίηση του συστήματος για τη μείωση του υπολογιστικού φόρτου και υπάρχει δυνατότητα εφαρμογής πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης για διάφορα κριτήρια αξιολόγησης. Οι διαχειριστικές πολιτικές που προκύπτουν ως αποτέλεσμα περιγράφονται με χρήση πρακτικών κανόνων (νομογραφήματα ταμιευτήρων, όρια ενεργοποίησης γεωτρήσεων). Τέλος το σημαντικότερο πλεονέκτημα του λογισμικού είναι η στοχαστική πρόγνωση των υδρολογικών και διαχειριστικών μεγεθών και η ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας και του ρίσκου.

#### **4.7.2 Αποτελέσματα του Υδρονομία**

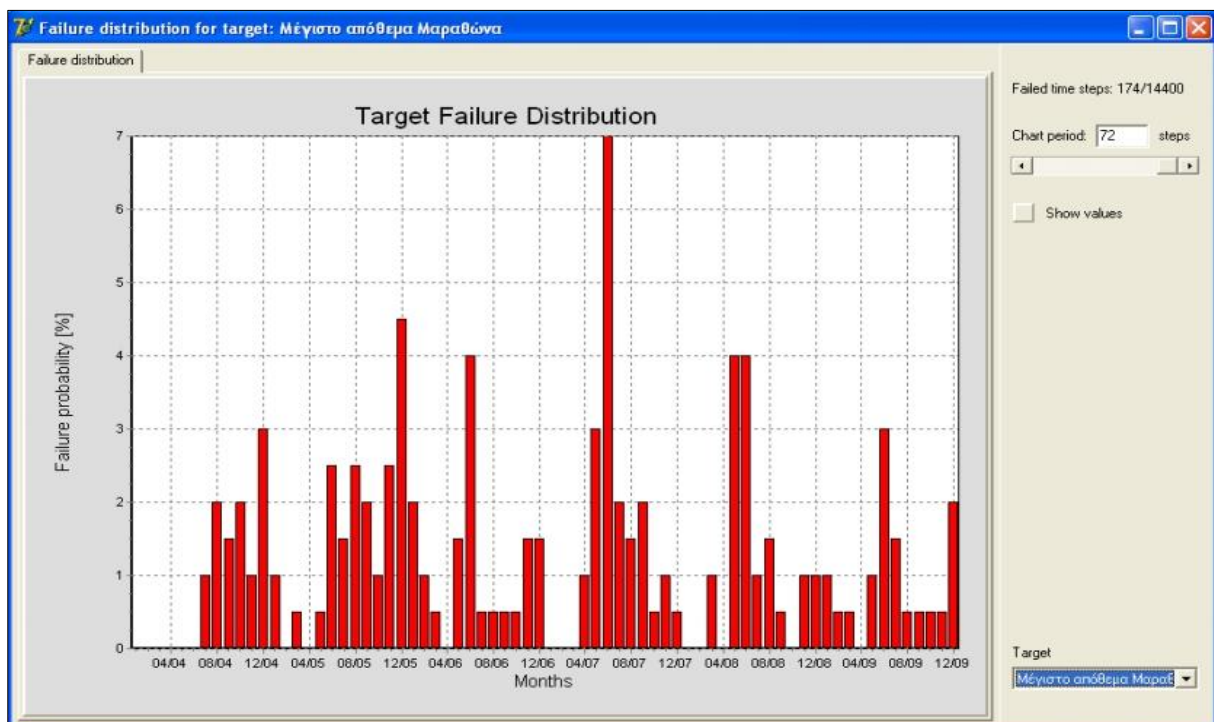
Έξοδος του μοντέλου είναι η βέλτιστη λύση του προβλήματος, δηλαδή οι βελτιστοποιημένοι κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων υπό μορφή εύχρηστων διαγραμμάτων (Εικόνα 4.4).





Εικόνα 4.4: Γραφική απεικόνιση παραμετρικών κανόνων λειτουργίας ταμιευτήρων  
(Πηγή: Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2004)

Άλλες έξοδοι του μοντέλου είναι ένα πλήθος πληροφοριών που αναφέρονται στην εκτίμηση της πιθανότητας αστοχίας των στόχων και των λειτουργικών περιορισμών και τη στοχαστική πρόγνωση όλων των μεταβλητών του υδροσυστήματος (απολήψεις, παροχές υδραγωγείων, αντλήσεις, κλπ.). Επίσης έξοδοι του μοντέλου είναι τα υδατικά και ενεργειακά ισοζύγια όλων των συνιστωσών του υδροσυστήματος (ταμιευτήρες, κόμβοι, υδραγωγεία, γεωτρήσεις, στρόβιλοι, αντλιοστάσια), που προκύπτουν με στατιστική επεξεργασία των σεναρίων πρόγνωσης. Στις Εικόνες 4.5, 4.6 και 4.7 παρουσιάζονται ενδεικτικά παραδείγματα των αποτελεσμάτων προσομοίωσης του μοντέλου.



Εικόνα 4.5: Παράδειγμα πρόγνωσης μηνιαίας πιθανότητας αστοχίας στόχου

## Διερεύνηση της ενεργειακής συνιστώσας στη διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας

Balance sheets				
Reservoirs   Nodes   Conduits   Energy	Specific energy	Discharge	Energy consumption	Energy production
<b>TURBINES</b>				
SUB TOTAL		0.00		0.00
<b>PUMPING STATIONS</b>				
Ενωτικό (ανάστρ.)	0.63 (0.00)	3.79 (4.55)	2.37 (2.84)	
ΑΔ1-ΑΔ2-ΑΔ3	1.63 (0.00)	0.62 (1.56)	1.01 (2.53)	
Με πλωτά	0.73 (0.00)	5.80 (7.77)	2.41 (3.29)	
Χιάρης πλωτά	0.60 (0.00)	1.60 (4.27)	0.73 (1.93)	
Χελιδονού-Μενίδι (αντ)	0.44 (0.00)	0.02 (0.35)	0.01 (0.15)	
Φ900 (αντ)	2.63 (0.00)	0.01 (0.02)	0.01 (0.06)	
Φ900	0.39 (0.00)	1.23 (1.12)	0.48 (0.43)	
Σίφων Βιλλίας (αντ)	0.60 (0.00)			
Νο 4-Φρέαρ Α (αντ)	0.71 (0.00)	0.10 (0.38)	0.07 (0.27)	
Νο 3-Φρέαρ Α (αντ)	2.60 (0.00)	0.02 (0.19)	0.06 (0.50)	
Κούρκα-Μενίδι	0.34 (0.00)	1.58 (1.27)	0.54 (0.43)	
Κούρκα-Διυλιστήρια	1.88 (0.00)	5.78 (1.69)	0.43 (0.13)	
Βιλλία-Νο 10	0.39 (0.00)	2.71 (2.98)	1.05 (1.16)	
Κρεμμάδα-Κλειδί	0.55 (0.00)	3.85 (4.59)	2.12 (2.53)	
SUB TOTAL		27.10	11.28	
<b>BOREHOLE GROUPS</b>				
Όλιγγρα-Ν.Δ. Υάλη	0.65 (0.00)	0.58 (1.51)	0.38 (0.98)	
Γεωτρ. Βασιλικά-Παρόρι	0.29 (0.00)	0.62 (1.56)	0.18 (0.45)	
Νο 3	1.63 (0.00)	0.13 (0.32)	0.21 (0.51)	
Μαυροσουβάλη	1.91 (0.00)	0.54 (1.31)	1.03 (2.50)	
10ου Σίφωνα	1.31 (0.00)	0.12 (0.29)	0.16 (0.38)	
Γεωτρ. Τσιόραρες	0.85 (0.00)	0.05 (0.25)	0.04 (0.21)	
SUB TOTAL		2.04	2.00	
TOTAL		29.14	13.27	0.00

From Date: Ιανουάριος 2009

To Date: Δεκέμβριος 4007

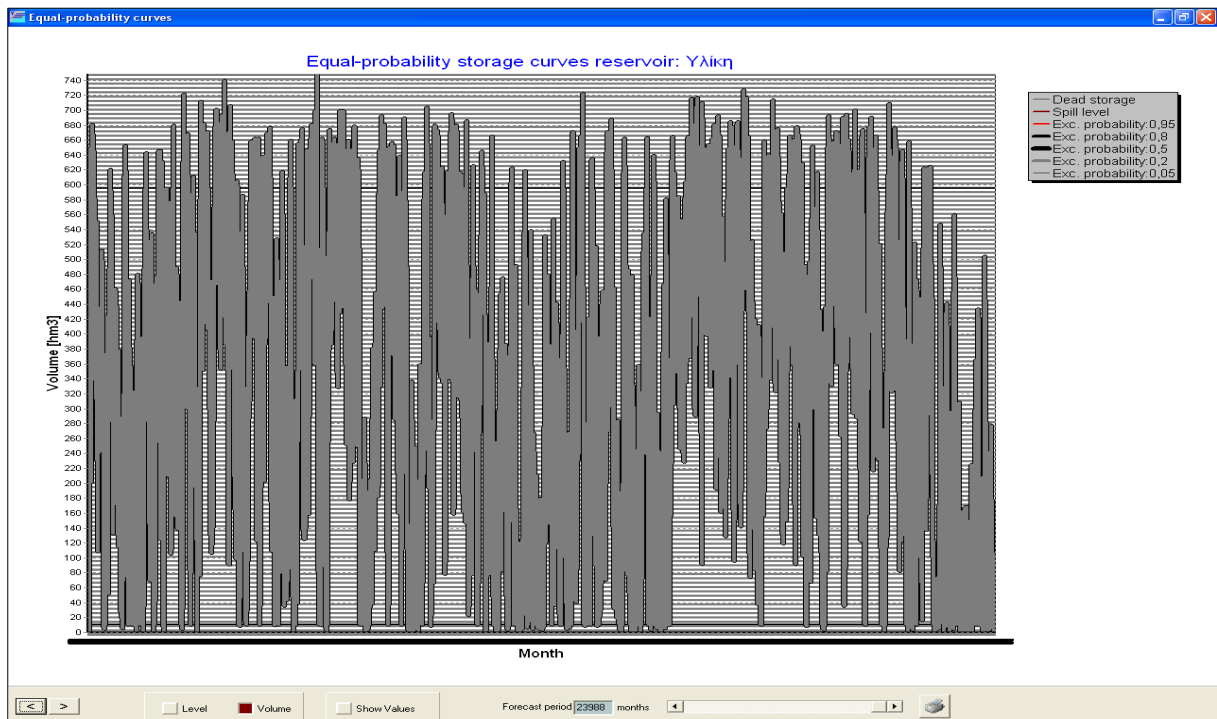
Calculate

months), based on the last simulation. Last simulation period: 1/1/2009 - 31/12/4007.

All values represent the monthly mean and standard deviation value (in brackets).

Units: Specific energy in kWh/m<sup>3</sup> or Unit specific energy in GWh/m<sup>4</sup>. Discharge in hm<sup>3</sup>, Energy in GWh.

Εικόνα 4.6: Παράδειγμα αποτελεσμάτων υδατικού ισοζυγίου ταμειυτήρων



Εικόνα 4.7: Παράδειγμα καμπυλών πρόγνωσης αποθέματος για διάφορες πιθανότητες υπέρβασης

Τα αποτελέσματα αυτά υποστηρίζουν τον αρμόδιο χρήστη (στην περίπτωση μας την ΕΥΔΑΠ) στη λήψη ορθολογικών αποφάσεων είτε σε επίπεδο στρατηγικού σχεδιασμού είτε σε κλίμακα επιχειρησιακής διαχείρισης. Π.χ. οι πληροφορίες αυτές μπορούν να αξιοποιηθούν στον προγραμματισμό νέων έργων (σύγκριση εναλλακτικών επιλογών), στη διερεύνηση

σεναρίων έκτακτης λειτουργίας (π.χ. βλάβης δικτύου, απότομη αύξηση κατανάλωσης) και τέλος σε μελέτες οικονομικής σκοπιμότητας σε συνδυασμό με το λογισμικό ΕΡΜΗΣ.

## 4.8 Περιγραφή του μοντέλου του υδροσυστήματος

### 4.8.1 Γενικά

Το υδατικό σύστημα παρίσταται ως ένα δίκτυο από κόμβους και κλάδους. Οι κόμβοι του δικτύου αποτελούν σημεία προσφοράς (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις) ή ζήτησης νερού, σημεία διακλάδωσης καθώς και σημεία αλλαγής των υδραυλικών χαρακτηριστικών των αγωγών. Οι κλάδοι ορίζουν τις δυνατές διαδρομές του νερού και ταυτίζονται με τους πραγματικούς αγωγούς του δικτύου. Οι ταμιευτήρες και οι γεωτρήσεις αποτελούν ειδικές κατηγορίες κόμβων με δυνατότητα αποθήκευσης επιφανειακών υδατικών πόρων και με δυνατότητα άντλησης νερού από υπόγειους υδροφορείς αντίστοιχα (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009).

Στην Εικόνα 4.8 απεικονίζεται η υφιστάμενη μορφή του συστήματος, χωρίς τη λειτουργία του ενωτικού υδραγωγείου. Το μοντέλο περιλαμβάνει όλους τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους (κύριους και εφεδρικούς), τα έργα αξιοποίησης νερού που χρησιμοποιεί η ΕΥΔΑΠ (ΜΥΕ) και τη βασική τοπολογία του δικτύου.

### 4.8.2 Χαρακτηριστικά του δικτύου

#### 4.8.2.1 Γεωτρήσεις

Οι ομάδες γεωτρήσεων αντιμετωπίζονται ως εφεδρικοί πόροι, το δυναμικό των οποίων ταυτίζεται με την τρέχουσα αντλητική ικανότητα και θεωρείται κατά προσέγγιση σταθερό.

Στο μοντέλο εισάγονται οι ακόλουθες ομάδες γεωτρήσεων (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009):

- Ούγγρων – Ν.Δ. Υλίκης, με δυναμικότητα  $1.50 \text{ m}^3/\text{s}$
- Βασιλικών – Παρορίου, με δυναμικότητα  $1.16 \text{ m}^3/\text{s}$
- 10<sup>ον</sup> Σίφωνα, με δυναμικότητα  $0.27 \text{ m}^3/\text{s}$
- Νο3, με δυναμικότητα  $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$
- Μαυροσουβάλας, με δυναμικότητα  $1.39 \text{ m}^3/\text{s}$
- Ταξιαρχών, με δυναμικότητα  $0.54 \text{ m}^3/\text{s}$

Κατά τη θερινή περίοδο (Ιούνιος–Σεπτέμβριος), από τη συνολική δυναμικότητα των γεωτρήσεων της Μαυροσουβάλας, εξαιρείται εκείνη η παροχή που υπολογίζεται ότι αποτελεί συνεισφορά της ΕΥΔΑΠ σε τοπικούς οικισμούς και δεν καταλήγει στο δίκτυο ύδρευσης της

Αθήνας, η οποία ανέρχεται στα  $0.13 \text{ m}^3/\text{s}$ . Οι λοιπές ομάδες γεωτρήσεων της ΕΥΔΑΠ καθώς και το μικρό φράγμα υδροληψίας του Αγίου Θωμά δεν λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009).

#### **4.8.2.2 Αντλιοστάσια**

Για όλους τους κλάδους η φορά ροής είναι μοναδική με εξαίρεση το ενωτικό υδραγωγείο Κιθαιρώνα και το υδραγωγείο Διστόμου που διαθέτουν δυνατότητα αμφίδρομης ροής και αναπαρίστανται με τη μορφή δύο παράλληλων κλάδων αντίθετης φοράς.

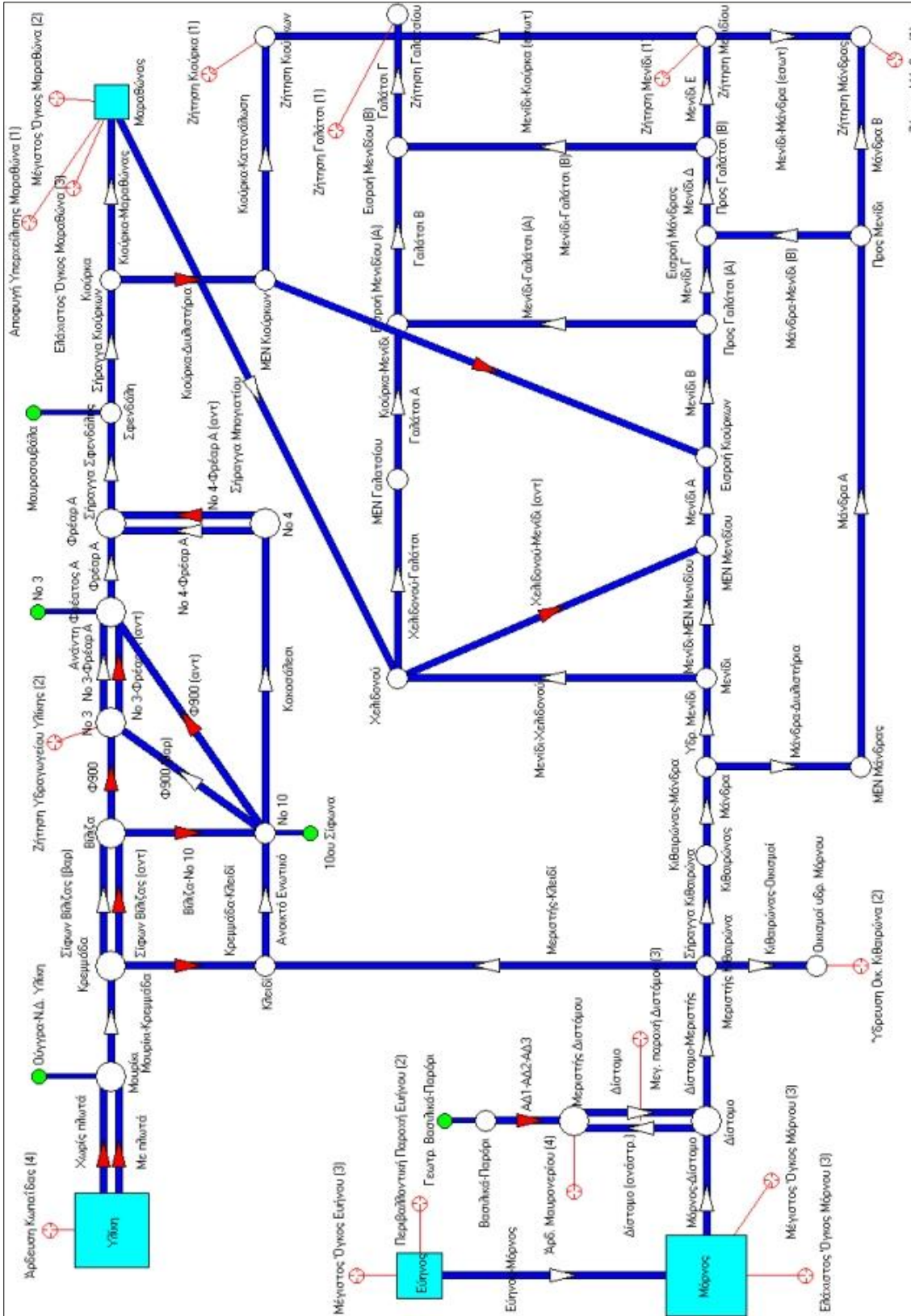
Σε ορισμένες περιπτώσεις η παροχαρακτηριστικότητα ενός τμήματος του δικτύου μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση αντλιοστασίων οπότε σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται στο μοντέλο δύο παράλληλοι κλάδοι. Ο πρώτος κλάδος προσομοιώνει τη ροή που πραγματοποιείται με βαρύτητα (μηδενικό κόστος μεταφοράς), ενώ ο δεύτερος κλάδος προσομοιώνει τη ροή που πραγματοποιείται με άντληση (τεχνητή προσαύξηση της τιμής του κόστους).

Στο μοντέλο του υδροσυστήματος παρουσιάζονται τρεις τέτοιες περιπτώσεις κλάδων. Συγκεκριμένα (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009):

- Στο τμήμα Κρεμμάδα – Βίλιζα, το οποίο μπορεί να παροχετεύσει  $3.2 \text{ m}^3/\text{s}$  με βαρύτητα και  $4.3 \text{ m}^3/\text{s}$  με τη λειτουργία του ωθητικού αντλιοστασίου.
- Στο τμήμα Βίλιζα – Φρέαρ Α μέσω του αγωγού Φ 900, ο οποίος μπορεί να παροχετεύσει  $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$  με βαρύτητα το οποίο προσαυξάνεται με σε  $1.7 \text{ m}^3/\text{s}$  με τη λειτουργία του αντλιοστασίου Νο3.
- Στο τμήμα Κλειδί – Φρέαρ (υδραγωγείο Κακοσάλεσι), το οποίο μπορεί να παροχετεύσει  $3.1 \text{ m}^3/\text{s}$  με βαρύτητα και άλλα  $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$  με τη λειτουργία του αντλιοστασίου Νο4.

Επίσης στο μοντέλο χρησιμοποιούνται σε διάφορες περιπτώσεις εικονικοί κλάδοι για λόγους παρουσίασης και απλοποίησης. Συγκεκριμένα δύο εικονικοί κλάδοι θεωρούνται κατάντη της Υλίκης. Ο πρώτος προσομοιώνει τη λειτουργία των πλωτών αντλιοστασίων για στάθμες χαμηλότερες από  $+ 71.0 \text{ m}$ , και ο δεύτερος τη λειτουργία του κύριου αντλιοστασίου της λίμνης (αντλιοστάσιο Μουρικίου).

Διερεύνηση της ενεργειακής συνιστώσας στη διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας



Εικόνα 4-8: Σχηματική παράσταση του υφιστάμενου μοντέλου του υδροσυστήματος, όπως απεικονίζεται στο γραφικό περιβάλλον του Υδρονομία

Εικονικοί κλάδοι χρησιμοποιούνται επίσης για την περιγραφή και προσομοίωση της λειτουργίας του κόμβου Χελιδονούς. Στον συγκεκριμένο κόμβο φτάνει αδιύλιστο νερό τόσο από τον Μαραθώνα (μέσω της σήραγγας Μπογιατίου) όσο και από τον Μόρνο (μέσω Μενιδίου), το οποίο διοχετεύεται έπειτα στη μονάδα επεξεργασίας Γαλατσίου. Από τις αρχές του 2002, υπάρχει πλέον η δυνατότητα αμφίδρομης ροής από Χελιδονού προς Μενίδι μέσω νέου αντλιοστασίου, έτσι ώστε η μονάδα επεξεργασίας Μενιδίου να τροφοδοτείται και από τον Μαραθώνα (κάλυψη της υψηλής ζήτησης από ΜΕΝ Μενιδίου). Οι διαδρομές από και προς Χελιδονού, που στην πραγματικότητα πραγματοποιούνται μέσω του ίδιου αγωγού, προσομοιώνονται από δύο κλάδους. Ο πρώτος, ο οποίος προσομοιώνει τη μεταφορά αδιύλιστου νερού από τον Μόρνο και έχει παροχετευτικότητα ίση με  $5.9 \text{ m}^3/\text{s}$ , ξεκινά ανάντη της ΜΕΝ Μενιδίου (κόμβος Μενίδι) και καταλήγει στον κόμβο Χελιδονού, ενώ ο δεύτερος, ο οποίος προσομοιώνει τη μεταφορά αδιύλιστου νερού από τον Μαραθώνα και θα έχει παροχετευτικότητα αρχικά  $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$  και μελλοντικά  $6.0 \text{ m}^3/\text{s}$ , ξεκινά από τη Χελιδονού και καταλήγει στη ΜΕΝ Μενιδίου. Για τους δύο παραπάνω κλάδους ορίστηκε ειδικός μαθηματικός περιορισμός ώστε να απαγορεύεται η ταυτόχρονη χρήση τους.

#### **4.8.2.3 Απώλειες νερού στα εξωτερικά υδραγωγεία**

Η προσομοίωση των διαρροών στο μαθηματικό μοντέλο του υδροσυστήματος έγινε με τη θεώρηση σταθερού ποσοστού απωλειών κατά μήκος συγκεκριμένων κλάδων του δικτύου. Συγκεκριμένα (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009) :

- για το υδραγωγείο του Μόρνου θεωρήθηκε συντελεστής διαρροών ίσος με 10% στο τμήμα από το Δίστομο μέχρι τον Μεριστή Κιθαιρώνα, το οποίο περιλαμβάνει τη Διώρυγα Θηβών, και 6% στη Σήραγγα Κιθαιρώνα.
- στο υδραγωγείο Μουρίκι-Κρεμμάδα θεωρήθηκε συντελεστής διαρροών ίσος με 5%.
- στη Σήραγγα Κιούρκων θεωρήθηκε συντελεστής διαρροών ίσος με 7%.

#### **4.8.3 Στόχοι και περιορισμοί του συστήματος**

Στο μοντέλο του συστήματος εισάγονται στόχοι και περιορισμοί με συγκεκριμένη σειρά προτεραιότητας, ώστε σε περίπτωση ανεπαρκών αποθεμάτων το μοντέλο να ικανοποιεί μόνο τους στόχους υψηλής προτεραιότητας.

Ο πρωταρχικός στόχος του υδροσυστήματος είναι η κάλυψη της ζήτησης του νερού στη μείζονα περιοχή Αθηνών με τη μέγιστη δυνατή αξιοπιστία και το ελάχιστο κόστος. Η

συνολική ζήτηση της Αθήνας επιμερίζεται σε 4 ζώνες (Μενιδίου, Γαλατσίου, Κιούρκων, Μάνδρας) που αναφέρονται σε περιοχές κατάντη των αντίστοιχων μονάδων επεξεργασίας.

Στόχος πρώτης προτεραιότητας αποτελεί και η αποφυγή υπερχειλίσης του Μαραθώνα, λόγω της ανάπτυξης οικισμών στα κατάντη του φράγματος. Για τους ταμιευτήρες Μόρνου και Ευήνου τίθενται επίσης ανώτατα όρια διακύμανσης του μικτού αποθέματος (σταθερά για όλο το υδρολογικό έτος) για τον περιορισμό της πιθανότητας της υπερχειλίσης των ταμιευτήρων. Για τον ταμιευτήρα του Μόρνου ορίζεται ένας στόχος για τη διατήρηση ελάχιστου ωφέλιμου αποθέματος, στην περίπτωση εξαιρετικά δυσμενών συνθηκών (μηδενικές απορροές).

Εκτός από τη μείζονα περιοχή της Αθήνας, το δίκτυο εξυπηρετεί και ορισμένες τοπικές χρήσεις νερού, κυρίως για την ύδρευση παρακείμενων στο κανάλι του Μόρνου οικισμών. Για το λόγο αυτό στο μοντέλο εισάγεται ο κόμβος ζήτησης στο μεριστή Κιθαιρώνα. Επίσης απολήψεις πραγματοποιούνται και κατά μήκος του υδραγωγείου της Υλίκης, κυρίως στο τμήμα μεταξύ Κρεμμάδας και Βίλιζας, οι οποίες αφορούν στην ύδρευση παρακείμενων στο υδραγωγείο οικισμών, στρατοπέδων και βιομηχανικών μονάδων.

Επίσης για την άμβλυνση των επιπτώσεων από τη λειτουργία του ταμιευτήρα Ευήνου, προβλέπεται η διατήρηση μόνιμης παραμένουσας ροής (περιβαλλοντική παροχή) κατάντη του φράγματος Αγίου Δημητρίου ίσης με  $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Για λόγους ασφαλείας του υδραγωγείου Υλίκης αλλά και για την επιχειρησιακή ετοιμότητα όλου του κλάδου και για συντήρηση των αντλιοστασίων, τίθεται ένα ελάχιστο όριο τροφοδοσίας του υδραγωγείου μέσω του αντλιοστασίου Μουρικού.

Τέλος στο μοντέλο εισάγονται ως στόχοι χαμηλής προτεραιότητας η άρδευση της Κωπαΐδας με άντληση από την Υλίκη (μόνο για τη θερινή περίοδο) και η άρδευση της περιοχής Μαυρονερίου (μόνο για τη θερινή περίοδο) από το υδραγωγείο του Μόρνου μέσω της αντίστροφης λειτουργίας του υδραγωγείου Διστόμου.

Στον Πίνακα 4.1 φαίνονται οι στόχοι του συστήματος καθώς και η κατηγορία και η προτεραιότητα του κάθε στόχου, όπως αυτά εισάγονται στο μοντέλο του Υδρονομέα για το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας.



**Διερεύνηση της ενεργειακής συνιστώσας στη διαχείριση  
του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας**

Πίνακας 4.1: Στόχοι του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας

	Όνομασία	Συνιστώσα αναφοράς	Κατηγορία στόχου	Προτεραιότητα στόχου
1	Ζήτηση Γαλάτσι	Ζήτηση Γαλατσίου	Water supply	1
2	Ζήτηση Μενίδι	Ζήτηση Μενιδίου	Water supply	1
3	Ζήτηση Μάνδρα	Ζήτηση Μάνδρας	Water supply	1
4	Ζήτηση Κιούρκα	Ζήτηση Κιούρκων	Water supply	1
5	Αποφυγή υπερχείλισης Μαραθώνα	Μαραθώνας	No spill	1
6	Ζήτηση υδραγωγείου Υλίκης	No 3	Water supply	2
7	Ύδρευση οικισμού Κιθαιρώνα	Οικισμοί υδρ. Μόρνου	Water supply	2
8	Μέγιστος όγκος Μαραθώνα	Μαραθώνας	Max. volume	2
9	Περιβαλλοντική παροχή Ευήνου	Εύηνος	Water supply	2
10	Μέγιστος όγκος Ευήνου	Εύηνος	Max. volume	3
11	Μέγιστη παροχή Ταξιαρχών	Γεωτρήσεις Υλίκης	Max. flow	3
12	Ελάχιστος όγκος Μόρνου	Μόρνος	Min. volume	3
13	Μέγιστος όγκος Μόρνου	Μόρνος	Max. volume	3
14	Μέγιστη παροχή Διστόμου	Δίστομο	Max. flow	3
15	Ελάχιστος όγκος Μαραθώνα	Μαραθώνας	Min. volume	3
16	Άρδευση Μαυρονερίου	Μεριστής Διστόμου	Irrigation	3
17	Άρδευση Κωπαΐδας	Υλίκη	Irrigation	3



## 5 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

### 5.1 Εισαγωγή

Το σχέδιο διαχείρισης έχει ως επιμέρους σκοπό την οικονομικά πρόσφορη κάλυψη της ζήτησης υδρευτικού νερού στην περιοχή αρμοδιότητας της ΕΥΔΑΠ. Ο Υδρονομέας, που αποτελεί τον πυρήνα του ΣΥΑ του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, προσφέρει δυνατότητες ενσωμάτωσης της οικονομικής και ενεργειακής πτυχής της διαχείρισης. Συγκεκριμένα υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής οικονομικών και ενεργειακών στοιχείων στις συνιστώσες του δικτύου (καθορισμός ενεργειακής συμπεριφοράς), αποτίμησης κάθε διαχειριστικής πολιτικής σε οικονομικούς όρους και βελτιστοποίησης της διαχείρισης του συστήματος με βάση οικονομικά και ενεργειακά κριτήρια.

### 5.2 Ενεργειακές συνιστώσες του μοντέλου

#### 5.2.1 Αντλιοστάσια-Στρόβιλοι

Τα αντλιοστάσια (*pump*) και οι στρόβιλοι (*turbine*) του συστήματος αναπαριστώνται στο μοντέλο του ως υδραγωγεία<sup>14</sup> με επιπρόσθετα χαρακτηριστικά. Στο αντλιοστάσιο η μεταφορά νερού από ένα σημείο του δικτύου σε ένα άλλο πραγματοποιείται με κατανάλωση ενέργειας, ενώ ο στρόβιλος έχει τη δυνατότητα παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διέλευση παροχής από αυτό.

Η κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία του αντλιοστασίου (ή παραγωγή ενέργειας για την περίπτωση του στρόβιλου) μεταβάλλεται συναρτήσει του ύψους πτώσης, δηλαδή της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ του ανάντη και του κατόντη κόμβου ή ταμειυτήρα. Στην περίπτωση αυτή η κατανάλωση (ή παραγωγή) ενέργειας δίνεται από τη σχέση:

$$E = \psi \times V \times \Delta h$$

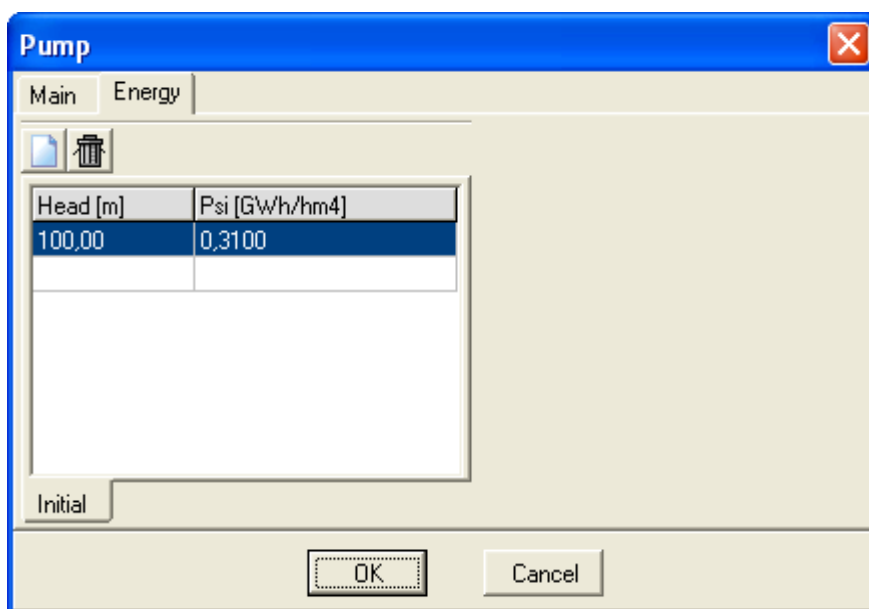
<sup>14</sup>Με τον όρο υδραγωγείο αναφερόμαστε σε ένα τεχνικό έργο πεπερασμένης παροχетеυτικότητας που συνδέει δύο κόμβους του υδροσυστήματος και μπορεί να αντιπροσωπεύει έναν μεμονωμένο αγωγό ή ένα σύστημα αγωγών σε σειρά, όπως π.χ. σωληνωτούς αγωγούς, διώρυγες, σήραγγες και σίφωνες (Καραβοκυρός κ.ά., 2007). Εναλλακτικά, το υδραγωγείο μπορεί να οριστεί ως το εννοιολογικό αντικείμενο που συνδέει έναν κόμβο μεγαλύτερου ενεργειακού υψομέτρου (ανάντη κόμβος) με έναν κόμβο μικρότερου ενεργειακού υψομέτρου (κατόντη κόμβος), καθορίζοντας έτσι μονοσήμαντα την φορά ροής του νερού (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007).

όπου:

- $E$ = κατανάλωση (ή παραγωγή) ενέργειας (σε GWh)
- $V$ = ο διερχόμενος όγκος νερού από το αντλιοστάσιο (ή το στροβίλο) (σε  $\text{hm}^3$ )
- $\Delta h$ = ύψος πτώσης (σε m)
- $\psi$ = συντελεστής ειδικής ενέργειας (σε  $\text{GWh}/\text{hm}^4$ )

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ορίσει το συντελεστή ειδικής ενέργειας για διάφορα ύψη πτώσης, καθώς και για διαφορετικές χρονικές περιόδους (Εικόνα 5.1).

Στην περίπτωση του αντλιοστασίου ο συντελεστής ενέργειας έχει ελάχιστη δυνατή τιμή  $0.2725 \text{ GWh}/\text{hm}^4$ , η οποία αντιστοιχεί σε μοναδιαίο συντελεστή απόδοσης και σε μηδενικές γραμμικές και τοπικές απώλειες. Αντίθετα ο συντελεστής ειδικής ενέργειας στην περίπτωση του στροβίλου έχει μέγιστη δυνατή τιμή  $0.2725 \text{ GWh}/\text{hm}^4$ , η οποία επίσης αντιστοιχεί σε μοναδιαίο συντελεστή απόδοσης και σε μηδενικές γραμμικές και τοπικές απώλειες<sup>15</sup>. Τέλος σε αντίθεση με τα υδραγωγεία η μεταφορά νερού μέσω των αντλιοστασίων και των στροβίλων πραγματοποιείται χωρίς διαρροές.



Εικόνα 5.1: ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ - Φόρμα δεδομένων αντλιοστασίου για τον ορισμό συντελεστή ειδικής ενέργειας συναρτήσει του ύψους πτώσης

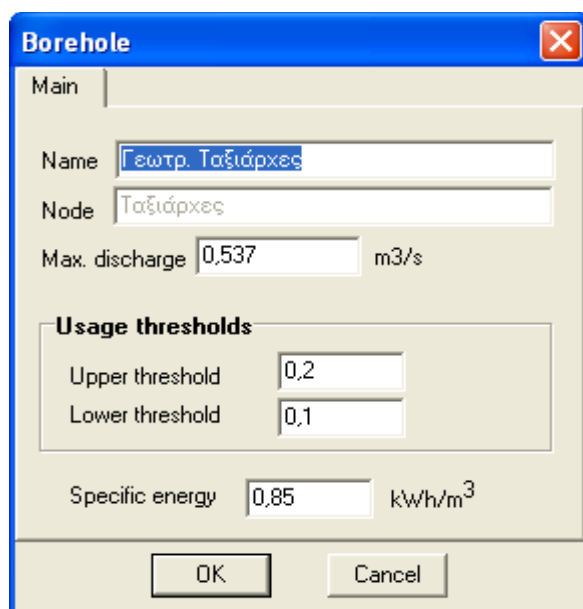
<sup>15</sup>Περισσότερες λεπτομέρειες για τις προϋποθέσεις κάτω από τις υπολογίζεται ο συντελεστής ειδικής ενέργειας για τα αντλιοστάσια και τους στροβίλους περιέχονται στο (Ευστρατιάδης κ.ά.,2007)

## 5.2.2 Γεωτρήσεις

Η γεώτρηση (*borehole*) αναφέρεται σε μια εικονική συνιστώσα, που περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα έργα υδροληψίας από υπόγειους υδροφορείς. Κατά την μοντελοποίηση τους οι γεωτρήσεις έχουν ομαδοποιηθεί, ώστε να αναπαριστούν τη συνολική απόληψη (άντληση) νερού από κάθε υδραυλικά ανεξάρτητο υπόγειο σύστημα (υδροφορέα) (Ευστρατιάδης, 2009). Επομένως η γεώτρηση στο μοντέλο λαμβάνει τα αθροιστικά χαρακτηριστικά της ομάδας γεωτρήσεων.

Το χαρακτηριστικό (και σημαντικότερο) μέγεθος της γεώτρησης είναι η ειδική ενέργεια (*specific energy*) που δίνεται σε μονάδες  $\text{kWh/m}^3$  και εισάγεται από τη φόρμα δεδομένων της γεώτρησης (Εικόνα 5.2). Η ειδική ενέργεια εκφράζει την κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για την άντληση ενός κυβικού μέτρου νερού από τον υπόγειο υδροφορέα.

Επίσης μέσα από τη φόρμα δεδομένων της γεώτρησης μπορούμε να καθορίσουμε τη μέγιστη παροχή και τα όρια λειτουργίας της γεώτρησης. Η μέγιστη παροχή (*maximum discharge*) εισάγεται σε μονάδες  $\text{m}^3/\text{s}$  και αναφέρεται στην παροχεταιυτική ικανότητα της γεώτρησης, και αν πρόκειται για ομάδα γεωτρήσεων στην αθροιστική παροχεταιυτική τους ικανότητα.



Εικόνα 5.2: ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ-Φόρμα εισαγωγής δεδομένων γεώτρησης

Τα πεδία συντελεστών άνω και κάτω ορίου (*upper threshold, lower threshold*) σχετίζονται με τον τρόπο λειτουργίας της γεώτρησης κατά την προσομοίωση και μπορούν να πάρουν τιμές από 0 έως 1. Η τιμή τους προκύπτει με βάση την πολιτική λειτουργίας των γεωτρήσεων που θα καθορίσουμε για κάθε σενάριο.

### 5.2.2.1 Πολιτική λειτουργίας των γεωτρήσεων

Οι κανόνες λειτουργίας των γεωτρήσεων χρησιμοποιούν τις δύο παραμέτρους κατωφλίου για κάθε γεώτρηση (ή ομάδα γεωτρήσεων), με βάση της οποίες καθορίζεται αν θα επιτραπουν ή όχι οι υπόγειες απολήψεις ανάλογα με το τρέχον επιφανειακό απόθεμα του συστήματος. Οι παράμετροι κατωφλίου εκφράζουν κρίσιμα όρια του ποσοστού πλήρωσης των ταμιευτήρων, το οποίο ορίζεται ως το συνολικό απόθεμα των ταμιευτήρων προς το τη συνολική ωφέλιμη χωρητικότητα των ταμιευτήρων (δηλαδή το μέγιστο δυνατό απολήψιμο δυναμικό του συστήματος).

Συγκεκριμένα η λειτουργία κάθε γεώτρησης βασίζεται στον εξής κανόνα (Ευστρατιάδης, 2009):

- Αν το ποσοστό υπερβαίνει το άνω όριο (*upper threshold*), τότε απαγορεύεται η χρήση της συγκεκριμένης ομάδας και οι απολήψεις νερού πραγματοποιούνται αποκλειστικά από τους ταμιευτήρες.
- Αν το ποσοστό είναι μικρότερο από το κάτω όριο (*lower threshold*), τότε επιβάλλεται η χρήση της συγκεκριμένης ομάδας γεωτρήσεων ανεξαρτήτως κόστους.
- Σε ενδιάμεσες τιμές η ομάδα γεωτρήσεων ενεργοποιείται ή όχι με βάση οικονομικά κριτήρια (κατανάλωση ενέργειας).

Επομένως η πολιτική εκμετάλλευσης του διαθέσιμου υπόγειου δυναμικού μπορεί να καθοριστεί μέσα από τις παραμέτρους κατωφλίου. Δηλαδή το αν θα χρησιμοποιούμε π.χ. τις γεωτρήσεις υπό συνθήκες βιώσιμης διαχείρισης ή χωρίς οικονομικούς περιορισμούς αντικατοπτρίζεται στην πολιτική λειτουργίας των γεωτρήσεων.

## 5.3 Οικονομικά και ενεργειακά δεδομένα μοντέλου

Στον Υδρονομέα το μοντέλο είναι διαμορφωμένο ώστε να λαμβάνει υπόψη στοιχεία κόστους και οφέλους καθώς και δεδομένα παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007β) στα πλαίσια της ολιστικής προσέγγισης στο πρόβλημα διαχείρισης των υδατικών πόρων. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα να ορίσουμε ειδικά κριτήρια ελέγχου (ενεργειακά & οικονομικά), ώστε σε συνδυασμό με τις προτεραιότητες των χρήσεων (π.χ. ύδρευση) και τους περιορισμούς του συστήματος (π.χ. παροχτευτικότητα υδραγωγείων) να προχωρήσουμε σε συγκριτική αξιολόγηση εναλλακτικών πολιτικών διαχείρισης.

Αναλυτικότερα μέσω του γραφικού του περιβάλλοντος του Υδρονομέα μπορούμε να εισάγουμε οικονομικά δεδομένα κόστους και οφέλους που προκύπτουν από τη μεταφορά του

νερού μέσω του δικτύου, σε συγκεκριμένες συνιστώσες αυτού. Τα κόστη που εισάγονται είναι δύο κατηγοριών (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007β):

- *πάγια κόστη*, από την ενεργοποίηση κάθε συνιστώσας του δικτύου ·
- *μεταβλητά κόστη*, που αναφέρονται στη μεταφορά νερού μέσω της εν λόγω συνιστώσας.

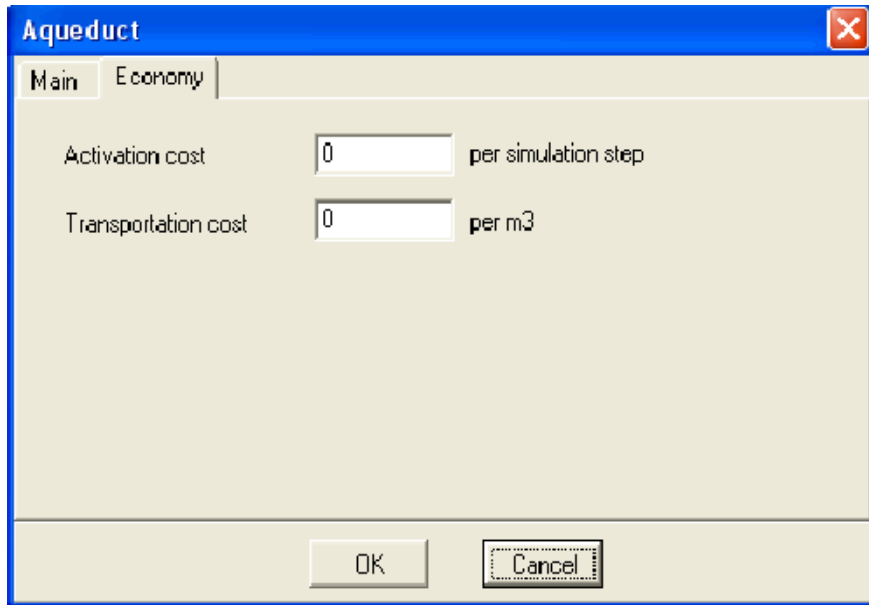
Τα παραπάνω μεγέθη μπορούν να οριστούν μόνο στις γεωτρήσεις, τα υδραγωγεία και τα αντλιοστάσια.

Τα *πάγια κόστη* εκφράζονται σε χρηματικές μονάδες και υπολογίζονται στο συνολικό κόστος όταν χρησιμοποιείται η αντίστοιχη συνιστώσα του δικτύου, δηλαδή όταν η μεταφερόμενη ποσότητα νερού στο χρονικό βήμα είναι μη μηδενική. Το κόστος αυτό στην περίπτωση των υδραγωγείων ισοδυναμεί με το κόστος ενεργοποίησής τους (*activation cost*). Στην ουσία πρόκειται για ένα ιδεατό κόστος που δεν έχει απαραίτητα αντιστοίχιση σε πραγματικό κόστος. Επίσης Πρέπει να σημειωθεί ότι η *πάγια* δαπάνη από την ενεργοποίηση των συνιστωσών λαμβάνεται υπόψη μόνο στην αποτίμηση της διαχειριστικής πολιτικής, μετά το πέρας της προσομοίωσης και όχι κατά τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007β).

Το *μεταβλητό κόστος* για τις γεωτρήσεις και τα αντλιοστάσια διατυπώνεται ως χρηματική δαπάνη ανά μονάδα καταναλισκόμενης ενέργειας (π.χ. €/kWh), ενώ στα υδραγωγεία διατυπώνεται ως χρηματική δαπάνη ανά μονάδα μεταφερόμενου όγκου (π.χ. €/m<sup>3</sup>) και εισάγεται ως κόστος μεταφοράς (*transportation cost*).

Στην περίπτωση των υδραγωγείων, για την εισαγωγή των οικονομικών στοιχείων υπάρχει ειδική φόρμα (Εικόνα 5.3). Στις γεωτρήσεις και τα αντλιοστάσια το μεταβλητό κόστος ενσωματώνεται μέσω της ειδικής ενέργειας που εισάγουμε στις αντίστοιχες φόρμες δεδομένων.

Μέσω των οικονομικών στοιχείων (*κόστος ενεργοποίησης και μεταφοράς*) μπορεί να επηρεαστεί η χρήση μίας συνιστώσας σε σχέση με άλλες αντίστοιχες συνιστώσες κατά την προσομοίωση του μοντέλου. Π.χ. ορίζοντας μία θετική τιμή κόστους αποτρέπεται η χρήση του υδραγωγείου (μίας διαδρομής) εφόσον υπάρχουν εναλλακτικές δυνατότητες, ενώ ορίζοντας ένα αρνητικό κόστος (όφελος) προτιμάται το συγκεκριμένο υδραγωγείο σε σχέση με άλλα μεγαλύτερου κόστους (Καραβοκυρός κ.ά., 2007). Η προεπιλεγμένη (*default*) τιμή που έχει οριστεί μέσα στο πρόγραμμα είναι η μηδενική.



