

**ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ  
ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΑΣ**

**WATER SUPPLY AND SEWAGE COMPANY OF  
ATHENS**

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ, ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ  
& ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ**

**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS  
DEPARTMENT OF WATER RESOURCES, HYDRAULIC  
& MARITIME ENGINEERING**

**ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΓΟ  
ΕΚΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΟΠΤΕΙΑΣ ΚΑΙ  
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΩΝ  
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΗΣ  
ΑΘΗΝΑΣ**

**RESEARCH PROJECT  
UPDATING OF THE SUPERVISION AND  
MANAGEMENT OF THE WATER  
RESOURCE SYSTEM OF ATHENS**

**ΤΕΥΧΟΣ 11  
ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ (Έκδοση 2.0):  
ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΗΣ  
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ  
ΠΟΡΩΝ**

**VOLUME 11  
HYDRONOMEAS (Version 2.0): A  
SYSTEM FOR THE SUPPORT OF  
THE WATER RESOURCES  
MANAGEMENT**

**ΣΥΝΤΑΞΗ: Γ. ΚΑΡΑΒΟΚΥΡΟΣ, Α. ΕΥΣΤΡΑΤΙΑΔΗΣ,  
Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ**

**BY: G. KARAVOKIROS, A. EFSTRATIADIS,  
D. KOUTSOYIANNIS**

**ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ**

**SCIENTIFIC DIRECTOR: D. KOUTSOYIANNIS**

**ΑΘΗΝΑ – ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2000**

**ATHENS – DECEMBER 2000**



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια του ερευνητικού έργου “Έκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας”, αναπτύχθηκε το υπολογιστικό σύστημα *Υδρονομέας (έκδοση 2.0)*, με σκοπό την υποστήριξη των υπευθύνων της ΕΥΔΑΠ στη διαχείριση υδατικών πόρων. Η μεθοδολογία που υλοποιείται (παραμετροποίηση-προσομοίωση-βελτιστοποίηση) βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε πρωτότυπη θεωρητική εργασία. Το μαθηματικό υπόβαθρο που χρησιμοποιείται επιτρέπει την κατανομή της ζήτησης νερού στους υδατικούς πόρους βάσει ενός μικρού αριθμού μεταβλητών απόφασης, πράγμα που κάνει εφικτή την προσομοίωση και βελτιστοποίηση πολύπλοκων υδροσυστημάτων όπως αυτό που εξετάζεται στο παρόν έργο. Κατά την προσομοίωση με συγκεκριμένο κανόνα λειτουργίας, μπορούν να τεθούν με σειρά προτεραιότητας πολλαπλοί ανταγωνιστικοί μεταξύ τους στόχοι και περιορισμοί οι οποίοι αφορούν μεταξύ άλλων και τα αποδεκτά όρια αξιοπιστίας του συστήματος. Πραγματοποιώντας βελτιστοποίηση της διαχείρισης ο χρήστης επιλέγει μεταξύ τριών αντικειμενικών συναρτήσεων: α) την ελαχιστοποίηση της μέσης πιθανότητας αστοχίας, β) την ελαχιστοποίηση του μέσου κόστους λειτουργίας και γ) τη μεγιστοποίηση της εγγυημένης απόδοσης του συστήματος για δεδομένο αποδεκτό επίπεδο αστοχίας. Το μοντέλο χρησιμοποιεί ιστορικές ή συνθετικές υδρολογικές χρονοσειρές, ενώ στα αποτελέσματα που δίνονται με πιθανοτικούς όρους περιλαμβάνονται η πιθανότητα αστοχίας του εκάστοτε στόχου, το αναλυτικό υδατικό ισοζύγιο των ταμιευτήρων, το ισοζύγιο ροών των υδραγωγείων και οικονομικά στοιχεία.

## ABSTRACT

Within the framework of the project entitled “Updating of the supervision and management of the Athens' water supply resources system”, a software system named *Hydronomeas (version 2.0)* has been developed to support the water resources management policy of EYDAP. The methodology implemented (parametrization-simulation-optimization) is based mainly on an original theoretical work. The mathematical framework used allows the allocation of the water demand to the different system components, keeping the number of control variables small. This enables the simulation and optimisation of complex hydrosystems such as the one in this project. For the simulation process with a given operating rule, multiple, competitive targets and constraints with specified priorities can be set, which are concerned among others, with the acceptable limits for the system reliability. In performing optimisation, users can select between three objective functions: a) the minimisation of the average failure, b) the minimisation of the overall average operational cost and c) the maximisation of the overall guaranteed yield of the system for an acceptable failure level. The model uses as input historic hydrological time series or synthetic time series. The results are given in probabilistic terms and include the probability of failure for each target, the analytical water balance for reservoirs and the flow balance for aqueducts.



## Περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>1</b>
1.1	Περιγραφή του ερευνητικού αντικειμένου .....	1
1.2	Στόχοι ανάπτυξης του Υδρονομέα 2.0.....	1
1.3	Λειτουργίες του υπολογιστικού συστήματος.....	2
1.4	Οριοθέτηση και περιγραφή του περιεχομένου του τεύχους.....	4
<b>2</b>	<b>ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ</b> .....	<b>5</b>
2.1	Μεθοδολογία διαχείρισης.....	5
2.1.1	Γενικό μαθηματικό μοντέλο βελτιστοποίησης συστημάτων ταμιευτήρων .....	5
2.1.2	Τυπικές (μη παραμετρικές) τεχνικές αντιμετώπισης του προβλήματος .....	5
2.1.3	Το μεθοδολογικό σχήμα παραμετροποίηση – προσομοίωση – βελτιστοποίηση.....	6
2.2	Συνιστώσες του υδροσυστήματος .....	7
2.2.1	Απλοί κόμβοι .....	8
2.2.2	Ταμιευτήρες.....	8
2.2.3	Γεωτρήσεις.....	9
2.2.4	Υδραγωγεία .....	9
2.2.5	Στόχοι.....	10
2.3	Παραμετροποίηση του υδροσυστήματος.....	11
2.3.1	Κανόνες λειτουργίας ταμιευτήρων .....	11
2.3.2	Κανόνες λειτουργίας γεωτρήσεων.....	14
2.4	Μοντέλο προσομοίωσης .....	14
2.4.1	Μαθηματική διατύπωση του προβλήματος μεταφόρτωσης .....	15
2.4.2	Μετασχηματισμός του υδροσυστήματος σε διγράφο .....	16
2.4.3	Ορισμός τιμών κόστους στα τόξα.....	19
2.4.4	Αλγόριθμος προσομοίωσης .....	21
2.4.5	Μέτρο επίδοσης της διαχείρισης του υδροσυστήματος.....	23
2.5	Διαδικασίες βελτιστοποίησης .....	26
2.5.1	Περιγραφή του αλγορίθμου .....	26
2.5.2	Τύποι αντικειμενικής συνάρτησης.....	27
2.5.3	Τεχνικές βελτιστοποίησης .....	28
<b>3</b>	<b>ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ</b> .....	<b>31</b>
3.1	Διάγραμμα μετάβασης κατάστασης.....	32
3.2	Τα συστατικά του Υπολογιστικού Συστήματος.....	34
3.2.1	Υποσύστημα Διαχείρισης της Βάσης Δεδομένων .....	34

3.2.2	Υποσύστημα Ταυτοποίησης .....	35
3.2.3	Υποσύστημα Λειτουργικής Προσομοίωσης.....	35
3.2.4	Υποσύστημα Βελτιστοποίησης.....	36
3.2.5	Υποσύστημα Δυναμικής Απεικόνισης Προσομοίωσης.....	36
3.2.6	Υποσύστημα Παρουσίασης Αποτελεσμάτων .....	37
<b>3.3</b>	<b>Σχεδιασμός της Βάσης Δεδομένων του Υδρονομέα .....</b>	<b>37</b>
3.3.1	Μοντέλο Οντοτήτων-Συσχετισμών .....	37
3.3.2	Το έργο .....	38
3.3.3	Οι συνιστώσες ενός έργου .....	38
3.3.4	Δομή της Βάσης Δεδομένων.....	41
<b>3.4</b>	<b>Δικαιώματα και ταυτοποίηση χρηστών.....</b>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>ΟΔΗΓΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....</b>	<b>43</b>
<b>4.1</b>	<b>Η Κύρια Φόρμα του Υδρονομέα.....</b>	<b>43</b>
<b>4.2</b>	<b>Ταυτοποίηση .....</b>	<b>45</b>
<b>4.3</b>	<b>Διαχείριση χρηστών.....</b>	<b>46</b>
<b>4.4</b>	<b>Διαχείριση έργων .....</b>	<b>47</b>
4.4.1	Εισαγωγή έργου .....	47
4.4.2	Αποθήκευση αποτελεσμάτων .....	48
<b>4.5</b>	<b>Διαχείριση των συνιστωσών του δικτύου.....</b>	<b>49</b>
4.5.1	Διαχείριση κόμβων και ταμειυτήρων .....	49
4.5.2	Διαχείριση υδραγωγείων .....	51
4.5.3	Διαχείριση γεωτρήσεων.....	53
4.5.4	Διαχείριση Στόχων.....	53
<b>4.6</b>	<b>Εκτέλεση προσομοίωσης.....</b>	<b>56</b>
4.6.1	Επιλογές προσομοίωσης .....	56
4.6.2	Προσομοίωση με συγκεκριμένο κανόνα λειτουργίας.....	56
4.6.3	Παρακολούθηση της διαδικασίας προσομοίωσης/βελτιστοποίησης.....	58
<b>4.7</b>	<b>Εκτέλεση βελτιστοποίησης.....</b>	<b>61</b>
4.7.1	Επιλογές βελτιστοποίησης.....	61
4.7.2	Η διαδικασία της βελτιστοποίησης.....	62
<b>4.8</b>	<b>Επισκόπηση αποτελεσμάτων .....</b>	<b>62</b>
4.8.1	Βέλτιστος κανόνας λειτουργίας.....	62
4.8.2	Αστοχία στόχων και περιορισμών .....	63
4.8.3	Υδατικό ισοζύγιο - ισοζύγια ροών.....	63
<b>5</b>	<b>ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....</b>	<b>65</b>
<b>ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....</b>	<b>67</b>	