Εικόνα 5.3: ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ-Φόρμα δεδομένων υδραγωγείου για την εισαγωγή οικονομικών στοιχείων

Όπως είναι δομημένο το μοντέλο, τα οικονομικά οφέλη του συστήματος προέρχονται από την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται μέσω των στροβίλων. Το μοντέλο διακρίνει την ενέργεια που παράγεται σε κάθε στρόβιλο σε πρωτεύουσα και δευτερεύουσα. Η πρώτη αναφέρεται στην ενέργεια που είναι διαθέσιμη με κάποιο υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας, π.χ. 99%, ενώ η δεύτερη εκτιμάται ως η περίσσεια μεταξύ της ολικής και πρωτεύουσας τιμής. Δεδομένο εισόδου του μοντέλου στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ είναι οι τιμές μονάδας από την παραγωγή πρωτεύουσας και δευτερεύουσας ενέργειας, που είναι κοινές για όλους τους στροβίλους και διατυπώνονται ως χρηματικό όφελος (ή αρνητικό κόστος) ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας (kWh) (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007β).

Ο Υδρονομέας μας προφέρει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε συγκεκριμένους ενεργειακούς και οικονομικούς δείκτες ως μέτρο επίδοσης για την αξιολόγηση μιας διαχειριστικής επιλογής. Οι δείκτες αυτοί μπορεί να είναι οι εξής:

- I. *Οικονομικοί δείκτες:*
  - Μέσο ετήσιο κόστος λειτουργίας αντλιοστασίων
  - Μέσο ετήσιο κόστος λειτουργίας υδραγωγείων
  - Μέσο ετήσιο ενεργειακό όφελος
- II. *Ενεργειακοί δείκτες:*
  - Μέση ετήσια παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας
  - Μέση ετήσια παραγωγή δευτερεύουσας ενέργειας

Η μεγιστοποίηση της παραγωγής πρωτεύουσας και δευτερεύουσας ενέργειας, η ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης ή η ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς μπορούν να αποτελέσουν κριτήρια (μεταβλητές του συστήματος) προς βελτιστοποίηση, στα πλαίσια διερεύνησης εναλλακτικών πολιτικών διαχείρισης του συστήματος.

Ωστόσο πρέπει να τονίσουμε ότι σε περίπτωση που εισάγουμε ως μόνο κριτήριο βελτιστοποίησης την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς, δεν θα εξασφαλίσουμε τη *βιωσιμότητα*, δηλαδή την επάρκεια των πόρων σε μακροχρόνιο ορίζοντα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι έννοιες του κόστους και της αξιοπιστίας στη διαχείριση των υδατικών πόρων είναι αντικρουόμενες (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007β).

Στην περίπτωση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, όπου πρωταρχικός στόχος είναι η κάλυψη της ζήτησης με υψηλό βαθμό αξιοπιστίας (99%), η βελτιστοποίηση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δευτερώων κριτήριο στο μέτρο επίδοσης. Για το λόγο αυτό θα εισαχθεί με μικρότερο συντελεστή βάρους σε σχέση με αυτόν που αντιστοιχεί στο κριτήριο της αξιοπιστίας της ζήτησης.

Τέλος στην περίπτωση που θέλουμε να εισάγουμε επιπλέον οικονομικά δεδομένα κόστους και οφέλους που να σχετίζονται με τη χρήση των υδατικών πόρων, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο οικονομικής αποτίμησης *Ερμής* το οποίο συνεργάζεται με τον Υδρονομέα.

Το μοντέλο ΕΡΜΗΣ παρέχει τα κύρια οικονομικά εργαλεία για την ανάλυση και αποτίμηση του κόστους εφαρμογής των σεναρίων διαχείρισης των συστημάτων υδατικών πόρων λαμβάνοντας υπόψη τις κατευθυντήριες γραμμές της οδηγίας πλαισίου για τα νερά (ΕΕ 2000/60), ενώ δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη της ανάλυσης της χρηματοοικονομικής συνιστώσας των διαχειριστικών σεναρίων με στόχο την επιλογή της βέλτιστης υδατικής πολιτικής (Κυριαζοπούλου, 2006)

#### **5.4 Η οικονομική προσέγγιση του σχεδίου διαχείρισης**

Μέχρι σήμερα στα σχέδια διαχείρισης που έχουν εκπονηθεί τα οικονομικά δεδομένα κόστους και οφέλους έχουν ενσωματωθεί στο μαθηματικό μοντέλο μόνο με τη μορφή των τιμών ειδικής ενέργειας, σε kWh/m<sup>3</sup> για τις γεωτρήσεις και σε GWh/hm<sup>4</sup> για τα αντλιοστάσια. Δηλαδή ο οικονομικός παράγοντας εκφράζεται σε μονάδες καταναλισκόμενης ενέργειας προς τον όγκο νερού που μεταφέρεται από τους κλάδους του δικτύου, ενώ για λόγους απλούστευσης το μέγεθος αυτό θεωρείται σταθερό για κάθε συνιστώσα.

Στο μοντέλο του συστήματος δεν έχουν εισαχθεί δεδομένα ειδικής ενέργειας για τους στροβίλους, το οποίο οφείλεται -εν μέρει- στην έλλειψη ολοκληρωμένων στοιχείων λειτουργίας των ΜΥΗΕ. Ωστόσο ο σημαντικότερος λόγος είναι ότι τα ΜΥΗΕ, ενώ λειτουργούν κατά μήκος των εξωτερικών υδραγωγείων τα οποία διαχειρίζεται η ΕΠΕΥΔΑΠ ανήκουν στην ΕΥΔΑΠ ΑΕ. Η ΕΥΔΑΠ Α.Ε, που καρπώνεται τελικά τα οικονομικά έσοδα από τη λειτουργία των ΜΥΗΕ, είναι εταιρεία εισηγμένη στο χρηματιστήριο και ουσιαστικά ανεξάρτητη από την ΕΠΕΥΔΑΠ.

Για τη λειτουργία των υδραγωγείων δεν έχουν εισαχθεί οικονομικά στοιχεία, με το κόστος ενεργοποίησης τους να είναι μηδενικό (προεπιλεγμένη τιμή). Για το κόστος μεταφοράς (μεταβλητό κόστος), όταν η ροή γίνεται με βαρύτητα (π.χ. στο υδραγωγείο του Μόρνου) τότε αυτό είναι μηδενικό. Ωστόσο στην περίπτωση που η παροχευτικότητα αυξάνεται με τη χρήση αντλιοστασίου, τότε για τον κλάδο του αντλιοστασίου το κόστος (σε μονάδες ειδικής ενέργειας) προσ αυξάνεται τεχνητά, έτσι ώστε να αναφέρεται στο σύνολο της παροχής που διέρχεται από το υδραγωγείο (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009).

Τελικώς το μοναδικό κόστος που ενσωματώνεται μέσα στο μοντέλο είναι το κόστος λειτουργίας των αντλιοστασίων και συγκεκριμένα το κόστος άντλησης του νερού, ενώ κανένα άλλο στοιχείο κόστους του αντλιοστασίου δεν λαμβάνεται υπόψη. Η εκτίμηση του κόστους άντλησης για κάθε αντλιοστάσιο προκύπτει με βάση τα ιστορικά μηνιαία δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας (σε kWh) της ΕΥΔΑΠ και τις αντίστοιχες ποσότητες νερού που αντλήθηκαν (σε hm<sup>3</sup>), με βάση τα οποία προσδιορίζονται οι τιμές της ειδικής ενέργειας κάθε συνιστώσας.

## **5.5 Η ενεργειακή προσέγγιση του σχεδίου διαχείρισης**

Η δομή του υδροδοτικού συστήματος της ΕΥΔΑΠ, μέσω των πολλαπλών συστημάτων και εγκαταστάσεων, είναι τέτοια που προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες στα καίρια ζητήματα της παραγωγής και εξοικονόμησης ενέργειας.

Ως προς την ενεργειακή πτυχή, το σχέδιο διαχείρισης μελετά την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας μέσω των στροβίλων και την εξοικονόμηση ενέργειας λόγω μείωσης των αντλήσεων. Στο πρόβλημα της διαχείρισης των εξωτερικών υδραγωγείων του συστήματος αυτές είναι οι μόνες πτυχές που σχετίζονται άμεσα με την ενέργεια.

Λόγω των συνθηκών που αναφέραμε προηγουμένως, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζεται μέσω του Υδρονομέα, αλλά δε λαμβάνεται υπόψη στην οικονομική ανάλυση του σχεδίου διαχείρισης καθώς αποτελεί θέμα της ΕΥΔΑΠ Α.Ε..



Οι σημαντικότερες ενεργειακές καταναλώσεις οφείλονται στην ενεργοποίηση των αντλιοστασίων για τη λειτουργία του υδραγωγείου της Υλίκης και των γεωτρήσεων, στην περίπτωση που το νερό από το σύστημα Ευήνου – Μόρνου δεν επαρκεί για την κάλυψη της ζήτησης. Ωστόσο με την υφιστάμενη κατάσταση του δικτύου (αδυναμία αμφίδρομης λειτουργίας του ενωτικού υδραγωγείου) η λειτουργία του υδραγωγείου της Υλίκης, παρά το υψηλό ενεργειακό κόστος, είναι κρίσιμη και απαραίτητη για την κάλυψη των στόχων ζήτησης της ύδρευσης.

Επομένως στην περίπτωση που η χρήση του υδραγωγείου της Υλίκης και των γεωτρήσεων είναι επιβεβλημένη, η βελτιστοποίηση της διαχείρισης του εξωτερικού υδραγωγείου αποσκοπεί στην εξοικονόμηση ενέργειας σε δύο συγκεκριμένους τομείς (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009):

- στην μείωση των απαιτούμενων αντλήσεων των ωστικών αντλιοστασίων και των γεωτρήσεων.
- στην μείωση των απαιτούμενων αντλήσεων από τα ωστικά αντλιοστάσια της Υλίκης.

Τέλος η εξοικονόμηση ενέργειας πέρα από τα οικονομικά οφέλη για το φορέα διαχείρισης, μπορεί να συνεισφέρει και στη βελτίωση της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς του συστήματος, μέσω της μείωσης των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα.

## **5.6 Οι αδυναμίες του σχεδίου διαχείρισης**

Η ειδική ενέργεια των γεωτρήσεων και των αντλιοστασίων αποτελεί σίγουρα το σημαντικότερο οικονομικό στοιχείο του που έχει ενσωματωθεί στο μοντέλο του υδροδοτικού συστήματος. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μια ρεαλιστική προσέγγιση του συνολικού κόστους διαχείρισης, ωστόσο και άλλες παράμετροι θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη ώστε να επιτευχθεί μια πιο ακριβής προσέγγιση του συνολικού διαχειριστικού κόστους.

Στο συνολικό κόστος θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη μεταξύ άλλων, τα κόστη συντήρησης (ταμιευτήρων, ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού) ή το πρόσθετο κόστος στην περίπτωση ενεργοποίησης εφεδρικών πόρων (π.χ. γεωτρήσεις), αλλά η εκτίμησή τους δεν αποτελεί μια εύκολη διαδικασία (Efstratiadis *et al.*, 2004).

Επιπλέον στην περίπτωση υπολογισμού του κόστους άντλησης, ο λογαριασμός κατανάλωσης δεν εξαρτάται μόνο από την ενέργεια που καταναλώνεται, αλλά και από άλλες παραμέτρους, όπως τη χρονική ομοιομορφία στην κατανάλωση (μέσω του συντελεστή χρήσης) ή την υπέρβαση στη συμφωνημένη ποσότητα κατανάλωσης (Ευστρατιάδης κ.ά.,

2009). Το κόστος άντλησης θα μπορούσε να συμπεριλάβει και τη χρέωση του ρεύματος ανάλογα με το διάστημα που αυτή πραγματοποιείται (π.χ. νυχτερινό ρεύμα).

Στον υπολογισμό της ειδικής ενέργειας των αντλιοστασίων έχει εντοπιστεί σημαντική ανάγκη για την επικαιροποίηση των δεδομένων ενεργειακής κατανάλωσης και αντλούμενων ποσοτήτων για την επίτευξη καλύτερης προσέγγισης στην τιμή της ειδικής ενέργειας.

Σχετικά με το κόστος μεταφοράς, αυτό θα μπορούσε να θεωρηθεί είτε σταθερό είτε μεταβλητό, αν και η δεύτερη περίπτωση είναι σαφώς πιο πολύπλοκη. Το μεταβλητό κόστος μπορεί να σχετίζεται με μεταβλητό υδραυλικό φορτίο, π.χ. στην περίπτωση αντλίας μέσα σε γέωτρηση (Efstratiadis *et al.*, 2004).

Μια αναλυτικότερη διερεύνηση του προσδιορισμού του κόστους θα μπορούσε να περιλαμβάνει τον τρόπο τιμολόγησης του ρεύματος που παρέχει η ΔΕΗ στην ΕΥΔΑΠ, αλλά και την τιμή πώλησης στη ΔΕΗ του ρεύματος από τις ΜΥΗΕ. Στην περίπτωση πώλησης του ρεύματος, τα πράγματα είναι περίπλοκα γιατί μεν η ΕΠΕΥΔΑΠ διαχειρίζεται τα εξωτερικά υδραγωγεία, ωστόσο οι ΜΥΗΕ οι οποίες λειτουργούν κατά μήκος των εξωτερικών υδραγωγείων ανήκουν στην ΕΥΔΑΠ ΑΕ η οποία και τελικά καρπώνεται τα οικονομικά οφέλη.

Τέλος στο μέλλον μελέτες οικονομικής σκοπιμότητας κάθε διαχειριστικής πολιτικής θα μπορούσαν να εκπονούνται με χρήση του λογισμικού Ερμής παράλληλα με το σχέδιο διαχείρισης με τελικό σκοπό τη σταδιακή τους ενσωμάτωση σε αυτό.

## 5.7 Ο ρόλος του ενωτικού υδραγωγείου

Ένα από τα κρίσιμότερα στοιχεία στη λειτουργία του συστήματος κατά την παρούσα φάση αφορά στη μακροχρόνια βλάβη του ενωτικού υδραγωγείου. Το εν λόγω υδραγωγείο είναι ιδιαίτερα κρίσιμο καθώς εξασφαλίζει την αμφίδρομη επικοινωνία των υδραγωγείων Μόρνου και Υλίκης. Με τη λειτουργία του ενωτικού υδραγωγείου θα επιτρέπεται η τροφοδότηση του υδραγωγείου του Μόρνου από την Υλίκη περιορίζοντας με αυτό τον τρόπο τις αντλήσεις κατά μήκος του υδραγωγείου Υλίκης εξοικονομώντας σημαντικά ποσά ενέργειας (οικονομικό κέρδος). Συγχρόνως η δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας των υδραγωγείων θα συμβάλλει στην ασφαλέστερη λειτουργία του συστήματος (αύξηση αξιοπιστίας).

Ωστόσο το συγκεκριμένο έργο, αποτελείται από τμήματα αγωγών κατασκευασμένων από προεντεταμένο σκυρόδεμα, είναι από τα πλέον προβληματικά του δικτύου, όπως έχει φανεί και μετά από τα επανειλημμένα περιστατικά θραύσης σε διάφορα σημεία του αγωγού κατά τα τελευταία χρόνια λόγω φθοράς του οπλισμού προέντασής του. Για το λόγο αυτό, το

υδραγωγείο θεωρούμε ότι λειτουργεί μόνο προς την κανονική φορά, στέλνοντας νερό από το κανάλι του Μόρνου προς το Κλειδί με ελεύθερη ροή και με δυνατότητα μέγιστης παροχής ίση με  $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$  (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009).

Σύμφωνα με την τελευταία επικαιροποίηση του σχεδίου διαχείρισης για το υδρολογικό έτος 2008-09 η αποκατάσταση της αμφίδρομης λειτουργίας του ενωτικού υδραγωγείου είναι κρίσιμος παράγοντας για τη μεγιστοποίηση του ασφαλούς υδατικού δυναμικού του συστήματος και της μέγιστης δυνατής αξιοποίησης των υδατικών πόρων της Υλίκης, σε συνθήκες βιώσιμης χρήσης των γεωτρήσεων. Τέλος επισημαίνεται στο σχέδιο διαχείρισης ότι τα έργα αποκατάστασης του ενωτικού υδραγωγείου, που πραγματοποιούνται με συγχρηματοδότηση από το Ταμείο Συνοχής της Ευρωπαϊκής Ένωσης, παρουσιάζουν σημαντικές καθυστερήσεις στην υλοποίησή τους, διατηρώντας τις αβεβαιότητες στη λειτουργία του συστήματος.

## 6 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 6.1 Εισαγωγή

Για τη διερεύνηση της ενεργειακής συνιστώσας στη διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας χρησιμοποιήθηκαν ως βάση σενάρια λειτουργίας υδραγωγείων που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια του σχεδίου διαχείρισης. Για τα σενάρια αυτά στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε προσομοίωση και βελτιστοποίηση με χρήση του λογισμικού Υδρονομίας (version 4.0.0).

Σε γενικές γραμμές σκοπός της διερεύνησης είναι η αποκωδικοποίηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του υδροσυστήματος της Αθήνας σε καθεστώς μεταβολής της αποδοτικότητας του. Η αποδοτικότητα του συστήματος θεωρούμε ότι εκφράζεται μέσα από τις τιμές της ειδικής ενέργειας.

Για τη μελέτη αυτή επιλέχθηκε ως εργαλείο η τεχνική της *ανάλυσης ευαισθησίας*, η οποία εξετάζει τη συμπεριφορά του μοντέλου στις αλλαγές των τιμών των παραμέτρων του και αποτελεί σημαντικό εργαλείο στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Στόχος της ανάλυσης ευαισθησίας είναι η διερεύνηση της συμπεριφοράς του συστήματος, κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας, ως προς τις τιμές των παραμέτρων του (Ευστρατιάδης και Κουτσογιάννης, 2000)<sup>16</sup>.

Σε πρώτη φάση θα αναζητηθεί η επίδραση - ποσοτική και ποιοτική - της ειδικής ενέργειας στη διαμόρφωση του βαθμού ενεργοποίησης των γεωτρήσεων και των αντλιοστασίων, με τελικό σκοπό να προσδιορίσουμε τις κρίσιμες (από ενεργειακή άποψη) συνιστώσες και να προβλέψουμε την εξέλιξη της λειτουργίας τους για διάφορα σενάρια μεταβολής της αποδοτικότητας του συστήματος.

Παράλληλα θα αξιοποιηθούν τα αποτελέσματα ενεργειακής κατανάλωσης του συστήματος, μεμονωμένων αλλά και ομαδοποιημένων στοιχείων (π.χ. υδραγωγείο Υλίκης και γεωτρήσεις). Με βάση τα αποτελέσματα κατανάλωσης θα αναλύσουμε το ενεργειακό προφίλ των συνιστωσών (μεμονωμένων ή ομαδοποιημένων) τόσο για τα διάφορα σενάρια λειτουργίας όσο και για τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας.

---

<sup>16</sup>Εναλλακτικά σύμφωνα με τον ορισμό της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (<http://sensitivity-analysis.jrc.ec.europa.eu/faq.htm>), η ανάλυση ευαισθησίας μπορεί να οριστεί ως η μελέτη για το πώς η μεταβολή στα αποτελέσματα ενός μοντέλου (αριθμητικού ή άλλου) μπορεί να επιμεριστεί, ποσοτικά ή ποιοτικά, στις παραμέτρους που μεταβάλλονται.

Τέλος θα προσδιοριστεί η επίδραση των επεμβάσεων που προβλέπονται στα μελλοντικά σενάρια λειτουργίας στο βαθμό ενεργοποίησης, στην ενεργειακή κατανάλωση των συνιστωσών και στα συνολικά μεγέθη του συστήματος (απολήψεις, απώλειες, ενέργεια).

## 6.2 Σενάρια λειτουργίας των υδραγωγείων

Τα σενάρια λειτουργίας που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση ευαισθησίας, αναπτύχθηκαν στα πλαίσια θεωρητικών διερευνήσεων για την αναζήτηση του ασφαλούς υδατικού δυναμικού<sup>17</sup> και της μακροχρόνιας πολιτικής διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος. Τα σενάρια αντιστοιχούν σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του δικτύου, ενώ ισχύουν σε αυτά όλοι οι φυσικοί περιορισμοί του δικτύου (παροχετευτικότητα υδραγωγείων και δυναμικότητα αντλιοστασίων). Η διαμόρφωση των σεναρίων πραγματοποιήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να αναφέρονται τόσο στην υφιστάμενη κατάσταση του δικτύου (σενάριο B1), όσο και σε μακροπρόθεσμες, υποθετικές αλλά ρεαλιστικές διαμορφώσεις του δικτύου (σενάρια B2 & B3).

Αναλυτικότερα τα σενάρια λειτουργίας των υδραγωγείων είναι τα εξής (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009):

- *Σενάριο B1*

Θεωρήθηκε η υφιστάμενη κατάσταση του δικτύου, χωρίς δυνατότητα αμφίδρομης λειτουργίας του ενωτικού υδραγωγείου και με συνολικό ποσοστό διαρροών της τάξης του 13%.

- *Σενάριο B2:*

Θεωρήθηκε μια ρεαλιστική μεσοπρόθεσμη κατάσταση του δικτύου, χωρίς δυνατότητα αμφίδρομης λειτουργίας του ενωτικού υδραγωγείου, αλλά με μείωση του συνολικού ποσοστού διαρροών κατά το ήμισυ σε όλους τους σχετικούς κλάδους.

- *Σενάριο B3:*

Θεωρήθηκε μια υποθετική μελλοντική κατάσταση του δικτύου, με αμφίδρομη λειτουργία του ενωτικού υδραγωγείου (παροχετευτικότητες 6.7 και 4.2 m<sup>3</sup>/s κατά την ορθή και ανάστροφη πορεία αντίστοιχα), περιορισμό των διαρροών κατά το ήμισυ, και ολοκλήρωση των έργων αναβάθμισης (έργα του Ταμείου Συνοχής), τα οποία περιγράφονται στον Πίνακα 6.1.

<sup>17</sup>Το *ασφαλές υδατικό δυναμικό* είναι ένα θεωρητικό μέγεθος, το οποίο ορίζεται ως η ετήσια ποσότητα υδρευτικού νερού που μπορεί να δοθεί στην Αθήνα, με αξιοπιστία 99% σε ετήσια βάση. Η ποσότητα αυτή εξαρτάται αφενός από τη δίαιτα των υδρολογικών εισροών και αφετέρου από τους περιορισμούς -φυσικούς και λειτουργικούς- του υδροσυστήματος (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009).

Πίνακας 6.1: Έργα στο δίκτυο εξωτερικών υδραγωγείων της ΕΥΔΑΠ και η εκτιμώμενη επίδραση τους στο μοντέλο του υδροσυστήματος (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009)

Κωδικός	Έργο	Παρατηρήσεις	Επίδραση στο μοντέλο του δικτύου
011-2	Αναβάθμιση αντλιοστασίου Ασωπού και έργα στο υδραγωγείο Κρεμμάδα - Δαφνούλα	Αναστολή	Αύξηση της παροχαρακτηριστικότητας των υδραγωγείων Κρεμμάδα – Κλειδί και Κλειδί – Μεριστής Κιθαιρώνα σε 6.7 m <sup>3</sup> /s
011-9	Αναβάθμιση υδραγωγείου Μόρνου κατάντη σήραγγας Κιθαιρώνα	Το έργο έχει ολοκληρωθεί εν μέρει	Εισαγωγή παράλληλου αγωγού παροχαρακτηριστικότητας 4.50 m <sup>3</sup> /s μεταξύ των κόμβων Κιθαιρώνα – Μάνδρα και Μάνδρα – Μενίδι και μείωση των διαρροών του υδραγωγείου στο μισό της εκτιμώμενης σημερινής διαρροής

### **6.3 Διαμόρφωση σεναρίων λειτουργίας για την ανάλυση ευαισθησίας**

Για κάθε ένα από τα σενάρια λειτουργίας των υδραγωγείων (B1, B2 και B3) θα εξεταστεί η ευαισθησία της λειτουργίας των αντλιοστασίων και των γεωτρήσεων ως προς τις μεταβολές στην ειδική ενέργεια των στοιχείων του συστήματος. Με τον όρο λειτουργία μιας συνιστώσας (αντλιοστάσιο ή γεώτρηση), αναφερόμαστε στο αν η συνιστώσα σε πρώτη φάση ενεργοποιείται και σε δεύτερη φάση σε ποιο βαθμό ενεργοποιείται για τα διάφορα σενάρια μεταβολής της αποδοτικότητας του συστήματος.

Η μεταβολή στην αποδοτικότητα του συστήματος εκφράζεται μέσω των μεταβολών στην ειδική ενέργεια κατά το ίδιο ποσοστό για όλες τις συνιστώσες. Οι μεταβολές αυτές μπορούν να αντιστοιχούν είτε σε μια (θεωρητικά ιδανική) συνολική βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας του συστήματος (π.χ. αντικατάσταση κινητήρων με αποδοτικότερους, χρήση αυτοματοποιημένων συστημάτων) είτε σε μία συνολική υποβάθμιση της ενεργειακής αποδοτικότητας του συστήματος (π.χ. ελλιπής συντήρηση μηχανικών τμημάτων του κινητήρα, αύξηση διαρροών).

Με βάση αυτή τη λογική διαμορφώθηκαν για κάθε ένα από τα βασικά σενάρια (B1, B2 και B3) επτά επιμέρους σενάρια, δηλαδή δημιουργήθηκαν συνολικά 21 σενάρια. Τα επιμέρους σενάρια αντιστοιχούν σε καταστάσεις όπου η ειδική ενέργεια είναι προσαυξημένη κατά 25%, 50%, 75% και 100% και μειωμένη κατά 25%, 50% και 75% σε σχέση με τις αρχικές τιμές της ειδικής ενέργειας των βασικών σεναρίων για όλες τις συνιστώσες του συστήματος. Οι

αρχικές τιμές αναφέρονται στις τιμές της ειδικής ενέργειας των βασικών σεναρίων B1, B2 και B3.

Κατά τη διαμόρφωση των σεναρίων τέθηκε περιορισμός για την ελάχιστη τιμή<sup>18</sup> του συντελεστή ειδικής ενέργειας των αντλιοστασίων, η οποία δεν μπορεί να είναι μικρότερη από 0.2725 GWh/hm<sup>4</sup>. Για το συντελεστή ειδικής ενέργειας δεν υπάρχει άνω όριο, ενώ για την ειδική ενέργεια των γεωτρήσεων δεν υπάρχει κανένας αριθμητικός περιορισμός. Οι τιμές της ειδικής ενέργειας για όλα τα σενάρια, όπως υπολογίστηκαν με τους παραπάνω περιορισμούς, παρατίθενται στους Πίνακες 6.2 και 6.3.

## 6.4 Υπόβαθρο σεναρίων λειτουργίας

### 6.4.1 Υδρολογικά σενάρια

Τα σενάρια λειτουργίας των υδραγωγείων (B1, B2 και B3) διαμορφώθηκαν με σκοπό την αναζήτηση μακροχρόνιας πολιτικής διαχείρισης του υδροσυστήματος. Σε τέτοιες περιπτώσεις μελετών στρατηγικής διαχείρισης συστημάτων υδατικών πόρων όπου το ζητούμενο είναι η αποτίμηση της μακροχρόνιας επίδοσης του συστήματος, χρησιμοποιείται προσομοίωση μόνιμης κατάστασης (*steady – state*).

Στην περίπτωση προσομοίωσης αυτού του τύπου θεωρούμε ότι η επίδοση του συστήματος δεν επηρεάζεται από το αρχικό καθεστώς υδροφορίας και των αποθεμάτων, ενώ όλα τα δεδομένα του συστήματος (π.χ. διάταξη και χαρακτηριστικά έργων, ετήσια ζήτηση νερού) θεωρούνται σταθερά και ανεξάρτητα του χρόνου. Τέλος, στη προσομοίωση μόνιμης κατάστασης τα σενάρια εισροών μπορούν να θεωρηθούν ισοδύναμα μιας χρονοσειράς πολύ μεγάλου (θεωρητικά άπειρου) μήκους.

---

<sup>18</sup> Η ελάχιστη τιμή αντιστοιχεί σε μηδενικές ενεργειακές (γραμμικές και τοπικές) απώλειες και μοναδιαίο συντελεστή απόδοσης του αντλιοστασίου.

**Διερεύνηση της ενεργειακής συνιστώσας στη διαχείριση  
του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας**

Πίνακας 6.2: Τιμές ειδικής ενέργειας των αντλιοστασίων (σε GWh/hm<sup>4</sup>) για τα σενάρια B1, B2 και B3

α/α	Αντλιοστάσιο	Αρχικές τιμές	Μείωση 25%	Μείωση 50%	Μείωση 75%	Αύξηση 25%	Αύξηση 50%	Αύξηση 75%	Αύξηση 100%
1	Κρεμμίδα-Κλειδί	0,4400	0,3300	0,2725	0,2725	0,5500	0,6600	0,7700	0,8800
2	Βίλιζα-Νο 10	0,3100	0,2725	0,2725	0,2725	0,3875	0,4650	0,5425	0,6200
3	Κιούρκα-Διυλιστήρια	1,5000	1,1250	0,7500	0,3750	1,8750	2,2500	2,6250	3,0000
4	Κιούρκα-Μενίδι	0,2725	0,2725	0,2725	0,2725	0,3406	0,4088	0,4769	0,5450
5	Νο 3-Φρέαρ Α (αντ)	2,0800	1,5600	1,0400	0,5200	2,6000	3,1200	3,6400	4,1600
6	Νο 4-Φρέαρ Α (αντ)	0,5700	0,4275	0,2850	0,2725	0,7125	0,8550	0,9975	1,1400
7	Σίφων Βίλιζας (αντ)	0,4800	0,3600	0,2725	0,2725	0,6000	0,7200	0,8400	0,9600
8	Φ 900	0,3100	0,2725	0,2725	0,2725	0,3875	0,4650	0,5425	0,6200
9	Φ 900(αντ)	2,1000	1,5750	1,0500	0,5250	2,6250	3,1500	3,6750	4,2000
10	Χελιδονού-Μενίδι (αντ)	0,3500	0,2725	0,2725	0,2725	0,4375	0,5250	0,6125	0,7000
11	Υλίκη (Χωρίς Πλωτά)	0,4800	0,3600	0,2725	0,2725	0,6000	0,7200	0,8400	0,9600
12	Υλίκη (Με Πλωτά)	0,5800	0,4350	0,2900	0,2725	0,7250	0,8700	1,0150	1,1600
13	ΑΔ1-ΑΔ2-ΑΔ3	1,3000	0,9750	0,6500	0,3250	1,6250	1,9500	2,2750	2,6000
14	Ενωτικό (ανάστρ.)	0,5000	0,3750	0,2725	0,2725	0,6250	0,7500	0,8750	1,0000

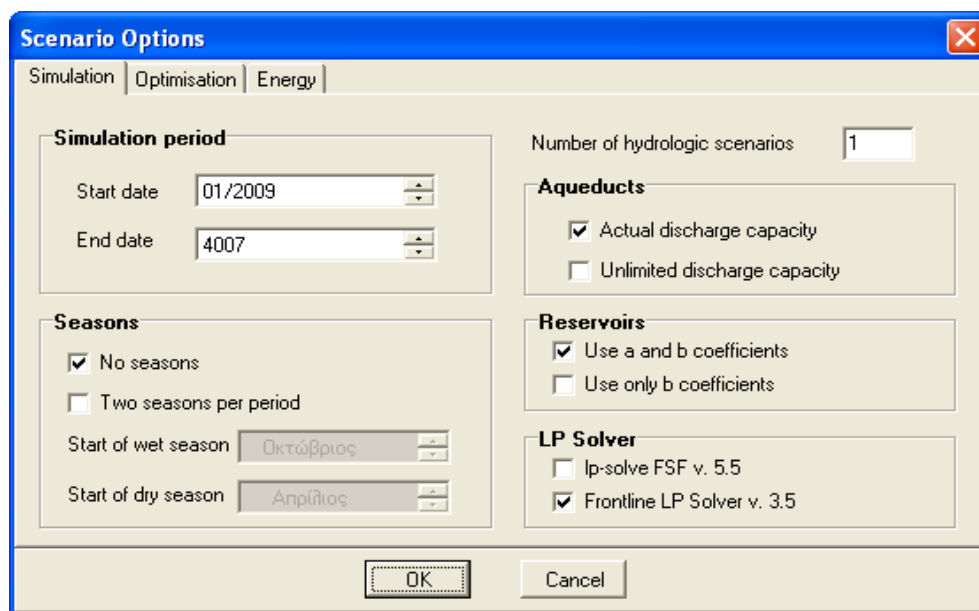


**Διερεύνηση της ενεργειακής συνιστώσας στη διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας**

Πίνακας 6.3: Τιμές ειδικής ενέργειας των γεωτρήσεων (σε kWh/m<sup>3</sup>) για τα σενάρια B1, B2 και B3

α/α	Γεωτρήσεις	Αρχικές τιμές	Μείωση 25%	Μείωση 50%	Μείωση 75%	Αύξηση 25%	Αύξηση 50%	Αύξηση 75%	Αύξηση 100%
1	Ούγγρα-Ν.Δ. Υλίκη	0,5200	0,3900	0,2600	0,1300	0,6500	0,7800	0,9100	1,0400
2	Βασιλικά-Παρόρι	0,2300	0,1725	0,1150	0,0575	0,2875	0,3450	0,4025	0,4600
3	No 3	1,3000	0,9750	0,6500	0,3250	1,6250	1,9500	2,2725	2,6000
4	Μαυροσουβάλα	1,5300	1,1475	0,7650	0,3825	1,9125	2,2950	2,6775	3,0600
5	10 <sup>ου</sup> Σίφωνα	1,0500	0,7875	0,5250	0,2625	1,3125	1,5750	1,8375	2,1000
6	Ταξιάρχες	0,6800	0,5100	0,3400	0,1700	0,8500	1,0200	1,1900	1,3600

Για τη θεωρητική διερεύνηση των βασικών σεναρίων B1, B2 και B3, άλλα και όλων των επιμέρους σεναρίων που θα προκύψουν από τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση σε συνθήκες μόνιμης κατάστασης. Το διάστημα της προσομοίωσης ορίστηκε για τη χρονική περίοδο με έναρξη τον Ιανουάριο του 2009 και λήξη το 4007 (Εικόνα 5.1).



Εικόνα 6.1: ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ-Φόρμα εισαγωγής επιλογών προσομοίωσης

Για τη θεωρητική διερεύνηση των σεναρίων B1, B2 και B3 παρήχθησαν συνθετικές χρονοσειρές μήκους 2000 ετών με τη χρήση στοχαστικού μαθηματικού μοντέλου που είναι υλοποιημένο στο λογισμικό Κασταλία<sup>19</sup> και το οποίο αποτελεί συνιστώσα του συστήματος υποστήριξης αποφάσεων του υδροσυστήματος. Πρέπει να τονίσουμε ότι οι παραγόμενες συνθετικές χρονοσειρές διατηρούν όλα τα ουσιώδη στατιστικά χαρακτηριστικά του ιστορικού δείγματος από το οποίο προέρχονται (τυπικές τιμές, αποκλίσεις, συμμετρίες, αυτοσυσχετίσεις πρώτης τάξης και ετεροσυσχετίσεις του δείγματος) και επιπλέον αναπαράγουν το ιδιαίτερα κρίσιμο φαινόμενο της υδρολογικής εμμονής, που αναφέρεται στη βιβλιογραφία και ως φαινόμενο Hurst (ή δυναμική) Hurst<sup>20</sup> (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009).

#### **6.4.2 Πολιτική λειτουργίας των γεωτρήσεων**

Στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας οι γεωτρήσεις θεωρούνται εφεδρικοί υδατικοί πόροι. Οι ομάδες των γεωτρήσεων δεν χρησιμοποιούνται καθόλου όταν το απολήψιμο δυναμικό των ταμιευτήρων ξεπερνά ένα άνω όριο, ενώ χρησιμοποιούνται κατά απόλυτη προτεραιότητα (χωρίς οικονομικούς όρους) όταν βρεθεί κάτω από ένα κάτω όριο.

Στα σενάρια λειτουργίας των υδραγωγείων υιοθετήθηκε μια μετριοπαθής, οικονομική και βιώσιμη πολιτική λειτουργίας των γεωτρήσεων, με τιμές κατωφλίων 40% για το άνω όριο και 25% για το κάτω όριο. Δηλαδή απαγορεύονται οι απολήψεις από τις γεωτρήσεις αν το ολικό απολήψιμο απόθεμα των ταμιευτήρων ξεπερνά το 40% της μέγιστης ωφέλιμης χωρητικότητας του συστήματος.

Για λόγους απλούστευσης οι τιμές των παραμέτρων τίθενται κοινές για όλες τις ομάδες των γεωτρήσεων, ενώ όλες οι γεωτρήσεις θεωρούνται διαθέσιμες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Ειδικά για τις γεωτρήσεις Βασιλικών-Παρορίου τέθηκαν χαμηλότερα όρια σε σχέση με τις υπόλοιπες, ώστε η χρήση τους να γίνεται μόνο σε περιπτώσεις απόλυτης ανάγκης, αφενός γιατί η διοχέτευση του νερού στο δίκτυο πραγματοποιείται μέσω τριών διαδοχικών αντλήσεων καθιστώντας τη λήψη του ιδιαίτερος δαπανηρή, και αφετέρου λόγω πιέσεων που ασκούνται από αγρότες και τοπικούς παράγοντες για περιορισμό της λειτουργίας τους από την ΕΥΔΑΠ (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009).

---

<sup>19</sup>Περισσότερες πληροφορίες για το λογισμικό ΚΑΣΤΑΛΙΑ, το μαθηματικό του υπόβαθρο και τις δυνατότητες εφαρμογής του δίνονται από τους Ευστρατιάδη κ.ά. (2005).

<sup>20</sup>Το εξαιρετικά κρίσιμο φαινόμενο της εμμονής εμφανίζεται με τη μορφή πολλαπλών τυχαίων διακυμάνσεων σε όλες τις υπερετήσιες κλίμακες και συνδέεται άμεσα με την εμφάνιση μακρών περιόδων χαμηλής υδροφορίας (ξηρασιών) (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2003)

## 6.5 Προσομοίωση-Βελτιστοποίηση

### 6.5.1 Μέτρο επίδοσης

Στη διαδικασία της βελτιστοποίησης χρησιμοποιήθηκε ως μέτρο επίδοσης του συστήματος το σταθμισμένο άθροισμα δύο κριτηρίων (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009):

- της μέσης ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας από τους καταθλιπτικούς αγωγούς και τις γεωτρήσεις και
- της δυσμενέστερης από τις ετήσιες πιθανότητες αστοχίας των στόχων ζήτησης Μενιδίου, Γαλατσίου, Κιούρκων και Μάνδρας με συντελεστή βάρους 100.

Η παραπάνω σχέση μαθηματικά διατυπώνεται ως εξής:

$$\text{minimize } f = (E_Y + E_T) + 100 \text{ max } (P_{\text{ΜΕΝΙΔΙ}} + P_{\text{ΓΑΛΑΤΣΙ}} + P_{\text{ΚΙΟΥΡΚΑ}} + P_{\text{ΜΑΝΔΡΑ}})$$

όπου:

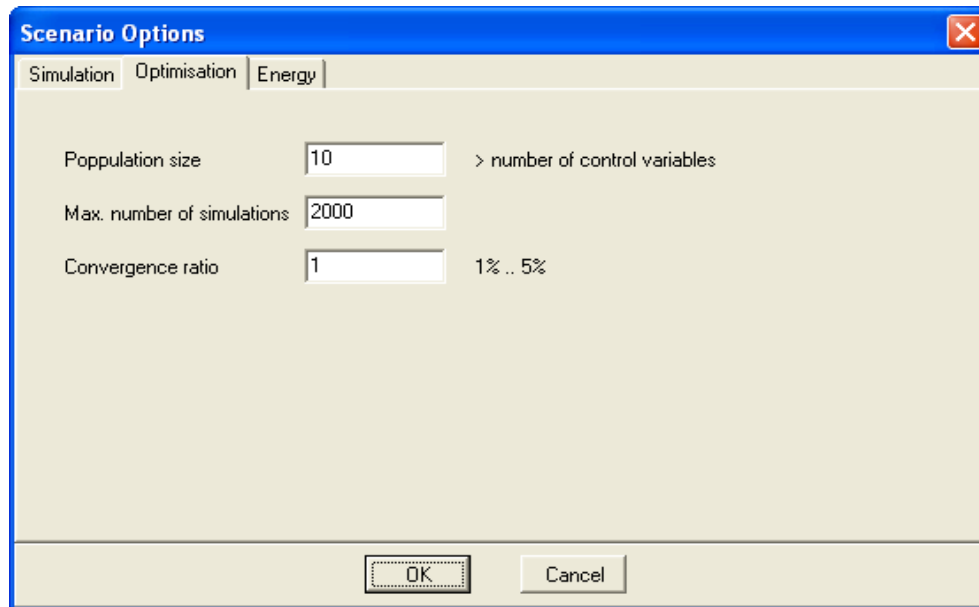
$E_Y, E_T$  = η μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας από τα υδραγωγεία και τις γεωτρήσεις αντίστοιχα και

$P(\dots)$  = η ετήσια πιθανότητα αστοχίας του αντίστοιχου υδρευτικού στόχου, δηλαδή το ποσοστό των ετών με έλλειμμα προς το σύνολο των προσομοιωμένων ετών.

Με βάση το μέτρο επίδοσης τα κριτήρια (μεταβλητές) του συστήματος προς βελτιστοποίηση είναι η μέγιστη ετήσια πιθανότητα αστοχίας (*maximum annual failure probability*) με συντελεστή βάρους 100 και η συνολική ενεργειακή κατανάλωση (*total energy consumption*) με συντελεστή βάρους 1. Δηλαδή μέσω της διαδικασίας της προσομοίωσης – βελτιστοποίησης αναζητείται εκείνη η διαχειριστική πολιτική που θα καλύψει τη ζήτηση του νερού σε αποδεκτό επίπεδο αξιοπιστίας και με ελαχιστοποίηση του κόστους αντλήσεων. Η αναζήτηση γίνεται πάντα με τη προϋπόθεση, ότι το αποδεκτό επίπεδο αξιοπιστίας πρέπει να είναι ίσο με 99% σε ετήσια βάση.

### 6.5.2 Στοιχεία βελτιστοποίησης

Για τη διαδικασία της βελτιστοποίησης ορίστηκε ως κριτήριο τερματισμού η ολοκλήρωση 2000 προσομοιώσεων. Η επιλογή αυτή ορίζεται στην καρτέλα βελτιστοποίησης (Εικόνα 6.2) όπου ρυθμίζονται οι επιλογές βελτιστοποίησης του σεναρίου.

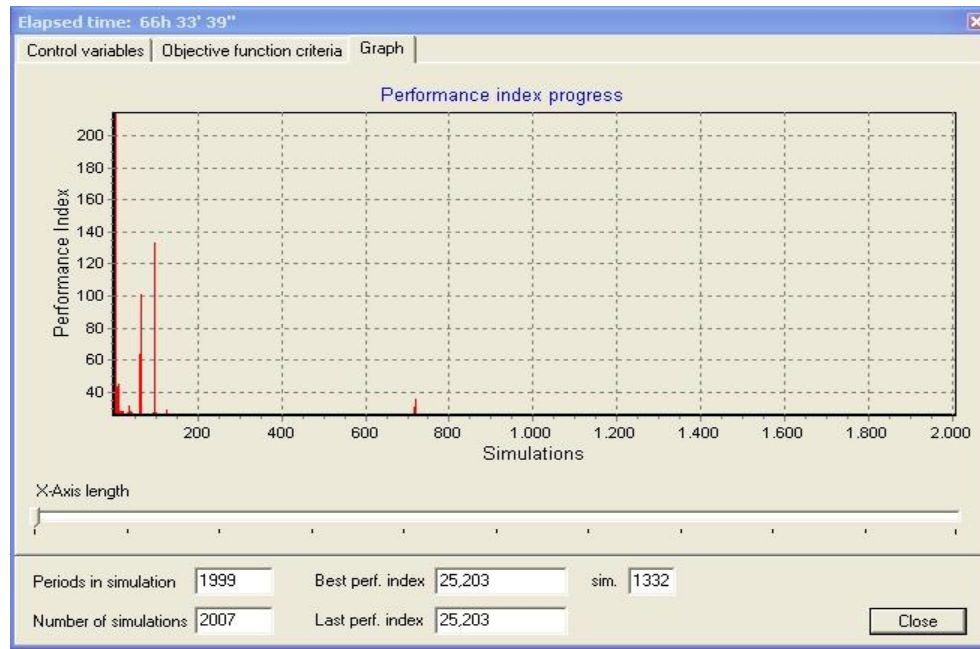


Εικόνα 6.2: ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ- Φόρμα εισαγωγής επιλογών βελτιστοποίησης

Μετά την έναρξη της βελτιστοποίησης, μπορούμε να επιβλέπουμε τη διαδικασία από τη καρτέλα παρακολούθηση της βελτιστοποίησης. Ο Υδρονομέας παρέχει τη δυνατότητα να παρακολουθούμε την εξέλιξη των μεταβλητών ελέγχου, των κριτηρίων της αντικειμενικής συνάρτησης και της τιμής του δείκτη επίδοσης σε κάθε προσομοίωση.

Στην καρτέλα παρακολούθησης του γραφήματος του δείκτη επίδοσης (Graph), παρουσιάζονται οι τιμές που λαμβάνει ο δείκτης επίδοσης κατά τη βελτιστοποίηση υπό μορφή γραφήματος (Εικόνα 6.3). Στο γράφημα αυτό η τετμημένη δίνει τον αριθμό των ολοκληρωμένων προσομοιώσεων και η τεταγμένη τον αντίστοιχο δείκτη επίδοσης. Στο κάτω μέρος της καρτέλας είναι συγκεντρωμένα τα βασικά αποτελέσματα της βελτιστοποίησης:

- Periods in simulation: Ο αριθμός των προσομοιωμένων ετών στην τρέχουσα προσομοίωση.
- Number of simulations: Ο αριθμός των ολοκληρωμένων προσομοιώσεων κατά τη διάρκεια της βελτιστοποίησης
- Best performance index: Ο βέλτιστος δείκτης επίδοσης έως τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή
- Sim: Ο αριθμός της προσομοίωσης με τη βέλτιστη επίδοση
- Last perf. index: Ο δείκτης επίδοσης της τελευταίας ολοκληρωμένης προσομοίωσης



Εικόνα 6.3: ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ-Γράφημα του δείκτη επίδοσης  
κατά τη διάρκεια της βελτιστοποίησης

## 6.6 Περιγραφή των αποτελεσμάτων

Γνωρίζουμε ότι για να ξεκινήσουν οι κινητήρες του αντλιοστασίου απαιτείται αυξημένη κατανάλωση ενέργειας, ενώ στη συνέχεια, και όσο διαρκεί η άντληση, η κατανάλωση ενέργειας σταθεροποιείται. Επιπλέον η ενεργοποίηση ενός κινητήρα ισοδυναμεί με αυξημένη ανάγκη συντήρησης και μείωση του κύκλου ζωής του, λόγω της σταδιακής φθοράς του από τη χρήση.

Επομένως σε πρώτη φάση πρέπει να προσδιορίσουμε για τα διάφορα επίπεδα αποδοτικότητας του συστήματος αν το αντλιοστάσιο ενεργοποιείται και ποιο ποσοστό ενεργοποιείται (πόσο εντατικά χρησιμοποιείται). Δηλαδή θα αναλύσουμε την επίδραση που έχουν οι μεταβολές της ειδικής ενέργειας στην ενεργοποίηση του αντλιοστασίου (αν ενεργοποιείται ή όχι) και στο ποσοστό μεταβολής του βαθμού ενεργοποίησής του.

Το λογισμικό Υδρονομέας υπολογίζει την κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) σε μηνιαίο χρονικό βήμα και για ολόκληρο το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης (01-01-2009 έως 31-12-4007). Εφόσον μέσα στο χρονικό βήμα του ενός μηνός η κατανάλωση ενέργειας είναι μη μηδενική, θεωρούμε ότι για το μήνα αυτόν το αντλιοστάσιο ενεργοποιείται.

Στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας θα θεωρήσουμε ότι η ένταση λειτουργίας ενός αντλιοστασίου εκφράζεται από τη μέση πιθανότητα ενεργοποίησής του. Για τον υπολογισμό της μέσης πιθανότητας ενεργοποίησης χρησιμοποιήθηκε η καρτέλα του ενεργειακού

## Διερεύνηση της ενεργειακής συνιστώσας στη διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας

ισοζυγίου (*energy balance sheet*) του Υδρονομέα (Εικόνα 6.4). Στην καρτέλα αυτή ένα από τα στοιχεία που δίνεται είναι η κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) των αντλιοστασίων και των γεωτρήσεων κατά τη λειτουργία του υδροσυστήματος. Συγκεκριμένα δίνονται οι τιμές των μέσων μηνιαίων καταναλώσεων ενώ σε παρένθεση δίνονται οι τυπικές αποκλίσεις για το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης. Επίσης μέσω της συγκεκριμένης καρτέλας έχουμε πρόσβαση στην ενεργειακή κατανάλωση κάθε συνιστώσας σε μηνιαίο χρονικό βήμα.

Balance sheets				
Reservoirs	Nodes	Conduits	Energy	
	Specific energy	Discharge	Energy consumption	Energy production
<b>TURBINES</b>				
SUB TOTAL		0.00		0.00
<b>PUMPING STATIONS</b>				
Κρεμίδα-Κλειδί	0.55 (0.00)	3.85 (4.59)	2.12 (2.53)	
Βιθή-Νο 10	0.39 (0.00)	3.70 (3.52)	1.44 (1.37)	
Κιούρια-Διυλιστήριο	1.88 (0.00)	5.78 (1.69)	0.43 (0.13)	
Κιούρια-Μενίδι	0.34 (0.00)	1.58 (1.27)	0.54 (0.43)	
Νο 3-Φρέαρ Α (αντ)	2.60 (0.00)	0.02 (0.19)	0.06 (0.50)	
Νο 4-Φρέαρ Α (αντ)	0.71 (0.00)	0.10 (0.38)	0.07 (0.27)	
Σίφων Βιθή-Κας (αντ)	0.60 (0.00)			
Φ900	0.39 (0.00)	0.23 (0.70)	0.09 (0.27)	
Φ900 (αντ)	2.63 (0.00)	0.01 (0.02)	0.01 (0.06)	
Χειλιδανό-Μενίδι (αντ)	0.44 (0.00)	0.02 (0.35)	0.01 (0.15)	
Χωρίς πιλωτά	0.60 (0.00)	1.60 (4.27)	0.73 (1.93)	
Με πιλωτά	0.73 (0.00)	5.80 (7.77)	2.41 (3.29)	
ΑΔ1-ΑΔ2-ΑΔ3	1.63 (0.00)	0.62 (1.56)	1.01 (2.53)	
Ενωτικός (ανάστρ.)	0.63 (0.00)	3.79 (4.55)	2.37 (2.84)	
SUB TOTAL		27.10	11.28	
<b>BOREHOLE GROUPS</b>				
Ούγγρα-Ν.Δ. Υψηλή	0.65 (0.00)	0.58 (1.51)	0.38 (0.98)	
Γεωτρ. Βασιλικά-Παρόρι	0.29 (0.00)	0.62 (1.56)	0.18 (0.45)	
Νο 3	1.63 (0.00)	0.13 (0.32)	0.21 (0.51)	
Μουροσσυβάθα	1.91 (0.00)	0.54 (1.31)	1.03 (2.50)	
10ου Σίφωνα	1.31 (0.00)	0.12 (0.29)	0.16 (0.38)	
Γεωτρ. Ταξιδάρικες	0.85 (0.00)	0.05 (0.25)	0.04 (0.21)	
SUB TOTAL		2.04	2.00	
TOTAL		29.14	13.27	0.00

Εικόνα 6.4: ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ-Παράδειγμα αποτελεσμάτων ενεργειακού ισοζυγίου

Στη συνέχεια έγινε εξαγωγή των μηνιαίων καταναλώσεων σε λογιστικά φύλλα (χρήση Microsoft Excel 2003), όπου η μέση πιθανότητα ενεργοποίησης υπολογίστηκε ως ο λόγος των μηνών όπου η ενεργειακή κατανάλωση είναι μη μηδενική προς τον αριθμό των μηνών της προσομοίωσης.

Βασικός στόχος είναι να αναλυθεί η ευαισθησία της μέσης πιθανότητας ενεργοποίησης<sup>21</sup> των αντλιοστασίων και των γεωτρήσεων ως προς τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας. Συγχρόνως θα αξιοποιήσουμε τα αποτελέσματα της μέσης κατανάλωσης<sup>22</sup> για κάθε

<sup>21</sup>Στη συνέχεια για λόγους συντομίας ο όρος «πιθανότητα ενεργοποίησης» θα χρησιμοποιείται ως ισοδύναμος με τον όρο «μέση πιθανότητα ενεργοποίησης».

<sup>22</sup>Στη συνέχεια για λόγους συντομίας ο όρος «κατανάλωση ενέργειας» θα χρησιμοποιείται ως ισοδύναμος με τον όρο «μέση κατανάλωση ενέργειας».

μεμονωμένη συνιστώσα και τις μεταβολές που αυτή παρουσιάζει ως προς την ειδική ενέργεια, με σκοπό να αποκτήσουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα για την ενεργειακή συμπεριφορά του συστήματος.

Επιπλέον για λόγους πληρότητας θα μελετηθούν και τα αποτελέσματα των σεναρίων βελτιστοποίησης για χαρακτηριστικά μεγέθη του συστήματος με ιδιαίτερη έμφαση στη συνολική μέση κατανάλωση ενέργειας του συστήματος από τα αντλιοστάσια και τις γεωτρήσεις. Σε αυτή την περίπτωση στόχος είναι να εντοπιστεί αν οι μεταβολές της ειδικής ενέργειας επιδρούν και σε ποιο ποσοστό στα μεγέθη αυτά καθώς και πως μεταβάλλονται τα μεγέθη αυτά για τα διάφορα βασικά σενάρια λειτουργίας. Συγκεκριμένα θα μελετηθεί η μεταβολή ως προς την ειδική ενέργεια των εξής στοιχείων του συστήματος:

- Μέση κατανάλωση ενέργειας (GWh)
- Μέση ετήσια απόληψη από υδραγωγείου Μόρνου ( $\text{hm}^3$ )
- Μέση ετήσια απόληψη από υδραγωγείο Υλίκης ( $\text{hm}^3$ )
- Μέση ετήσια απόληψη από γεωτρήσεις ( $\text{hm}^3$ )
- Μέσες απώλειες λόγω διαφυγών ταμιευτήρων ( $\text{hm}^3$ )
- Μέσες απώλειες λόγω υπερχειλίσης ( $\text{hm}^3$ )
- Μέσες απώλειες λόγω διαρροών υδραγωγείων ( $\text{hm}^3$ )

## 7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 7.1 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης

#### 7.1.1 Μέση κατανάλωση ενέργειας

**Η** μέση κατανάλωση ενέργειας (Διάγραμμα 7.1) αποτελεί το σημαντικότερο από τα αποτελέσματα των σεναρίων βελτιστοποίησης, γιατί θα μας βοηθήσει να κατανοήσουμε την επίδραση των μεταβολών της αποδοτικότητας του συστήματος στη συνολική ενεργειακή συμπεριφορά του. Η μέση κατανάλωση ενέργειας προκύπτει από το άθροισμα των μέσων ετήσιων καταναλώσεων των αντλιοστασίων και των γεωτρήσεων. Στην επόμενη ενότητα θα πραγματοποιηθεί εκτενέστερη ανάλυση και για κάθε ενεργειακή συνιστώσα μεμονωμένα.

Η μέση κατανάλωση ενέργειας του συστήματος μεταβάλλεται ανάλογα με την ειδική ενέργεια, δηλαδή αυξάνεται με την αύξηση της ειδικής ενέργειας και αντίστοιχα μειώνεται με τη μείωση της ειδικής ενέργειας. Η παρατήρηση αυτή ισχύει για τη συνολική κατανάλωση, ωστόσο όπως θα δούμε παρακάτω, για μεμονωμένες συνιστώσες, η μείωση της ειδικής ενέργειας μπορεί να συνδυαστεί με αύξηση της κατανάλωσης λόγω αύξησης της πιθανότητας ενεργοποίησης.

Καταρχήν η κατανάλωση εμφανίζεται ελαφρώς μειωμένη στο σενάριο B2 σε σχέση με το σενάριο B1 για τις περισσότερες περιπτώσεις μεταβολών της ειδικής ενέργειας, ενώ η μεταξύ διαφορά δεν υπερβαίνει τις 3.36 GWh. Αντίθετα στο σενάριο B3 -για τις αρχικές συνθήκες<sup>23</sup>- η κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζεται αυξημένη κατά 48.34% (45.36 GWh) και 53.85% (48.72 GWh) σε σχέση τα σενάρια B1 και B2 αντίστοιχα. Επίσης στο σενάριο B3 η ενεργειακή κατανάλωση μεταβάλλεται με μεγαλύτερο ρυθμό σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2, με αποτέλεσμα για μεγάλες αυξήσεις της ειδικής ενέργειας η διαφορά μεταξύ των καταναλώσεων των σεναρίων B3 και B1 (ή B2) να μεγιστοποιείται και για μεγάλες μειώσεις της ειδικής ενέργειας να ελαχιστοποιείται.

Επομένως με βάση τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, η μείωση των διαρροών κατά 50% που προβλέπει το σενάριο B2 δε θα αποδώσει σημαντικά ενεργειακά κέρδη, αλλά θα επιδράσει θετικά στην αποδοτικότερη και πιο αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος (αύξηση των πραγματικά εκμεταλλεύσιμων ποσοτήτων). Η αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης στο

---

<sup>23</sup>Οι αρχικές συνθήκες αναφέρονται στις αρχικές τιμές των σεναρίων, όπου οι τιμές της ειδικής ενέργειας δεν έχουν μεταβληθεί.



σενάριο B3 οφείλεται στην λειτουργία του ενωτικού υδραγωγείου με υψηλές τιμές ενεργοποίησης (το οποίο στα σενάρια B1 και B2 ήταν εκτός λειτουργίας) και στην εντατικότερη εκμετάλλευση των γεωτρήσεις.

Καταρχήν στο σενάριο B3 μετά την αποκατάσταση της λειτουργίας του ενωτικού υδραγωγείου, μέσω αυτού σημαντικές ποσότητες από την Υλίκη μεταφέρονται στο υδραγωγείο του Μόρνου, περιορίζοντας σε σημαντικό βαθμό τη λειτουργία του υδραγωγείου της Υλίκης άρα και τις αντλήσεις που πραγματοποιούνται κατά μήκος αυτού. Όπως θα δούμε στη συνέχεια η συνολική ενεργειακή κατανάλωση των αντλιοστασίων που ανήκουν στο υδραγωγείο της Υλίκης μειώνεται περίπου 45% στο σενάριο B3 (αρχικές τιμές της ειδικής ενέργειας).

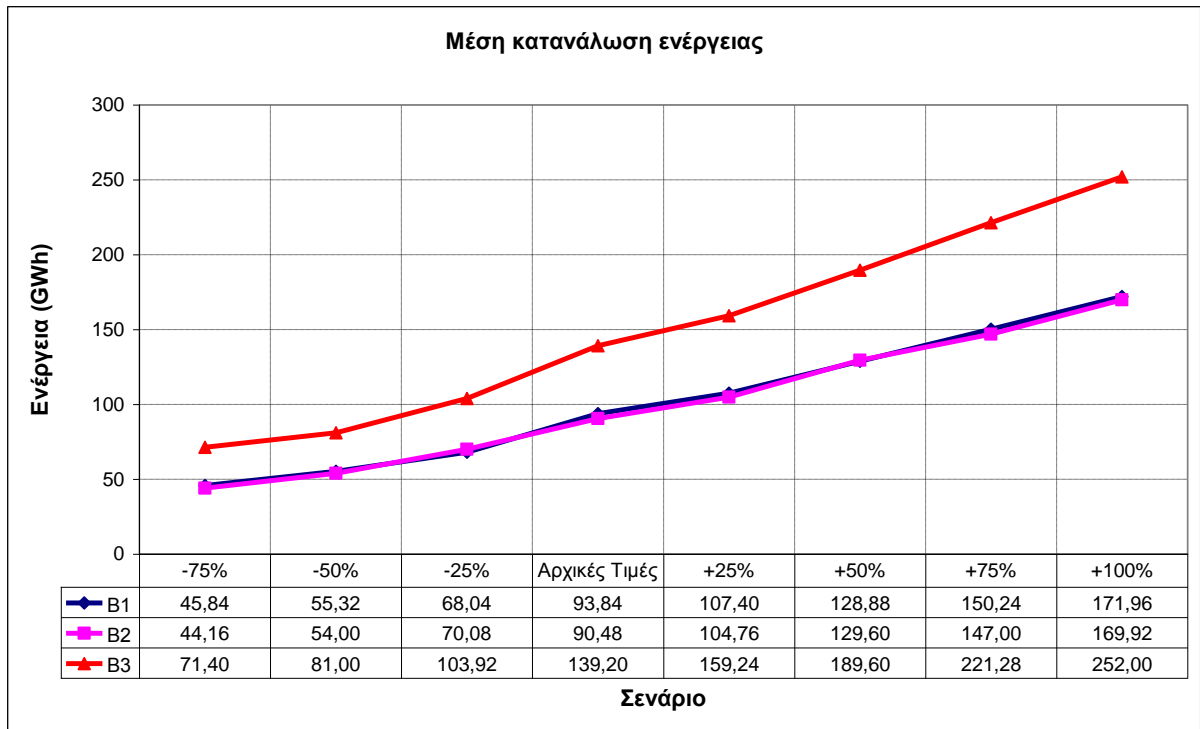
Τελικά το μοντέλο, για να μπορέσει να καλύψει το στόχο της ζήτησης, αξιοποιεί το υπόγειο υδατικό δυναμικό αυξάνοντας το βαθμό λειτουργία των γεωτρήσεων (αύξηση πιθανότητας ενεργοποίησης). Συγχρόνως για την εντατικότερη εκμετάλλευση των αποθεμάτων της Υλίκης (περιορισμός διαφυγών) αυξάνεται η λειτουργία των αντλιοστασίων και των γεωτρήσεων της λίμνης.

Βέβαια δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η διαχείριση του εξωτερικού υδραγωγείου στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης από τις γεωτρήσεις, ενώ έχουν οριστεί και περιορισμοί για τη λειτουργία των γεωτρήσεων. Για το λόγο αυτό η λειτουργία τους μπορεί να αυξηθεί μέχρι ένα ορισμένο βαθμό, ανάλογα με την πολιτική λειτουργίας των που καθορίσαμε σε κάθε σενάριο.

Στην αύξηση της κατανάλωσης συνεισφέρει σημαντικά και η υψηλή ενεργειακή κατανάλωση των αντλιοστασίων στο τμήμα Κρεμμάδα - Κλειδί - Μεριστής Κιθαιρώνα τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά νερού από το υδραγωγείο της Υλίκης προς αυτό του Μόρνου και παρουσιάζουν υψηλές τιμές για τη πιθανότητα ενεργοποίησης στο σενάριο B3.

Στις επόμενες ενότητες αναλύοντας την ενεργειακή κατανάλωση ανά αντλιοστάσιο και γεώτρηση, θα παρατηρήσουμε ότι στο σενάριο B3 αυξάνεται η κατανάλωση στα αντλιοστάσια και στις γεωτρήσεις που αξιοποιούν τα νερά της Υλίκης (Γεωτρήσεις Ούγγρων -Ν.Δ. Υλίκης, Κεντρικό αντλιοστάσιο Υλίκης, Πλωτό αντλιοστάσιο Υλίκης), στα αντλιοστάσια του ενωτικού υδραγωγείου και Κιούρκων-Μενιδίου, αλλά και στο σύνολο των γεωτρήσεων. Αντίθετα στο υδραγωγείο της Υλίκης, η κατανάλωση ενέργειας λόγω αντλήσεων περιορίζεται.

Διάγραμμα 7.1: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τα σενάρια B1, B2 και B3



## Μέση κατανάλωση ενέργειας για τα αντλιοστάσια του υδραγωγείου Υλίκης και τις γεωτρήσεις

### Υδραγωγείο Υλίκης

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης στο υδραγωγείο της Υλίκης συμπεριλάβαμε τα εξής αντλιοστάσια<sup>24</sup>:

- Βίλιζα – Νο10
- Νο3 – Φρέαρ Α (αντ)
- Νο4 – Φρέαρ Α (αντ)
- Σίφων Βίλιζας (αντ)
- Φ 900 και
- Φ 900 (αντ)

Σε πρώτη φάση για κάθε αντλιοστάσιο υπολογίστηκε η μέση κατανάλωση για τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας στα σενάρια B1, B2 και B3 (Πίνακες 7.1, 7.2 και 7.3 ) και η

<sup>24</sup>Για τα αντλιοστάσια χρησιμοποιούνται οι ονομασίες τους με τις οποίες εισάγονται στο μοντέλο του Υδρονομέα. Στο υδραγωγείο της Υλίκης ανήκουν και τα αντλιοστάσια της λίμνης, αλλά δεν εξετάζονται σε αυτή την περίπτωση.

μεταβολή της συνολικής μέσης κατανάλωσης των αντλιοστασίων του υδραγωγείου της Υλίκης ως προς την ειδική ενέργεια παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 7.2.

Σε γενικές γραμμές παρατηρούμε μια σαφέστατη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης με τη μείωση της ειδικής ενέργειας, η οποία στα σενάρια B1 και B2 πραγματοποιείται με μεγαλύτερο ρυθμό. Αντίθετα στο σενάριο B3 η κατανάλωση μειώνεται σημαντικά για μείωση της ειδικής ενέργειας μεταξύ 25% και 50%. Συγκεκριμένα για μείωση της ειδικής ενέργειας από το 25% στο 50% η κατανάλωση μειώνεται κατά 80.47% (12.36 GWh).

Επομένως στα πλαίσια μίας ρεαλιστικής βελτίωσης της αποδοτικότητας του συστήματος κατά 25%, η μείωση στην κατανάλωση ενέργειας προκύπτει ίση με 28.67% (10.08 GWh), 21.15% (7.08 GWh) και 18.99% (3.6 GWh) για τα σενάρια B1, B2 και B3 αντίστοιχα σε σχέση με τις αρχικές τιμές των σεναρίων.

Στην υφιστάμενη κατάσταση του δικτύου (σενάριο B1) τα περιθώρια για εξοικονόμηση ενέργειας με βελτίωση της αποδοτικότητας του συστήματος είναι σημαντικότερα, ωστόσο η σημαντικότερη ενεργειακή παρέμβαση είναι η μετάβαση του συστήματος στο σενάριο B3. Χαρακτηριστικά στο σενάριο B3 για τις αρχικές συνθήκες, η μείωση στην κατανάλωση ενέργειας περιορίζεται δραστικά στις 18.96 GWh από τις 35.16 GWh (μείωση 46,08%) του σεναρίου B1 και τις 33.48 GWh (μείωση 43.37%) του σεναρίου B2.

Συμπερασματικά κρίσιμης σημασίας στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας είναι η υλοποίηση των έργων που προβλέπονται στο σενάριο B3 οπότε και θα πετύχουμε εξοικονόμηση ενέργειας χωρίς καμία επέμβαση στην αποδοτικότητα του συστήματος. Για την υφιστάμενη λειτουργία του δικτύου, η κατανάλωση των συγκεκριμένων αντλιοστασίων παρουσιάζει σημαντική ευαισθησία στις μεταβολές της ειδικής ενέργειας και επομένως κάθε μέτρο με σκοπό τη βελτίωση της αποδοτικότητας του συστήματος, ακόμα και σε μικρό ποσοστό, θα έχει σημαντική επίδραση στον περιορισμό της κατανάλωσης.

Αντίθετα ο δυσμενέστερος συνδυασμός είναι η διατήρηση του υφιστάμενου δικτύου και η υποβάθμιση της αποδοτικότητας του συστήματος των αντλιοστασίων (αύξηση ειδικής ενέργειας >25%) συνδυασμός που οδηγεί σε ραγδαία αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης και τελικώς σε σημαντική οικονομική επιβάρυνση του φορέα διαχείρισης. Χαρακτηριστικά στο σενάριο B1 για αύξηση της ειδικής ενέργειας κατά 50% η ενεργειακή κατανάλωση αυξάνεται κατά 30.38% (10.68 GWh) σε σχέση με τις αρχικές τιμές του σεναρίου.

**Διερεύνηση της ενεργειακής συνιστώσας στη διαχείριση  
του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας**

Πίνακας 7.1: Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τα αντλιοστάσια της Υλίκης (σενάριο B1)

Αντλιοστάσιο/Σενάριο	-75%	-50%	-25%	Αρχικές τιμές	+25%	+50%	+75%	+100
Βίλιζα-No10	0,24	0,12	6,00	7,44	8,40	10,08	11,76	13,32
No3-Φρέαρ Α (αντ)	3,96	7,92	10,80	16,20	17,88	21,48	25,08	28,68
No4-Φρέαρ Α (αντ)	2,64	2,76	3,72	5,76	4,92	6,00	6,96	7,92
Σίφων Βίλιζας (αντ)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Φ900	3,60	3,60	4,56	5,76	6,60	7,92	9,24	10,68
Φ900 (αντ)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Σύνολο</b>	<b>10,44</b>	<b>14,40</b>	<b>25,08</b>	<b>35,16</b>	<b>37,80</b>	<b>45,48</b>	<b>53,04</b>	<b>60,60</b>

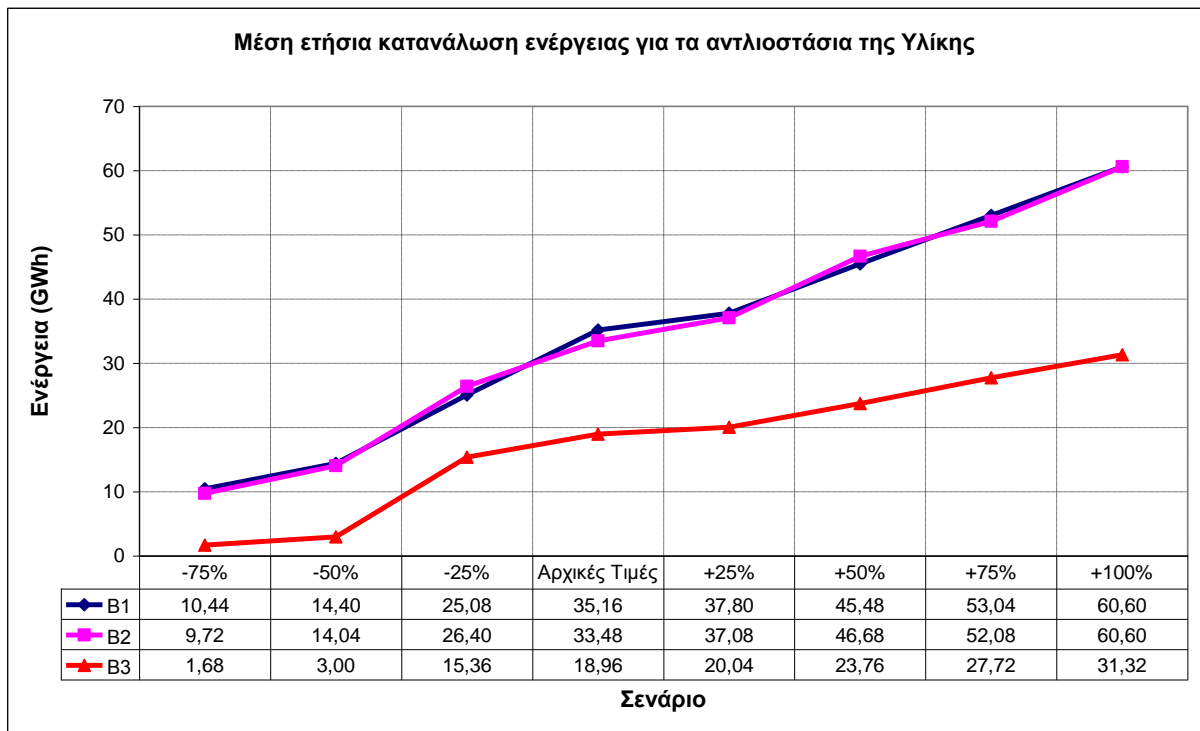
Πίνακας 7.2: Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τα αντλιοστάσια της Υλίκης (σενάριο B2)

Αντλιοστάσιο/Σενάριο	-75%	-50%	-25%	Αρχικές τιμές	+25%	+50%	+75%	+100
Βίλιζα-No10	0,24	0,24	6,24	7,08	8,40	10,44	11,76	13,32
No3-Φρέαρ Α (αντ)	3,84	7,68	11,52	15,60	17,40	22,08	24,60	28,80
No4-Φρέαρ Α (αντ)	2,16	2,76	3,72	5,16	4,92	6,24	6,84	8,04
Σίφων Βίλιζας (αντ)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Φ900	3,48	3,36	4,92	5,64	6,36	7,92	8,88	10,44
Φ900 (αντ)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Σύνολο</b>	<b>9,72</b>	<b>14,04</b>	<b>26,40</b>	<b>33,48</b>	<b>37,08</b>	<b>46,68</b>	<b>52,08</b>	<b>60,60</b>

Πίνακας 7.3: Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τα αντλιοστάσια της Υλίκης- (σενάριο B3)

Αντλιοστάσιο/Σενάριο	-75%	-50%	-25%	Αρχικές τιμές	+25%	+50%	+75%	+100
Βίλιζα-No10	0,72	1,08	12,84	15,36	17,28	20,64	23,64	26,88
No3-Φρέαρ Α (αντ)	0,12	0,24	0,36	0,48	0,72	0,84	0,96	1,08
No4-Φρέαρ Α (αντ)	0,48	1,20	1,20	1,80	0,84	0,96	1,20	1,32
Σίφων Βίλιζας (αντ)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Φ900	0,36	0,36	0,84	1,08	1,08	1,08	1,68	1,08
Φ900 (αντ)	0,00	0,12	0,12	0,24	0,12	0,24	0,24	0,24
<b>Σύνολο</b>	<b>1,68</b>	<b>3,00</b>	<b>15,36</b>	<b>18,96</b>	<b>20,04</b>	<b>23,76</b>	<b>27,72</b>	<b>31,32</b>

Διάγραμμα 7.2: Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας για τα αντλιοστάσια του υδραγωγείου Υλίκης (Σενάρια B1, B2 & B3)

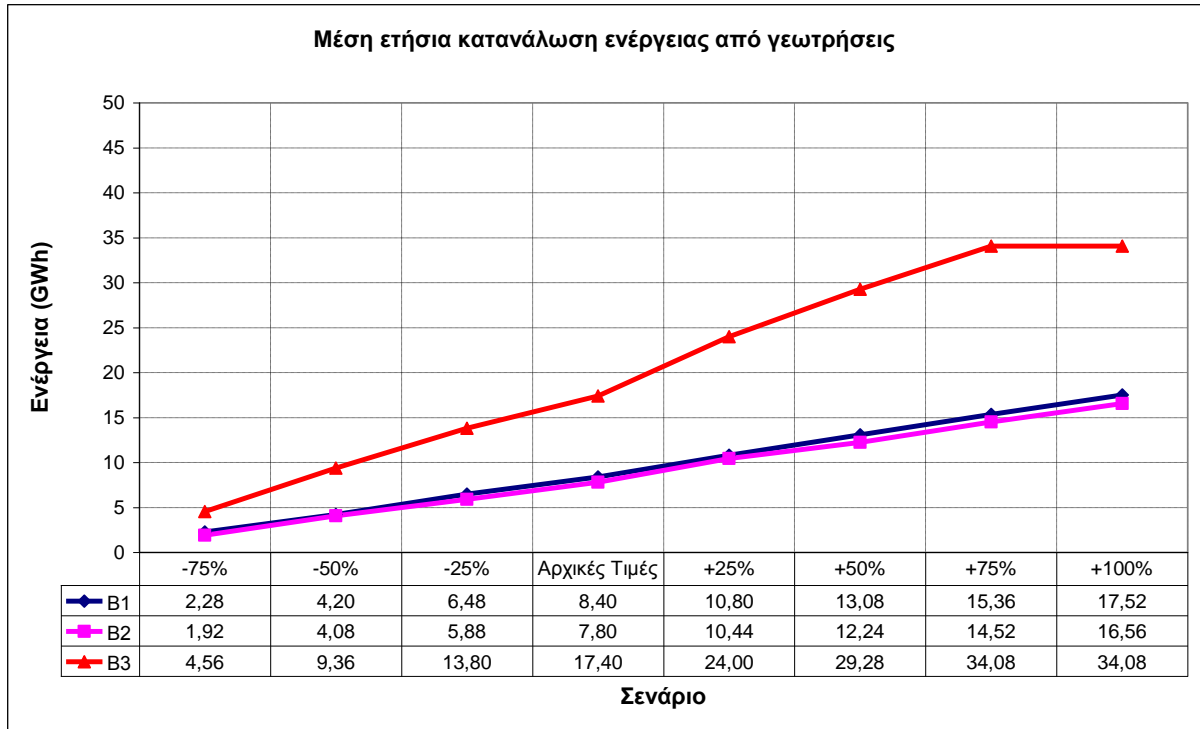


### Γεωτρήσεις

Για τις γεωτρήσεις υπολογίστηκε η συνολική μέση κατανάλωση ενέργειας στα σενάρια B1, B2 και B3 για όλες τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται Διάγραμμα 7.3.

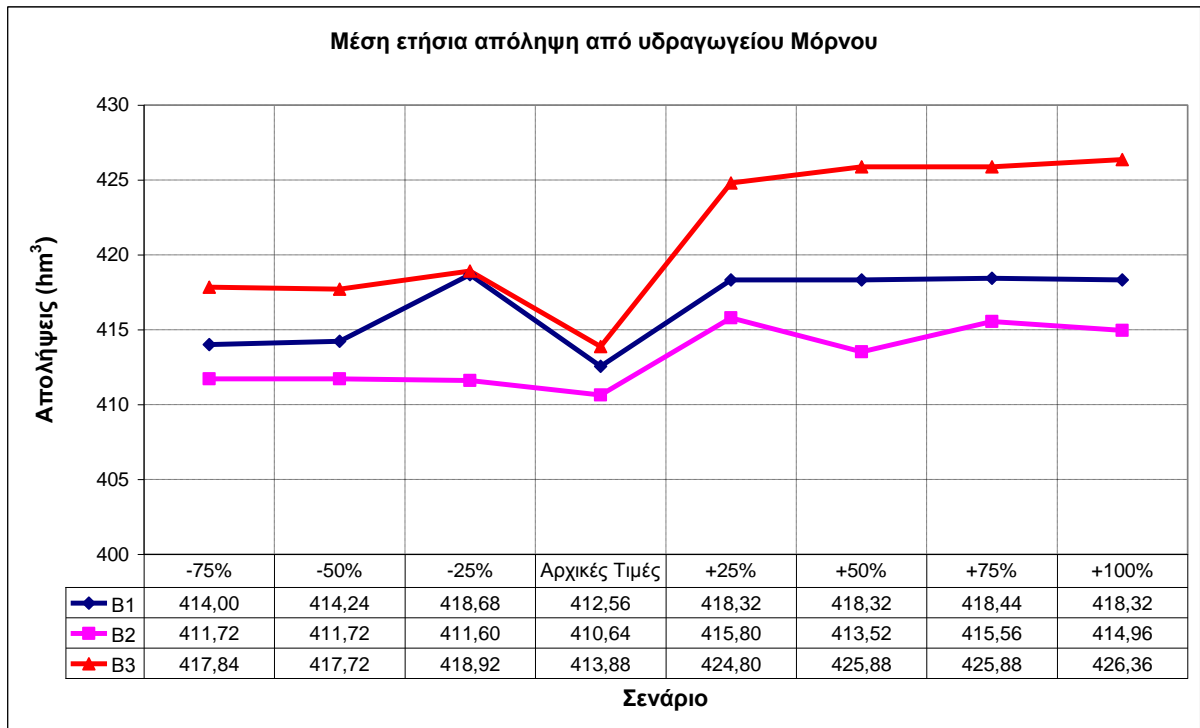
Στο σενάριο B3 και για τις αρχικές συνθήκες η κατανάλωση είναι αυξημένη κατά 107.14% (9.00 GWh) και 123.08% (9.60 GWh) σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2 αντίστοιχα, αύξηση η οποία οφείλεται στην εντατικότερη χρήση των γεωτρήσεων. Στο σενάριο B2 η κατανάλωση ενέργειας είναι μειωμένη σε σχέση με το σενάριο B1, αλλά σε καμία περίπτωση αυτή η διαφορά δεν υπερβαίνει τη 1.0 GWh. Επιπλέον στο σενάριο B3 ο ρυθμό μεταβολής της ενεργειακής κατανάλωσης είναι σημαντικά μεγαλύτερος σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2. Π.χ. στο σενάριο B3 για αύξηση της ειδικής ενέργειας κατά 25% και 50% η αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας είναι ίση με 6.60 και 11.88 GWh αντίστοιχα, ενώ στο σενάριο B1 οι αντίστοιχες αυξήσεις είναι 2.64 και 4.44 GWh.

Διάγραμμα 7.3: Μέση ετήσια κατανάλωση από γεωτρήσεις στα σενάρια B1, B2 και B3



### 7.1.2 Μέση ετήσια απόληψη από υδραγωγείο Μόρνου

Διάγραμμα 7.4: Μέση ετήσια απόληψη από υδραγωγείο Μόρνου (σε hm<sup>3</sup>) για τα σενάρια B1, B2 και B3



### *Ανάλυση αποτελεσμάτων*

Οι μέσες ετήσιες απολήψεις από το υδραγωγείο του Μόρνου παρουσιάζουν μικρά ποσοστά αύξησης με τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας, που δεν υπερβαίνουν σε καμία περίπτωση το 3.0% (Διάγραμμα 7.4). Η μεγαλύτερη μεταβολή προκύπτει στο σενάριο B3, όπου για αύξηση της ειδικής ενέργειας κατά 100% οι απολήψεις αυξάνονται κατά 3.02%, ποσοστό που αντιστοιχεί σε ποσότητα 12.42 hm<sup>3</sup>.

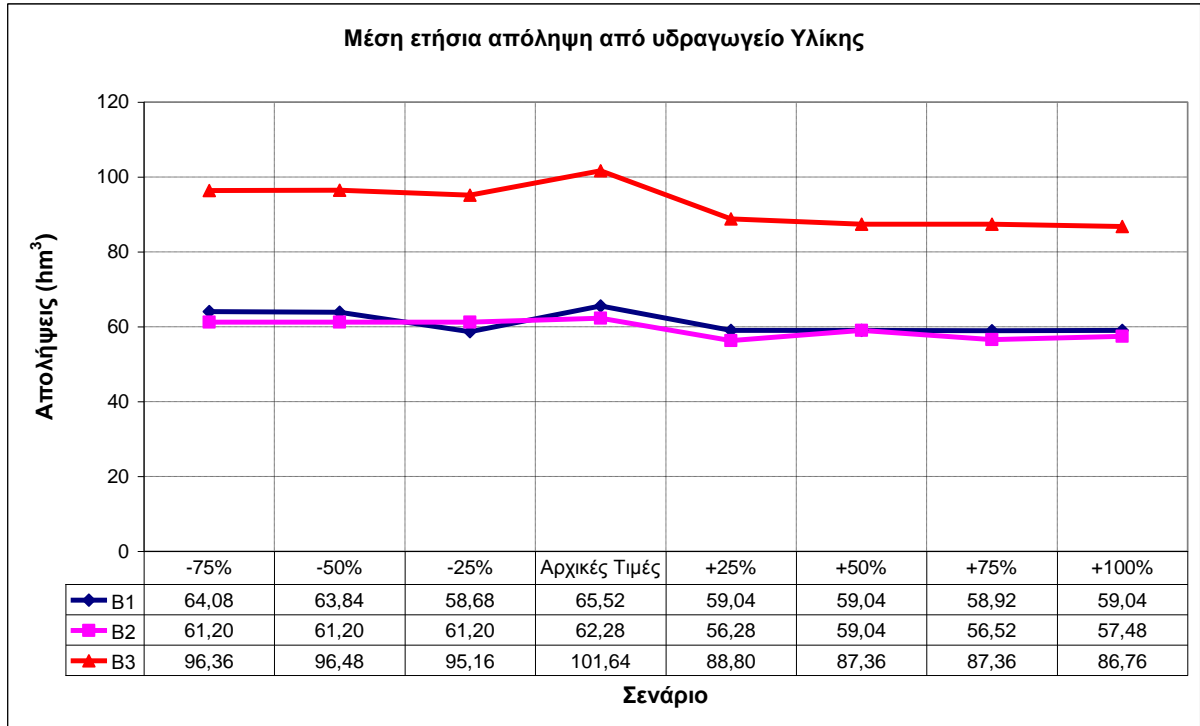
Στα σενάρια αύξησης της ειδικής ενέργειας έχουμε αύξηση των απολήψεων, η οποία όπως θα δούμε στη συνέχεια συνδυάζεται με περιορισμό των απολήψεων από το υδραγωγείο της Υλίκης. Σε μια συνολική υποβάθμιση της αποδοτικότητας του συστήματος ενοείται η χρησιμοποίηση του υδραγωγείου του Μόρνου, αφού λειτουργεί με μηδενικό ενεργειακό κόστος. Για αύξηση της ειδικής ενέργειας στα σενάρια B1 και B2, όπου δε λειτουργεί το ενωτικό υδραγωγείο, οι απολήψεις αυξάνονται λιγότερο σε σχέση με το σενάριο B3. Αντίθετα στο σενάριο B3 η μεγαλύτερη αύξηση στις απολήψεις ενοείται από τη λειτουργία του ενωτικού υδραγωγείου. Λόγω των τεχνικών περιορισμών των υδραγωγείων (παροχετευτικότητα) η αύξηση που μπορούν να υποστηρίξουν έχει ένα άνω όριο.

Αναλυτικά για αύξηση της ειδικής ενέργειας κατά 25%, 50%, 75% και 100% στο σενάριο B3 τα ποσοστά αύξησης των απολήψεων είναι αντίστοιχα 2.64% (10.92 hm<sup>3</sup>), 2.90% (12.00 hm<sup>3</sup>), 2.90% (12.00 hm<sup>3</sup>) και 3.02% (12.48 hm<sup>3</sup>) σε σχέση με τις αρχικές τιμές του σεναρίου. Στα σενάρια B1 και B2 η επίδραση της ειδικής ενέργειας στις απολήψεις είναι περιορισμένη και προκαλεί μικρές αυξήσεις των απολήψεων που δεν ξεπερνούν το 1.5%.

Τέλος οι απολήψεις από το υδραγωγείο του Μόρνου στο σενάριο B3 προκύπτουν πάντοτε μεγαλύτερες συγκρινόμενες με τις απολήψεις των υπολοίπων σεναρίων, ως συνέπεια μιας συνολικότερης βελτιωμένης λειτουργίας του υδροσυστήματος με τη μείωση των απωλειών, των διαφυγών, των υπερχειλίσεων και κυρίως με τη λειτουργία του ενωτικού υδραγωγείου.

### 7.1.3 Μέση ετήσια απόληψη από υδραγωγείο Υλίκης

Διάγραμμα 7.5: Μέση ετήσια απόληψη από υδραγωγείο Υλίκης (σε hm<sup>3</sup>) για τα σενάρια B1, B2 και B3



#### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Κατά μήκος του υδραγωγείου της Υλίκης πραγματοποιείται μεγάλος αριθμός αντλήσεων (υψηλό ενεργειακό κόστος) και για το λόγο αυτό οι απολήψεις επηρεάζονται από τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας του συστήματος και κυρίως από τις αυξήσεις της.

Στο σενάριο B1 (Διάγραμμα 7.5) σε όλα τα επιμέρους σενάρια αύξησης της ειδικής ενέργειας, οι απολήψεις μειώνονται σε ποσοστό ~10% (~6.5 hm<sup>3</sup>), στο σενάριο B2 οι απολήψεις μειώνονται μεταξύ 5.20% και 9.63% και στο σενάριο B3 μεταξύ 12.63% και 14.64% σε σχέση με τις αρχικές τιμές των σεναρίων. Για μείωση της ειδικής ενέργειας, στα σενάρια B1 και B2 οι απολήψεις μειώνονται σε μικρό ποσοστό (έως 3.0%). Μοναδική εξαίρεση είναι η περίπτωση μείωσης της ειδικής ενέργειας κατά 25% στο σενάριο B1, όπου οι απολήψεις μειώνονται κατά 10.44% (6.84 hm<sup>3</sup>). Στο σενάριο B3 η μείωση της ειδικής ενέργειας μειώνει τις απολήψεις 5.08% έως 6.38%.

Στην περίπτωση του σεναρίου B3 οι απολήψεις από το υδραγωγείο της Υλίκης είναι σημαντικά αυξημένες σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2, λόγω της εντατικότερης εκμετάλλευσης των αποθεμάτων της λίμνης. Για τις αρχικές τιμές της ειδικής ενέργειας, στο

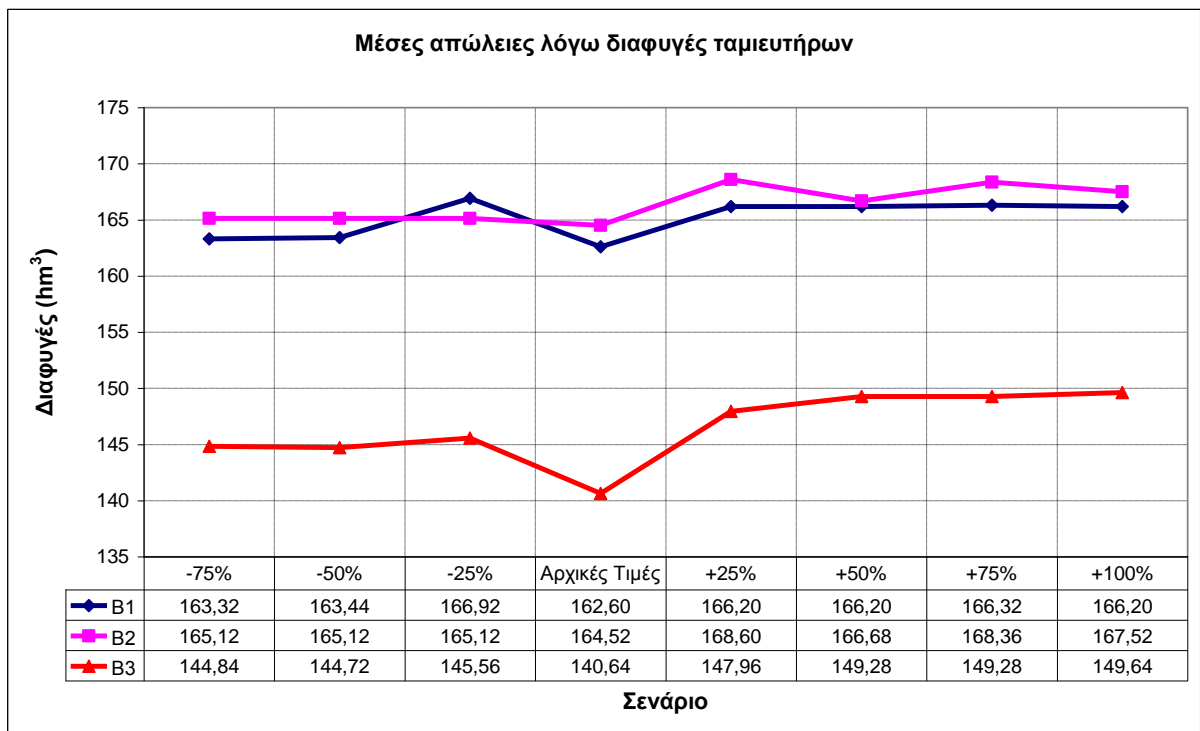


σενάριο B3 οι απολήψεις είναι αυξημένες κατά 55.13% (36.12 hm<sup>3</sup>) και 63.20% (39.36 hm<sup>3</sup>) σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2 αντίστοιχα.

Το υδραγωγείο της Υλίκης είναι δαπανηρό από άποψη ενεργειακής κατανάλωσης, επομένως είναι αναμενόμενο σε κάθε αύξηση της ειδικής ενέργειας να περιορίζεται η χρήση του και συνεπώς να μειώνονται οι απολήψεις από αυτό. Αντίστοιχα οι απολήψεις από το υδραγωγείο του Μόρνου -που λειτουργεί με βαρύτητα άρα και με μηδενικό κόστος- παρουσιάζουν αύξηση στα σενάρια αύξησης της ειδικής ενέργειας (δες εδάφιο 7.1.2).

#### 7.1.4 Μέσες απώλειες λόγω διαφυγών ταμιευτήρων

Διάγραμμα 7.6: Μέσες απώλειες λόγω διαφυγών ταμιευτήρων (σε hm<sup>3</sup>) για τα σενάρια B1, B2 και B3



#### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Ο ταμιευτήρας του Μόρνου και κυρίως η λίμνη της Υλίκης παρουσιάζουν υπόγειες διαφυγές με εποχιακές διακυμάνσεις. Για την προσομοίωσή τους στο μοντέλο χρησιμοποιούνται αναλυτικές σχέσεις στάθμης – διαφυγών, οι οποίες περιγράφονται αναλυτικά στο σχέδιο διαχείρισης (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009, σ.42).

Στα σενάρια B1 και B2 οι διαφυγές παρουσιάζουν μικρές αυξήσεις στις μεταβολές της ειδικής ενέργειας (Διάγραμμα 7.6). Αναλυτικότερα για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 25%, στο σενάριο B1 εμφανίζεται το μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης των διαφυγών (2.66%) που αντιστοιχεί σε ποσότητα 4.32 hm<sup>3</sup>. Στο σενάριο B2 το μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης των

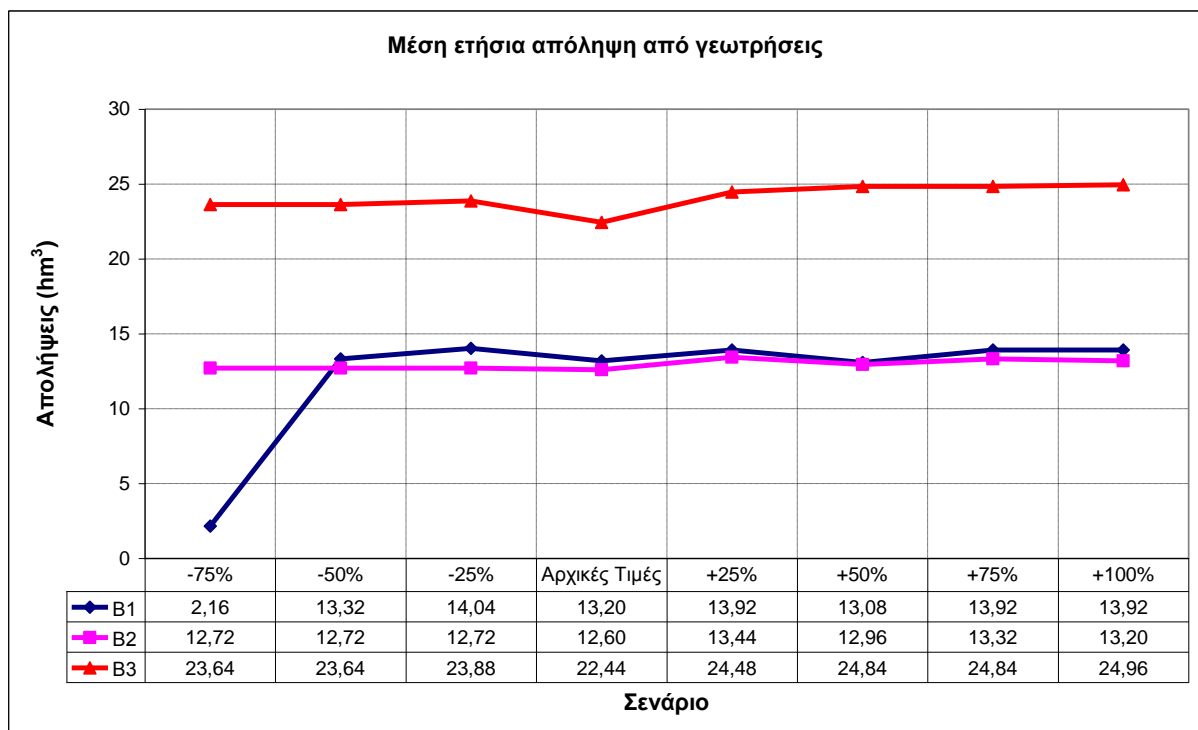
διαφυγών προκύπτει για αύξηση της ειδικής ενέργειας κατά 25%, είναι ίσο με 2.48% και αντιστοιχεί σε ποσότητα 4.08 hm<sup>3</sup>.