<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α</b> .....	<b>68</b>
<b>PROJECT</b> .....	<b>68</b>
<b>SIMULATION</b> .....	<b>69</b>
<b>REPOSITORY</b> .....	<b>70</b>
<b>USER</b> .....	<b>70</b>
<b>NODE</b> .....	<b>71</b>
<b>LEVEL_VOLUME_SURFACE</b> .....	<b>71</b>
<b>LEAKAGE_RESERVOIR</b> .....	<b>72</b>
<b>NODE_PARAMETERS</b> .....	<b>72</b>
<b>PIPE</b> .....	<b>73</b>
<b>PIPE_VAR_DISCHARGE CAPACITY</b> .....	<b>73</b>
<b>BOREHOLES</b> .....	<b>74</b>
<b>BOREHOLE_RATES</b> .....	<b>74</b>
<b>TARGET</b> .....	<b>75</b>
<b>TARGET_CURVES</b> .....	<b>75</b>
<b>TARGET_MONTHLY_DATA</b> .....	<b>76</b>
<b>Πίνακες χρονοσειρών</b> .....	<b>76</b>

## Εικόνες

Εικόνα 2.1:	Διάγραμμα ροής του μεθοδολογικού σχήματος παραμετροποίηση – προσομοίωση – βελτιστοποίηση. ....	7
Εικόνα 2.2:	Γραφική παράσταση των κανόνων λειτουργίας για τρεις υποθετικούς ταμιευτήρες. Με λεπτή γραμμή απεικονίζεται η ωφέλιμη χωρητικότητα κάθε ταμιευτήρα, με παχιά γραμμή η τελική μορφή των κανόνων λειτουργίας, ενώ με διακεκομμένη η αρχική (γραμμική) τους μορφή. ....	14
Εικόνα 2.3:	Υποθετικό μοντέλο δικτυακού γραμμικού προγραμματισμού. Εντός παρενθέσεως αναγράφονται η διερχόμενη παροχή, η χωρητικότητα και το μοναδιαίο κόστος των τόξων. ....	16
Εικόνα 2.4:	Μετασχηματισμός ταμιευτήρα σε κόμβους και τόξα διγράφου. ....	18
Εικόνα 2.5:	Μετασχηματισμός υδραγωγείου με στόχο ελάχιστης παροχής (αριστερά) και γεώτρησης (δεξιά) σε κόμβους και τόξα διγράφου. ....	19
Εικόνα 2.6:	Διάγραμμα ροής αλγόριθμου προσομοίωσης. ....	22
Εικόνα 2.7:	Γραφική απεικόνιση της συνάρτησης ποινής (40) για διάφορες τιμές της παραμέτρου $\lambda$ . ....	24
Εικόνα 2.8:	Γραφική απεικόνιση της εξίσωσης (44) σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα για $F_{\max} = 0.01$ και $P_{\max} = 100$ . Με διακεκομμένη απεικονίζεται η στάθμη της μέγιστης επιτρεπόμενης αστοχίας, η οποία ισοδυναμεί με αποδεκτό επίπεδο αξιοπιστίας 99%. ....	25
Εικόνα 2.9:	Γραφική απεικόνιση των καμπυλών μεγιστοποιημένης εγγυημένης απόδοσης $X_{\max}$ και ελαχιστοποιημένης αστοχίας $F_{\min}$ , συναρτήσει της μέσης ζήτησης $D$ . ....	26
Εικόνα 2.10:	Διάγραμμα ροής αλγόριθμου βελτιστοποίησης. ....	27
Εικόνα 2.11:	Διαμόρφωση αρχικού πλέγματος αναζήτησης στο χώρο των δύο διαστάσεων με ισοδιάσταση $\delta$ και πύκνωση γύρω από την αρχική βέλτιστη λύση. ....	29
Εικόνα 2.12:	Δυνατές κινήσεις του άπλοκου για ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης στον χώρο των τριών διαστάσεων: (a) αρχικό σχήμα (b) ανάκλαση περί την χειρότερη κορυφή (c) επέκταση κατά μήκος της διεύθυνσης ανάκλασης (d) μονοδιάστατη συμπίεση (e) πολλαπλή συμπίεση γύρω από την καλύτερη κορυφή (Πηγή: Press et al. 1992). ....	30