Για το σενάριο B3 οι διαφυγές προκύπτουν κατά πολύ μειωμένες σε σχέση με τα άλλα δύο σενάρια. Χαρακτηριστικά για τις αρχικές συνθήκες οι διαφυγές στο σενάριο B3 είναι μειωμένες κατά 13.51% (21.96 hm<sup>3</sup>) και 14.51% (23.88 hm<sup>3</sup>) σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2 αντίστοιχα.

Γενικότερα οι διαφυγές δεν μπορούν να συσχετισθούν άμεσα με την ειδική ενέργεια, αφού προσδιορίζονται με βάση τις στάθμες των ταμιευτήρων. Ωστόσο η μείωση των διαφυγών στο σενάριο B3 οφείλεται στη διαχείριση των αποθεμάτων της Υλίκης ώστε να περιορίζονται οι στάθμες στις οποίες εμφανίζονται διαφυγές.

### 7.1.5 Μέση ετήσια απόληψη από γεωτρήσεις

Διάγραμμα 7.7: Μέση ετήσια απόληψη από γεωτρήσεις (σε hm<sup>3</sup>) για τα σενάρια B1, B2 και B3



#### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Ο βαθμός αξιοποίησης των γεωτρήσεων έχει καθοριστεί εξαρχής μέσω της πολιτικής χρήσης τους, ορίζοντας άνω και κάτω όριο για τις τιμές των κατωφλίων. Επομένως οι απολήψεις από τις γεωτρήσεις εξαρτώνται άμεσα από το τρέχον επιφανειακό απόθεμα του συστήματος και δεν μπορούν να συνδεθούν με τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας.

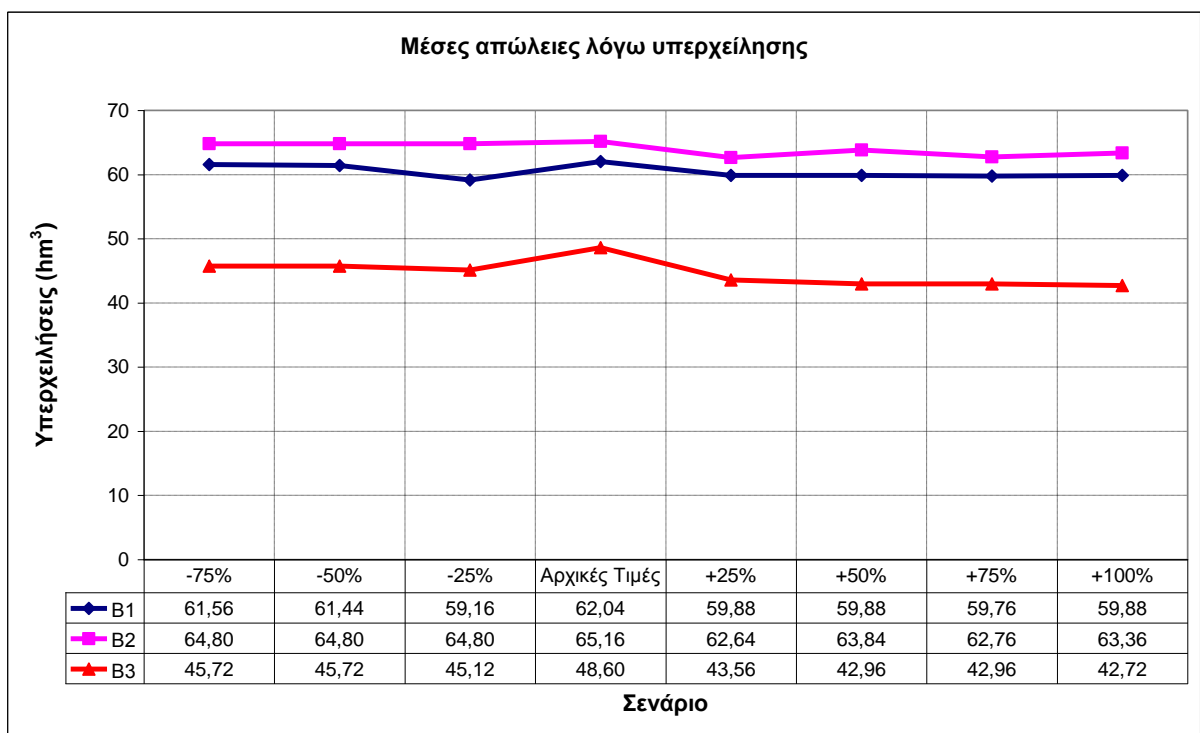
Πράγματι οι απολήψεις διατηρούνται σταθερές στα διάφορα σενάρια μεταβολών της ειδικής ενέργειας (Διάγραμμα 7.7). Εξάιρεση αποτελεί η περίπτωση μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 75% στο σενάριο B1, όπου οι απολήψεις σχεδόν μηδενίζονται (μείωση 83.64%). Ο σημαντικός περιορισμός των απολήψεων πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι στο σενάριο αυτό η χρήση των αντλιοστασίων της Υλίκης είναι ενεργειακά οικονομικότερη από τη χρήση των γεωτρήσεων, ωστόσο ασφαλέστερα συμπεράσματα θα προκύψουν μόνο με την πλήρη ανάλυση των ενεργειακών και οικονομικών στοιχείων του συστήματος για κάθε σενάριο.

Στο σενάριο B1, εξαιρώντας την ακραία τιμή οι απολήψεις προκύπτουν μεταξύ 13.08 και 13.92 hm<sup>3</sup>, στο σενάριο B2 μεταξύ 12.60 και 13.32 hm<sup>3</sup> και στο σενάριο B3 μεταξύ 22.44 και 24.96 hm<sup>3</sup>. Επίσης στο σενάριο B3 και για τις αρχικές συνθήκες οι απολήψεις είναι αυξημένες σε ποσοστό 70% και 78.10% σε σχέση με τις αντίστοιχες απολήψεις των σεναρίων B1 και B2.

Η αύξηση των απολήψεων στο σενάριο B3 οφείλεται στην αυξημένη λειτουργία των γεωτρήσεων, στοιχείο που θα φανεί –κατά την ανάλυση ομάδα γεωτρήσεων- στις αυξημένες τιμές της πιθανότητας ενεργοποίησης.

### 7.1.6 Μέσες απώλειες λόγω υπερχείλισης

Διάγραμμα 7.8: Μέσες απώλειες λόγω υπερχείλισης (σε hm<sup>3</sup>) για τα σενάρια B1, B2 και B3



### *Ανάλυση αποτελεσμάτων*

Οι υπερχειλίσεις των ταμιευτήρων συμπεριλαμβάνονται στις απώλειες του συστήματος και για το λόγο αυτό η ελαχιστοποίηση των απωλειών λόγω υπερχειλίσης έχει οριστεί ως στόχος του συστήματος. Μέσα στο μοντέλο ορίζονται επιμέρους στόχοι για τους ταμιευτήρες του Ευήνου, του Μαραθώνα και του Μόρνου, ώστε να πραγματοποιούνται υπερχειλίσεις μόνο εφόσον οι φυσικοί και λειτουργικοί περιορισμοί του συστήματος το επιβάλλουν. Ο στόχος της ελαχιστοποίησης των απωλειών λόγω υπερχειλίσης ορίζεται στο μοντέλο ως αυξημένη προτεραιότητα, καθώς θα συνδράμει στην καλύτερη λειτουργία του συστήματος από πλευράς αξιοπιστίας (αύξηση εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων).

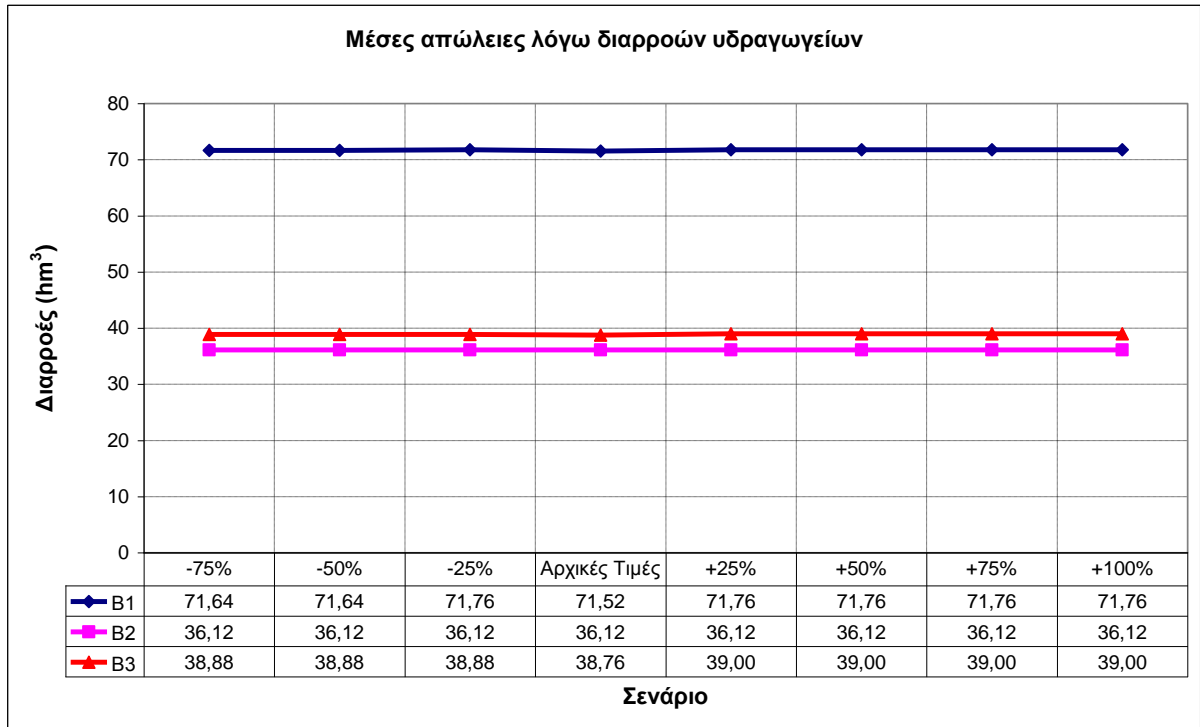
Για τα σενάρια B1 και B2 (Διάγραμμα 7.8) οι απώλειες εμφανίζονται σταθερές, παρουσιάζοντας μικρές μειώσεις στις μεταβολές της ειδικής ενέργειας που δεν ξεπερνούν σε κανένα σενάριο το 5%. Η μεγαλύτερη μείωση παρατηρείται στο σενάριο B1 για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 25%, οπότε οι απώλειες περιορίζονται κατά 4.64% ( $2.88 \text{ hm}^3$ ) σε σχέση με τις αρχικές τιμές του σεναρίου.

Στο σενάριο B3 οι απώλειες εμφανίζονται μειωμένες σε σημαντικό ποσοστό, ενώ επηρεάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό από τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας. Συγκεκριμένα για τις αρχικές συνθήκες του σεναρίου B3, η μείωση των απωλειών ανέρχεται σε  $13.44 \text{ hm}^3$  (21.66%) και  $16.56 \text{ hm}^3$  (25.41%) σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2 αντίστοιχα. Επιπλέον στο σενάριο B3 για μείωση της ειδικής ενέργειας, οι απώλειες μειώνονται 5.93% έως 7.16% και για αύξηση της ειδικής ενέργειας μειώνονται 10.37% έως 12.10%.

Η μείωση των απωλειών στο σενάριο B3 συνδέεται με την συνολικά καλύτερη λειτουργία του συστήματος που βασίζεται στην αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των υδραγωγείων του Μόρνου και της Υλίκης και την καλύτερη εκμετάλλευση των διαθέσιμων αποθεμάτων στους ταμιευτήρες. Ωστόσο οι απώλειες λόγω υπερχειλίσης δύσκολα μπορούν να συνδεθούν άμεσα με την ειδική ενέργεια, αφού εξαρτώνται από τους φυσικούς και λειτουργικούς περιορισμούς του συστήματος.

### 7.1.7 Μέσες απώλειες λόγω διαρροών υδραγωγείων

Διάγραμμα 7.9: Μέσες απώλειες λόγω διαρροών υδραγωγείων (σε hm<sup>3</sup>) για τα σενάρια B1, B2 και B3



#### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Οι απώλειες λόγω διαρροών θεωρούνται σταθερές σε κάθε σενάριο κατά μήκος συγκεκριμένων κλάδων του δικτύου και επομένως είναι ανεξάρτητες από την ειδική ενέργεια (δες εδάφιο 4.8.2.3).

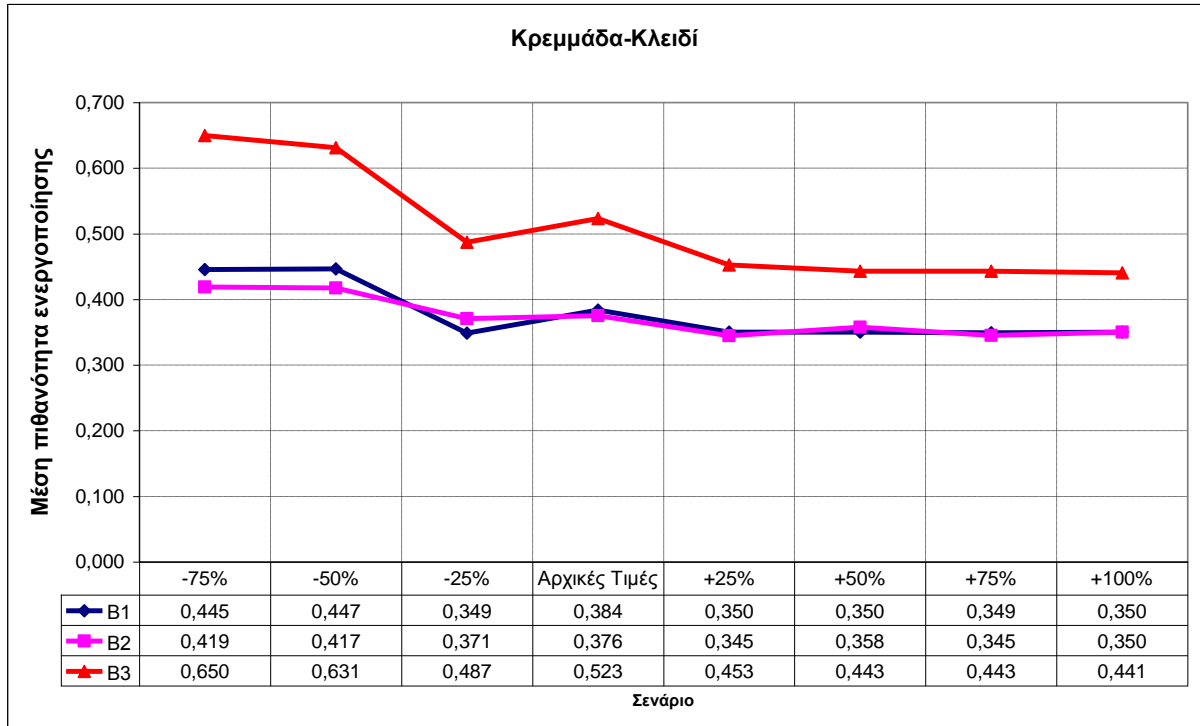
Στα σενάρια B2 και B3 (Διάγραμμα 7.9) οι απώλειες έχουν ληφθεί μειωμένες κατά 50% σε σχέση με τις απώλειες που αντιστοιχούν στην υφιστάμενη λειτουργία του δικτύου (σενάριο B1). Οι αποκλίσεις που προκύπτουν από την προσομοίωση των σεναρίων είναι πολύ μικρές. Συγκεκριμένα στο σενάριο B2 οι απώλειες προκύπτουν μειωμένες κατά 49.50%, ενώ στο σενάριο B3 μειωμένες κατά 45.81%.

Τα οφέλη από τον περιορισμό των απωλειών είναι σημαντικά τόσο στην εξασφάλιση των απαιτούμενων ποσοτήτων νερού για την αξιόπιστη κάλυψη του στόχου της ύδρευσης όσο και στην αποφυγή κατανάλωσης ενέργειας για ποσότητες που δεν καταλήγουν στις μονάδες επεξεργασίας νερού.

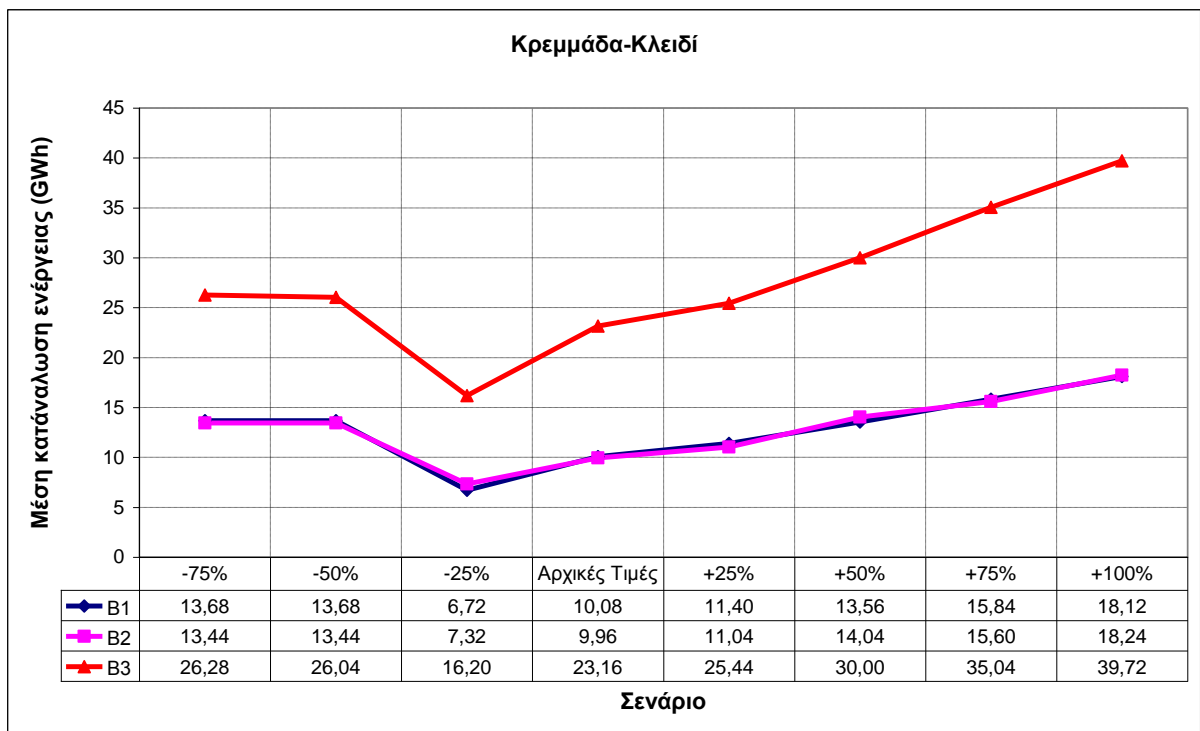
## 7.2 Αντλιοστάσια

### 7.2.1 Κρεμμάδα-Κλειδί

Διάγραμμα 7.10: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Κρεμμάδα-Κλειδί



Διάγραμμα 7.11: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Κρεμμάδα-Κλειδί



### *Ανάλυση αποτελεσμάτων*

Το συγκεκριμένο αντλιοστάσιο σε συνδυασμό με την αποκατάσταση της λειτουργίας του ενωτικού υδραγωγείου (όπως αυτή προβλέπεται στο σενάριο B3), διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ελαχιστοποίηση των αντλήσεων που πραγματοποιούνται κατά μήκος του υδραγωγείου της Υλίκης. Και αυτό γιατί μεγαλύτερες ποσότητες των υδατικών αποθεμάτων της Υλίκης θα μεταφέρονται στο υδραγωγείο του Μόρνου που λειτουργεί με βαρύτητα (μηδενικό κόστος).

Και στα τρία σενάρια τόσο η μέση πιθανότητα ενεργοποίησης (Διάγραμμα 7.10) όσο και η ενεργειακή κατανάλωση (Διάγραμμα 7.11) επηρεάζονται με τον ίδιο τρόπο (ποιοτικά) από τις μεταβολές της αποδοτικότητας του συστήματος, ενώ η πιθανότητα και η κατανάλωση παρουσιάζουν μικρές μόνο διαφοροποιήσεις στα σενάρια B1 και B2.

Αναλυτικότερα για αύξηση της ειδικής ενέργειας κατά 25% έχουμε μείωση της πιθανότητας ενεργοποίησης, η οποία είναι ίση με 8.76%, 8.24% και 13.46% στα σενάρια B1, B2 και B3 αντίστοιχα. Στα σενάρια B1 και B3 για μεγαλύτερες αυξήσεις της ειδικής ενέργειας η πιθανότητα ενεργοποίησης διατηρεί σταθερή τιμή, ενώ στο σενάριο B2 αυξομειώνεται αλλά είναι παραμένει πάντα μικρότερη σε σχέση με την αρχική της τιμή.

Επομένως ακόμα και σε συνθήκες μειούμενης αποδοτικότητας του συστήματος, η λειτουργία του αντλιοστασίου εμφανίζει ένα (ελάχιστο) όριο ενεργοποίησης κάτω από το οποίο δεν μπορεί να κινηθεί. Ωστόσο λόγω της αύξησης της ειδικής ενέργειας, η κατανάλωση για την ίδια πιθανότητα ενεργοποίησης συνεχώς αυξάνεται, ενώ στο σενάριο B3 η αύξηση της κατανάλωσης πραγματοποιείται με μεγαλύτερο ρυθμό από ότι στα υπόλοιπα σενάρια.

Η μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 25%, οδηγεί σε μείωση της πιθανότητας ενεργοποίησης κατά 9.14%, 1.30% και 6.86% στα σενάρια B1, B2 και B3 αντίστοιχα. Για μεγαλύτερες μειώσεις της ειδικής ενέργειας (50% και 75%) η πιθανότητα ενεργοποίησης σταδιακά αυξάνεται ξεπερνώντας τις αρχικές τιμές των σεναρίων. Στο σενάριο B1 αυξάνεται κατά ~11%, στο σενάριο B2 κατά ~16 και στο σενάριο B3 μεταξύ 20.67% και 24.21%. Στο σενάριο B3 για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 75% το αντλιοστάσιο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη πιθανότητα ενεργοποίησης που είναι ίση με 65%.

Αντίστοιχες είναι και οι μεταβολές που παρατηρούνται και στην ενεργειακή κατανάλωση με τη μείωση της ειδικής ενέργειας. Για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 25%, η μείωση στην κατανάλωση είναι 33.33% (3.36 GWh) και 30.05% (8.88 GWh) για τα σενάρια B1 και B3 αντίστοιχα. Για μεγαλύτερες μειώσεις στην ειδική ενέργεια, όπου αυξάνεται η πιθανότητα ενεργοποίησης, η κατανάλωση αυξάνεται ξεπερνώντας τις καταναλώσεις των αρχικών

συνθηκών. Για τις αρχικές συνθήκες στα σενάρια B1, B2 και B3 το αντλιοστάσιο καταναλώνει 10.7%, 11.0% και 16.6% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης του συστήματος αντίστοιχα, καθιστώντας το ως ένα από τους μεγαλύτερους ενεργειακούς καταναλωτές του συστήματος.

Επιπλέον παρατηρούμε ότι η πιθανότητα ενεργοποίησης του αντλιοστασίου στο σενάριο B3, όπου περιλαμβάνεται η υλοποίηση των μελλοντικών έργων, είναι σημαντικά αυξημένη συγκρινόμενη με τα σενάρια B1 και B2 σε όλες τις περιπτώσεις μεταβολών της ειδικής ενέργειας. Αυτή η αυξημένη πιθανότητα ενεργοποίησης στο σενάριο B3 οδηγεί σε σημαντική αύξηση (υπερδιπλασιασμό) της ενεργειακής κατανάλωσης. Συγκεκριμένα για τις αρχικές τιμές, στο σενάριο B3 η πιθανότητα ενεργοποίησης είναι αυξημένη κατά 36.20% και 39.10% σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2, ενώ οι αντίστοιχες αυξήσεις στην κατανάλωση ενέργειας είναι ίσες με 129.76% (13.08 GWh) και 132.53% (13.20 GWh).

Η λειτουργία του ενωτικού υδραγωγείου στο σενάριο B3 συνεπάγεται και αυξημένη πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Κρεμμίδα – Κλειδί. Επιπλέον, η αποδοτικότερη λειτουργία του συστήματος ευνοεί σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό τη λειτουργία του αντλιοστασίου, στοιχείο που υποδηλώνεται από την έντονη αύξηση της πιθανότητας ενεργοποίησης με τη μείωση της ειδικής ενέργειας.

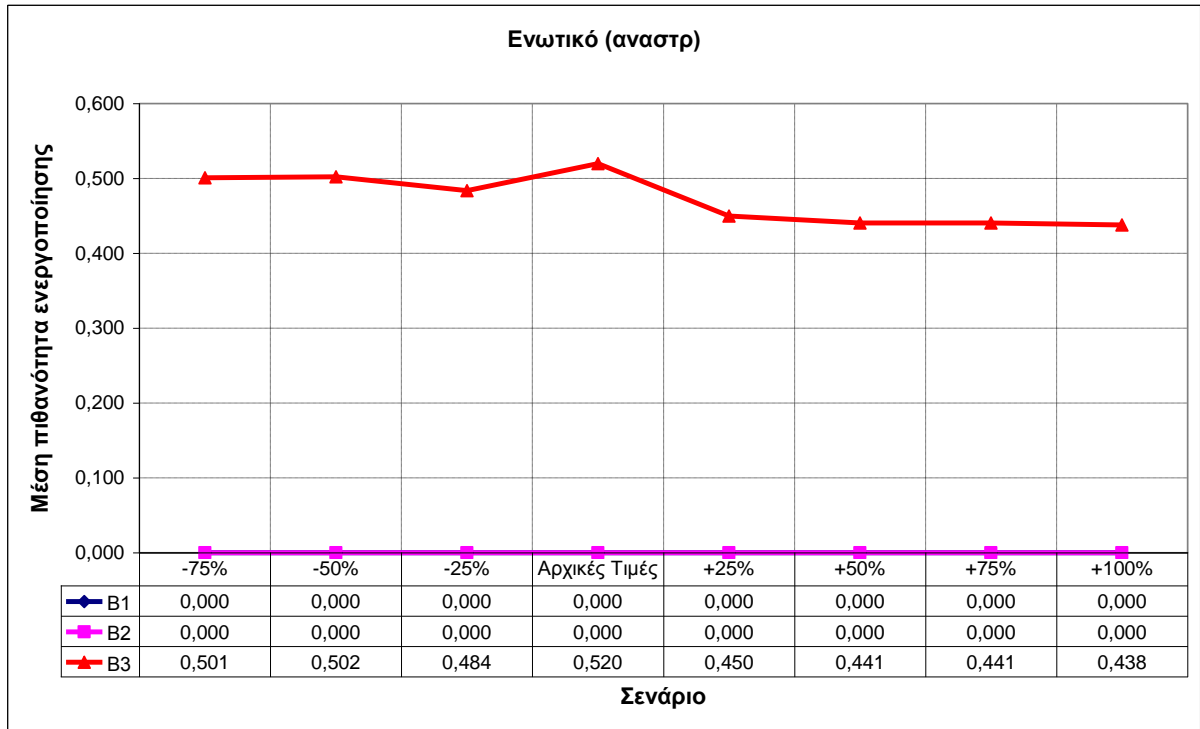
Η πιθανότητα ενεργοποίησης παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία στις μεγάλες μειώσεις της ειδικής ενέργειας (>25%) κυρίως στο σενάριο B3 και μικρότερη ευαισθησία στις αυξήσεις της ειδικής ενέργειας και για τα τρία σενάρια.

Τελικώς η μετάβαση στο σενάριο B3 σε συνδυασμό με την αποδοτικότερη λειτουργία του συστήματος, οδηγεί στην εντατικότερη χρήση του αντλιοστασίου και τελικά στην επιθυμητή αύξηση της τροφοδοσίας του υδραγωγείου του Μόρνου από τα αποθέματα της Υλίκης. Αντίθετα για το ίδιο σενάριο, η υλοποίηση των έργων σε συνδυασμό με μείωση της αποδοτικότητας του συστήματος, οδηγεί σε σημαντική επιβάρυνση της ενεργειακής κατανάλωσης του αντλιοστασίου.

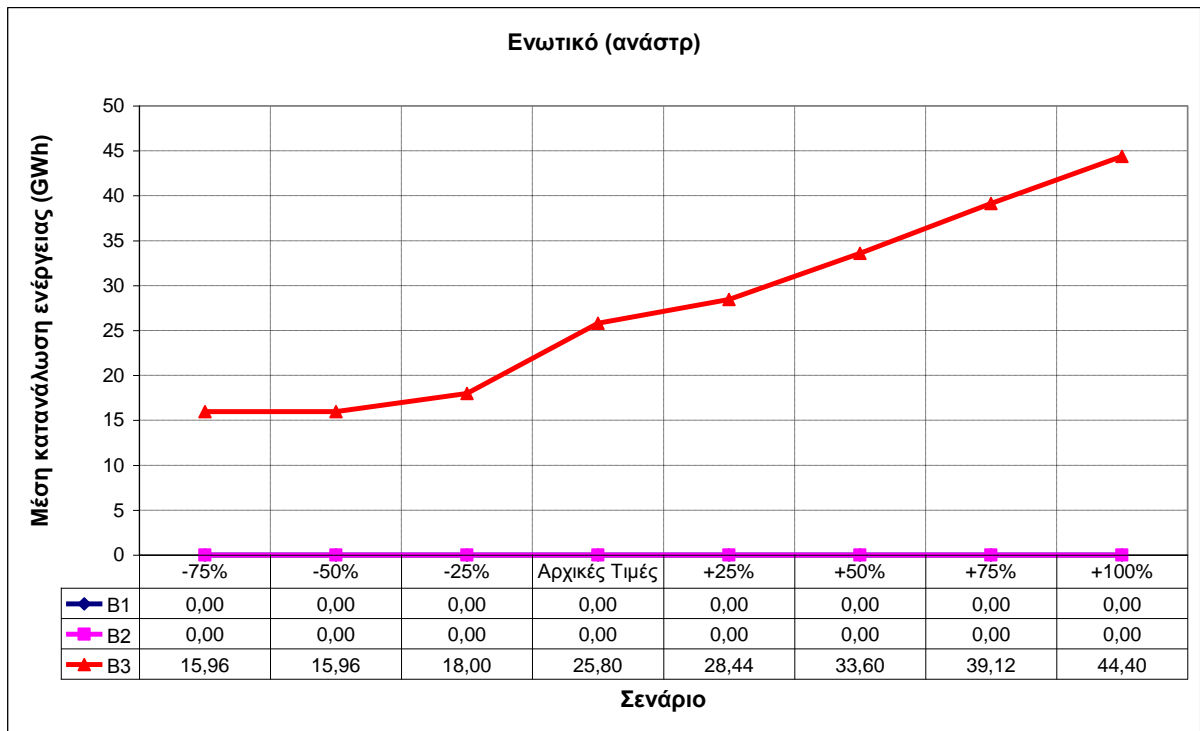


7.2.2 Ενωτικό υδραγωγείο (ανάστροφη λειτουργία)

Διάγραμμα 7.12: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Ενωτικό (ανάστρ.)



Διάγραμμα 7.13: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Ενωτικό (ανάστρ.)



### *Ανάλυση αποτελεσμάτων*

Στα σενάρια B1 και B2 θεωρήσαμε ότι το υδραγωγείο λειτουργεί μόνο προς την κανονική του φορά, μεταφέροντας νερό από το κανάλι του Μόρνου προς το Κλειδί, δηλαδή η δυνατότητα αναστροφής λειτουργίας του δεν ήταν δυνατή. Για αυτό το λόγο η μέση πιθανότητα ενεργοποίησης (Διάγραμμα 7.12) και η μέση κατανάλωση (Διάγραμμα 7.13) για τα δύο πρώτα σενάρια δεν μπορούν να οριστούν και θεωρούνται μηδενικές.

Στο σενάριο B3 για την αρχική τιμή της ειδικής ενέργειας ( $\Psi=0.500 \text{ GWh/hm}^4$ ), το αντλιοστάσιο ενεργοποιείται σε ποσοστό 52%. Στην περίπτωση αύξησης της ειδικής ενέργειας κατά 25% η πιθανότητα ενεργοποίησης του αντλιοστασίου περιορίζεται κατά 13.50%, ενώ για μεγαλύτερες αυξήσεις της ειδικής ενέργειας η πιθανότητα δε μειώνεται περισσότερο και διατηρεί μια σταθερή τιμή (~44%). Ωστόσο λόγω της αύξησης της ειδικής ενέργειας η ενεργειακή κατανάλωση συνεχώς αυξάνεται για την ίδια τιμή της πιθανότητας. Ενδεικτικά για αύξηση της ειδικής ενέργειας από το 50% στο 75%, ενώ προκύπτει η ίδια πιθανότητα ενεργοποίησης η κατανάλωση αυξάνεται κατά 5.52 GWh (αύξηση 16.43%).

Αντίθετα στα σενάρια μείωσης της ειδικής ενέργειας η πιθανότητα επηρεάζεται σε μικρότερο βαθμό, με τα ποσοστά μείωσης που προκύπτουν για την πιθανότητα να είναι μικρότερα του 7%. Συγκεκριμένα για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 25%, 50% και 75% τα ποσοστά μείωσης της πιθανότητας είναι αντίστοιχα 6.99%, 3.42% και 3.66%.

Με βάση τα αποτελέσματα η πιθανότητα ενεργοποίησης επηρεάζεται μόνο στα σενάρια αύξησης της ειδικής ενέργειας, ενώ δε μεταβάλλεται σημαντικά βελτιώνοντας την αποδοτικότητα του συστήματος. Συνεπώς για πιθανότητα ενεργοποίησης του αντλιοστασίου ίση με ~50%, όπως προκύπτει από την προσομοίωση του σεναρίου B3 για τις αρχικές συνθήκες, προκύπτει μια οικονομική λύση λειτουργίας του υδροσυστήματος με βάση τη δομή του και τους περιορισμούς του. Η λύση αυτή μάλιστα δεν μπορεί να βελτιωθεί μειώνοντας την ειδική ενέργεια του συστήματος.

Η λειτουργία του ενωτικού υδραγωγείου για τις αρχικές συνθήκες του σεναρίου B3, είναι υπεύθυνη για την κατανάλωση του 18.53% (25.80 GWh) της συνολικής ενέργειας του συστήματος, η οποία αποτελεί τη δεύτερη μεγαλύτερη κατανάλωση έπειτα από αυτή των πλωτών αντλιοστασίων της Υλίκης.

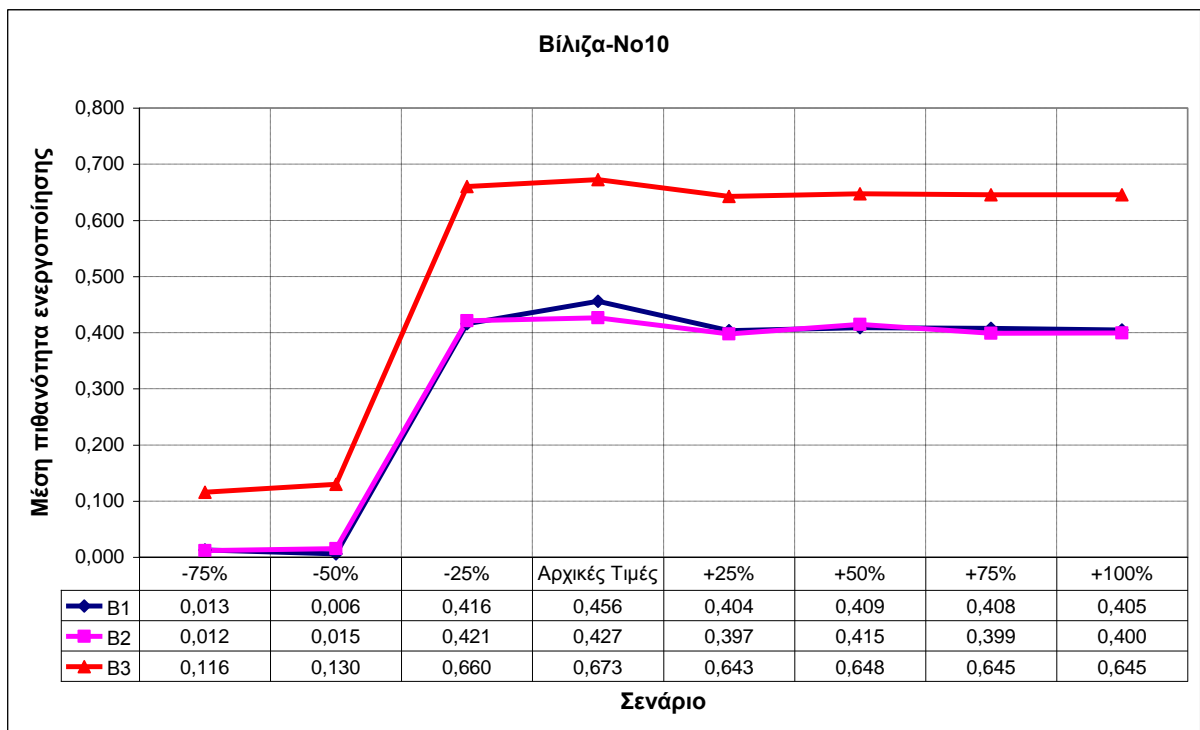
Για τη μεταφορά νερού από το υδραγωγείο της Υλίκης στο υδραγωγείο του Μόρνου απαιτείται η λειτουργία τόσο του αντλιοστασίου στο τμήμα Κρεμμάδα – Κλειδί όσο και του αντλιοστασίου του ενωτικού υδραγωγείου (αναστροφή λειτουργία) και για αυτό το λόγο η

## Διερεύνηση της ενεργειακής συνιστώσας στη διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας

πιθανότητα ενεργοποίησης για τα δύο αντλιοστάσια διαφέρει ελάχιστα στο σενάριο B3<sup>25</sup>. Η συνδυασμένη λειτουργία τους στο σενάριο B3 (για τις αρχικές τιμές ειδικής ενέργειας) καταναλώνει 48.96 GWh, ποσότητα που αντιστοιχεί στο 35.17% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης του συστήματος.

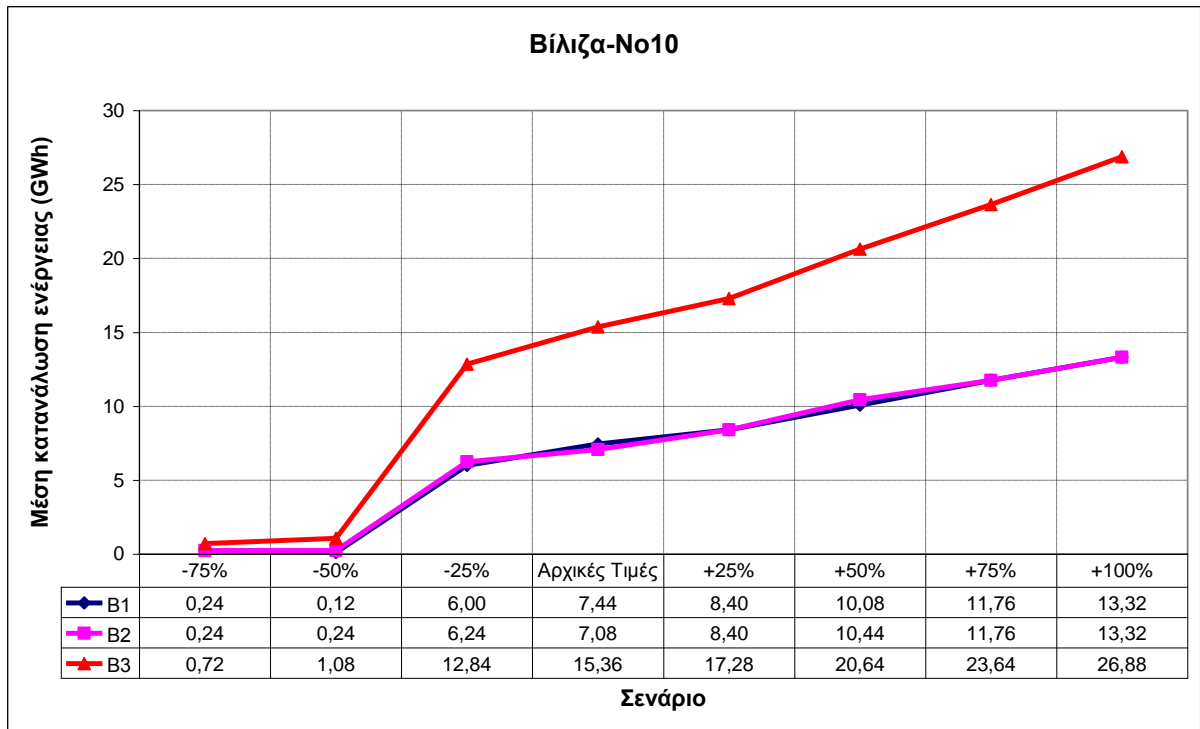
### 7.2.3 Βίλιζα - Νο10

Διάγραμμα 7.14: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Βίλιζα-Νο10



<sup>25</sup>Για μείωση της ειδικής ενέργειας η πιθανότητα ενεργοποίησης στο αντλιοστάσιο Κρεμμάδα – Κλειδί είναι αυξημένη σε σχέση με αυτή του ενωτικού υδραγωγείου. Η αύξηση αυτή συνδέεται με τη χρήση του αντλιοστασίου Κρεμμάδα – Κλειδί και για την άντληση νερού κατά μήκος του υδραγωγείου της Υλίκης.

Διάγραμμα 7.15: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Βίλιζα-Νο10



#### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Για το αντλιοστάσιο Βίλιζα – Νο 10 και στα τρία σενάρια η πιθανότητα ενεργοποίησης (Διάγραμμα 7.14) και η κατανάλωση ενέργειας (Διάγραμμα 7.15) επηρεάζονται κατά τον ίδιο τρόπο (ποιοτικά) από τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας. Ειδικότερα για τα σενάρια B1 και B2, οι τιμές της πιθανότητας και της κατανάλωσης ουσιαστικά συμπίπτουν, με εξαίρεση την αρχική τιμή της πιθανότητας ενεργοποίησης.

Σε όλα τα σενάρια για αύξηση της ειδικής ενέργειας κατά 25% παρατηρείται μείωση της πιθανότητας ενεργοποίησης κατά 11.38%, 6.84% και 4.47% στα σενάρια B1, B2 και B3 αντίστοιχα. Πρόσθετη αύξηση της ειδικής ενέργειας δεν επηρεάζει επιπλέον την τιμή της πιθανότητας, η οποία διατηρείται σταθερή παρουσιάζοντας μικρές μόνο αυξομειώσεις. Παρά τη διατήρηση σταθερής τιμής για τη πιθανότητα ενεργοποίησης, η αύξηση της ειδικής ενέργειας οδηγεί τελικά σε συνεχή αύξηση της κατανάλωσης, η οποία στο σενάριο B3 αυξάνεται με μεγαλύτερο ρυθμό σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια.

Επομένως στα σενάρια αύξησης της ειδικής ενέργειας προκύπτει για τη λειτουργία του αντλιοστασίου ένα όριο κάτω από το οποίο δεν μπορεί να κινηθεί, ακόμα και σε συνθήκες χαμηλής αποδοτικότητας του συστήματος. Δηλαδή όσο και αυξήσουμε την ειδική ενέργεια, είναι απαραίτητη η λειτουργία του αντλιοστασίου σε αυτό το ποσοστό ενεργοποίησης.

Αντίθετα η πιθανότητα ενεργοποίησης παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία στις μειώσεις της ειδικής ενέργειας. Συγκεκριμένα για μείωση της ειδικής ενέργειας μέχρι 25%, έχουμε περιορισμένη μείωση της πιθανότητας ενεργοποίησης κατά 8.75%, 1.21% και 1.83% στα σενάρια B1, B2 και B3 αντίστοιχα. Για μείωση όμως της ειδικής ενέργειας κατά 50% ή 75%, η μέση πιθανότητα ενεργοποίησης ουσιαστικά μηδενίζεται στα σενάρια B1 και B2, ενώ για το σενάριο B3 μειώνεται σε ένα ποσοστό της τάξης του 80% ως προς την αρχική τιμή.

Η σημαντική μείωση της πιθανότητας συνδυάζεται και με εξίσου σημαντικό περιορισμό της ενεργειακής κατανάλωσης. Και στα τρία σενάρια η κατανάλωση περιορίζεται σε τιμές μικρότερες της 1.0 GWh για μείωση της ειδικής ενέργειας σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50%. Ενδεικτικά, στο σενάριο B1 για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 50% η κατανάλωση περιορίζεται κατά 98.38% (7.32 GWh) ως προς τις αρχικές τιμές των σεναρίων, ενώ στο σενάριο B3 κατά 92.97% (14.26 GWh).

Η δραστική αυτή μείωση στη λειτουργία του αντλιοστασίου Βίλιζας-No10 πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι για χαμηλές τιμές ειδικής ενέργειας η χρήση του συγκεκριμένου αντλιοστασίου δεν είναι οικονομική και ευνοείται η χρήση άλλων αντλιοστασίων από το υδραγωγείο της Υλίκης. Το συμπέρασμα αυτό ενισχύεται και από την διαπίστωση ότι η πιθανότητα ενεργοποίησης αυξάνεται σημαντικά στο (ανταγωνιστικό) αντλιοστάσιο Κρεμμίδα – Κλειδί για τα ίδια διαστήματα μείωσης της ειδικής ενέργειας.

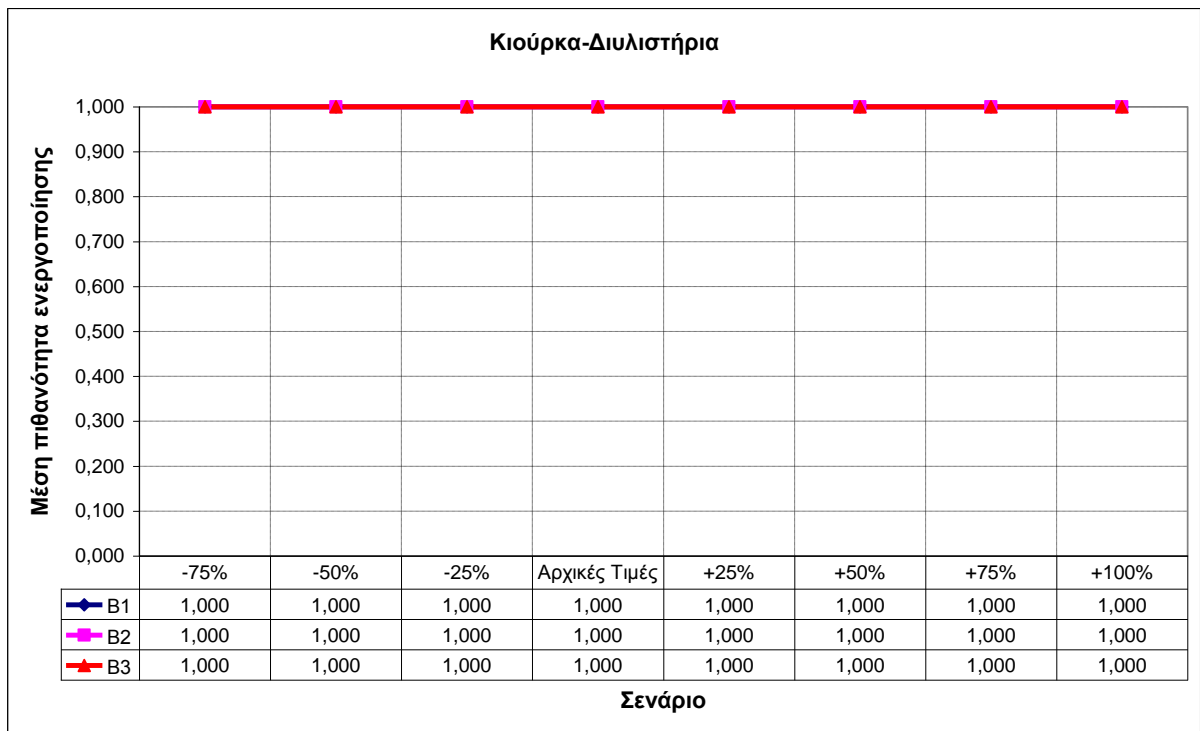
Η ενεργειακή κατανάλωση στο σενάριο B3 είναι ιδιαίτερη αυξημένη λόγω της εντατικότερης λειτουργίας του αντλιοστασίου. Για τις αρχικές τιμές της ειδικής ενέργειας η πιθανότητα ενεργοποίησης στο σενάριο B3 είναι αυξημένη κατά 47.59% σε σχέση με το σενάριο B1, ενώ η αντίστοιχη αύξηση στην κατανάλωση είναι 106.45% (7.92 GWh). Επιπλέον η κατανάλωση ενέργειας στο σενάριο B3 για όλες τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας είναι τουλάχιστον διπλάσια από την αντίστοιχη των σεναρίων B1 και B2.

Στο σενάριο B3 θα περιμέναμε χαμηλότερες τιμές πιθανότητας ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2, λόγω της περιορισμένης χρήσης του υδραγωγείου της Υλίκης. Μια ερμηνεία για την αύξηση της πιθανότητας ενεργοποίησης στο σενάριο B3 είναι ότι η μεταφορά νερού μέσω του συγκεκριμένου αντλιοστασίου είναι οικονομικότερη, συγκρινόμενη με τη χρήση άλλων αντλιοστασίων του υδραγωγείου. Πράγματι για το σενάριο B3 στα περισσότερα αντλιοστάσια του υδραγωγείου (No3 – Φρέαρ A, No4 – Φρέαρ A, Φ 900) η πιθανότητα ενεργοποίησης τους προκύπτει μειωμένη στο σενάριο B3.

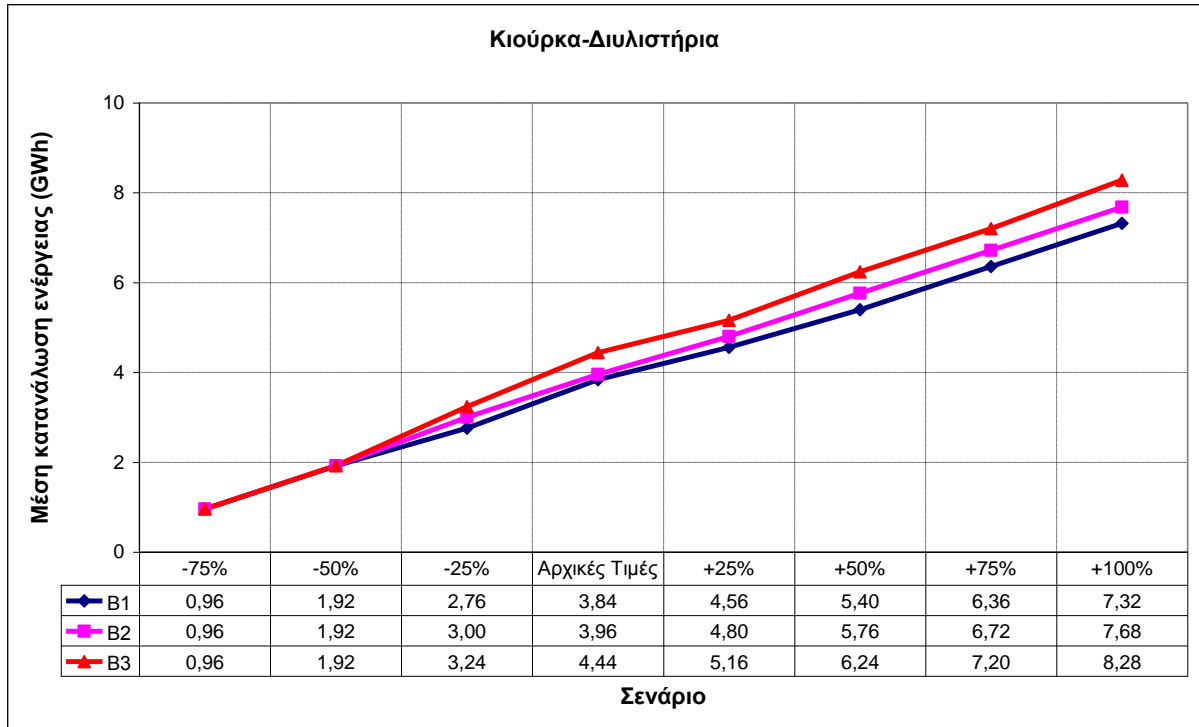
Τελικώς με βάση τα συνολικά ενεργειακά αποτελέσματα το αντλιοστάσιο της Βίλιζας αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους ενεργειακούς καταναλωτές του συστήματος, αφού για τη λειτουργία του απαιτείται το 7.92%, 7.86% και 11.03% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνει το σύστημα στα σενάρια B1, B2 και B3 αντίστοιχα. Οπότε μια ρεαλιστική μείωση της ειδικής ενέργειας του συστήματος σε ποσοστό μεγαλύτερο του 25% θα συνδράμει στη σημαντική μείωση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, ακόμα και αν διατηρηθεί το υφιστάμενο καθεστώς λειτουργίας του.

#### 7.2.4 Κιούρκα - Διυλιστήρια

Διάγραμμα 7.16: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Κιούρκα-Διυλιστήρια



Διάγραμμα 7.17: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Κιούρκα-Διυλιστήρια



#### Ανάλυση αποτελεσμάτων

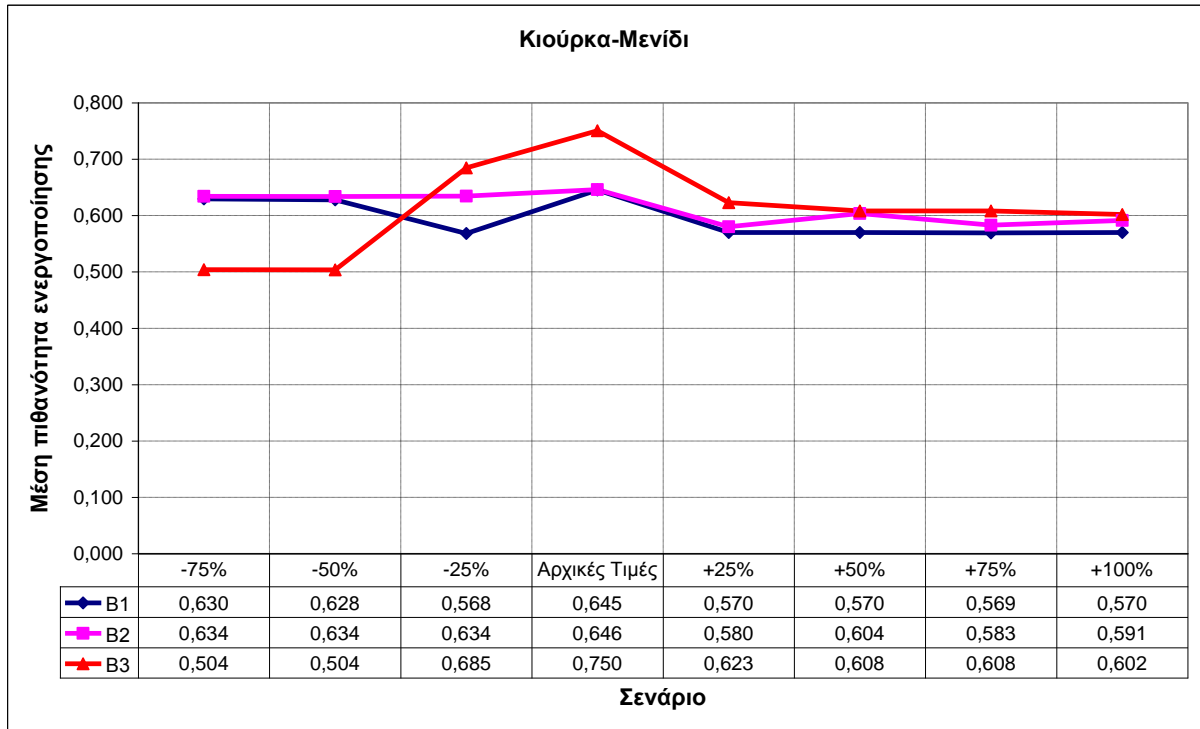
Η πιθανότητα ενεργοποίησης του αντλιοστασίου σε κάθε σενάριο είναι σταθερή και ίση με τη μονάδα (Διάγραμμα 7.16). Στη διαμόρφωση του μοντέλου του υδροσυστήματος θεωρήσαμε ότι αστοχία στην κάλυψη της ζήτησης έστω και σε μία μόνο από τις ΜΕΝ ισοδυναμεί με αστοχία του συστήματος. Για το λόγο αυτό η απρόσκοπτη και συνεχής λειτουργία του συγκεκριμένου αντλιοστασίου είναι απαραίτητη για τη αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος.

Η κατανάλωση ενέργειας (Διάγραμμα 7.17) παρουσιάζεται ελαφρώς αυξημένη (0.5 έως 1.0 GWh) στο σενάριο B3, ενώ στην περίπτωση μείωσης της ειδικής ενέργειας σε ποσοστά μεγαλύτερα του 50% οι καταναλώσεις των τριών σεναρίων ταυτίζονται.

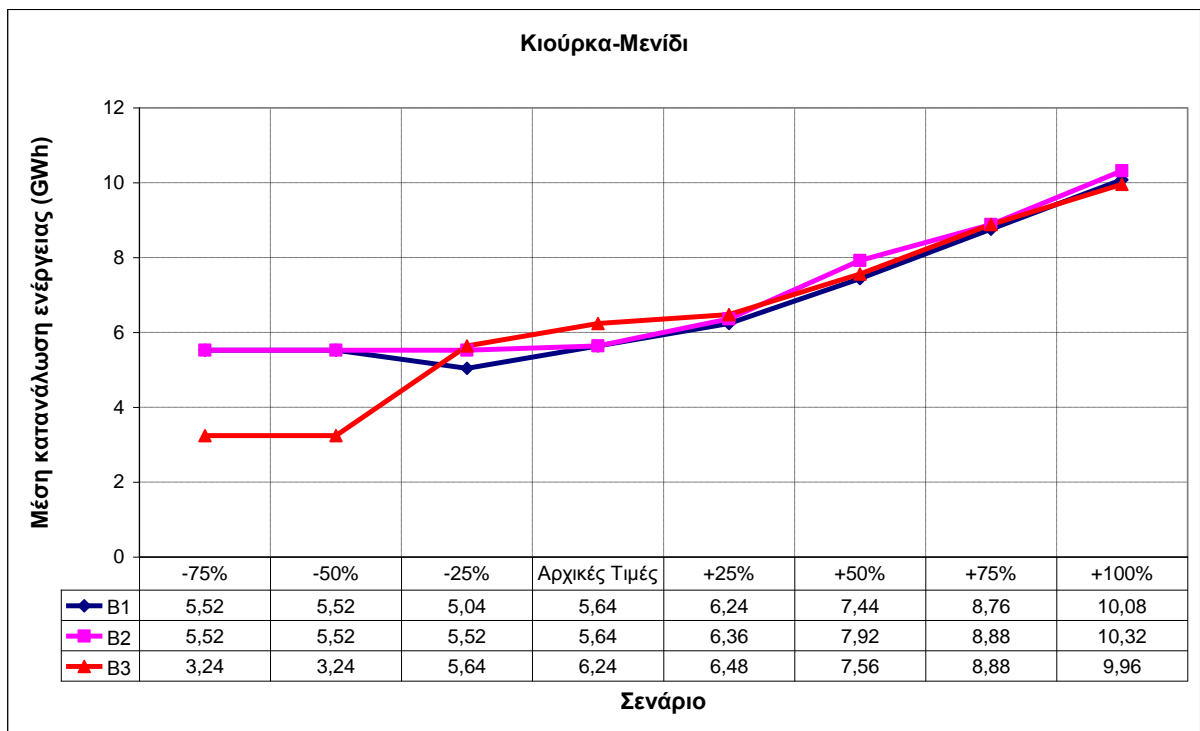
Πέρα από τη μείωση της ειδικής ενέργειας που θα οδηγήσει σε εξοικονόμηση ενέργειας, επιβάλλεται να πραγματοποιηθούν και άλλους είδους επεμβάσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας του αντλιοστασίου. Η συνεχής λειτουργία του αντλιοστασίου θα έχει ως συνέπεια μεγαλύτερη φθορά των μηχανικών τμημάτων του και επομένως απαιτείται ένα οργανωμένο σχέδιο συντήρησης και πρόγραμμα προληπτικού ελέγχου για την εξασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας του.

### 7.2.5 Κιούρκα - Μενίδι

Διάγραμμα 7.18: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Κιούρκα-Μενίδι



Διάγραμμα 7.19: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Κιούρκα-Μενίδι





### *Ανάλυση αποτελεσμάτων*

Η πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Κιούρκα – Μενίδι είναι ιδιαίτερα υψηλή και στα τρία σενάρια (Διάγραμμα 7.18), με το ποσοστό ενεργοποίησης σε κάθε περίπτωση είναι μεγαλύτερο του 50%. Η ελάχιστη τιμή της πιθανότητας είναι ίση με 50.4% και εμφανίζεται στο σενάριο B3 για μείωση της ειδικής ενέργειας σε ποσοστό 50% και 75%, ενώ η μέγιστη πιθανότητα αντιστοιχεί στις αρχικές τιμές ειδικής ενέργειας του σεναρίου B3 και είναι ίση με 75%.

Η αυξημένη πιθανότητα ενεργοποίησης που παρουσιάζει το αντλιοστάσιο συνδέεται άμεσα με το σκοπό που εξυπηρετεί. Συγκεκριμένα το αντλιοστάσιο ενισχύει το υδραγωγείο του Μόρνου με ποσότητες αδιύλιστου νερού από το υδραγωγείο της Υλίκης-Μαραθώνα για την κάλυψη της υψηλής ζήτησης από τη ΜΕΝ Κιούρκων αλλά και για λόγους ασφαλείας (περίπτωση βλάβης ή έκτακτου περιστατικού).

Για τις αρχικές συνθήκες του σεναρίου B3 η πιθανότητα ενεργοποίησης προκύπτει αυξημένη κατά ~16% σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2 αντίστοιχα, ενώ η ενεργειακή κατανάλωση (Διάγραμμα 7.19) προκύπτει αυξημένη κατά 0.6 GWh (αύξηση 10.64%).

Στο σενάριο B1 έχουμε μείωση της πιθανότητας κατά ένα ποσοστό της τάξεως του 11% έως 12% για οποιαδήποτε αύξηση στην ειδική ενέργεια. Για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 25% η πιθανότητα μειώνεται κατά 11.97%, ενώ για μεγαλύτερες μειώσεις της ειδικής ενέργειας η πιθανότητα μειώνεται ελάχιστα σε σχέση με την αρχική της τιμή (έως 2.75%). Στο σενάριο B2, η πιθανότητα ενεργοποίησης δεν επηρεάζεται από τις μειώσεις της ειδικής ενέργειας (μειώσεις έως 1.85%), ενώ για αύξηση της ειδικής ενέργειας η πιθανότητα δεν μεταβάλλεται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 10%.

Σε αντίθεση με τα προηγούμενα σενάρια, η πιθανότητα ενεργοποίησης στο σενάριο B3 παρουσιάζει σημαντική ευαισθησία κυρίως στις μειώσεις της ειδικής ενέργειας. Για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 50% προκύπτει σταδιακή μείωση της πιθανότητας από το 75% στο 50.4% και σταθεροποιείται σε αυτή την τιμή για μεγαλύτερες μειώσεις της ειδικής ενέργειας.

Στο σενάριο B3 για μειώσεις της ειδικής ενέργειας μεγαλύτερες του 25%, τόσο η κατανάλωση ενέργειας όσο και η πιθανότητα ενεργοποίησης προκύπτουν χαμηλότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές των σεναρίων B1 και B2. Το γεγονός αυτό συνδέεται πιθανότητα με την ενίσχυση του υδραγωγείου του Μόρνου απευθείας από την Υλίκη μέσω του ενωτικού υδραγωγείου και τον περιορισμό στη χρήση του ενωτικού υδραγωγείου Κιούρκα – Μενίδι.

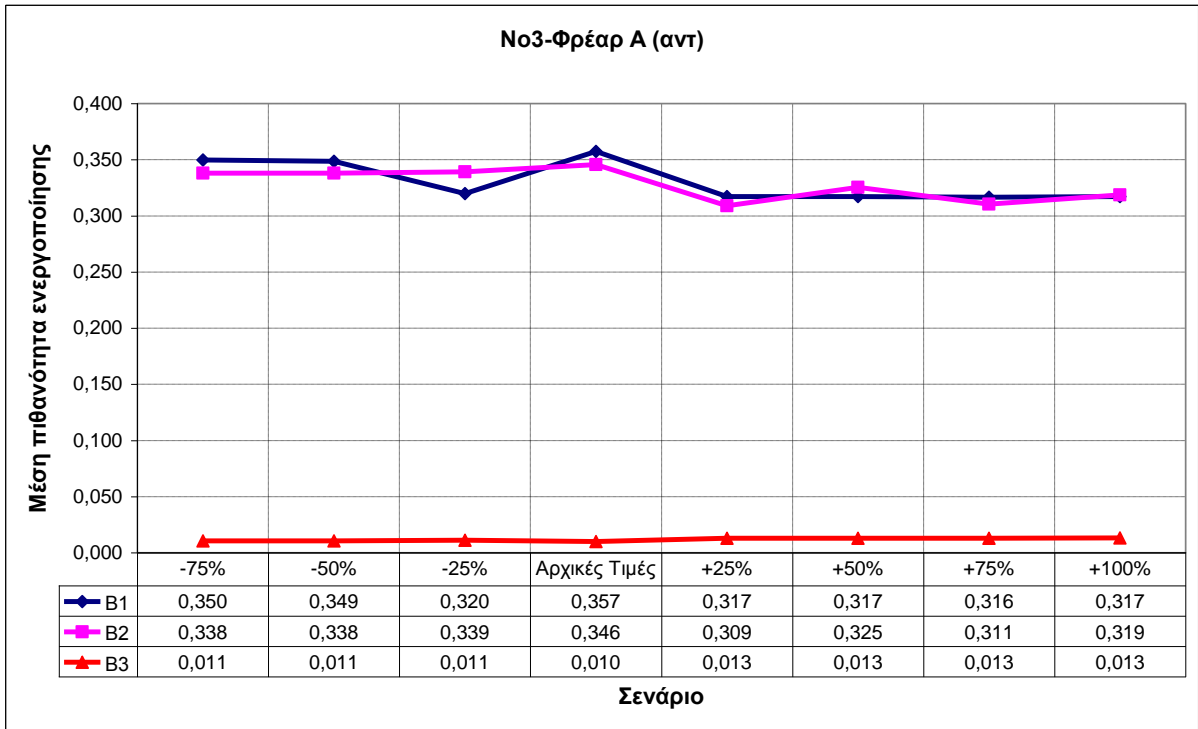
Για αύξηση της ειδικής ενέργειας στο σενάριο B3 κατά 25%, η πιθανότητα ενεργοποίησης μειώνεται κατά 17% (από 75% σε 68.5%), ενώ για μεγαλύτερες αυξήσεις η πιθανότητα δεν επηρεάζεται επιπλέον και σταθεροποιείται σε ένα ποσοστό γύρω στο 60%. Αντίστοιχα και στα δύο πρώτα σενάρια (B1 & B2) για αυξήσεις της ειδικής ενέργειας μεγαλύτερες του 25%, η πιθανότητα σταθεροποιείται σε ένα ποσοστό που κυμαίνεται μεταξύ 56.9% και 60.4%. Επομένως ανεξάρτητα από τη μείωση της αποδοτικότητας του συστήματος και την αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης το συγκεκριμένο αντλιοστάσιο θα λειτουργήσει με αυτές τις τιμές της πιθανότητας ενεργοποίησης για να καλύψει τις ανάγκες του συστήματος.

Στο διάστημα που αντιστοιχεί σε αυξήσεις της ειδικής ενέργειας μεγαλύτερες του 25%, η κατανάλωση ενέργειας συνεχώς αυξάνεται για σταθερή τιμή της πιθανότητας ενεργοποίησης. Το αντλιοστάσιο για τις αρχικές τιμές της ειδικής ενέργειας των σεναρίων B1, B2 και B3 καταναλώνει αντίστοιχα το 6.00%, 6.26% και 4.48% της συνολικής κατανάλωσης του συστήματος.

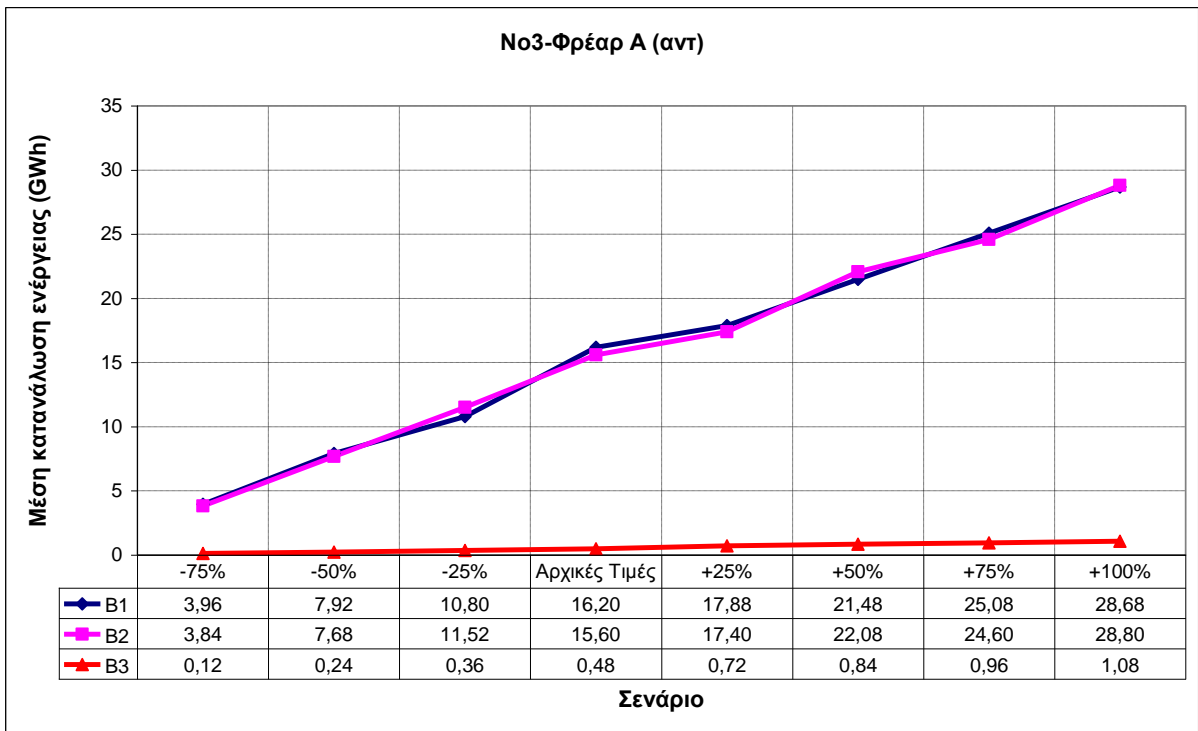
Συμπερασματικά μελετώντας μεμονωμένα το συγκεκριμένο αντλιοστάσιο, ένα ιδανικό σενάριο λειτουργίας του από ενεργειακή άποψη, προκύπτει από το συνδυασμό του σεναρίου B3 και τη μείωση της ειδικής ενέργειας σε ποσοστό μεγαλύτερο του 25%. Με τον τρόπο αυτό πετυχαίνουμε την μικρότερη τιμή της πιθανότητας ενεργοποίησης και τη χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση. Τελικώς η ενεργοποίηση ή όχι του αντλιοστασίου σχετίζεται κυρίως με τις υδρευτικές ανάγκες του συστήματος και λιγότερο με την αποδοτικότητα του συστήματος.

7.2.6 Νο 3 - Φρέαρ Α (αντ)

Διάγραμμα 7.20: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Νο3-Φρέαρ Α (αντ)



Διάγραμμα 7.21: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Νο3-Φρέαρ Α (αντ)



### *Ανάλυση αποτελεσμάτων*

Με βάση τα αποτελέσματα η πιθανότητα ενεργοποίησης σε κανένα από τα τρία σενάρια δεν παρουσιάζει ευαισθησία στις μεταβολές της ειδικής ενέργειας (Διάγραμμα 7.20). Στα σενάρια B1 και B2 η πιθανότητα ενεργοποίησης κυμαίνεται μεταξύ 30.9% και 35.7%, ενώ στο σενάριο B3 περιορίζεται σε ένα ποσοστό της τάξης του 1%.

Για όλες τις περιπτώσεις αύξησης της ειδικής ενέργειας του σεναρίου B1 η πιθανότητα ενεργοποίησης μειώνεται σε ένα ποσοστό 11.27% έως 11.45%. Για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 25% η πιθανότητα ενεργοποίησης μειώνεται κατά 10.53%, ενώ μεγαλύτερες μειώσεις της ειδικής ενέργειας επαναφέρουν την πιθανότητα στα αρχικά επίπεδα του σεναρίου.

Στο σενάριο B2 και στην περίπτωση αύξησης της ειδικής ενέργειας κατά 25%, εμφανίζεται η μεγαλύτερη μείωση της πιθανότητας (10.61%), ενώ για μεγαλύτερες αυξήσεις της ειδικής ενέργειας παρατηρούνται μειώσεις της πιθανότητας μεταξύ 5% και 10%. Αντιθέτως η μείωση της ειδικής ενέργειας δεν επηρεάζει ουσιαστικά την πιθανότητα ενεργοποίησης, με το μεγαλύτερο ποσοστό μείωσης να είναι ίσο με 2.25% (μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 75%).

Στο σενάριο B3 η πιθανότητα ενεργοποίησης κυμαίνεται σε επίπεδα της τάξης του 1%, δηλαδή στο τμήμα Νο3 – Φρέαρ Α λειτουργεί ουσιαστικά μόνο ο κλάδο βαρύτητας ενώ το αντλιοστάσιο ενεργοποιείται σε ελάχιστες περιπτώσεις για την ενίσχυση της παροχευτικότητας. Η μείωση της πιθανότητας ενεργοποίησης που παρουσιάζεται στο σενάριο B3 είναι αποτέλεσμα της μείωσης των αντλήσεων που πραγματοποιούνται κατά μήκος του υδραγωγείου της Υλίκης λόγω της λειτουργίας του ενωτικού υδραγωγείου.

Η ενεργειακή κατανάλωση του αντλιοστασίου για τα σενάρια B1 και B2 (Διάγραμμα 7.21) παρουσιάζει μικρές διαφορές και συγκεκριμένα για τις αρχικές τιμές της ειδικής ενέργειας η κατανάλωση είναι ίση με 16.20 GWh και 15.60 GWh αντίστοιχα. Ωστόσο με την υλοποίηση των έργων που προβλέπει το σενάριο B3 και χωρίς καμία επέμβαση στην αποδοτικότητα του συστήματος, η ενεργειακή κατανάλωση θα μειωθεί στις 0.48 GWh, δηλαδή μείωση 97.04% σε σχέση με το σενάριο B1.

Συμπερασματικά μόνο μέσω της υλοποίησης του σεναρίου B3 και χωρίς να πραγματοποιηθεί καμία άλλη επέμβαση στην αποδοτικότητα του συστήματος, η πιθανότητα ενεργοποίησης και η κατανάλωση ενέργειας του αντλιοστασίου ουσιαστικά θα περιοριστούν στο ελάχιστο, πετυχαίνοντας -για τις αρχικές συνθήκες- μείωση της πιθανότητας

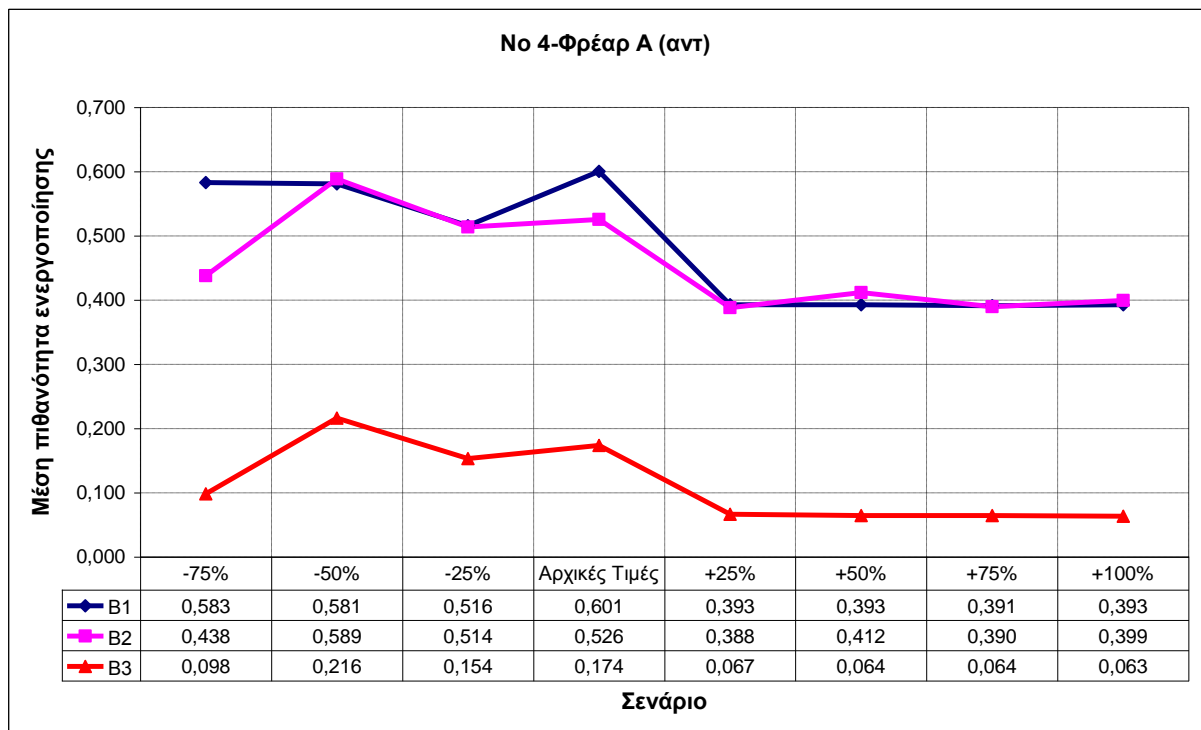
ενεργοποίησης κατά 97.20% και της ενεργειακής κατανάλωσης κατά 97.04% σε σχέση με το σενάριο B1.

Για τις συνθήκες που αντιστοιχούν στα σενάρια B1 και B2, η λειτουργία του αντλιοστασίου δεν εξαρτάται από την αποδοτικότητα του συστήματος και παραμένει πρακτικά σταθερή κατά την προσομοίωση των σεναρίων. Επομένως οποιαδήποτε επέμβαση στην αποδοτικότητα του συστήματος μπορεί να επιδράσει μόνο στην κατανάλωση ενέργειας του αντλιοστασίου και όχι στην πιθανότητα ενεργοποίησης.

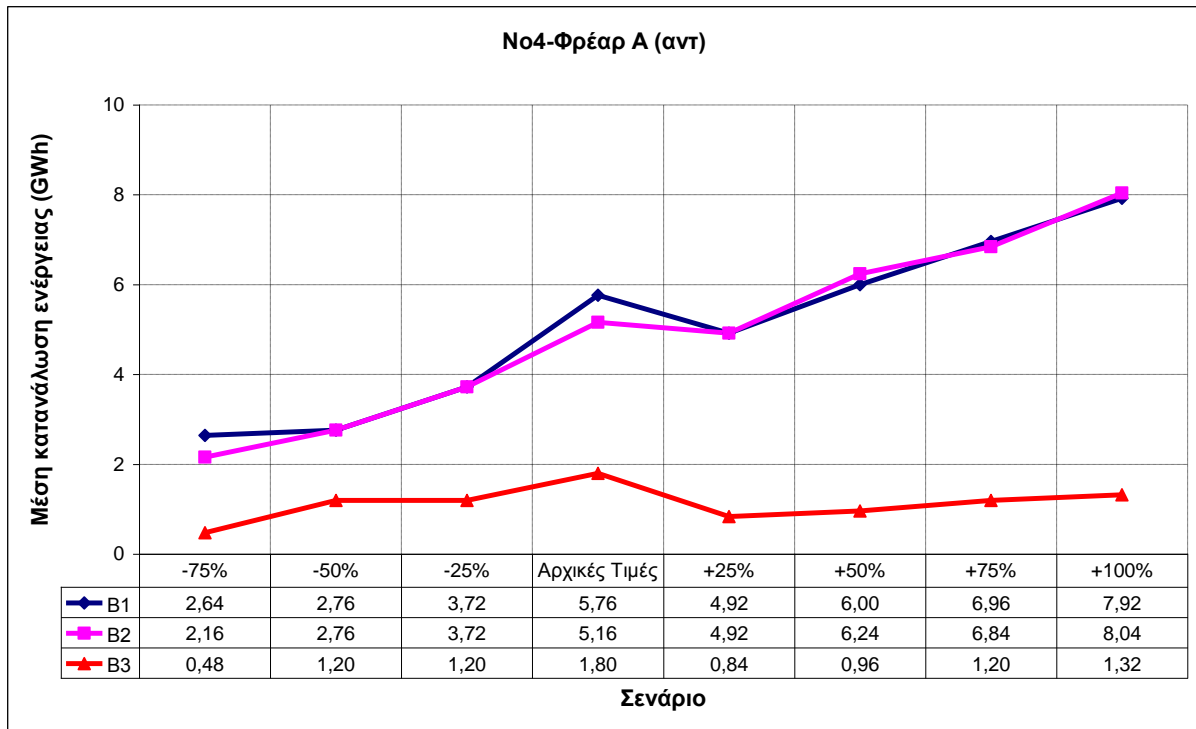
Τέλος το αντλιοστάσιο Νο 3 – Φρέαρ Α καταναλώνει για τις αρχικές συνθήκες των σεναρίων B1 και B2 το 17.14% και 17.21% αντίστοιχα της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης του συστήματος (δεύτερη μεγαλύτερη κατανάλωση), επομένως κάθε μέτρο με σκοπό τον περιορισμό της κατανάλωσής του θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στη συνολική εξοικονόμηση ενέργειας του συστήματος.

### 7.2.7 Νο 4 - Φρέαρ Α (αντ)

Διάγραμμα 7.22: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Νο4-Φρέαρ Α (αντ)



Διάγραμμα 7.23: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Νο4-Φρέαρ Α (αντ)



#### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Η πιθανότητα ενεργοποίησης του αντλιοστασίου στο τμήμα Νο4-Φρέαρ Α παρουσιάζει μεγάλο εύρος τιμών και σημαντική ευαισθησία στις μεταβολές της ειδικής ενέργειας (Διάγραμμα 7.22). Η μεγαλύτερη τιμή της πιθανότητας προκύπτει στο σενάριο B1 (αρχικές συνθήκες) και είναι ίση με 60.10%, ενώ η μικρότερη τιμή της εμφανίζεται στο σενάριο B3 (αύξηση ειδικής ενέργειας κατά 100%) και είναι ίση με 6.3%. Γενικότερα στα δύο πρώτα σενάρια το αντλιοστάσιο λειτουργεί σε μεγάλο ποσοστό (> 40%), ενώ στο τρίτο σενάριο ελαχιστοποιείται η λειτουργία του.

Και στα τρία σενάρια, η αύξηση της ειδικής ενέργειας κατά 25% οδηγεί σε σημαντική μείωση της πιθανότητας ενεργοποίησης κατά 34.59%, 26.21% και 61.56% για τα σενάρια B1, B2 και B3 αντίστοιχα. Για μεγαλύτερες αυξήσεις της ειδικής ενέργειας η πιθανότητα παραμένει πρακτικά σταθερή και στα τρία σενάρια. Συγκεκριμένα για τα σενάρια B1 και B2 σταθεροποιείται στο 40% και για το σενάριο B3 στο 6.3%.

Επομένως η συνολική μείωση της αποδοτικότητας του συστήματος δεν περιορίζει τη χρήση του αντλιοστασίου και η πιθανότητα ενεργοποίησης δεν μπορεί να κυμανθεί σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτά που αντιστοιχούν στην περίπτωση αύξησης της ειδικής ενέργειας κατά 25%. Το συγκεκριμένο όριο (40% για τα σενάρια B1,B2 και 6.3% για το σενάριο B3) μπορεί να θεωρηθεί ως ένα κατώτατο όριο ενεργοποίησης του αντλιοστασίου

υπό καθεστώς δυσμενών συνθηκών (συνθήκες χαμηλής αποδοτικότητας του συστήματος) για την εξασφάλιση της μεταφοράς των απαιτούμενων ποσοτήτων νερού.

Στην περίπτωση μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 25% η πιθανότητα μειώνεται κατά 14.06%, 2.27% και 11.57% στα σενάρια B1, B2 και B3 αντίστοιχα. Για το σενάριο B1 περαιτέρω μείωση της ειδικής ενέργειας επαναφέρει την πιθανότητα στα αρχικά επίπεδα του 40%. Στο σενάριο B2 η μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 50% αυξάνει την πιθανότητα κατά 11.96%, ενώ μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 75% μειώνει την πιθανότητα κατά 16.69% σε σχέση με τις αρχικές τιμές του σεναρίου. Τις ίδιες αυξομειώσεις όταν μειώνεται η ειδική ενέργεια παρουσιάζει και η πιθανότητα ενεργοποίησης στο σενάριο B3. Συγκεκριμένα, η πιθανότητα ενεργοποίησης για μείωση της ειδικής ενέργειας αυξάνεται κατά 24.51% και στη συνέχεια για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 75% η πιθανότητα μειώνεται κατά 43.36% σε σχέση με τις αρχικές τιμές του σεναρίου.

Πάντως και στα τρία σενάρια η μείωση της ειδικής ενέργειας οδηγεί σε σταδιακή μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης (Διάγραμμα 7.23), ανεξάρτητα από τις αυξομειώσεις στην πιθανότητα ενεργοποίησης. Για αύξηση της ειδικής ενέργειας η κατανάλωση αρχικά παρουσιάζει μια μικρή κάμψη (ως αντιστάθμισμα στην αύξηση της κατανάλωσης) και στη συνέχεια αυξάνεται συνεχώς. Με βάση τις αρχικές συνθήκες (καμία επέμβαση στην ειδική ενέργεια), στο σενάριο B3 η πιθανότητα ενεργοποίησης μειώνεται κατά 71.05% σε σχέση με το σενάριο B1 με συνέπεια τη δραστική μείωση της κατανάλωσης στις 1.80 GWh (μείωση 68.75% και 3.96 GWh).

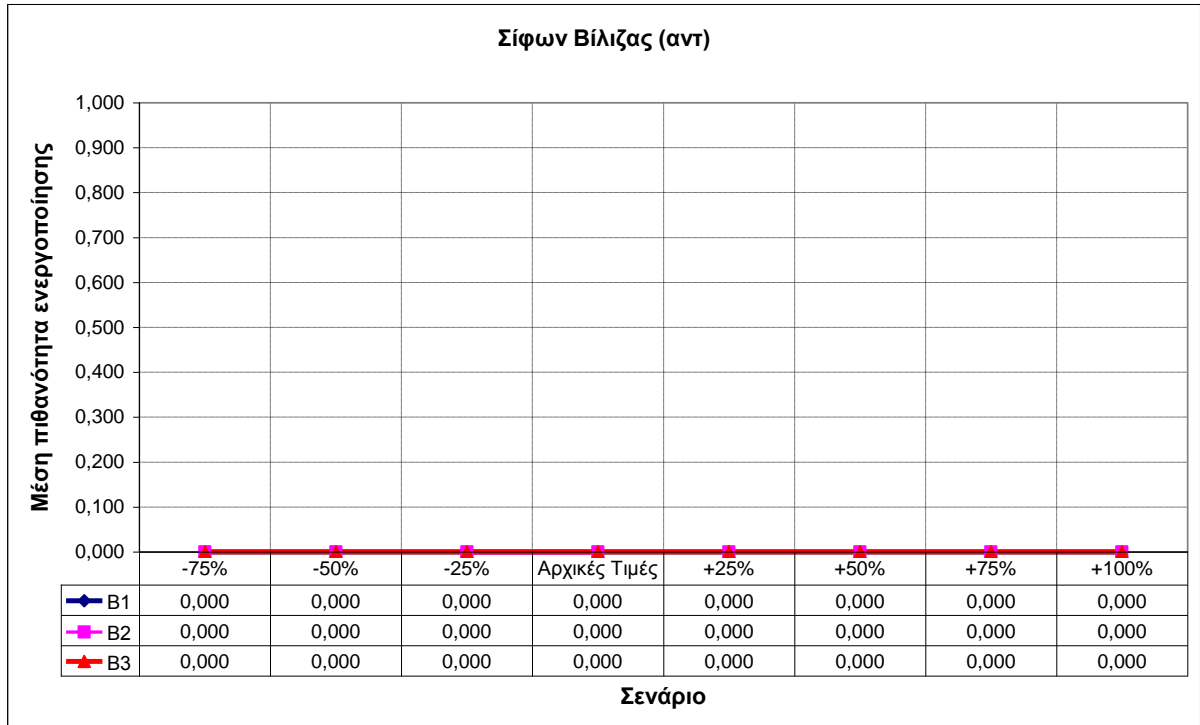
Η μείωση της πιθανότητας ενεργοποίησης στο σενάριο B3 αποτελεί συνέπεια του περιορισμού των αντλήσεων κατά μήκος του υδραγωγείου της Υλίκης. Στο σενάριο B3 το αντλιοστάσιο Νο3-Φρέαρ Α παρουσιάζει υψηλότερες τιμές για την πιθανότητα ενεργοποίησης και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας συγκρινόμενο με το αντλιοστάσιο Νο4-Φρέαρ Α, υποδεικνύοντας ότι αποτελεί οικονομικότερη διαδρομή. Επιπλέον στα σενάρια μείωσης της ειδικής ενέργειας του αντλιοστασίου Νο4-Φρέαρ, ευνοείται η ενεργοποίηση του σε σχέση με τα υπόλοιπα αντλιοστάσια της Υλίκης, ενώ αντίθετα για αύξηση της ειδικής ενέργειας προκύπτει από τις προσομοιώσεις ένας συγκεκριμένος (ελάχιστος) βαθμός ενεργοποίησης.

Σε τελική ανάλυση από τη βελτίωση της αποδοτικότητας του συστήματος ευνοείται σε γενικές γραμμές η χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου αντλιοστασίου, με την πιθανότητα ενεργοποίησης να παρουσιάζει σημαντική ευαισθησία κυρίως για τις μειώσεις της ειδικής ενέργειας. Ωστόσο οι αυξομειώσεις που παρουσιάζονται σε αυτή την περίπτωση δε μας

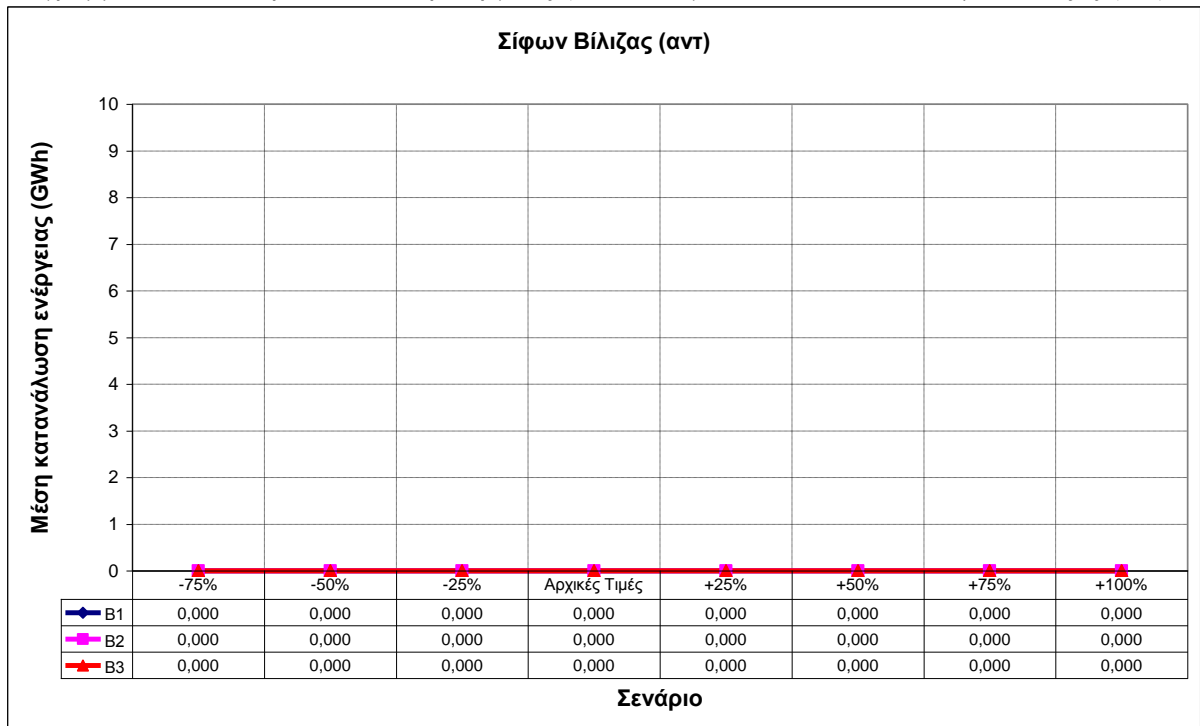
δίνουν σαφή εικόνα για τα πιθανά ενεργειακά κέρδη από τη χρήση του συγκεκριμένου αντλιοστασίου σε σχέση με άλλες εναλλακτικές διαδρομές του υδραγωγείου της Υλίκης.