Εικόνα 3.1:	Κύκλος ανάπτυξης λογισμικού. ....	31
Εικόνα 3.2:	Διάγραμμα μετάβασης κατάστασης του υπολογιστικού συστήματος Υδρονομέας. ....	33
Εικόνα 3.3:	Τα βασικά συστατικά του Υδρονομέα και οι αλληλοεπιδράσεις τους. ....	34
Εικόνα 3.4:	Πρώτο διάγραμμα Οντοτήτων-Συσχετισμών του Υδρονομέα - Διασυνδέσεις της οντότητας <i>Έργο</i> . ....	38
Εικόνα 3.5:	Δεύτερο διάγραμμα Οντοτήτων-Συσχετισμών του Υδρονομέα - Διασυνδέσεις των συνιστωσών ενός έργου. ....	40



Εικόνα 4.1:	Κύρια Φόρμα του Υδρονομέα.....	43
Εικόνα 4.2:	Φόρμα Ταυτοποίησης Χρήστη.....	46
Εικόνα 4.3:	Φόρμα Διαχείρισης Χρηστών.....	46
Εικόνα 4.4:	Φόρμα Εισαγωγής Έργου.....	47
Εικόνα 4.5:	Παράδειγμα γραμμής κατάστασης.....	48
Εικόνα 4.6:	Φόρμα Αποθήκευσης Δεδομένων.....	49
Εικόνα 4.7:	Φόρμα Κόμβου.....	49
Εικόνα 4.8:	Φόρμα Ταμιευτήρα.....	49
Εικόνα 4.9:	Η Φόρμα Καμπύλης Στάθμης-Όγκου με βάση το παράδειγμα του ταμιευτήρα του Μόρνου.....	50
Εικόνα 4.10:	Η Φόρμα Καμπύλης Στάθμης-Επιφάνειας με βάση το παράδειγμα του ταμιευτήρα του Μόρνου.....	51
Εικόνα 4.11:	Η Φόρμα Παραμέτρων Υπογείων Διαφυγών με βάση το παράδειγμα της λίμνης Υλίκης.....	51
Εικόνα 4.12:	Η Φόρμα Υδραγωγείου.....	52
Εικόνα 4.13:	Φόρμα Καμπύλης Ύψους Πτώσης-Παροχετευτικότητας.....	52
Εικόνα 4.14:	Φόρμα Γεώτρησης.....	53
Εικόνα 4.15:	Φόρμα Παροχής Γεώτρησης.....	53
Εικόνα 4.16:	Φόρμα Ιδιοτήτων Στόχου.....	54
Εικόνα 4.17:	Παράδειγμα μηνιαίας διακύμανσης στόχου.....	54
Εικόνα 4.18:	Παράδειγμα ετήσιας διακύμανσης στόχου.....	55
Εικόνα 4.19:	Φόρμα Προτεραιότητας Στόχων και Περιορισμών.....	55
Εικόνα 4.20:	Αλλαγή προτεραιότητας στόχου από τη 5 <sup>η</sup> στην 3 <sup>η</sup> θέση.....	56
Εικόνα 4.21:	Επιλογές προσομοίωσης της Φόρμας Επιλογών Έργου.....	56
Εικόνα 4.22:	Φόρμα Προσομοίωσης.....	57
Εικόνα 4.23:	Γραφική παράσταση του κανόνα λειτουργίας.....	58
Εικόνα 4.24:	Συνοπτική μορφή της Φόρμας Κατάστασης Προσομοίωσης/Βελτιστοποίησης.....	59
Εικόνα 4.25:	Αναλυτική μορφή της Φόρμας Κατάστασης Προσομοίωσης/Βελτιστοποίησης.....	59
Εικόνα 4.26:	Δυναμική απεικόνιση της προσομοίωσης στη βάση του μοντέλου του συστήματος υδροδότησης της Αθήνας.....	60
Εικόνα 4.27:	Φόρμα Ελέγχου Οπτικοποίησης.....	61
Εικόνα 4.28:	Επιλογές βελτιστοποίησης της Φόρμας Επιλογών Έργου.....	62
Εικόνα 4.29:	Φόρμα Αστοχίας Συστήματος.....	63
Εικόνα 4.30:	Φύλλο υδατικού ισοζυγίου της Φόρμας Ισοζυγίων.....	64
Εικόνα 4.31:	Φύλλο ισοζυγίου ροών της Φόρμας Ισοζυγίων.....	64