### 7.2.8 Σίφων Βίλιζας (αντ)

Διάγραμμα 7.24: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Σίφων Βίλιζας (αντ)



Διάγραμμα 7.25: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Σίφων Βίλιζας (αντ)



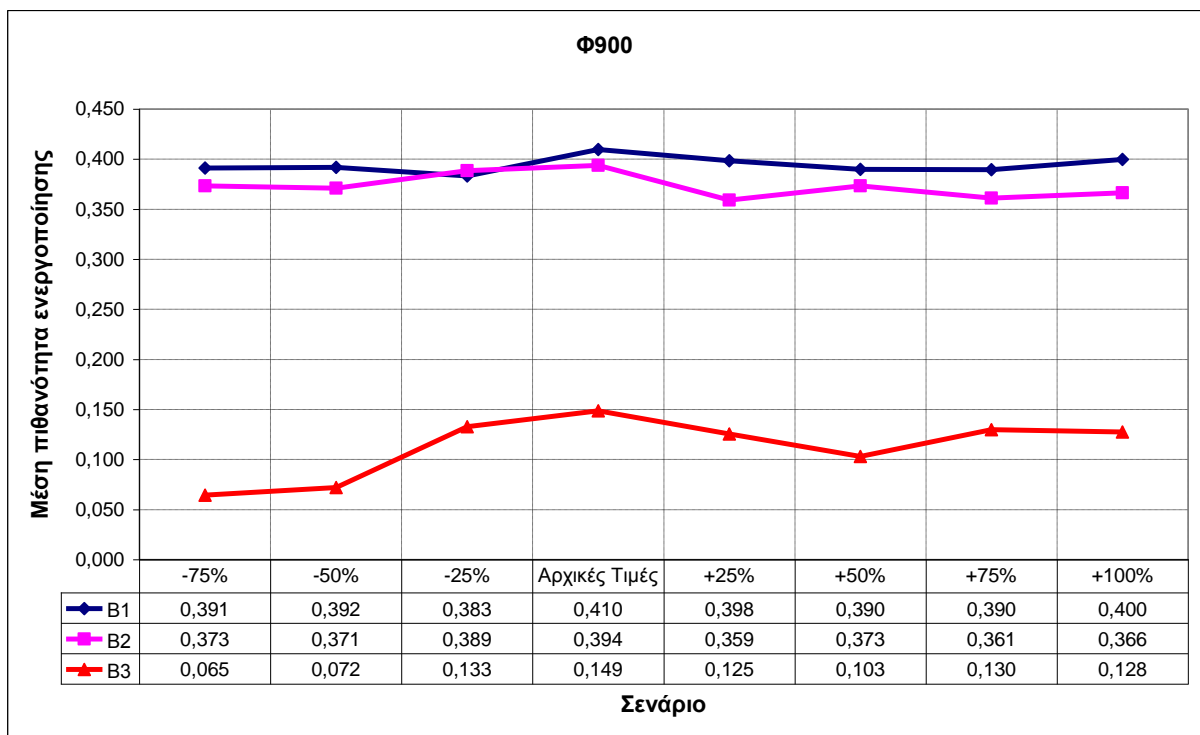


**Ανάλυση αποτελεσμάτων**

Το συγκεκριμένο αντλιοστάσιο λειτουργεί με σκοπό την ενίσχυση της παροχρητευτικότητας στο τμήμα Κρεμμάδα – Βίλιζα. Σε κανένα από τα σενάρια που προσομοιώθηκαν δεν προέκυψε ενεργοποίηση του συγκεκριμένου αντλιοστασίου (Διάγραμμα 7.24), επομένως στο συγκεκριμένο τμήμα λειτουργεί μόνο ο κλάδος βαρύτητας με μηδενική κατανάλωση ενέργειας (Διάγραμμα 7.25). Η μη ενεργοποίηση του πιθανότατα οφείλεται σε οικονομικά κριτήρια, ενώ η ενεργοποίηση του κλάδου άντλησης δεν κρίνεται αναγκαία ούτε με βάση την υφιστάμενη κατάσταση του δικτύου.

**7.2.9 Φ 900**

Διάγραμμα 7.26: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Φ900



Διάγραμμα 7.27: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Φ900



### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Το αντλιοστάσιο Φ900 ανήκει στο υδραγωγείο της Υλίκης και χρησιμοποιείται για τη μεταφορά νερού από την Υλίκη προς τον Μαραθώνα.

Σε πρώτη φάση παρατηρούμε ότι με την υλοποίηση του σεναρίου B3 η πιθανότητα ενεργοποίησης του αντλιοστασίου -για τις αρχικές συνθήκες- μειώνεται κατά 63.66% και 62.18% σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2 αντίστοιχα (Διάγραμμα 7.26), ενώ η αντίστοιχη μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση είναι της τάξεως των 4.5 GWh (Διάγραμμα 7.27). Στο σενάριο B3 οι μικρές τιμές της πιθανότητας ενεργοποίησης συνδυάζονται και με πολύ μικρή ενεργειακή κατανάλωση που κυμαίνεται μεταξύ 0.36 και 1.80 GWh.

Η μείωση της πιθανότητας ενεργοποίησης σχετίζεται με τη λειτουργία του ενωτικού υδραγωγείου και τον ταυτόχρονο περιορισμό των αντλήσεων κατά μήκος του υδραγωγείου της Υλίκης. Ωστόσο στο σενάριο B3 το αντλιοστάσιο εξακολουθεί να λειτουργεί με σκοπό να εξασφαλίζεται η τροφοδοσία του Μαραθώνα μέσω της Υλίκης, παρουσιάζοντας ωστόσο χαμηλές τιμές πιθανότητας ενεργοποίησης (6.5% έως 14.9%).

Στο σενάριο B3 με βελτίωση της αποδοτικότητας του συστήματος (μείωση ειδικής ενέργειας κατά 75%) να επιτύχουμε σημαντική μείωση της πιθανότητα ενεργοποίησης στα

επίπεδα του 6.5% (ποσοστό μείωσης 56.38% σε σχέση με αρχική τιμή σεναρίου) και συγχρόνως να μείωση της κατανάλωσης κατά 0.72 GWh.

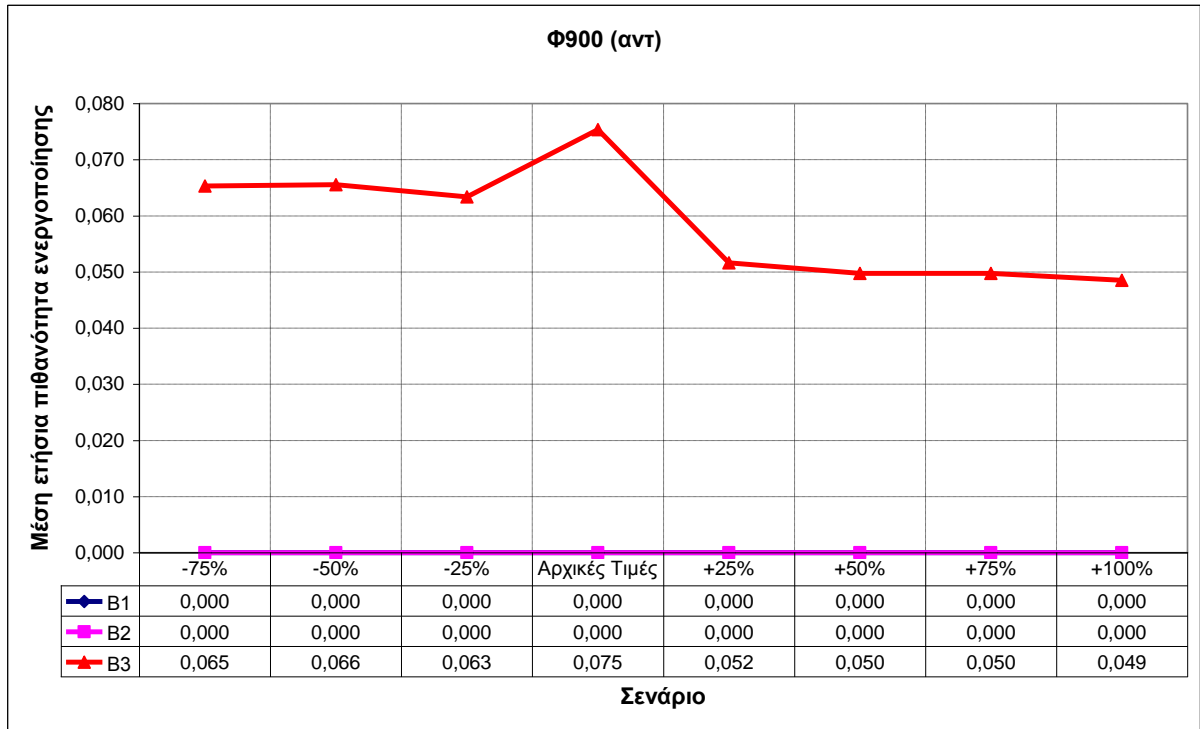
Για αύξηση της ειδικής ενέργειας η πιθανότητα ενεργοποίησης μειώνεται σε ποσοστά μεταξύ 12.62% και 30.62%, ενώ η ενεργειακή κατανάλωση διατηρείται στα αρχικά επίπεδα με μία πολύ μικρή αύξηση. Ωστόσο σε καμία περίπτωση η πιθανότητα ενεργοποίησης δεν πέφτει κάτω από 10% (10.3% - 13%). Η μεγαλύτερη μείωση στην πιθανότητα ενεργοποίησης είναι ίση με 30.62% και προκύπτει για αύξηση της ειδικής ενέργειας κατά 75%.

Στα σενάρια B1 και B2 οι μεταβολές της ειδικής ενέργειας δεν έχουν σημαντική επίδραση στην πιθανότητα ενεργοποίησης, ενώ οι τιμές της πιθανότητας παρουσιάζουν μικρό εύρος τιμών (0.359 έως 0.410). Και στα δύο σενάρια η πιθανότητα ενεργοποίησης προκύπτει ελαφρώς μειωμένη για τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας. Αναλυτικότερα στο σενάριο B1 η μεταβολή στην πιθανότητα δεν ξεπερνά το 7%, με τη μεγαλύτερη μεταβολή (6.44%) να παρουσιάζεται για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 25%. Στο σενάριο B2 η σημαντικότερη μείωση της πιθανότητας (8.78%) αντιστοιχεί στο σενάριο αύξησης της ειδικής ενέργειας κατά 25%.

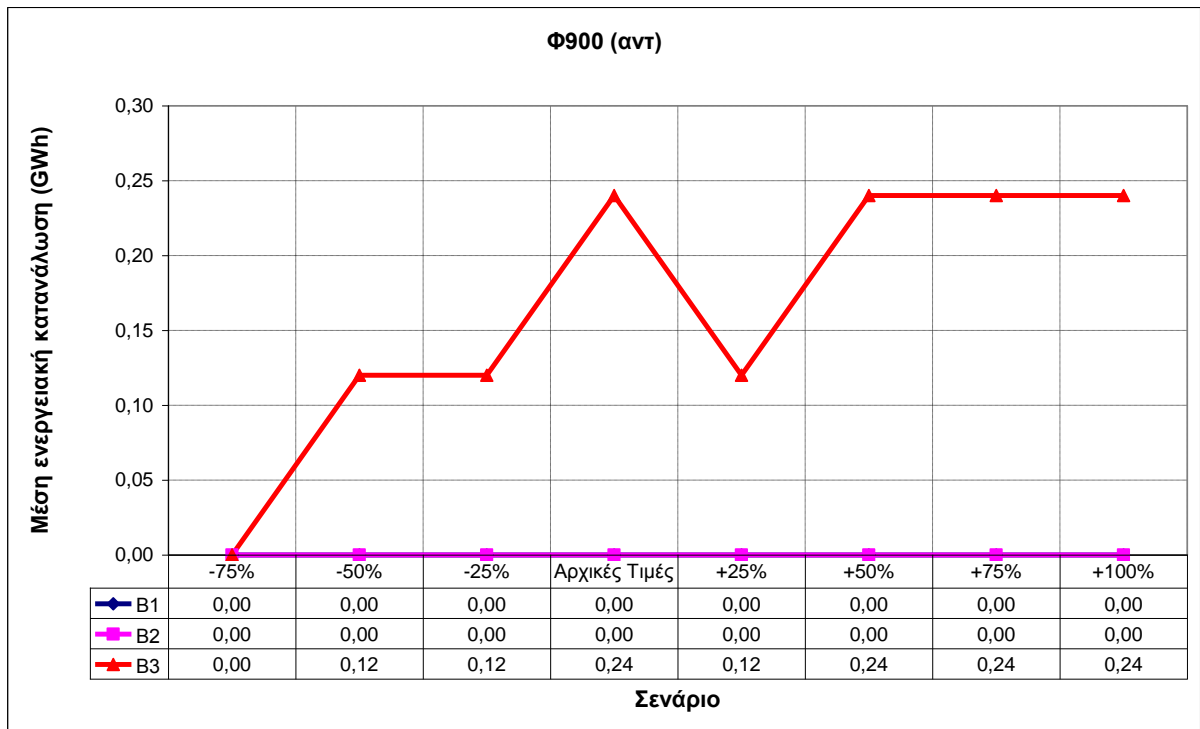
Σε τελική ανάλυση και με βάση τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, καμία επέμβαση στην αποδοτικότητα του συστήματος δεν μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία του αντλιοστασίου, εκτός και αν υλοποιηθεί το σενάριο B3. Για αυτό το λόγο απαιτείται βελτίωση της αποδοτικότητας του συστήματος για τον περιορισμό της ενεργειακής κατανάλωσης ή διατήρηση της αποδοτικότητας στα ίδια επίπεδα ώστε να μην εκτοξευτεί η κατανάλωση σε πολύ υψηλές τιμές.

7.2.10 Φ 900 (αντ)

Διάγραμμα 7.28: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Φ900 (αντ)



Διάγραμμα 7.29: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Φ900 (αντ)



### *Ανάλυση αποτελεσμάτων*

Με βάση τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων το αντλιοστάσιο Φ900(αντ) δεν ενεργοποιείται στα σενάρια λειτουργίας B1 και B2, ενώ στο σενάριο B3 ενεργοποιείται εμφανίζοντας χαμηλές τιμές πιθανότητας που κυμαίνονται μεταξύ 5% και 7.5% (Διάγραμμα 7.28). Στα σενάρια B1 και B2 το ωστικό αντλιοστάσιο δεν ενεργοποιείται (λειτουργεί μόνο ο κλάδος βαρύτητας) λόγω της έντονης χρήσης των υπολοίπων αντλιοστασίων που ανήκουν στο υδραγωγείο της Υλίκης. Αντίθετα στο σενάριο B3, όπου περιορίζεται η χρήση των υπολοίπων αντλιοστασίων της Υλίκης, ευνοείται η περιορισμένη χρήση του για την ενίσχυση της παροχρητευτικότητας.

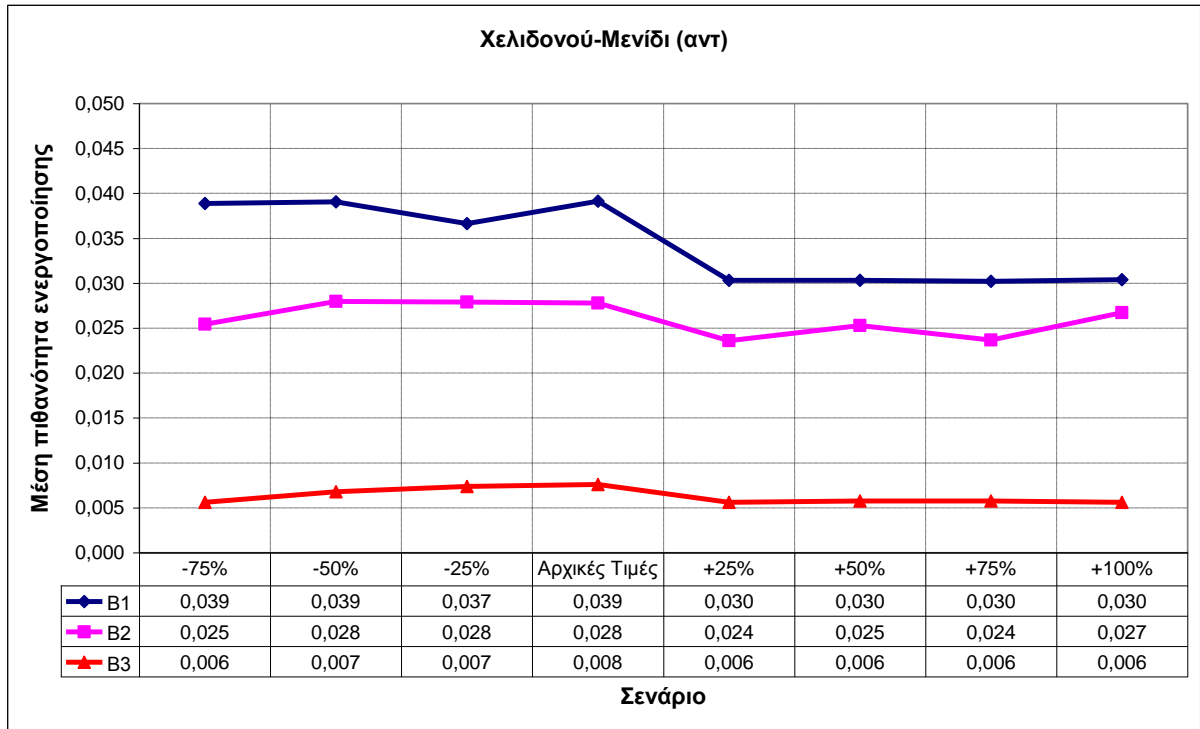
Για τις αρχικές τιμές της ειδικής ενέργειας του σεναρίου B3 η πιθανότητα ενεργοποίησης προκύπτει ίση με 7.5%, ενώ για όλες τις περιπτώσεις αύξησης της ειδικής ενέργειας μειώνεται κατά ένα ποσοστό 31% έως 36%, με τη μεγαλύτερη μείωση (35.62%) να προκύπτει για αύξηση της ειδικής ενέργειας κατά 100%. Στα σενάρια μείωσης της ειδικής ενέργειας η πιθανότητα ενεργοποίησης μειώνεται από 13.05% έως 15.87% σε σχέση με τις αρχικές τιμές.

Η ενεργειακή κατανάλωση (Διάγραμμα 7.27) κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα (<1.0 GWh), ενώ η κατανάλωση σχεδόν μηδενίζεται για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 75%. Για μεταβολή της ειδικής ενέργειας κατά 25% η κατανάλωση μειώνεται κατά 50%, από τις 0.24 GWh στις 0.12 GWh.

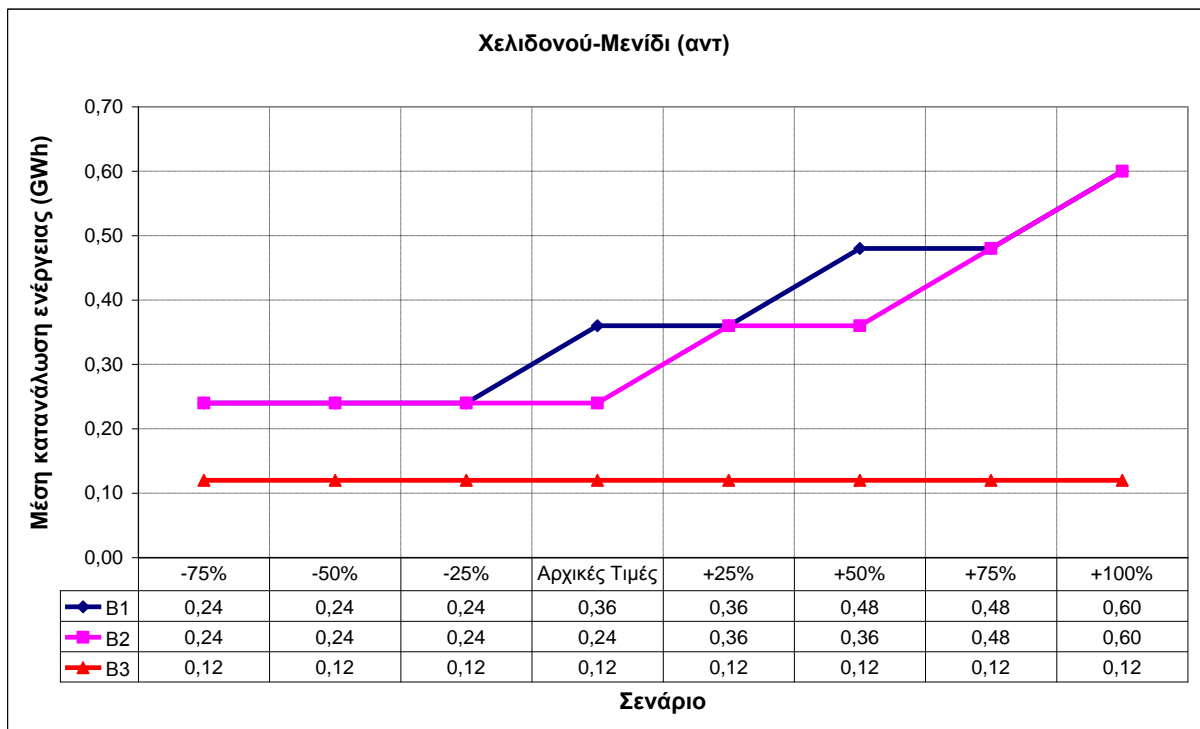
Οι μεταβολές στην πιθανότητα ενεργοποίησης ως προς την ειδική ενέργεια είναι σημαντικές, αλλά η λειτουργία του αντλιοστασίου είναι ιδιαίτερα περιορισμένη. Τα πιθανά ενεργειακά κέρδη ίσως είναι αμελητέα συγκρινόμενα με το κόστος επέμβασης στην αποδοτικότητα του συστήματος.

7.2.11 Χελιδονού - Μενίδι (αντ)

Διάγραμμα 7.30: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Χελιδονού-Μενίδι (αντ)



Διάγραμμα 7.31: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Χελιδονού-Μενίδι (αντ)



### *Ανάλυση αποτελεσμάτων*

Ο ρόλος του αντλιοστασίου είναι βοηθητικός και η ενεργοποίησή του προβλέπεται σε περίπτωση ειδικών αναγκών (π.χ. μείωση όγκου στον Μαραθώνα, εξασφάλιση απαιτούμενων ποσοτήτων στο υδραγωγείο Μόρνου, κάλυψη αναγκών σε περίπτωση βλάβης) με σκοπό την τροφοδοσία του υδραγωγείου του Μόρνου απευθείας από το Μαραθώνα. Για αυτό το λόγο προκύπτουν χαμηλές τιμές πιθανότητας ενεργοποίησης ( $\leq 4\%$ ) στα σενάρια B1 και B2, ενώ για το σενάριο B3 όπου το σύστημα λειτουργεί υπό ασφαλέστερες συνθήκες (λειτουργία ενωτικού) η πιθανότητα ενεργοποίησης κυμαίνεται σε ακόμα χαμηλότερα επίπεδα (6‰ έως 8‰) (Διάγραμμα 7.30).

Στο σενάριο B1 για τις αρχικές τιμές της ειδικής ενέργειας η πιθανότητα ενεργοποίησης προκύπτει ίση με 4% και κάθε σενάριο αύξησης της ειδικής ενέργειας μειώνει την πιθανότητα ενεργοποίησης κατά 25% σε σχέση με τις αρχικές τιμές. Για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 25% η πιθανότητα μειώνεται αρχικά κατά ένα μικρό ποσοστό (6.39%) αλλά στη συνέχεια για μεγαλύτερες μειώσεις της ειδικής ενέργειας η πιθανότητα επανέρχεται στις αρχικές τιμές του σεναρίου.

Στο σενάριο B2 η μείωση στην πιθανότητα ενεργοποίησης οφείλεται στον περιορισμό των διαρροών και τελικά στην πιο αξιόπιστη (ποσοτικά) λειτουργία του συστήματος. Για τις αρχικές συνθήκες η πιθανότητα ενεργοποίησης είναι μειωμένη κατά 28.21% σε σχέση με το σενάριο B1, ενώ εξοικονομούνται 0.12 GWh (Διάγραμμα 7.31). Η πιθανότητα ενεργοποίησης στο σενάριο B2 παρουσιάζει μικρό εύρος τιμών (2.4% έως 2.8%).

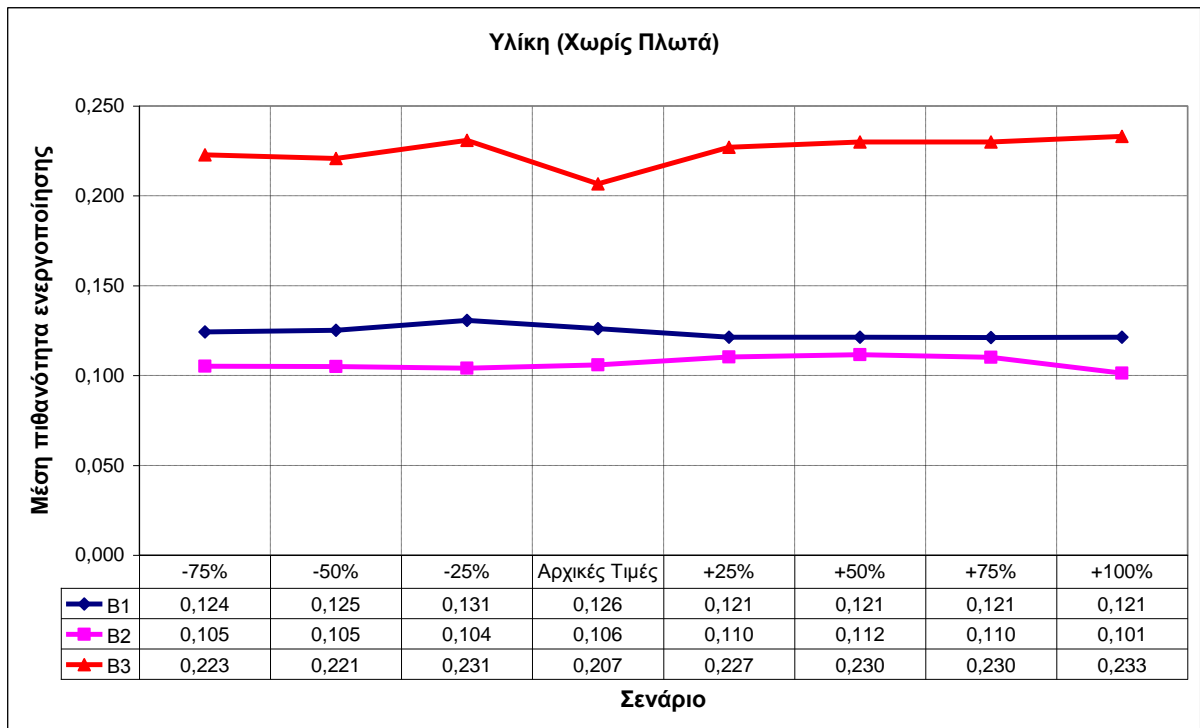
Στο σενάριο B3 η πιθανότητα ενεργοποίησης προκύπτει μειωμένη –για τις αρχικές συνθήκες- κατά 79.49% και 71.43% σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2, ενώ η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται κατά 66.67% (0.24 GWh) ως προς το σενάριο B1 και υποδιπλασιάζεται ως προς το σενάριο B2 (μείωση 0.12 GWh). Για τις διάφορες μεταβολές της ειδικής ενέργειας στο σενάριο B3 η πιθανότητα ενεργοποίησης κυμαίνεται μεταξύ 6‰ και 8‰ ενώ η κατανάλωση ενέργειας παραμένει σταθερή και ίση με 0.12 GWh.

Η μείωση της πιθανότητας ενεργοποίησης στο σενάριο B3 οφείλεται στην αποκατάσταση της αμφίδρομης λειτουργίας του ενωτικού υδραγωγείου, στην ολοκλήρωση των υπολοίπων έργων ενίσχυσης του δικτύου και στον περιορισμό των διαρροών που συμβάλουν στην πιο αξιόπιστη λειτουργία του υδροσυστήματος (μείωση εξάρτησης υδραγωγείου Μόρνου από Μαραθώνα, ενίσχυση παροχρητευτικότητας). Επομένως περιορίζεται η ανάγκη λειτουργίας του αντλιοστασίου, ενώ συγχρόνως εξοικονομείται και ένα μικρό ποσό ενέργειας. Για το συγκεκριμένο αντλιοστάσιο δεν είναι τόσο κρίσιμο το θέμα του περιορισμού της λειτουργίας

του από άποψη εξοικονόμησης ενέργειας όσο από θέμα ασφαλούς λειτουργίας του υδροσυστήματος. Τα οφέλη που προκύπτουν από την ενεργοποίηση του σε περιπτώσεις ανάγκης μπορούν να αποτιμηθούν με βάση κριτήρια αξιοπιστίας.

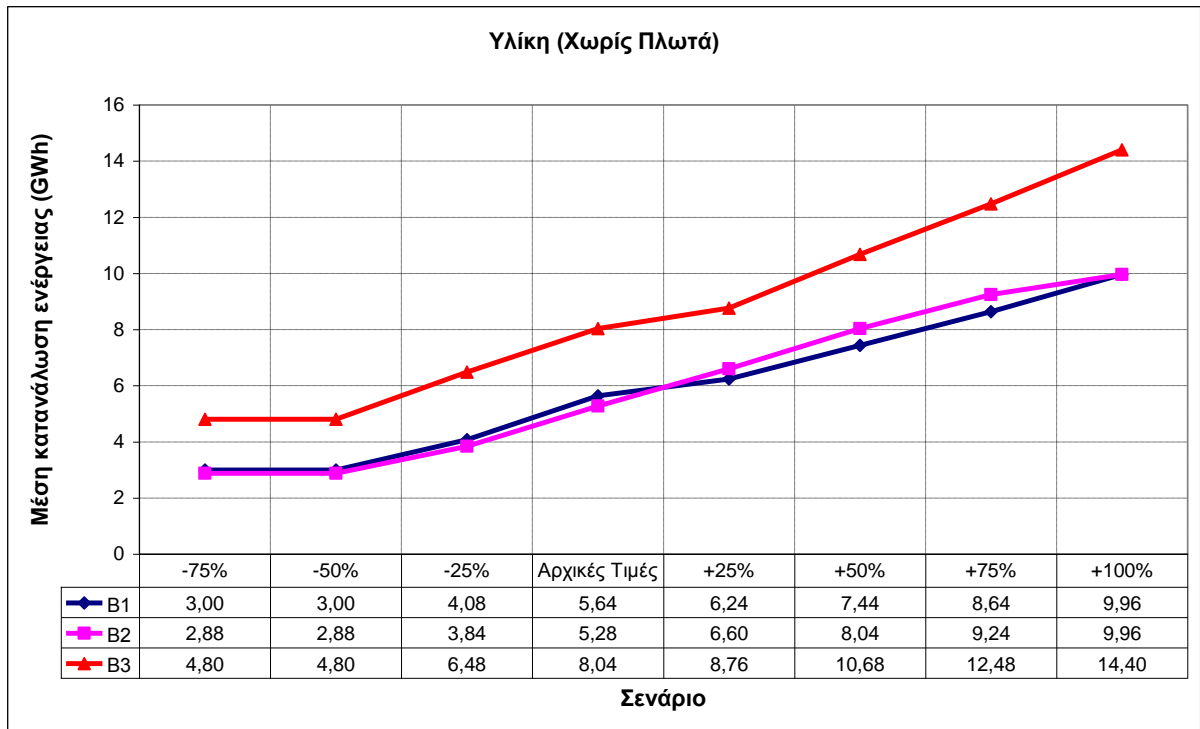
### 7.2.12 Υλίκη - Χωρίς Πλωτά

Διάγραμμα 7.32: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Υλίκη (Χωρίς Πλωτά)





Διάγραμμα 7.33: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Υλίκη (Χωρίς Πλωτά)



#### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Με βάση τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τα σενάρια λειτουργίας, η ενεργοποίηση του κεντρικού αντλιοστασίου της Υλίκης (αντλιοστάσιο Μουρικού) δεν επηρεάζεται από τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας (Διάγραμμα 7.32).

Συγκεκριμένα στο σενάριο B1 για αυξήσεις της ειδικής ενέργειας προκύπτει μικρή μείωση της πιθανότητας ενεργοποίησης σε ποσοστό που δεν υπερβαίνει το 4%. Για μείωση της ειδικής ενέργειας σε ποσοστό 50% και 75% η πιθανότητα δεν επηρεάζεται, ενώ μικρή αύξηση (3.54%) για τη πιθανότητα προκύπτει μόνο στην περίπτωση μείωσης της ειδικής ενέργειας κατά 25%.

Στο σενάριο B2 η αύξηση της ειδικής ενέργειας κατά 25% έως 75% οδηγεί σε περιορισμένη αύξηση της πιθανότητας ενεργοποίησης κατά 4% έως 5.5%, ενώ για αύξηση της ειδικής ενέργειας κατά 100% η πιθανότητα επανέρχεται στα αρχικά επίπεδα του σεναρίου. Αντιθέτως η πιθανότητα δεν επηρεάζεται αισθητά από τις μειώσεις της ειδικής ενέργειας και παραμένει πρακτικά σταθερή.

Στο σενάριο B3 για αύξηση της ειδικής ενέργειας προκύπτουν αυξήσεις στην πιθανότητα μεταξύ 9.82% και 12.81% με τη μέγιστη τιμή της πιθανότητας (23.3%) να προκύπτει στο σενάριο αύξησης της ειδικής ενέργειας κατά 100%. Για αύξηση της ειδικής ενέργειας κατά 25% η πιθανότητα αυξάνεται κατά 9.82% και στη συνέχεια για μεγαλύτερες αυξήσεις της

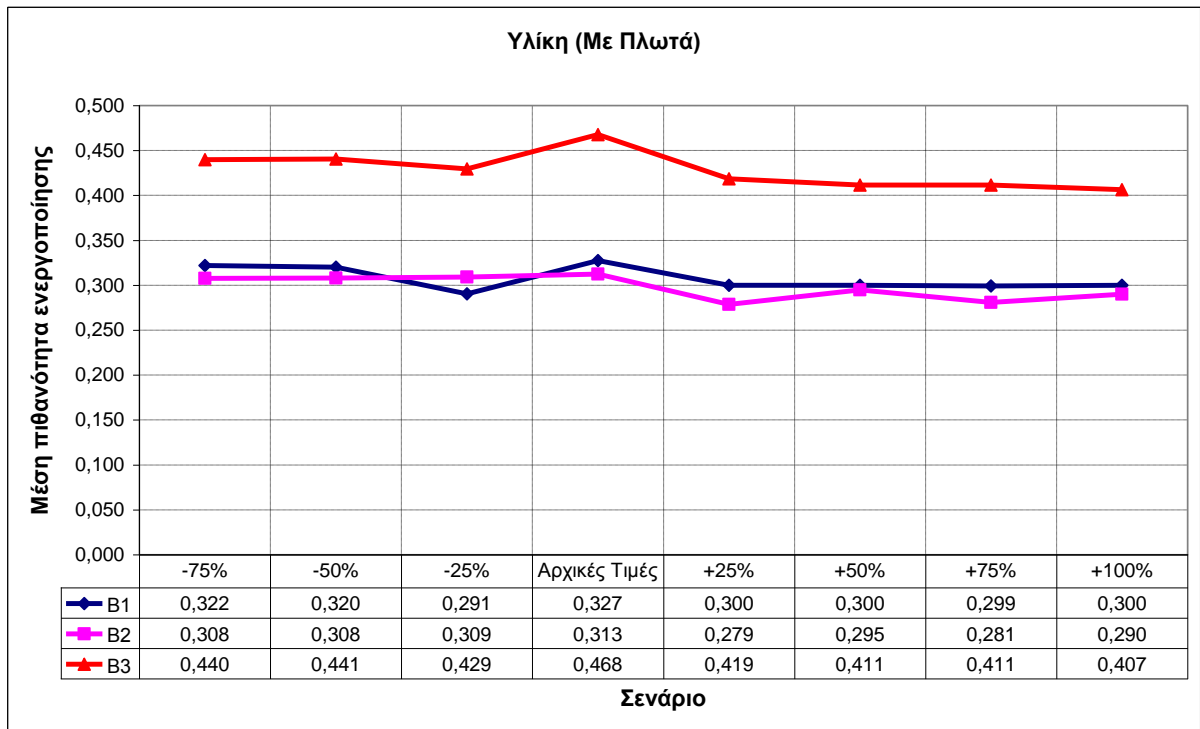
ειδικής ενέργειας παρουσιάζει μια ελαφριά αύξηση (αυξάνεται το ποσοστό επίδρασης της ειδικής ενέργειας). Για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 25% η πιθανότητα αυξάνεται κατά 11.74% και στη συνέχεια για περαιτέρω μείωση της ειδικής ενέργειας παρουσιάζει μια ελαφριά κάμψη (μειώνεται το ποσοστό επίδρασης της ειδικής ενέργειας).

Επιπλέον στο σενάριο B3 -για τις αρχικές συνθήκες- η πιθανότητα ενεργοποίησης είναι αυξημένη κατά 64.29% και 95.28% σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2 αντίστοιχα, ενώ η αντίστοιχη αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας είναι 42.55% (2.40 GWh) και 52.27% (2.76 GWh). Ως προς την ενέργεια (Διάγραμμα 7.33), οι καταναλώσεις των σεναρίων B1 και B2 παρουσιάζουν πολύ μικρές αποκλίσεις (< 1.0 GWh), ενώ η κατανάλωση αυξάνεται με μεγαλύτερο ρυθμό στις περιπτώσεις αύξηση της ειδικής ενέργειας του σεναρίου B3.

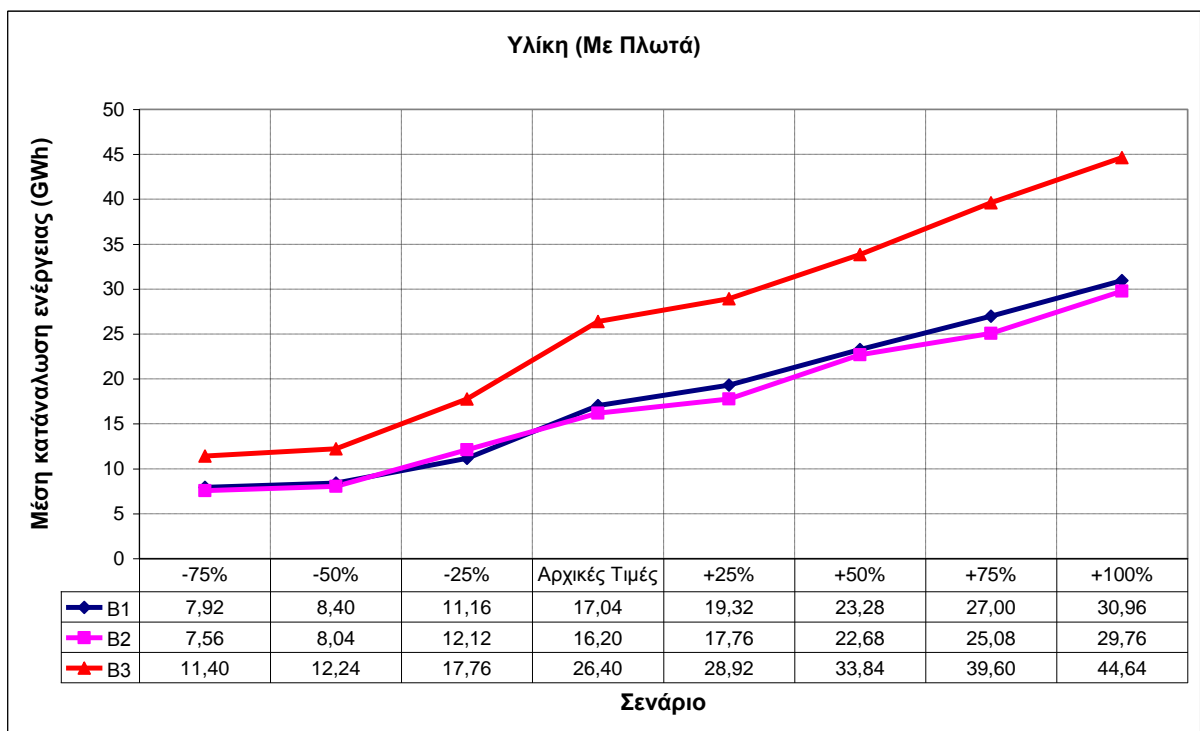
Οι μεταβολές στην αποδοτικότητα του συστήματος δεν επηρεάζουν αισθητά τη λειτουργία του αντλιοστασίου στα σενάρια B1 και B2, ενώ στο σενάριο B3 η επίδραση της ειδικής ενέργειας είναι σημαντικότερη. Για το λόγο αυτό σε κανένα από τα τρία σενάρια δεν υπάρχουν περιθώρια μείωσης της χρήσης του αντλιοστασίου μέσω της επέμβασης στην αποδοτικότητα του συστήματος, καθώς η λειτουργία του προσεγγίζει σε κάθε περίπτωση αυτήν που προκύπτει από τις αρχικές τιμές ειδικής ενέργειας του κάθε σεναρίου. Τέλος η εντατικότερη χρήση του αντλιοστασίου στο σενάριο B3 συνδέεται άμεσα με την εντατικότερη αξιοποίηση των υδατικών αποθεμάτων της Υλίκης καθώς και των γεωτρήσεων Ούγγρων-Ν.Δ. Υλίκης, όπως θα δούμε και στην ανάλυση των συγκεκριμένων γεωτρήσεων.

7.2.13 Υλίκη - Με Πλωτά

Διάγραμμα 7.34: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο Υλίκη (Με πλωτά)



Διάγραμμα 7.35: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο Υλίκη (Με πλωτά)



### *Ανάλυση αποτελεσμάτων*

Καταρχήν η πιθανότητα ενεργοποίησης (Διάγραμμα 7.34) και η κατανάλωση ενέργειας (Διάγραμμα 7.35) για τα πλωτά αντλιοστάσια της Υλίκης προκύπτουν αυξημένες σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές για το κεντρικό αντλιοστάσιο. Για τη συνεχή λειτουργία του κεντρικού αντλιοστασίου απαιτείται διατήρηση υψηλής στάθμης στη λίμνη και επομένως έντονη λειτουργία των πλωτών αντλιοστασίων. Επιπλέον στην περίπτωση των πλωτών αντλιοστασίων της Υλίκης τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας υποδεικνύουν ότι η πιθανότητα ενεργοποίησης δεν επηρεάζεται από τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας.

Αναλυτικότερα στο σενάριο B1 η πιθανότητα ενεργοποίησης μειώνεται σε ποσοστό ~8.0% σε κάθε σενάριο αύξησης της ειδικής ενέργειας. Για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 25% μειώνεται σε πρώτη φάση η πιθανότητα ενεργοποίησης κατά 11.23%, ωστόσο η επανέρχεται στα αρχικά της επίπεδα για μεγαλύτερες μειώσεις της ειδικής ενέργειας.

Στο σενάριο B2 η πιθανότητα ενεργοποίησης μειώνεται κατά 10.8%, 5.63%, 10.11% και 7.18% για αυξήσεις στην ειδική ενέργεια κατά 25%, 50%, 75% και 100% αντίστοιχα. Αντίθετα σε όλα τα σενάρια μείωσης της ειδικής ενέργειας η πιθανότητα παραμένει πρακτικά αμετάβλητη, αφού το ποσοστό μείωσης της πιθανότητας σε καμία περίπτωση δεν είναι μεγαλύτερο από 1.5%.

Στο σενάριο B3 παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες μεταβολές της πιθανότητας ενεργοποίησης ως προς την ειδική ενέργεια. Με αύξηση της ειδικής ενέργειας η πιθανότητα μειώνεται κατά 10.45% έως 13.05%, ενώ για μείωση της ειδικής ενέργειας μειώνεται κατά 5.93% έως 8.15%.

Συμπερασματικά η πιθανότητα ενεργοποίησης επηρεάζεται αισθητά κυρίως για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 25% στα σενάρια B1 και B3, ενώ στην περίπτωση αύξησης της ειδικής ενέργειας η πιθανότητα μειώνεται μέχρι ένα συγκεκριμένο ποσοστό και στα τρία σενάρια. Δηλαδή το αντλιοστάσιο λειτουργεί με συγκεκριμένο βαθμό ενεργοποίησης ανεξάρτητα από την αποδοτικότητα του συστήματος.

Με την υλοποίηση του σεναρίου B3 παρατηρείται σημαντική αύξηση στην πιθανότητα ενεργοποίησης σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2. Συγκεκριμένα για τις αρχικές συνθήκες η πιθανότητα ενεργοποίησης στο σενάριο B3 είναι αυξημένη κατά 43.12% και 49.52% σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2 αντίστοιχα, ενώ οι αντίστοιχες αυξήσεις στην ενεργειακή κατανάλωση είναι 54.93% (9.36 GWh) και 62.96% (10.20 GWh).

Η αυξημένη λειτουργία των πλωτών αντλιοστασίων, όπως προκύπτει από την προσομοίωση του σεναρίου B3, είναι άμεση συνέπεια της καλύτερης λειτουργίας του

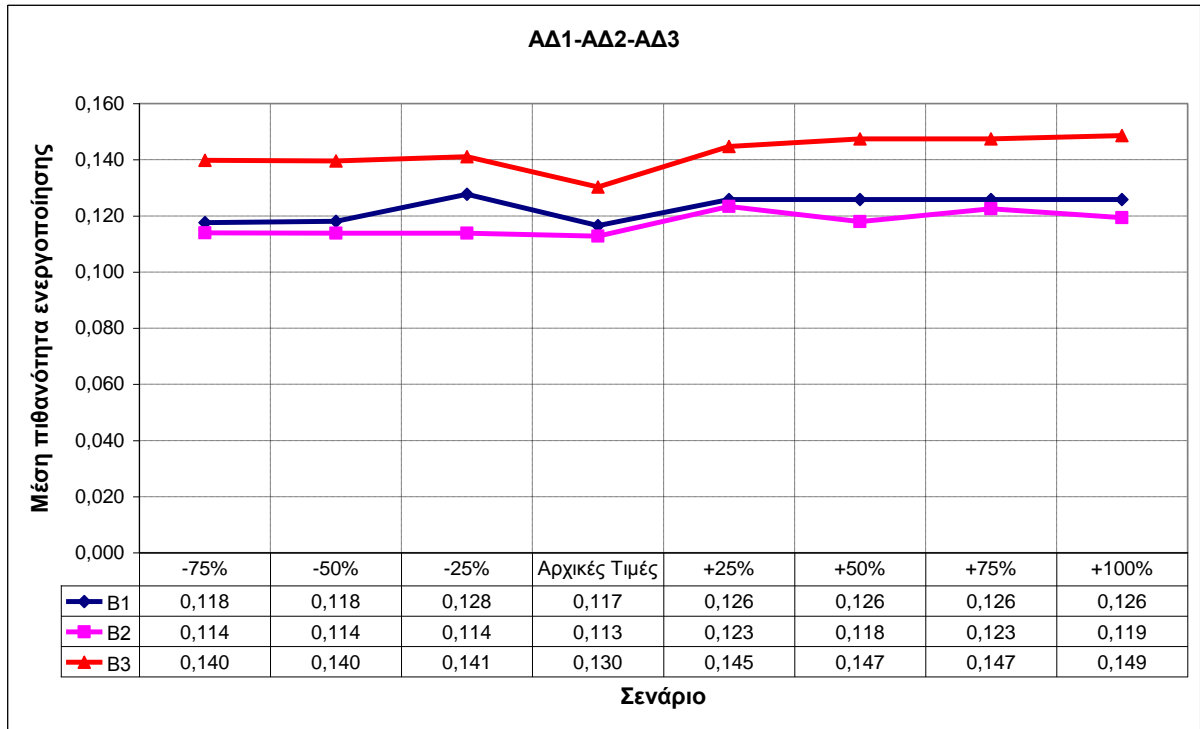
υδροσυστήματος λόγω της λειτουργίας του ενωτικού υδραγωγείου. Με τη λειτουργία του τελευταίου και την εξοικονόμηση ενέργειας από τον περιορισμό της χρήσης του υδραγωγείου της Υλίκης, έχουμε πλέον τη δυνατότητα εντατικής αξιοποίησης των εισροών της λίμνης Υλίκης και διοχέτευσής τους προς το υδραγωγείο του Μόρνου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μέσης κατανάλωσης ενέργειας του συστήματος, τα πλωτά αντλιοστάσια της Υλίκης αποτελούν το μεγαλύτερο ενεργειακό καταναλωτή του και στα τρία σενάρια λειτουργίας. Συγκεκριμένα το πλωτό αντλιοστάσιο για τις αρχικές τιμές της ειδικής ενέργειας, καταναλώνει το 18.16%, 17.90% και 18.97% της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας των σεναρίων B1, B2 και B3 αντίστοιχα. Ωστόσο μελλοντικές επεμβάσεις στην αποδοτικότητα του συστήματος μπορούν να συμβάλουν μόνο στην κατανάλωση, αφού με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας η πιθανότητα ενεργοποίησης δεν επηρεάζεται σημαντικά από τις μεταβολές στην ειδική ενέργεια.

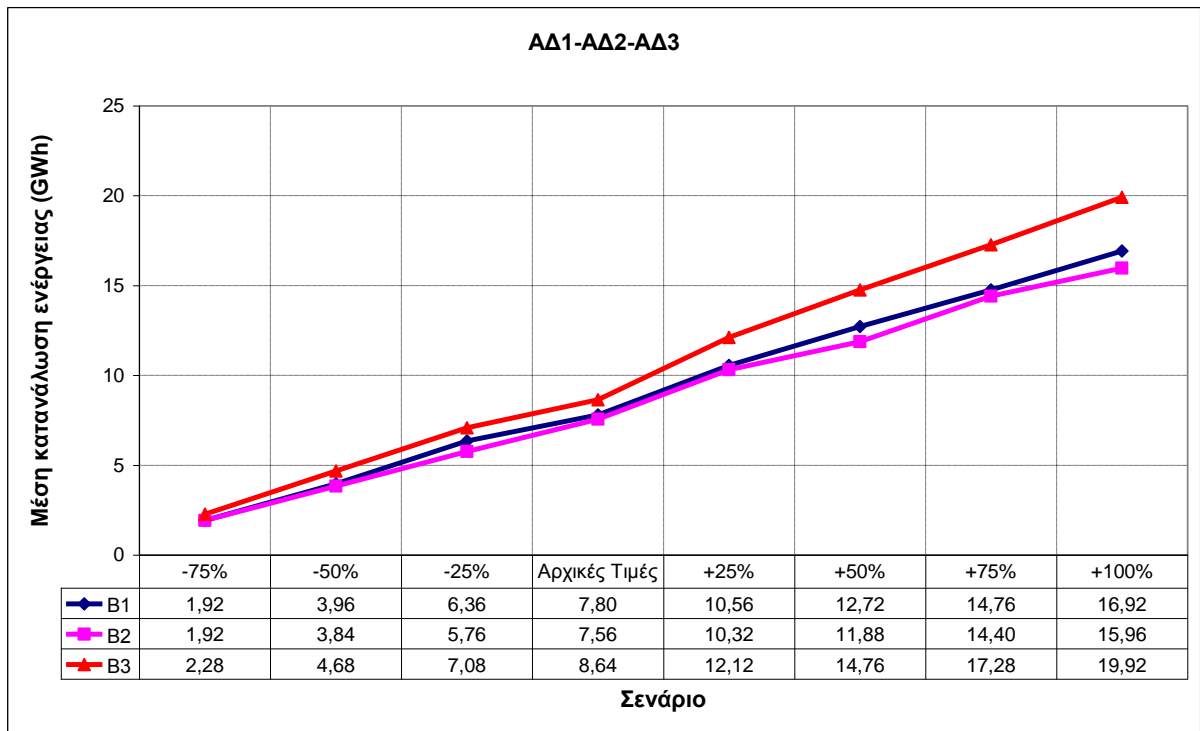
Από τη στιγμή που και στα τρία σενάρια το αντλιοστάσιο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση, η βελτίωση της ενεργειακής του συμπεριφοράς πρέπει να τεθεί σε πρώτη προτεραιότητα. Π.χ. μια ρεαλιστική πολιτική μείωσης της ειδικής ενέργειας του συστήματος κατά 25% θα οδηγήσει στην εξοικονόμηση 5.08, 4.08 και 8.64 GWh σε ετήσια βάση στα σενάρια λειτουργίας B1, B2 και B3 αντίστοιχα. Με βάση ενεργειακά κριτήρια, το ιδανικό σενάριο προκύπτει από τη μετάβαση στο σενάριο B3 και τη μείωση της ειδικής ενέργειας.

7.2.14 ΑΔ1 - ΑΔ2 - ΑΔ3

Διάγραμμα 7.36: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για το αντλιοστάσιο ΑΔ1-ΑΔ2-ΑΔ3



Διάγραμμα 7.37: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για το αντλιοστάσιο ΑΔ1-ΑΔ2-ΑΔ3



### *Ανάλυση αποτελεσμάτων*

Τα αντλιοστάσια Διστόμου (ΑΔ1 – ΑΔ2 – ΑΔ3) μέσω τριπλής άντλησης μεταφέρουν το νερό από τις γεωτρήσεις Βασιλικών – Παρορίου προς το υδραγωγείο του Μόρνου. Για το λόγο αυτό η ενεργοποίησή τους είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ενεργοποίηση των γεωτρήσεων και τελικώς τα αποτελέσματα της πιθανότητας ενεργοποίησης για τα αντλιοστάσια και τις γεωτρήσεις ταυτίζονται απόλυτα. Επιπλέον οι γεωτρήσεις αξιοποιούνται ως εφεδρικοί πόροι του συστήματος και η ενεργοποίησή τους (άρα και των αντλιοστασίων) σχετίζεται κυρίως με τις ανάγκες του συστήματος (ζήτηση νερού για ύδρευση, διαθέσιμα αποθέματα) και όχι τόσο με την αποδοτικότητά του.

Η ενεργοποίηση των αντλιοστασίων και στα τρία σενάρια παρουσιάζει μικρή ευαισθησία στις μεταβολές της ειδικής ενέργειας (Διάγραμμα 7.36), με τη μέγιστη τιμή πιθανότητας να προκύπτει ίση με 14.9% (σενάριο B3, αύξηση της ειδικής ενέργειας κατά 100%), ενώ η ελάχιστη τιμή της ισούται με 11.3% (σενάριο B2, αρχικές συνθήκες).

Στο σενάριο B1 οποιαδήποτε αύξηση της ειδικής ενέργειας οδηγεί σε αύξηση της πιθανότητας κατά 8%, ενώ μόνο για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 25% παρατηρούμε αύξηση της πιθανότητας (9.59%). Για μεγαλύτερες μειώσεις της ειδικής ενέργειας η πιθανότητα επανέρχεται στις αρχικές τιμές του σεναρίου. Στο σενάριο B2 η αύξηση της ειδικής ενέργειας οδηγεί σε μικρές αυξήσεις της πιθανότητας ενεργοποίησης, με τη μεγαλύτερη αύξηση (9.47%) να προκύπτει για αύξηση της ειδικής ενέργειας κατά 25%. Αντίθετα στα επιμέρους σενάρια μείωσης της ειδικής ενέργειας η πιθανότητα παραμένει σταθερή και ίση με 11.3%. Στο σενάριο B3 η μείωση της ειδικής ενέργειας αυξάνει την πιθανότητα από 7.10% έως 8.25%, ενώ η αύξηση της ειδικής ενέργειας αυξάνει την πιθανότητα από 11.10% έως 14.08%.

Ειδικά για το σενάριο B3 η πιθανότητα ενεργοποίησης προκύπτει αυξημένη σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια, γεγονός που οφείλεται στην εντατικότερη αξιοποίηση των γεωτρήσεων. Για τις αρχικές τιμές των σεναρίων η πιθανότητα ενεργοποίησης στο σενάριο B3 είναι αυξημένη κατά 11.11% και 15.04% σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2 αντίστοιχα, ενώ η κατανάλωση αυξάνεται περίπου κατά 1.0 GWh (Διάγραμμα 7.37).

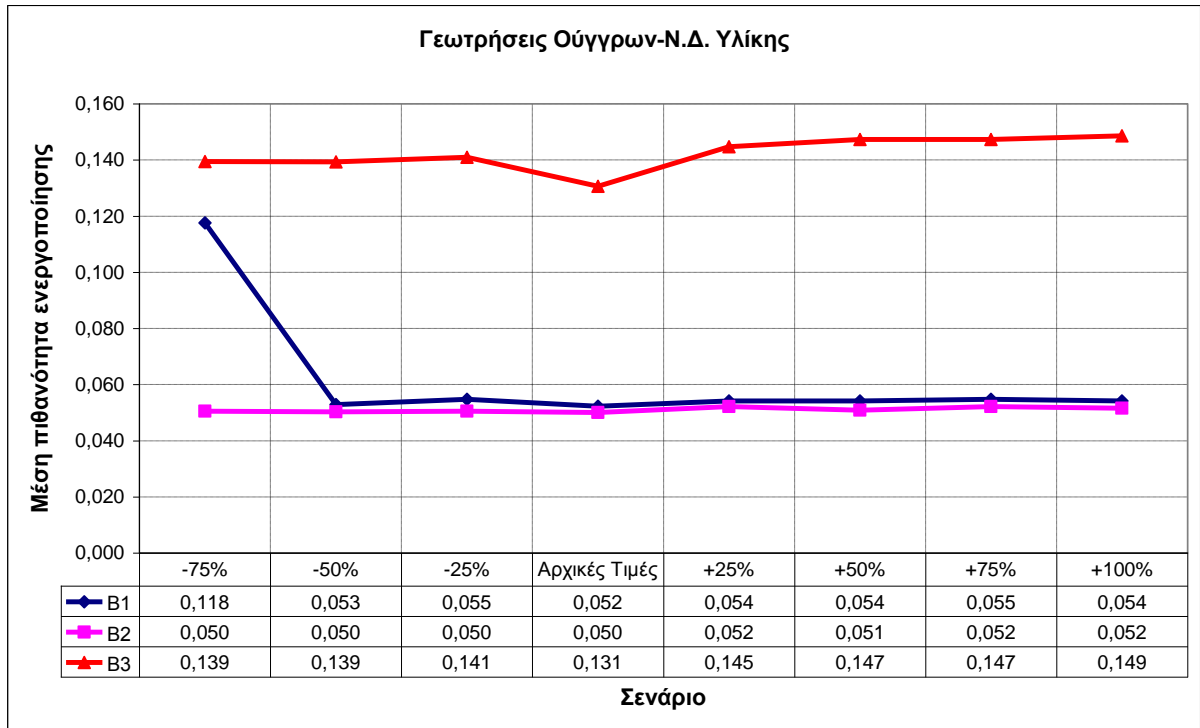
Τέλος τα σενάρια B1 και B2 παρουσιάζουν πολύ μικρές διαφοροποιήσεις τόσο ως προς την πιθανότητα ενεργοποίησης όσο και προς την ενεργειακή τους συμπεριφορά. Για μείωση της ειδικής ενέργειας οι καταναλώσεις και των τριών σεναρίων τείνουν να ταυτιστούν, ενώ για αύξηση της ειδικής ενέργειας η διαφορά μεταξύ του σεναρίου B3 και των υπολοίπων σεναρίων συνεχώς αυξάνεται.

### 7.3 Γεωτρήσεις

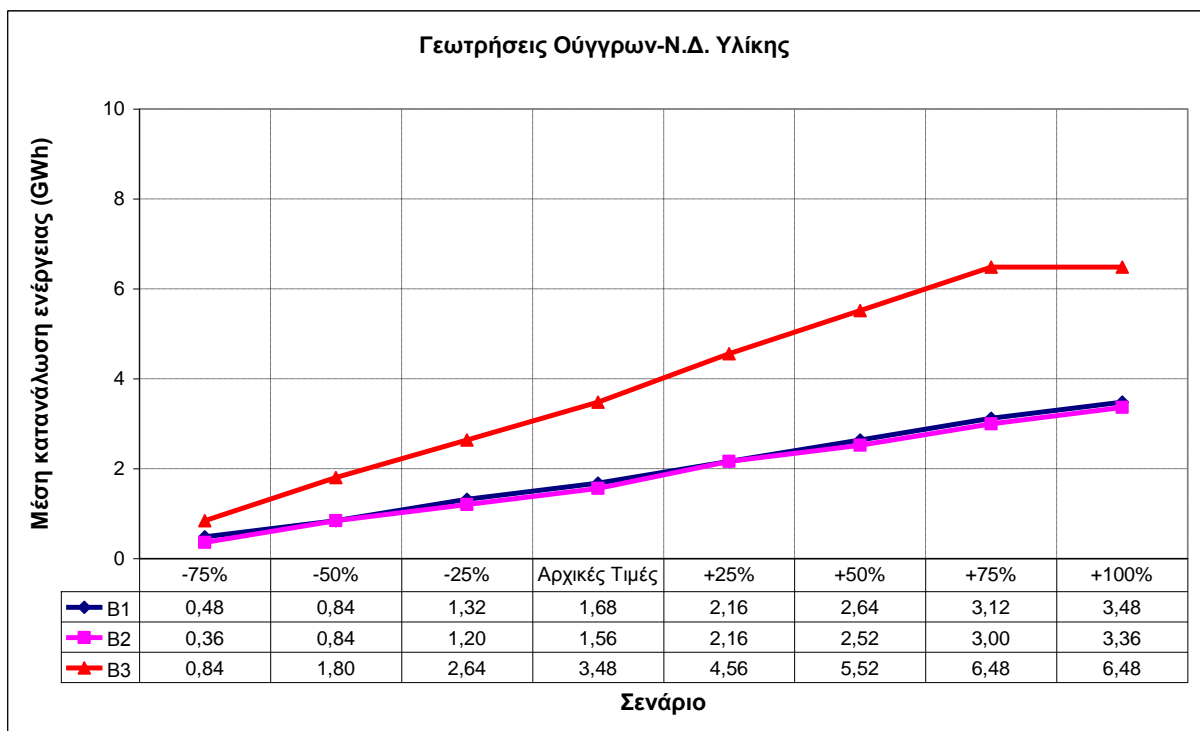
#### 7.3.1 Γεωτρήσεις Υλίκης

##### 7.3.1.1 Γεωτρήσεις Ούγγρων - Ν.Δ. Υλίκης

Διάγραμμα 7.38: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για τις γεωτρήσεις Ούγγρων - ΝΔ Υλίκης



Διάγραμμα 7.39: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τις γεωτρήσεις Ούγγρων - ΝΔ Υλίκης





### *Ανάλυση αποτελεσμάτων*

Στα σενάρια B1 και B2 η πιθανότητα ενεργοποίησης (Διάγραμμα 7.38) κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα (5% έως 6%). Εξάιρεση αποτελεί το σενάριο B1 όπου για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 75% η τιμή της πιθανότητας προκύπτει ίση με 11.8%, δηλαδή αυξημένη κατά 124.96% σε σχέση με την αρχική της τιμή. Ωστόσο όπως προκύπτει από το διάγραμμα της μέσης κατανάλωσης ενέργειας (Διάγραμμα 7.39), η κατανάλωση συνεχίζει να μειώνεται με τη μείωση της ειδικής ενέργειας, παρά τη σημαντική αύξηση της πιθανότητας ενεργοποίησης.

Στο σενάριο B3 η πιθανότητα ενεργοποίησης παρουσιάζεται ιδιαίτερα αυξημένη σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2, λαμβάνοντας τιμές μεταξύ 13.1% και 14.9%. Ενδεικτικά για τις αρχικές τιμές της ειδικής ενέργειας, στο σενάριο B3 η πιθανότητα ενεργοποίησης είναι αυξημένη κατά 149.84% και 161.03% σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2 αντίστοιχα.

Επιπλέον στο σενάριο B3 η ενεργειακή κατανάλωση προκύπτει αυξημένη (υπερδιπλάσια) σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2, λόγω της εντατικότερης χρήσης των γεωτρήσεων (Διάγραμμα 7.39). Για τις αρχικές τιμές της ειδικής ενέργειας, η κατανάλωση ενέργειας στο σενάριο B3 είναι ίση με 3.48 GWh, ενώ στο σενάριο B1 η αντίστοιχη κατανάλωση είναι 1.68 GWh και στο σενάριο B2 1.56 GWh.

Στο σενάριο B3 οι γεωτρήσεις Ούγγρων – Ν.Δ. Υλίκης, αλλά και οι υπόλοιπες γεωτρήσεις όπως θα δούμε στη συνέχεια, εμφανίζονται με σημαντικά αυξημένη πιθανότητα ενεργοποίησης και ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2, γεγονός που οφείλεται στις συνέπειες που έχει η λειτουργία του ενωτικού υδραγωγείου στη συνολική λειτουργία του συστήματος. Όπως ήδη αναφέρθηκε (εδάφιο 7.1.1) στο σενάριο B3 περιορίζεται σημαντικά η χρήση των αντλιοστασίων του υδραγωγείου της Υλίκης, με αποτέλεσμα να προκύπτει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας συνολικά για το σύστημα. Για το λόγο αυτό το μοντέλο έχει πλέον τη δυνατότητα να αξιοποιήσει περισσότερο το υπόγειο υδατικό δυναμικό για την κάλυψη του στόχου της ζήτησης.

Για τις γεωτρήσεις στην περιοχή της Υλίκης η αύξηση του βαθμού λειτουργίας τους συνδέεται επίσης με την πολιτική εντατικότερη αξιοποίησης των αποθεμάτων της λίμνης με στόχο τον περιορισμό των απωλειών από διαφυγές. Στο σενάριο B3 υπάρχει η δυνατότητα παροχέτευσης αυτών των αποθεμάτων στο υδραγωγείο του Μόρνου χρησιμοποιώντας το ενωτικό υδραγωγείο.

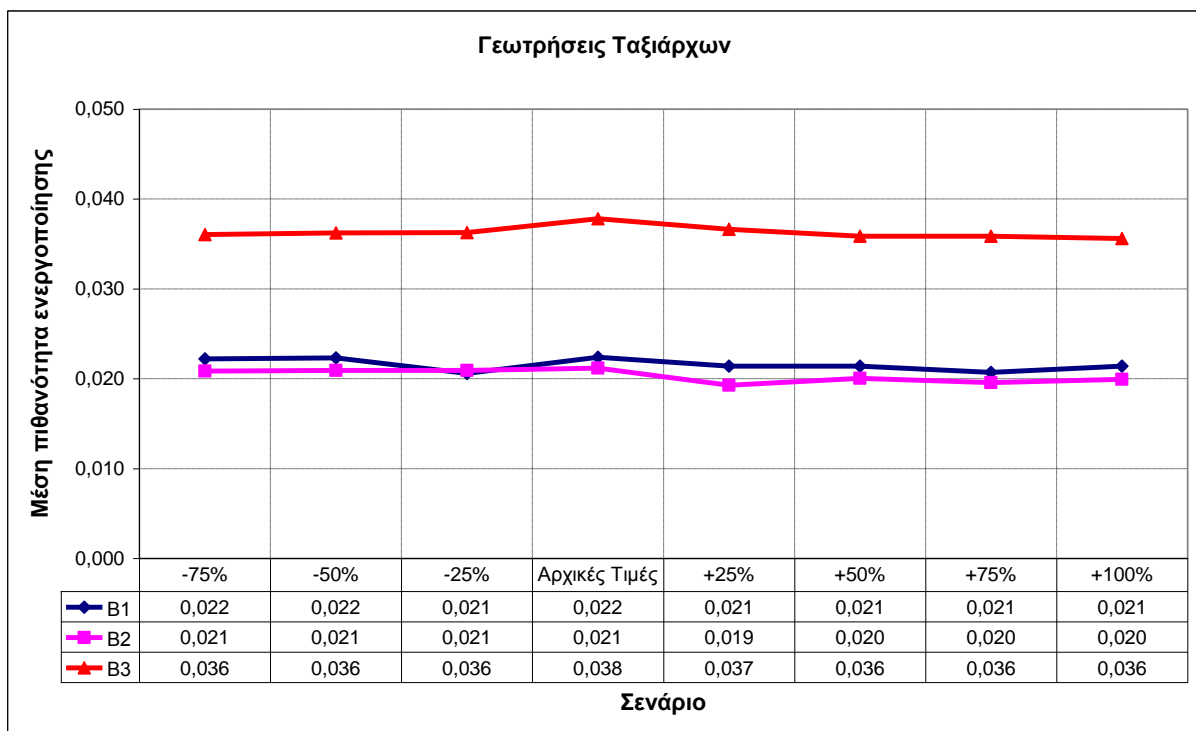
Στα σενάρια B1 και B2 η πιθανότητα ενεργοποίησης παραμένει πρακτικά ανεπηρέαστη από τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας, ενώ αντίθετα στο σενάριο B3 αυξάνεται σταδιακά με τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας. Π.χ. μείωση της ειδικής ενέργειας (κατά οποιοδήποτε

ποσοστό) αυξάνει την πιθανότητα ενεργοποίησης από 6.77% έως 7.95%, ενώ αύξηση της ειδικής ενέργειας (για οποιοδήποτε ποσοστό) αυξάνει την πιθανότητα από 10.79% έως 13.79%.

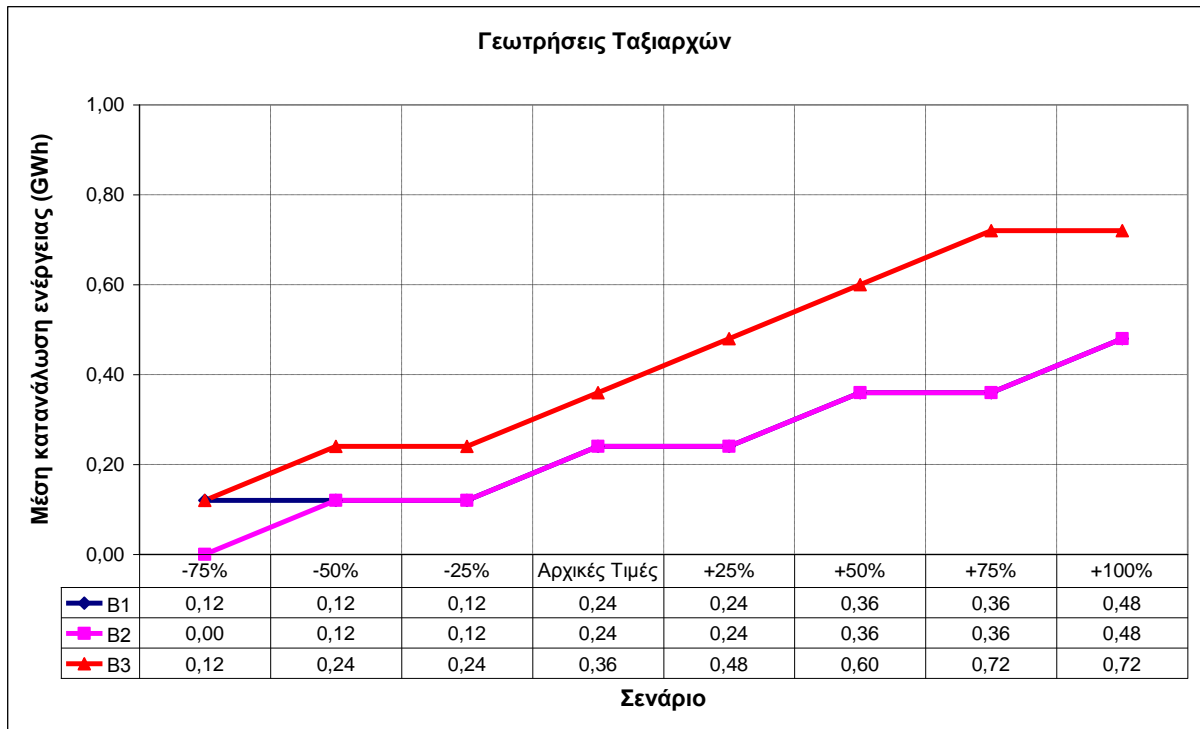
Ως προς την ενεργειακή κατανάλωση, οι τιμές των σεναρίων B1 και B2 παρουσιάζουν πολύ μικρές αποκλίσεις και επομένως με την υλοποίηση του σεναρίου B2 (μείωση απωλειών) δεν προκύπτει εξοικονόμηση ενέργειας. Στο σενάριο B3 η κατανάλωση μεταβάλλεται με μεγαλύτερο ρυθμό από ότι στα υπόλοιπα σενάρια, κάτι που υποδηλώνεται και από την έντονη κλίση της ευθείας που αντιπροσωπεύει την κατανάλωση του σεναρίου. Επομένως στο σενάριο B3, παρά την αύξηση της κατανάλωσης, υπάρχουν σημαντικά περιθώρια εξοικονόμησης από τη στιγμή που με τη βελτίωση της αποδοτικότητας του συστήματος προκύπτει μεγάλη μείωση της κατανάλωσης σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια. Πχ. για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 25%, στο σενάριο B3 εξοικονομούνται 0.84 GWh, ενώ στην αντίστοιχη περίπτωση του σεναρίου B1 εξοικονομούνται 0.36 GWh. Τελικώς για μεγάλα ποσοστά μείωσης της ειδικής ενέργειας οι διαφορές στην ενεργειακή κατανάλωση μεταξύ του σεναρίου B3 και των υπόλοιπων σεναρίων περιορίζονται σημαντικά.

### 7.3.1.2 Γεωτρήσεις Ταξιαρχών

Διάγραμμα 7.40: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για τις γεωτρήσεις Ταξιαρχών



Διάγραμμα 7.41: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τις γεωτρήσεις Ταξιαρχών



#### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Οι γεωτρήσεις Ταξιαρχών είναι χαμηλής δυναμικότητας και χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία της τεχνητής λίμνης της Υλίκης με στόχο τη διατήρηση υψηλής στάθμης. Και στα τρία σενάρια που πραγματοποιήθηκε προσομοίωση οι συγκεκριμένες γεωτρήσεις εμφανίζουν πολύ μικρές πιθανότητες ενεργοποίησης (Διάγραμμα 7.40) με ελάχιστη τιμή το 1.9% και μέγιστη τιμή το 3.9%, ενώ παρουσιάζουν και χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση (Διάγραμμα 7.41) που στο δυσμενέστερο σενάριο είναι ίση με 0.72 GWh.

Στο σενάριο B1 η πιθανότητα ενεργοποίησης είναι πρακτικά σταθερή και ίση με 2.1%, ενώ στο σενάριο B2 κυμαίνεται μεταξύ 1.9% και 2.1%. Για το σενάριο B3 η πιθανότητα ενεργοποίησης παρουσιάζεται ελαφρώς αυξημένη σε σχέση με τα άλλα δύο σενάρια και κυμαίνεται μεταξύ 3.6% και 3.8%. Και για τρία σενάρια η πιθανότητα ενεργοποίησης παρουσιάζει μια μικρή μείωση στις μεταβολές της ειδικής ενέργειας.

Η αύξηση της πιθανότητας ενεργοποίησης στο σενάριο B3 οφείλεται –όπως και στην περίπτωση των γεωτρήσεων Ούγγρων – Ν.Δ. Υλίκης- στην εντατικότερη αξιοποίηση των αποθεμάτων της Υλίκης.

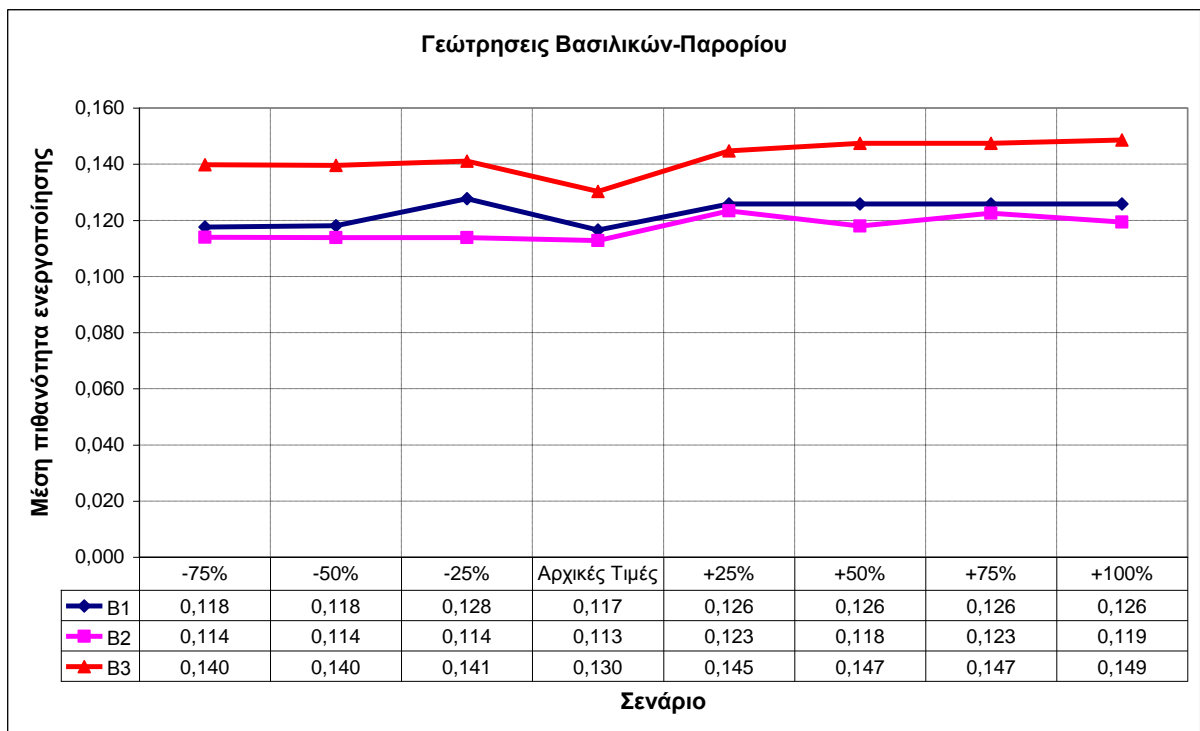
Για τις αρχικές τιμές της ειδικής ενέργειας του σεναρίου B3, η πιθανότητα ενεργοποίησης είναι αυξημένη σε ποσοστό 72.73% και 80.95% σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2 αντίστοιχα, ενώ η αντίστοιχη αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας είναι ίση με 50%.

Στα σενάρια B1 και B2 η κατανάλωση ενέργειας ταυτίζεται σε όλες τις περιπτώσεις, με εξαίρεση την περίπτωση μείωσης της ειδικής ενέργειας κατά 75% στο σενάριο B1, όπου η κατανάλωση ενέργειας προκύπτει μεγαλύτερη για την ίδια πιθανότητα ενεργοποίησης. Όπως και στις υπόλοιπες ομάδες γεωτρήσεων η ενεργειακή κατανάλωση των σεναρίων B1 και B2 δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές, και επομένως η μείωση των διαρροών (σενάριο B2) δεν επηρεάζει την ενεργειακή συμπεριφορά των γεωτρήσεων.

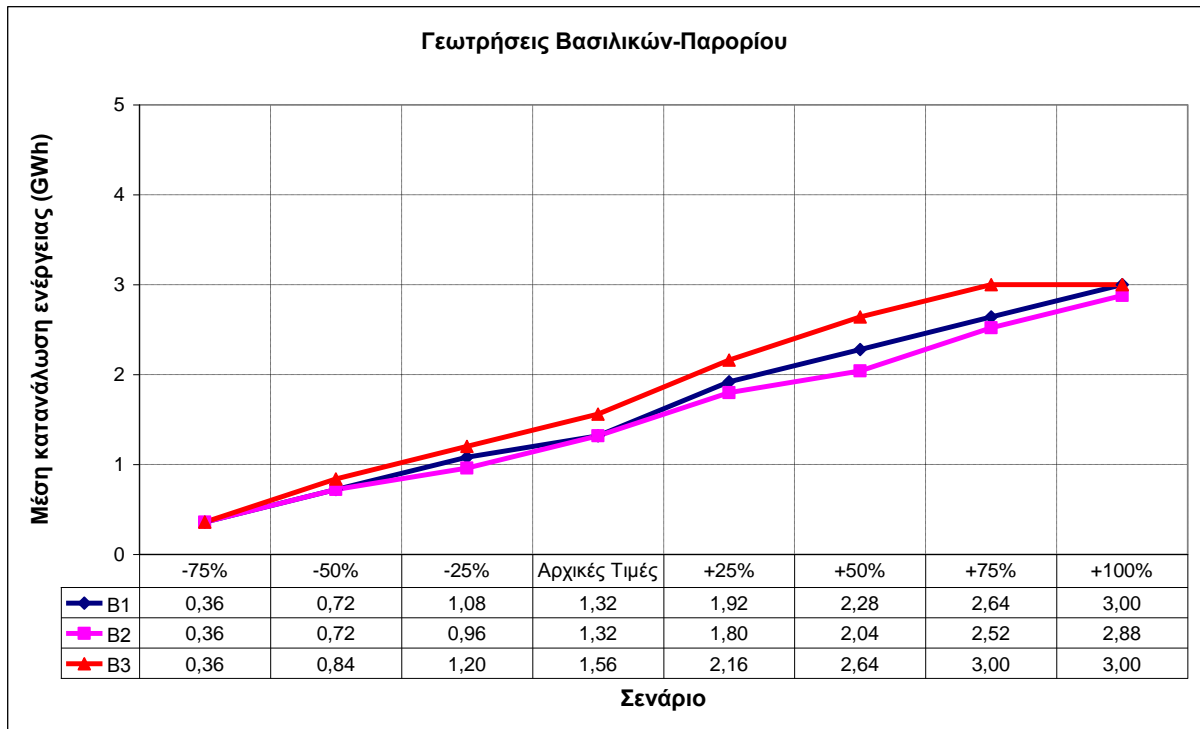
### 7.3.2 Γεωτρήσεις μέσου ρου Βοιωτικού Κηφισού

#### 7.3.2.1 Γεωτρήσεις Βασιλικών - Παρορίου

Διάγραμμα 7.42: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για τις γεωτρήσεις Βασιλικών – Παρορίου



Διάγραμμα 7.43: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τις γεωτρήσεις Βασιλικών – Παρορίου



#### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Με βάση τις διαχειριστικές μελέτες οι γεωτρήσεις Βασιλικών–Παρορίου διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη αποδεκτών επιπέδων αξιοπιστίας για το στόχο της ύδρευσης των Αθηνών. Για τις γεωτρήσεις προκύπτουν σημαντικές πιθανότητες ενεργοποίησης και στα τρία σενάρια, που κυμαίνονται από 11.3% έως 14.9% (Διάγραμμα 7.42).

Η ενεργοποίηση των γεωτρήσεων είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη χρήση των αντλιοστασίων ΑΔ1–ΑΔ2–ΑΔ3, για αυτό και τα αποτελέσματα της πιθανότητας ενεργοποίησης των γεωτρήσεων και των αντλιοστασίων ταυτίζονται και στα τρία σενάρια. (δες εδάφιο 7.2.14, Διάγραμμα 7.36).

Στο σενάριο B1 η αύξηση της ειδικής ενέργειας αυξάνει την πιθανότητα ενεργοποίησης κατά 8%. Για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 25% η πιθανότητα αυξάνεται κατά 9.59%, ενώ για μεγαλύτερες μειώσεις επανέρχεται στις αρχικές τιμές του σεναρίου. Στο σενάριο B2 η πιθανότητα αυξάνεται από 4.66% έως 9.47% για αύξηση της ειδικής ενέργειας, ενώ για μείωση της ειδικής ενέργειας παραμένει ανεπηρέαστη. Στο σενάριο B3 η αύξηση της ειδικής ενέργειας αυξάνει την πιθανότητα από 10.79% έως 13.79%, ενώ για μείωση της ειδικής ενέργειας η πιθανότητα αυξάνεται από 7.10% έως 8.25%.

Η λειτουργία των γεωτρήσεων χαρακτηρίζεται από υψηλό κόστος, το οποίο οφείλεται στο γεγονός ότι για να διοχετευτεί το νερό των γεωτρήσεων στο δίκτυο απαιτείται διαδικασία

διαδοχικών αντλήσεων μέσω των αντλιοστασίων Διστόμου (ΑΔ1–ΑΔ2–ΑΔ3). Το υψηλό κόστος των αντλήσεων αποτυπώνεται ξεκάθαρα στο διάγραμμα κατανάλωσης ενέργειας των αντλιοστασίων ΑΔ1–ΑΔ2–ΑΔ3 (δες εδάφιο 7.2.14, Διάγραμμα 7.37). Αντίθετα, η κατανάλωση ενέργειας των γεωτρήσεων κυμαίνεται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα, μεταξύ 0.36 και 3.0 GWh σε όλα τα σενάρια (Διάγραμμα 7.43).

Στο σενάριο B3, όπου η πιθανότητα ενεργοποίησης είναι ελαφρώς αυξημένη σε σχέση με τα άλλα δύο σενάρια, η κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζεται αντίστοιχα αυξημένη κατά ένα μικρό ποσοστό. Για αρχικές συνθήκες στο σενάριο B3 η κατανάλωση ενέργειας είναι αυξημένη κατά 18.18% (0.24 GWh) σε σχέση με το σενάριο B1, ενώ η αντίστοιχη αύξηση στην πιθανότητα ενεργοποίησης είναι 11.11%.

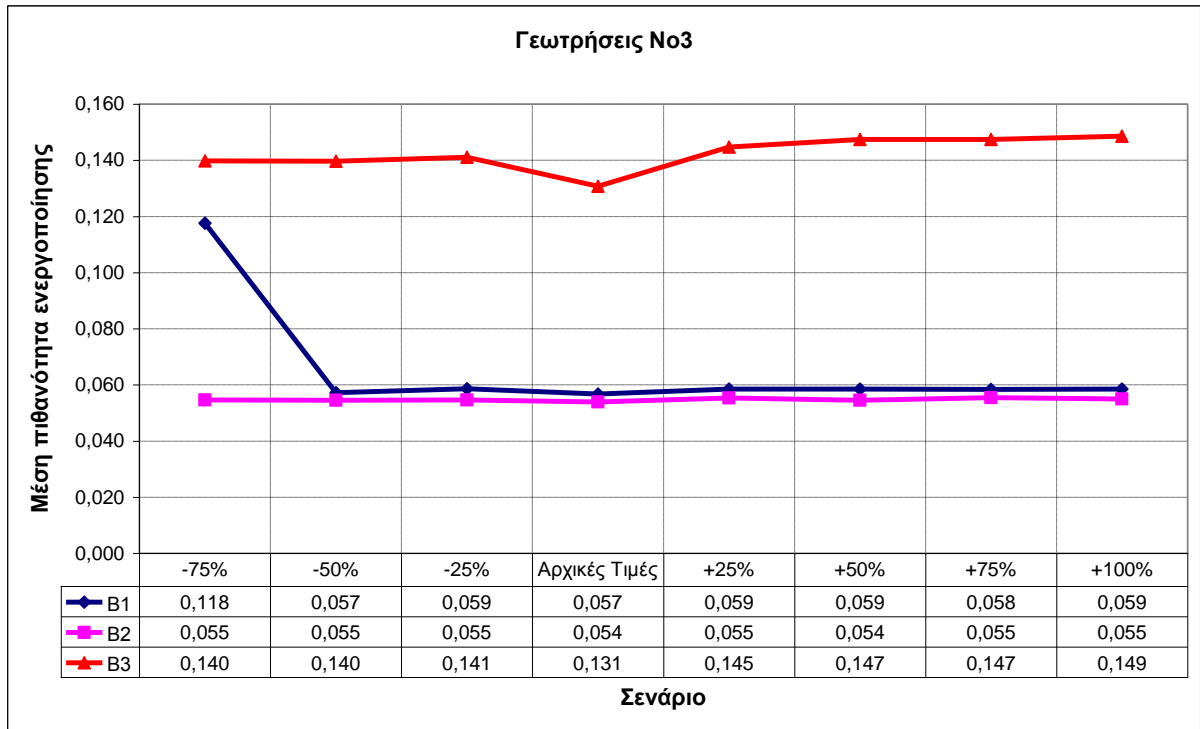
Στις περιπτώσεις μείωσης της ειδικής ενέργειας η ενεργειακή κατανάλωση τείνει να ταυτιστεί και για τα τρία σενάρια. Συγκεκριμένα για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 75% η κατανάλωση προκύπτει ίση με 0.36 GWh και για τα τρία σενάρια και είναι η ελάχιστη κατανάλωση που μπορούμε να επιτύχουμε. Για αύξηση της ειδικής ενέργειας, η κατανάλωση στο σενάριο αυξάνεται με μεγαλύτερο ρυθμό από τα υπόλοιπα σενάρια.

Επομένως με την υλοποίηση του σεναρίου B3 και την ταυτόχρονη μείωση της ειδικής ενέργειας το όφελος είναι διπλό, αφού πετυχαίνουμε την καλύτερη λειτουργία του συστήματος -από άποψη αξιοπιστίας- σε συνδυασμό με τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στο μικρότερο δυνατό επίπεδο.

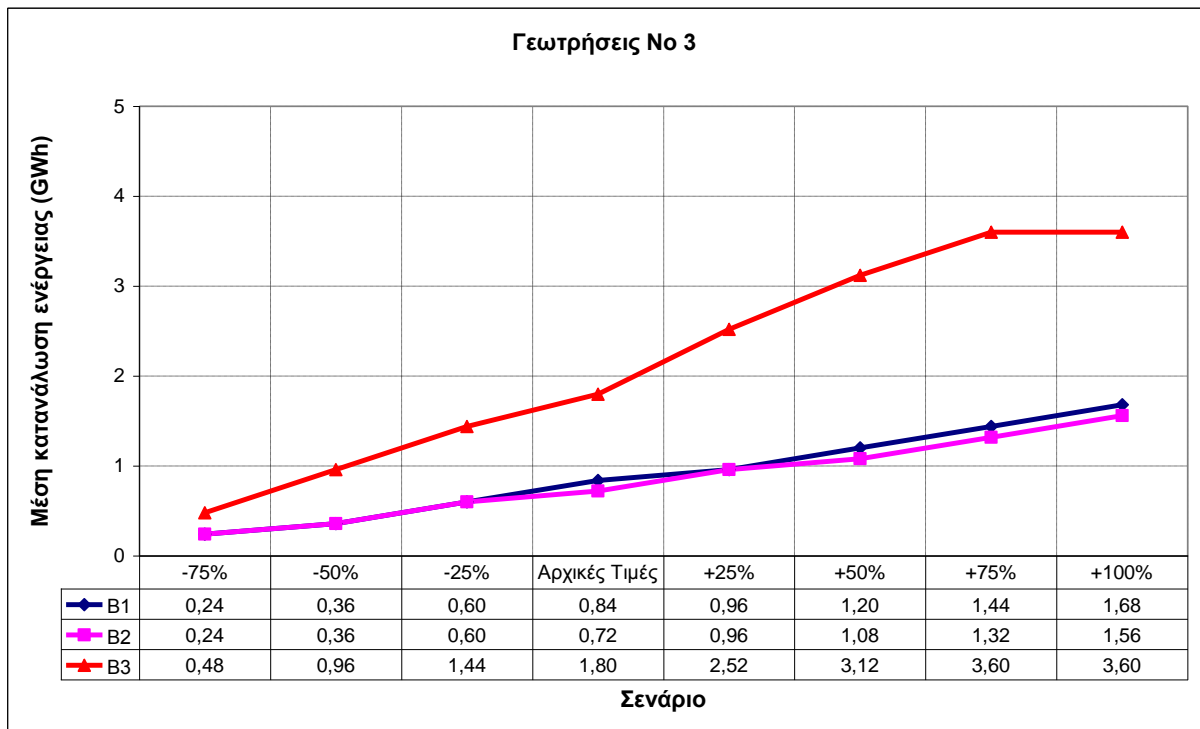
### 7.3.3 Γεωτρήσεις Β.Α. Πάρνηθας

#### 7.3.3.1 Γεωτρήσεις Νο 3

Διάγραμμα 7.44: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για τις γεωτρήσεις Νο 3



Διάγραμμα 7.45: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τις γεωτρήσεις Νο 3



### *Ανάλυση αποτελεσμάτων*

Για τις ομάδες γεωτρήσεων που ανήκουν στην ευρύτερη περιοχή της Β.Α. Πάρνηθας (No 3, Μαυροσουβάλας και 10<sup>ου</sup> Σίφωνα) οι τιμές της πιθανότητας ενεργοποίησης ταυτίζονται και στα τρία σενάρια, παρουσιάζοντας την ίδια (ποιοτική) συμπεριφορά ως προς τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας.

Στα σενάρια B1 και B2 η πιθανότητα ενεργοποίησης παρουσιάζει διακυμάνσεις μεταξύ 5.2% και 5.9% παραμένοντας πρακτικά σταθερή και ανεπηρέαστη από τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας του συστήματος (Διάγραμμα 7.44). Στο σενάριο B3 η πιθανότητα κυμαίνεται μεταξύ 13.1% και 14.9% με τις μεγαλύτερες μεταβολές της να παρουσιάζονται στα σενάρια αύξησης της ειδικής ενέργειας. Οι παραπάνω επισημάνσεις ισχύουν και για τις τρεις ομάδες γεωτρήσεων της Β.Α. Πάρνηθας.

Ειδικότερα για τις γεωτρήσεις No 3, στο σενάριο B1 για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 75% προκύπτει μία διαφοροποίηση στην πιθανότητα ενεργοποίησης. Στην περίπτωση αυτή η πιθανότητα αυξάνεται κατά 107.02% σε σχέση με τις αρχικές συνθήκες του σεναρίου, χωρίς ωστόσο να συνδυάζεται με αντίστοιχη αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας, η συνεχίζει να μειώνεται με τη μείωση της ειδικής ενέργειας.

Για τις αρχικές συνθήκες του σεναρίου B3 η πιθανότητα ενεργοποίησης είναι ίση με 13.1%, δηλαδή αυξημένη κατά 129.82% σε σχέση με το σενάριο B1 και 142.59% σε σχέση με το σενάριο B2. Η αύξηση στην πιθανότητα ενεργοποίησης του σεναρίου B3 συνοδεύεται και από αντίστοιχη αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας. Συγκεκριμένα στο σενάριο B3 η κατανάλωση ενέργειας είναι ίση με 1.80 GWh, αυξημένη δηλαδή κατά 114.28% (0.96 GWh) και 150% (1.08 GWh) σε σχέση με τις αντίστοιχες καταναλώσεις των σεναρίων B1 και B2 (Διάγραμμα 7.45). Η αυξημένη πιθανότητα ενεργοποίησης στο σενάριο B3 συνδέεται με την καλύτερη αξιοποίηση των υπόγειων υδάτων της Β.Α. Πάρνηθας.

Αντίστοιχη αύξηση της πιθανότητας ενεργοποίησης στο σενάριο B3 παρατηρείται, όπως θα δούμε στη συνέχεια, και για τις υπόλοιπες ομάδες γεωτρήσεων της Β.Α. Πάρνηθας. Ωστόσο λόγω της βιώσιμης πολιτικής που έχει υιοθετηθεί για τη λειτουργία των γεωτρήσεων, η πιθανότητα ενεργοποίησης ακόμα και στο δυσμενέστερο σενάριο (αύξηση της ειδικής ενέργειας κατά 100%) δεν ξεπερνάει το 15%. Επομένως με τον τρόπο αυτό εντοπίζουμε ένα ανώτατο όριο ενεργοποίησης των γεωτρήσεων χωρίς να παραβιάζουμε την πολιτική λειτουργίας των γεωτρήσεων όπως αυτή καθορίστηκε στα σενάρια λειτουργίας.

Για τα σενάρια B1 και B2 προκύπτει η ίδια σχεδόν ενεργειακή κατανάλωση, επομένως από τη μετάβαση στο σενάριο B2 δεν μπορούμε να αποκομίσουμε ενεργειακό όφελος.

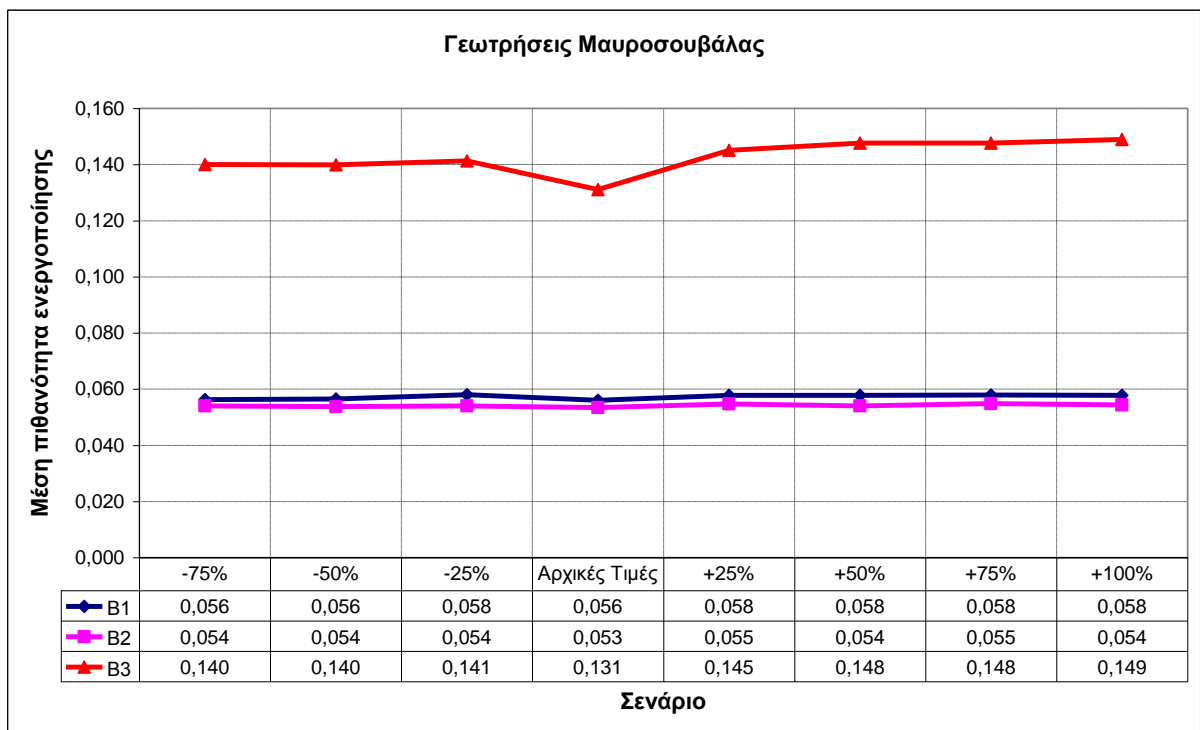


Επιπλέον με τη μείωση της ειδικής ενέργειας οι διαφορές στην ενεργειακή κατανάλωση μεταξύ των σεναρίων B3 και B1 (ή B2) συνεχώς μειώνονται, ενώ αντίστοιχα με την αύξηση της ειδικής ενέργειας οι διαφορές συνεχώς αυξάνονται. Στην περίπτωση μείωσης της ειδικής ενέργειας κατά 75% η ενεργειακή κατανάλωση του σεναρίου B3 εμφανίζει τη μικρότερη διαφορά σε σχέση με τα άλλα δύο σεναρία (ελαχιστοποίηση της διαφοράς).

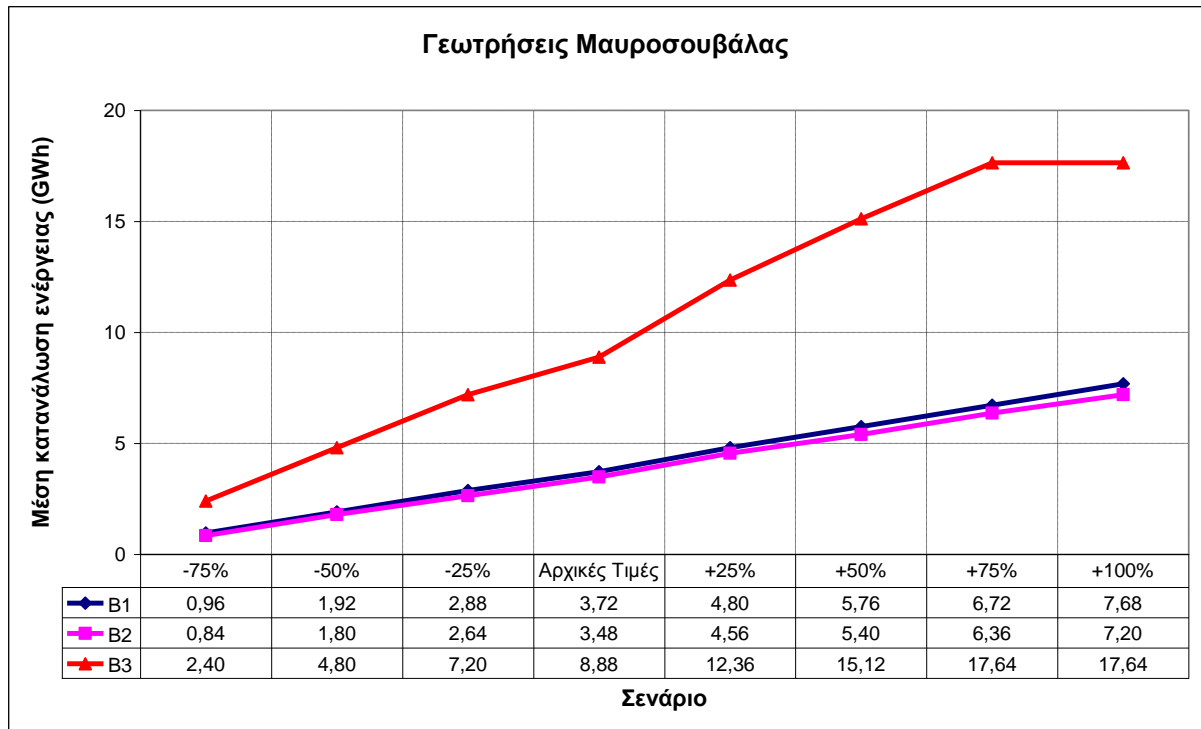
Τέλος στο σενάριο B3 επειδή ο ρυθμός μεταβολής της κατανάλωσης με την ειδική ενέργεια είναι μεγαλύτερος σε σχέση τα υπόλοιπα σεναρία (εντονότερη κλίση της ευθείας), κάθε μέτρο προς τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος θα μας προσδίδει μεγαλύτερα ενεργειακά οφέλη σε σχέση με τα άλλα δύο σεναρία. Επομένως συνδυάζοντας το σενάριο B3 και τη μείωση της ειδικής ενέργειας πετυχαίνουμε καλύτερη λειτουργία του συστήματος και περιορισμό της ενεργειακής κατανάλωσης.

### 7.3.3.2 Γεωτρήσεις Μαυροσουβάλας

Διάγραμμα 7.46: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για τις γεωτρήσεις Μαυροσουβάλας



Διάγραμμα 7.47: Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τις γεωτρήσεις Μαυροσουβάλας



#### Ανάλυση αποτελεσμάτων

Οι γεωτρήσεις της Μαυροσουβάλας αποτελούν τον πιο αξιόπιστο εφεδρικό του υδροσυστήματος, καθώς πρόκειται για τις μόνες γεωτρήσεις σημαντικής παροχευτικότητας που βρίσκονται κοντά στα διυλιστήρια.

Για τις γεωτρήσεις Μαυροσουβάλας, τόσο οι τιμές της πιθανότητας ενεργοποίησης όσο και οι μεταβολές της ως προς την ειδική ενέργεια ταυτίζονται με αυτές των υπολοίπων γεωτρήσεων της Β.Α. Πάρνηθας (No3 και 10<sup>ου</sup> Σίφωνα). Η μόνη διαφοροποίηση εντοπίζεται στην περίπτωση της ακραίας τιμής των γεωτρήσεων No3 (σενάριο B1 μείωση ειδικής ενέργειας κατά 75%), η οποία δεν εμφανίζεται στις γεωτρήσεις της Μαυροσουβάλας.

Συνοπτικά αναφέρουμε ότι η πιθανότητα ενεργοποίησης στο σενάριο B1 κυμαίνεται μεταξύ 5.6% και 5.8% και στο σενάριο B2 μεταξύ 5.3% και 5.5%, χωρίς να επηρεάζεται και στα δύο σενάρια από τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας (Διάγραμμα 7.46). Στο σενάριο B3 η πιθανότητα ενεργοποίησης υπερδιπλασιάζεται και κυμαίνεται μεταξύ 13.1% και 14.9% παρουσιάζοντας μικρή αύξηση με τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας.

Η αύξηση της πιθανότητας ενεργοποίησης στο σενάριο B3 αποδίδεται (όπως και για όλες τις γεωτρήσεις) στην ενεργειακή διαχείριση που προκύπτει από την εφαρμογή του σεναρίου, και η οποία οδηγεί στην εντατικότερη αξιοποίηση του υπόγειου υδατικού δυναμικού.

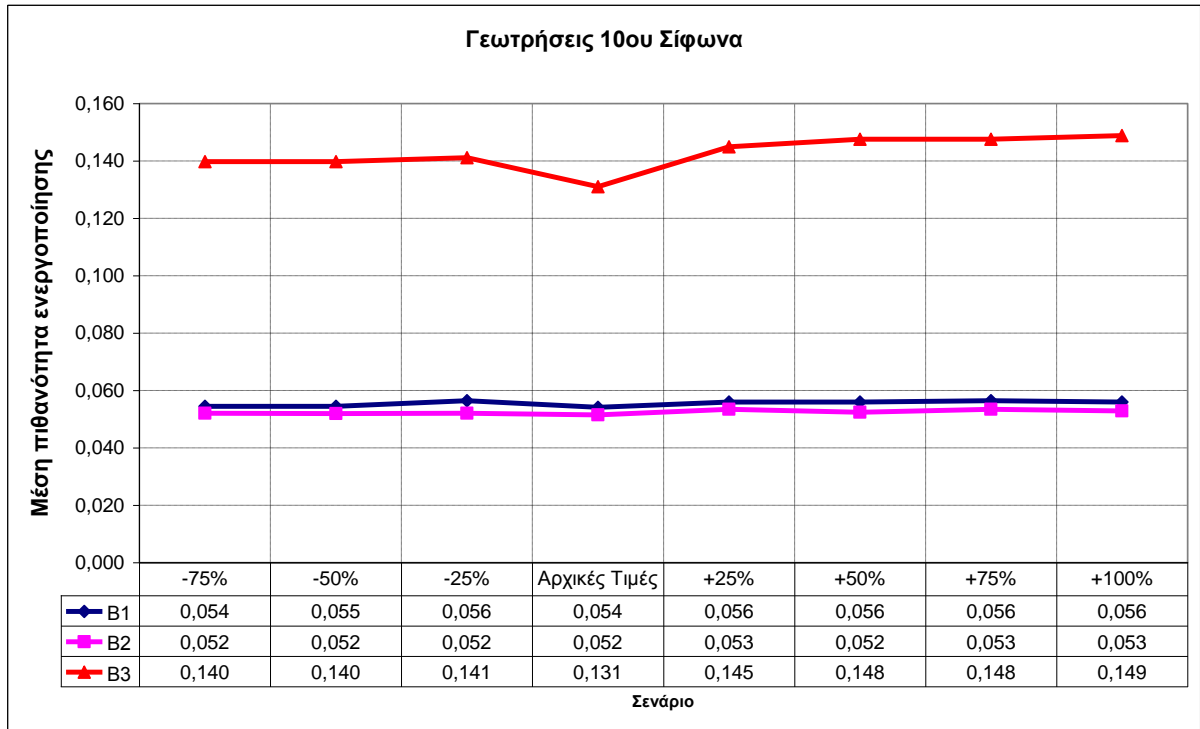
Οι γεωτρήσεις της Μαυροσουβάλας παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση από το σύνολο των γεωτρήσεων, καταναλώνοντας -για τις αρχικές συνθήκες- το 3.96%, 3.85% και 6.38% της συνολικής ενέργειας του συστήματος για τα σενάρια B1, B2 και B3 αντίστοιχα. Η αυξημένη κατανάλωση των γεωτρήσεων οφείλεται στο γεγονός ότι οι γεωτρήσεις διαθέτουν τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ και τη μεγαλύτερη αντλητική ικανότητα και επομένως για την ίδια πιθανότητα ενεργοποίησης θα προκύπτει μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας.

Αναλυτικότερα στο σενάριο B3, όπου προκύπτει αυξημένη λειτουργία των γεωτρήσεων, η ενεργειακή κατανάλωση για τις αρχικές συνθήκες είναι ίση με 8.88 GWh, δηλαδή αυξημένη κατά 138.71% (5.16 GWh) και 155.72% (5.40 GWh) σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2 (Διάγραμμα 7.47). Επίσης στο σενάριο B3 η κατανάλωση ενέργειας επηρεάζεται περισσότερο από τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας σε σχέση με τα δύο πρώτα σενάρια και κάθε υποβάθμιση της αποδοτικότητας του συστήματος οδηγεί σε σημαντική αύξηση της κατανάλωσης. Για αύξηση της ειδικής ενέργειας κατά 25%, 50%, και 75% η κατανάλωση αυξάνεται κατά 3.48, 6.24 και 8.76 GWh αντίστοιχα, ενώ για μείωση της ειδικής ενέργειας κατά 25%, 50% και 75% η κατανάλωση μειώνεται κατά 1.68, 4.08 και 6.48 GWh σε σχέση με τις αρχικές τιμές. Οι αντίστοιχες μεταβολές της κατανάλωσης στα σενάρια B1 και B2 είναι σημαντικά μικρότερες. Π.χ. στο σενάριο B1 για αύξηση της ειδικής ενέργειας κατά 25%, 50% και 75% οι αντίστοιχες αυξήσεις στην κατανάλωση ενέργειας είναι 1.08, 2.04 και 3.00 GWh.

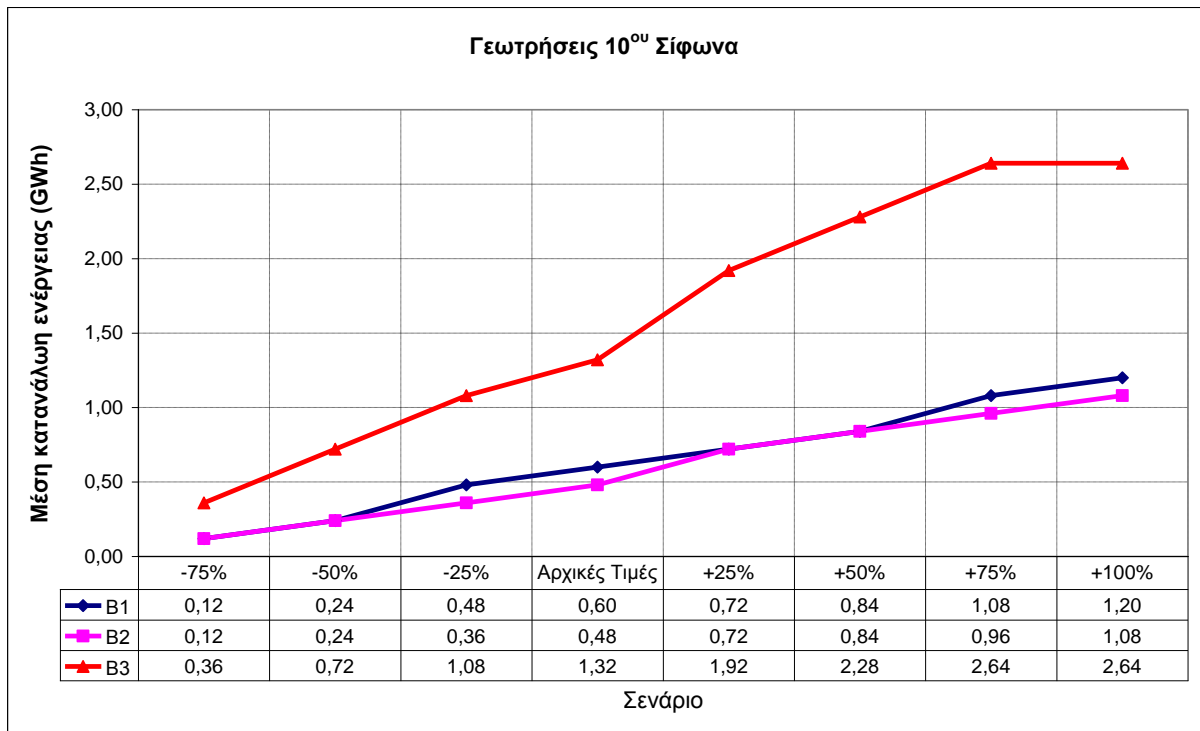
Η αυξημένη αντλητική ικανότητα, η υψηλή πιθανότητα ενεργοποίησης και η σημαντική υψηλή ενεργειακή κατανάλωση, ιδιαίτερα για το σενάριο λειτουργίας B3, σε συνδυασμό με τον κρίσιμο ρόλο των γεωτρήσεων, καθιστούν την ενεργειακή διαχείριση των γεωτρήσεων της Μαυροσουβάλας υψηλής προτεραιότητας.

7.3.3.3 10<sup>ου</sup> Σίφωνα

Διάγραμμα 7.48: Μέση πιθανότητα ενεργοποίησης για τις γεωτρήσεις 10ου Σίφωνα



Διάγραμμα 7.49: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε GWh) για τις γεωτρήσεις 10ου Σίφωνα



### *Ανάλυση αποτελεσμάτων*

Για την πιθανότητα ενεργοποίησης των γεωτρήσεων του 10<sup>ου</sup> Σίφωνα ισχύουν ακριβώς τα ίδια με τις γεωτρήσεις της Μαυροσουβάλας. Ωστόσο στις γεωτρήσεις του 10<sup>ου</sup> Σίφωνα παρουσιάζεται η μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση για τις γεωτρήσεις της Β.Α. Πάρνηθας. Για τις αρχικές τιμές της ειδικής ενέργειας οι καταναλώσεις στα σενάρια Β1, Β2 και Β3 είναι αντίστοιχα 0.60, 0.48 και 1.32 GWh (Διάγραμμα 7.49). Δηλαδή στο σενάριο Β3 η κατανάλωση ενέργειας προκύπτει αυξημένη κατά 120% και 175% σε σχέση με τα σενάρια Β1 και Β2, ενώ η αντίστοιχη αύξηση στην πιθανότητα ενεργοποίησης είναι 142.59% και 151.92% (Διάγραμμα 7.48).

Όπως και στις περιπτώσεις των γεωτρήσεων της Μαυροσουβάλας και Νο 3, στο σενάριο Β3 η επίδραση των μεταβολών της ειδικής ενέργειας στην ενεργειακή κατανάλωση είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα σενάρια Β1 και Β2. Για το λόγο αυτό με τη συνεχή μείωση της ειδικής ενέργειας η διαφορά στην κατανάλωση ενέργειας μεταξύ των σεναρίων Β1 (ή Β2) και Β3 περιορίζεται, ενώ το αντίθετο συμβαίνει με την αύξηση της ειδικής ενέργειας.

## 8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 8.1 Εισαγωγή

**T**α υδροδοτικά συστήματα σε παγκόσμιο επίπεδο παρουσιάζουν σημαντικές ενεργειακές καταναλώσεις, με αποτέλεσμα να έρθει στην πρώτη γραμμή το ζήτημα της ενεργειακής εξοικονόμησης. Το καθεστώς αβεβαιότητας στην ενεργειακή αγορά, η συζήτηση για τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής και η νέα φιλοσοφία στη διαχείριση των συστημάτων οδήγησαν σταδιακά στην ενσωμάτωση της ενεργειακής συνιστώσας με υψηλό επίπεδο προτεραιότητας στη βελτιστοποίηση της διαχείρισης.

Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας με την υφιστάμενη λειτουργία του, χαρακτηρίζεται από υψηλή ενεργειακή κατανάλωση για την κάλυψη του στόχου της ζήτησης και αποτελεί ιδανικό πεδίο εφαρμογής μεθόδων ενεργειακής εξοικονόμησης. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της ενεργειακής συνιστώσας της διαχείρισης του συστήματος με κύριο σκοπό την ανάλυση –ποιοτική και ποσοτική– της ενεργειακής του συμπεριφοράς υπό καθεστώς μεταβολής της αποδοτικότητάς του. Για την ανάλυση αυτή χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Υδρονομέας, που περιλαμβάνει ένα σύγχρονο μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης της διαχείρισης των υδροσυστημάτων, χρησιμοποιεί οικονομικά και ενεργειακά κριτήρια ανάλυσης και αποτελεί τον πυρήνα του συστήματος υποστήριξης αποφάσεων της ΕΥΔΑΠ.

### 8.2 Συμπεράσματα

#### 8.2.1 Αντλιοστάσια

##### 8.2.1.1 Σενάρια μείωσης της ειδικής ενέργειας

Η μεγαλύτερη ευαισθησία για την πιθανότητα ενεργοποίησης προκύπτει στα αντλιοστάσια Βίλιζα-Νο10, Κρεμμάδα-Κλειδί, Κιούρκα-Μενίδι και Νο4-Φρέαρ Α (αντ) που αποτελούν και συγχρόνως και σημαντικούς ενεργειακούς καταναλωτές του συστήματος. Επομένως σενάρια μείωσης της ειδικής ενέργειας μπορούν να επηρεάσουν άμεσα τη συνολική κατανάλωση του συστήματος και αποτελούν ιδανικά στοιχεία για την εφαρμογή μέτρων ενεργειακής εξοικονόμησης.

Στο αντλιοστάσιο Βίλιζα-Νο10 για χαμηλές τιμές της ειδικής ενέργειας, η πιθανότητα ενεργοποίησης του περιορίζεται σημαντικά, δηλαδή η χρησιμοποίηση του αντλιοστασίου

προκύπτει ασύμφορη οικονομικά συγκρινόμενη με άλλα αντλιοστάσια του υδραγωγείου Υλίκης αλλά και με το αντλιοστάσιο Κρεμμάδα-Κλειδί που επίσης χρησιμοποιείται για άντληση προς το υδραγωγείο Μόρνου. Συγκεκριμένα στο αντλιοστάσιο Κρεμμάδα-Κλειδί για μείωση της ειδικής ενέργειας προκύπτει αύξηση της πιθανότητας ενεργοποίησης, η οποία συνδέεται άμεσα με την αντίστοιχη μείωση της πιθανότητας στο (ανταγωνιστικό) αντλιοστάσιο Βίλιζα-Νο10.

Στο αντλιοστάσιο Κιούρκα-Μενίδι η μέση πιθανότητα ενεργοποίησης επηρεάζεται κυρίως στο σενάριο Β3, ενώ ιδιαίτερη περίπτωση αποτελεί το αντλιοστάσιο Νο4-Φρέαρ Α (αντ) του υδραγωγείου της Υλίκης, όπου η πιθανότητα ενεργοποίησης είτε αυξάνεται είτε μειώνεται ανάλογα με το αν είναι οικονομική η λειτουργία του σε σχέση με εναλλακτικά αντλιοστάσια του υδραγωγείου. Τέλος μείωση της πιθανότητας ενεργοποίησης προκύπτει στο σενάριο Β3 για το αντλιοστάσιο Φ900(αντ), ωστόσο αυτό λειτουργεί με πολύ χαμηλές τιμές πιθανότητας ενεργοποίησης (< 7.5%).

### **8.2.1.2 Σενάρια αύξησης της ειδικής ενέργειας**

Για αύξηση της ειδικής ενέργειας κατά 25% προκύπτει μία αρχική μείωση της πιθανότητας ενεργοποίησης, ενώ στη συνέχεια για μεγαλύτερες αυξήσεις της ειδικής ενέργειας η τιμή της πιθανότητας σταθεροποιείται (με μικρές αυξομειώσεις) περαιτέρω με αποτέλεσμα να προκύπτει ένα (ελάχιστο) όριο για την πιθανότητα.

Το όριο αυτό, το οποίο παρατηρείται στο σύνολο σχεδόν των αντλιοστασίων, ουσιαστικά περιγράφει τη λειτουργία τους σε συνθήκες χαμηλής αποδοτικότητας του συστήματος. Δηλαδή παρά την αύξηση της ειδικής ενέργειας, η λειτουργία των αντλιοστασίων είναι απαραίτητη για την ικανοποίηση του στόχου της ζήτησης, με την αρχική μείωση της πιθανότητας να λειτουργεί ως αντιστάθμισμα στην αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Στην περίπτωση αυτή είναι πολύ σημαντικό να διασφαλίσουμε ότι δε θα αυξηθεί η ειδική ενέργεια, γιατί σε αντίθετη περίπτωση θα έχουμε συνεχή αύξηση της κατανάλωσης χωρίς να πετυχαίνουμε την αποδοτικότερη λειτουργία του συστήματος.

Η μεγαλύτερη επίδραση προκύπτει στο αντλιοστάσιο Νο4- Φρέαρ Α (αντ) που ανήκει στο υδραγωγείο της Υλίκης και καταναλώνει σημαντικά ποσά ενέργειας για τη λειτουργία του. Στα σενάρια Β1 και Β2 όπου η χρήση του αντλιοστασίου είναι απαραίτητη, τα ποσοστά μείωσης της πιθανότητας είναι μικρότερα σε σχέση με το σενάριο Β3. Επίσης σημαντικά ποσοστά μείωσης της πιθανότητας προκύπτουν στο αντλιοστάσιο Κιούρκα-Μενίδι για το σενάριο Β3, όπου λόγω της λειτουργίας του ενωτικού υδραγωγείου ευνοείται η μη

χρησιμοποίησή του. Στα αντλιοστάσια Κρεμμάδας-Κλειδιού και Ενωτικού υδραγωγείου (αναστρ), στο σενάριο B3 η πιθανότητα μειώνεται εξίσου (13%-16%), στοιχείο που σχετίζεται με την αλληλεξάρτηση της λειτουργίας τους. Στα αντλιοστάσια Φ900, Φ900 (αντ) και Χελιδονού-Μενίδι (αντ) προκύπτουν υψηλά ποσοστά μείωσης της πιθανότητας, τα οποία ωστόσο αντιστοιχούν σε πολύ μικρές αρχικές τιμές της πιθανότητας ενεργοποίησης.

Τα μόνα αντλιοστάσια στα οποία προκύπτει διαφοροποίηση είναι αυτά της Υλίκης (Χωρίς Πλωτά) και του Διστόμου (ΑΔ1-ΑΔ2-ΑΔ3), όπου παρουσιάζονται μικρές αυξήσεις της πιθανότητας ενεργοποίησης.

Τέλος ιδιαίτερη μέριμνα απαιτείται για το αντλιοστάσιο Κιούρκα-Διυλιστήρια που λειτουργεί με πιθανότητα ενεργοποίησης 100% σε όλα τα σενάρια και του οποίου ο κρίσιμος ρόλος απαιτεί την εξασφάλιση συνεχούς και αποδοτικής λειτουργίας (συντήρηση και προληπτικοί έλεγχοι).

### **8.2.2 Γεωτρήσεις**

Η ενεργοποίηση μιας γεώτρησης εξαρτάται από την προκαθορισμένη πολιτική λειτουργίας των γεωτρήσεων, δηλαδή από το τρέχον επιφανειακό απόθεμα του συστήματος και δεν μπορεί να συνδεθεί άμεσα με την ειδική ενέργεια. Για το λόγο αυτό προκύπτει ότι οποιαδήποτε μελλοντική επέμβαση στην αποδοτικότητα του συστήματος θα έχει επίδραση μόνο στη μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης των γεωτρήσεων και όχι στο βαθμό λειτουργίας τους.

Σε γενικές γραμμές η πιθανότητα ενεργοποίησης σε όλα τα σενάρια παρουσιάζει μικρό εύρος τιμών (+/- 2% από την αρχική τιμή) με μικρή αύξηση της πιθανότητας ενεργοποίησης σε περίπτωση μεταβολής της ειδικής ενέργειας, ενώ στο σενάριο B3 τα ποσοστά μεταβολής της πιθανότητας προκύπτουν μεγαλύτερα σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2.

Μοναδική εξαίρεση αποτελούν οι γεωτρήσεις Ούγγρων-Ν.Δ. Υλίκης και Νο3, όπου στο σενάριο B1 και για την περίπτωση μείωσης της ειδικής ενέργειας σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50%, η πιθανότητα ενεργοποίησης διπλασιάζεται αλλά η ενεργειακή κατανάλωση εξακολουθεί να μειώνεται. Οι δύο αυτές ακραίες περιπτώσεις πιθανότατα οφείλονται στο γεγονός ότι για τα συγκεκριμένα επίπεδα μείωσης της ειδικής ενέργειας η χρήση αυτών των γεωτρήσεων προκύπτει οικονομικότερη από τη χρήση εναλλακτικών αντλιοστασίων.



### 8.2.3 Ενεργειακή κατανάλωση

Η ενεργειακή κατανάλωση μεταβάλλεται ανάλογα με τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας, ενώ δεν επηρεάζεται από τις μεταβολές στην πιθανότητα ενεργοποίησης. Π.χ. αν για μείωση της ειδικής ενέργειας προκύπτει αύξηση της πιθανότητας ενεργοποίησης η ενεργειακή κατανάλωση συνεχίζει να μειώνεται. Εξαιρέση αποτελεί το αντλιοστάσιο Κρεμμάδα-Κλειδί όπου οι μεταβολές στην πιθανότητα ενεργοποίησης επηρεάζουν τη μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης.

Στο σενάριο B3 οι μεταβολές της ειδικής ενέργειας επηρεάζουν σημαντικά την ενεργειακή κατανάλωση των γεωτρήσεων, ενώ και ο ρυθμός μεταβολής της κατανάλωσης είναι μεγαλύτερος σε σχέση με τα σενάρια B1 και B2 στοιχείο που υποδεικνύεται και από την έντονη κλίση της ευθείας που αντιστοιχεί στην κατανάλωση του σεναρίου B3. Για το λόγο αυτό για μεγάλες μειώσεις της ειδικής ενέργειας η διαφορά στην κατανάλωση μεταξύ των σεναρίων B3 και B1 (ή B2) ελαχιστοποιείται. Δηλαδή σε συνθήκες υψηλής αποδοτικότητας του συστήματος και ενώ η πιθανότητα ενεργοποίησης είναι υπερδιπλάσια, η διαφορά στην ενεργειακή κατανάλωση μεταξύ των σεναρίων τείνει να μηδενιστεί. Εξαιρέση αποτελούν οι γεωτρήσεις Βασιλικών-Παρορίου στις οποίες ο ρυθμός μεταβολής της ενεργειακής κατανάλωσης δε διαφέρει σημαντικά μεταξύ των σεναρίων.

### 8.2.4 Σενάρια λειτουργίας υδροσυστήματος

Η μείωση των διαρροών σε συγκεκριμένους κλάδους του δικτύου, όπως προβλέπει το σενάριο B2, θα συμβάλει στην εξοικονόμηση μικρών ποσοτήτων ενέργειας. Αντίθετα η υλοποίηση των έργων που προβλέπονται στο σενάριο B3 και πρωτίστως η αποκατάσταση της αμφίδρομης λειτουργίας του ενωτικού υδραγωγείου, αποτελεί αναμφισβήτητα τη σημαντικότερη ενεργειακή επέμβαση, γιατί θα συμβάλουν στον περιορισμό σε πολύ μεγάλο βαθμό των αντλήσεων κατά μήκος του υδραγωγείου Υλίκης.

Για τα κυριότερα αντλιοστάσια της Υλίκης (No3-Φρέαρ Α, No4-Φρέαρ Α, Φ900) που εμφανίζουν υψηλές ενεργειακές καταναλώσεις στα σενάρια B1 και B2, στο σενάριο B3 περιορίζεται σε σημαντικό βαθμό η λειτουργία τους με αποτέλεσμα να εξοικονομούνται –για τις αρχικές συνθήκες- σε ετήσια βάση ~35 GWh από τη μείωση των αντλήσεων στο υδραγωγείο Υλίκης<sup>26</sup>.

<sup>26</sup>Τα νούμερα αφορούν τα εξής αντλιοστάσια του υδραγωγείου Υλίκης: Βίλιζα-No10, No3-Φρέαρ Α (αντ), No4-Φρέαρ Α (αντ), Σίφων Βίλιζας (αντ), Φ900 και Φ900 (αντ).

Συγχρόνως στο σενάριο B3 προκύπτει μια διαφορετική ενεργειακή διαχείριση του συστήματος, της οποίας βασική παράμετρος αποτελεί η αξιοποίηση των υπόγειων υδάτων μέσω των γεωτρήσεων και αντικατοπτρίζεται στην αυξημένη πιθανότητα ενεργοποίησης τους. Η αύξηση της κατανάλωσης στις παραπάνω συνιστώσες αλλά και στα αντλιοστάσια Κρεμμάδα-Κλειδί και Ενωτικού υδραγωγείου (αναστρ.), οδηγεί τελικά σε αύξηση της συνολικής μέσης κατανάλωσης του συστήματος στο σενάριο B3, η οποία ωστόσο συνδυάζεται με σημαντικά οφέλη στην αξιόπιστη (ποσοτικά) λειτουργία του συστήματος.

Ο καθοριστικός ρόλος που διαδραματίζει το ενωτικό υδραγωγείο στη βελτίωση της λειτουργίας του συστήματος αντικατοπτρίζεται στην αύξηση των απολήψεων από το υδραγωγείο Μόρνου και τη σημαντική μείωση των απωλειών λόγω υπερχειλίσης και διαφυγών από τους ταμιευτήρες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μείωση της πιθανότητας ενεργοποίησης του αντλιοστασίου Χελιδονού-Μενίδι που λειτουργεί είτε σε περίπτωση έκτακτου περιστατικού είτε για την ενίσχυση του υδραγωγείου του Μόρνου. Η εισροή των πρόσθετων αυτών ποσοτήτων στο σύστημα θα βοηθήσει στην κάλυψη του στόχου της ζήτησης στα επιθυμητά επίπεδα αξιοπιστίας (99%).

### **8.3 Προτάσεις**

Τα αποτελέσματα της εργασίας, αν αποτιμηθούν σε οικονομικά μεγέθη, μπορούν μελλοντικά να ενσωματωθούν στις διαχειριστικές μελέτες ενισχύοντας ακόμα περισσότερο την ανάλυση της ενεργειακής και οικονομικής πτυχής της διαχείρισης του υδροσυστήματος. Επίσης σε πιθανή επέκταση της ανάλυσης, θα μπορούσαμε να αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα ως προς την αξιοπιστία με την οποία ικανοποιούνται οι στόχοι του υδροσυστήματος και κυρίως ο πρωταρχικός στόχος της ζήτησης (προσδιορισμός ασφαλούς υδατικού δυναμικού).

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης μπορούν να αξιοποιηθούν για την συγκριτική αξιολόγηση εναλλακτικών επεμβάσεων στα πλαίσια χάραξης νέας ενεργειακής πολιτικής από την ΕΥΔΑΠ, η οποία θα στοχεύει στην εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της αύξησης της αποδοτικότητας του συστήματος. Ειδικότερα θα ήταν χρήσιμα σε μια ανάλυση κόστους οφέλους (*cost benefit analysis*), όπου θα πραγματοποιείται σύγκριση εναλλακτικών σεναρίων επέμβασης, συγκρίνοντας το κόστος του κάθε σεναρίου και τα ενεργειακά οφέλη, τα οποία θα είναι εκφρασμένα σε χρηματικές (οικονομικές) μονάδες. Επίσης τα αποτελέσματα μπορούν να αξιοποιηθούν για την πρόβλεψη της ενεργειακής συμπεριφοράς του συστήματος σε περίπτωση μελλοντικής υποβάθμισής του.

Επιπλέον εφόσον αποκτήσουμε πληρέστερη γνώση των οικονομικών στοιχείων λειτουργίας κάθε ενεργειακής συνιστώσας (κόστος συντήρησης και ενεργοποίησης, επικαιροποίηση δεδομένων άντλησης και κατανάλωσης για ακριβέστερο υπολογισμό της ειδικής ενέργειας κτλ.) θα μπορούσαμε να αποτιμήσουμε άμεσα σε οικονομικά μεγέθη είτε την εξοικονόμηση ενέργειας είτε την αύξηση της κατανάλωσης που προκύπτει από τις μεταβολές της ειδικής ενέργειας.

## 9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ευστρατιάδης, Α., *Προσομοίωση και βελτιστοποίηση διαχείρισης υδροδοτικού συστήματος Αθήνας*, 26 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Νοέμβριος 2009 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/885/> )

Ευστρατιάδης, Α., και Δ. Κουτσογιάννης, *Σημειώσεις Βελτιστοποίησης Συστημάτων Υδατικών Πόρων - Μέρος 2*, 140 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2004 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/201/> )

Ευστρατιάδης, Α., Δ. Κουτσογιάννης, και Ν. Μαμάσης, Βελτιστοποίηση της λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, *Δεύτερο Διεθνές Συνέδριο "Περιβάλλον - Βιώσιμη Διαχείριση Υδατικών Πόρων"*, Αθήνα, Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδας, European Council of Civil Engineers, 2007<sup>α</sup> (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/818/> )

Ευστρατιάδης, Α., Γ. Καραβοκυρός, και Δ. Κουτσογιάννης, Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης της διαχείρισης υδατικών συστημάτων «ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ», *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)*, Ανάδοχος: ΝΑΜΑ Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές Α.Ε., Τεύχος 9, 91 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιανουάριος 2007β (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/756/> )

Ευστρατιάδης, Α., Γ. Καραβοκυρός, και Ν. Μαμάσης, Σχέδιο διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας - Έτος 2009, *Συντήρηση, αναβάθμιση και επέκταση του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων για την διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της ΕΥΔΑΠ*, Τεύχος 1, 116 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Απρίλιος 2009.

Ευστρατιάδης, Α., Δ. Κουτσογιάννης, και Σ. Κοζάνης, Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών μεταβλητών «Κασταλία», *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)*, Ανάδοχος: NAMA Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές Α.Ε., Τεύχος 3, 61 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2005 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/742/> ).

Καραβοκυρός, Γ., Α. Ευστρατιάδης και Ι. Βαζίμας, *Υδρονομέας Έκδοση 4.0 - Οδηγίες Χρήσης*, Αθήνα, Ιανουάριος 2007.

Καραβοκυρός, Γ., Α. Ευστρατιάδης, και Δ. Κουτσογιάννης, Υδρονομέας (έκδοση 3.2) - Σύστημα υποστήριξης της διαχείρισης των υδατικών πόρων, *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, Τεύχος 24, 142 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιανουάριος 2004.(Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/620/>)

Κουτσογιάννης, Δ., Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, *Διαμόρφωση θεσμικού πλαισίου ποιότητας πόσιμου νερού της πρωτεύουσας*, 11 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/801/> ).

Κουτσογιάννης, Δ., *Σημειώσεις Βελτιστοποίησης Συστημάτων Υδατικών Πόρων - Μέρος 1*, Έκδοση 2, 91 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2000. (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/200/> )

Κουτσογιάννης, Δ., και Α. Ευστρατιάδης, Εμπειρία από την ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων για τη διαχείριση μεγάλης κλίμακας υδροσυστημάτων της Ελλάδας, *Πρακτικά της Ημερίδας " Μελέτες και Έρευνες Υδατικών Πόρων στον Κυπριακό Χώρο"*, επιμέλεια Ε. Σιδηρόπουλος και Ι. Ιακωβίδης, Λευκωσία, 159–180, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2003. (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/597/> )

Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/115/>)

Κυριαζοπούλου, Ι., Θεωρητική τεκμηρίωση του μοντέλου οικονομικής ανάλυσης σεναρίων διαχείρισης υδροσυστημάτων «Ερμής», *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)*, Ανάδοχος: ΝΑΜΑ Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές Α.Ε., Τεύχος 6, 35 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Δεκέμβριος 2006 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/766/>)

Νασίκας Α., *Διαχείριση Εξωτερικού Υδροδοτικού Συστήματος της Αθήνας*, Λάρινακα, Μάρτιος 2003

ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΔΑΠ, *Σύμβαση μεταξύ του Ελληνικού Δημοσίου και της ΕΥΔΑΠ*, Αθήνα, 1999

Baran, B., von Lucken, C., and Sotelo, A., Multi-objective pump scheduling optimisation using evolutionary strategies, *Advances in Engineering Software*, 36 (1), p 39-47, January 2005 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://220.231.93.23:8000/collect/EN-advances/index/assoc/HASH05e6.dir/doc.pdf>)

Bunn, S.M., Operating pumps to maximize efficiency, *Water-Journal of the Australian Water Association*, 36 (4), p 44-51, June, 2009 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.derceto.com/cms/lib/330.pdf>)

Bunn, S.M., and L. Reynolds, The energy efficiency benefits of pump-scheduling optimization for potable water supplies, *IBM Journal of Research and Development*, 53 (3), Paper No. 5, April 2009 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.derceto.com/cms/lib/334.pdf>)

Chow, V.T., Maidment, D.R., and L.W. Mays, *Applied hydrology*, McGraw-Hill, New York, 1998

DENA-German Energy Agency, *Successful Record for Pump Systems: Energy Efficiency Pays Off*, Germany, 2007

Denig-Chakroff D., *Reducing electricity Use for Water Production: Questions State Commission Should Ask Regulated Utilities*, National Regulatory Research Institute, June 2008,(Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση:

[http://nrri.org/pubs/water/reducing\\_electricity\\_used\\_for\\_water\\_08-06.pdf](http://nrri.org/pubs/water/reducing_electricity_used_for_water_08-06.pdf) )

Efstratiadis, A., D. Koutsoyiannis, and D. Xenos, Minimising water cost in the water resource management of Athens, *Urban Water Journal*, 1 (1), 3–15, 2004 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.informaworld.com/smpp/content~content=a714021086~db=all> )

Electrical Power Research Institute, *Water & Sustainability (Volume 4): U.S. Electricity Consumption for Water Supply & Treatment- The Next Half Century*, Technical Report, EPRI, Palo Alto, CA: 2000.1006787, March 2002 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.rivernetwork.org/resource-library/water-sustainability-volume-4-us-electricity-consumption-water-supply-and-treatment>)

Energy Information Administration, *Energy Consumption Series-Measuring Energy Efficiency in The United States Economy: A Beginning*, USA, October 1995 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://tonto.eia.doe.gov/ftproot/consumption/0555952.pdf> )

Elliott, T., Zeier, B., Xagoraki, I., and G.W. Harrington, *Energy Use at Wisconsin's Drinking Water Facilities*, Energy Center of Wisconsin Report 222-1, July 2003 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.ecw.org/prod/222-1.pdf> )

Energy Management Agency of Gaia (ENERGAIA), *A new approach to Energy Management in Industry: The case for multi-municipal water supply systems*, Portugal, 2004 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.managenergy.net/products/R681.htm> )

Energy Efficiency Watch, Promoting Energy Efficiency in Europe: Insights, Experiences and Lessons learnt from the National Energy Efficiency Action Plans, January 2009 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση:

[http://www.energy-efficiency-watch.org/fileadmin/eew\\_documents/Documents/Results/EEW\\_Brochure\\_2009\\_-\\_Promoting\\_Energy\\_Efficiency\\_in\\_Europe.pdf](http://www.energy-efficiency-watch.org/fileadmin/eew_documents/Documents/Results/EEW_Brochure_2009_-_Promoting_Energy_Efficiency_in_Europe.pdf))

European Commission, *Study on improving the energy efficiency of pumps*, AEAT-6559/ v 5.1, February 2001 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση:

[http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/motorchallenge/pdf/SAVE\\_PUMPS\\_Final\\_Report\\_June\\_2003.pdf](http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/motorchallenge/pdf/SAVE_PUMPS_Final_Report_June_2003.pdf))

Griffiths-Sattenspiel, B., and W. Wilson, *The Carbon Footprint of Water*, A Rivet Network Report, May 2009 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση:

<http://www.rivernetwork.org/blog/7/2009/05/13/carbon-footprint-water> )

Harrington, C., Murray, C., and L. Baldwin, Energy Efficiency Policy Toolkit, *The Regulatory Assistance Project*, January 2007 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση:

[http://www.raponline.org/Pubs/Efficiency\\_Policy\\_Toolkit\\_1\\_04\\_07.pdf](http://www.raponline.org/Pubs/Efficiency_Policy_Toolkit_1_04_07.pdf) )

Barry, J.A., *WATERGY: Energy and Water Efficiency in Municipal Water Supply and Wastewater Treatment: Cost-Effective Savings of Water and Energy*, The Alliance to Save Energy, February 2007, (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση:

<http://www.watergy.net/resources/publications/watergy.pdf> )

Kenway, S.J., Priestley, A., Cook, S., Seo, S., Inman, M., Gregory, A. and M. Hall, *Energy use in the provision and consumption of urban water in Australia and New Zealand*, CSIRO Water For a Healthy Country National Research Flagship, 2008 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.clw.csiro.au/publications/waterforahealthycountry/2008/wfhc-urban-water-energy.pdf> )

Keulenar, H.D., Belmans, R., Blaustein, E., Chapman D., Almeida, A., Wachter, B., and P. Ragden, *Energy Efficient Motor Driven Systems*, April 2004

Koutsyiannis, D., G. Karavokiros, A. Efstratiadis, N. Mamassis, A. Koukouvinos, and A. Christofides, A decision support system for the management of the water resource system of



Athens, *Physics and Chemistry of the Earth*, 28 (14-15), 599–609, 2003 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/579/> )

Lansley K.E., and K. Awumah, Optimal pump operations considering pump switches, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 120 (1), p 17-35, January/February 1994, (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=JWRMD50001200000101000017000001&idtype=cvips&gifs=yes> )

Nalbantis, I., and D. Koutsoyiannis, A parametric rule for planning and management of multiple reservoir systems, *Water Resources Research*, 33 (9), 2165–2177, 1997. (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/41/>)

Natural Resources Defense Council, *Water efficiency saves energy: Reducing global warming through water use strategies*, March 2009 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.nrdc.org/water/energywater.asp>)

Retamal M., Turner, A., and S. White, *The Water-Energy-Climate Nexus- Systems Thinking and Virtuous Circles*, Institute for Sustainable Futures, 2009 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://clientross.com/crwuwg/Adaptation%20and%20Mitigation%20Strategies/The%20Water%20Energy%20Climate%20Nexus%20Systems%20Thinking/retamal2009climatechange.pdf>)

Reynolds L.K., and S. Bunn, Improving energy efficiency of pumping systems through real-time scheduling systems, *Computing and Control in Water Systems in the Water Industry 'Integrated Water Systems'*, University of Sheffield, September, 2009 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: [www.derceto.com/cms/lib/340.pdf](http://www.derceto.com/cms/lib/340.pdf) )

State of California, *Final 2003 Energy Action Plan I*, 2003, (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: [http://www.energy.ca.gov/energy\\_action\\_plan/2003-05-08\\_ACTION\\_PLAN.PDF](http://www.energy.ca.gov/energy_action_plan/2003-05-08_ACTION_PLAN.PDF) )

Stillwell, A.S., King, C.W., Webber, M.E., Duncan, I.J., and A. Hardberger, *Energy-Water Nexus in Texas*, The University of Texas at Austin, Environmental Defense Fund, 56 pages, April 2009

Swisher, J.N., Jannuzzi, G.M., and R.Y. Redlinger, *Tools and Methods for Integrated Resource Planning, Improving Energy Efficiency and Protecting the Environment*, UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment, Riso National Laboratory, Denmark, November 1997

U.S. Department of Energy's (DOE), Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE), *United States Industrial Electric Motor Systems Market Assessment*, December 2002 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση:

<http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/mtrmkt.pdf>)

U.S. Environmental Protection Agency, *Ensuring a Sustainable Future: An energy management Guidebook for Wastewater and Water Utilities*, January 2008, (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση:

[http://www.epa.gov/waterinfrastructure/pdfs/guidebook\\_si\\_energymanagement.pdf](http://www.epa.gov/waterinfrastructure/pdfs/guidebook_si_energymanagement.pdf) )

Wilkinson R., *Methodology for Analysis of the Energy Intensity of California's Water Systems and An Assessment of Multiple Potential Through Integrated Water-Energy Efficiency Measures*, January 2000, (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση:

[http://www.es.ucsb.edu/faculty/wilkinson.pdfs/Wilkinson\\_EWRPT01%20DOC.pdf](http://www.es.ucsb.edu/faculty/wilkinson.pdfs/Wilkinson_EWRPT01%20DOC.pdf) )

Winston, W. L., *Operations Research, Applications and Algorithms*, 3<sup>rd</sup> ed., Duxbury, Belmont, 1994.

World Economic Forum, *Thirsty Energy: Water and Energy in the 21<sup>st</sup> Century*, 53 pages, 2008 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση:

[www2.cera.com/docs/WEF\\_Fall2008\\_CERA.pdf](http://www2.cera.com/docs/WEF_Fall2008_CERA.pdf) )

Wolf, G., Cohen, R., and B. Nelson, *Energy down the drain: The hidden costs of California's water*, National Resources Defense Council and Pacific Institute, August 2004, (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.nrdc.org/water/conservation/edrain/contents.asp> )

Xenos, D., I. Passios, S. Georgiades, E. Parlis, and D. Koutsoyiannis, Water demand management and the Athens water supply, *Proceedings of the 7th BNAWQ Scientific and Practical Conference "Water Quality Technologies and Management in Bulgaria"*, Sofia, 44–50, Bulgarian National Association on Water Quality, 2002 (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/501/> )