## Πίνακες

Πίνακας 2.1:	Ιδιότητες (χωρητικότητα και μοναδιαίο κόστους) όλων των τύπων τόξων του διγράφου.....	17
Πίνακας 3.1:	Εξάρτηση των συσχετισμών μεταξύ της οντότητας Στόχος και άλλων οντοτήτων από το είδος του στόχου. ....	39
Πίνακας A.1:	Πίνακας έργων .....	68
Πίνακας A.2:	Πίνακας επιλογών χρήστη για την προσομοίωση/βελτιστοποίηση .....	69
Πίνακας A.3:	Πίνακας απεικόνισης του συσχετισμού μεταξύ ενός έργου και των συνδεδεμένων οντοτήτων .....	70
Πίνακας A.4:	Πίνακας χρηστών .....	70
Πίνακας A.5:	Πίνακας κόμβων .....	71
Πίνακας A.6:	Πίνακας αντιστοιχιών στάθμης - όγκου - επιφάνειας ταμιευτήρα.....	71
Πίνακας A.7:	Πίνακας υπογείων διαφυγών ταμιευτήρα .....	72
Πίνακας A.8:	Πίνακας παραμέτρων ταμιευτήρα.....	72
Πίνακας A.9:	Πίνακας υδραγωγείων.....	73
Πίνακας A.10:	Πίνακας αντιστοιχιών ύψους πτώσης - παροχευτικότητας.....	73
Πίνακας A.11:	Πίνακας γεωτρήσεων .....	74
Πίνακας A.12:	Πίνακας παροχής γεωτρήσεων .....	74
Πίνακας A.13:	Πίνακας στόχων .....	75
Πίνακας A.14:	Πίνακας ετήσιας διακύμανσης στόχων.....	75
Πίνακας A.15:	Πίνακας εποχιακής διακύμανσης στόχων.....	76

# 1 Εισαγωγή

---

## 1.1 Περιγραφή του ερευνητικού αντικειμένου

Το παρόν τεύχος περιγράφει το υπολογιστικό σύστημα υποστήριξης της διαχείρισης υδατικών πόρων *Υδρονομέας* στην έκδοση 2.0. Το υπολογιστικό σύστημα αναπτύχθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού έργου *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας* και σχεδιάστηκε με σκοπό την υποστήριξη της ΕΥΔΑΠ στη διαδικασία λήψης σχετικών αποφάσεων.

Το υπολογιστικό σύστημα προσομοιώνει ένα μοντέλο του συστήματος υδροδότησης της Αθήνας, που αντιστοιχεί στο σύστημα εξωτερικών υδραγωγείων της ΕΥΔΑΠ και σε πολύ μικρότερο βαθμό σε αρχικούς κλάδους του εσωτερικού υδραγωγείου.

## 1.2 Στόχοι ανάπτυξης του Υδρονομέα 2.0

Ο Υδρονομέας 2.0 αποτελεί την μετεξέλιξη της πρώτης έκδοσης που είχε αναπτυχθεί από την ίδια ερευνητική ομάδα του ΕΜΠ στα έτη 1997-1998 στα πλαίσια της τρίτης φάσης του ερευνητικού έργου *Εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας*. Το έργο αυτό είχε χρηματοδοτηθεί από τη Διεύθυνση Ύδρευσης και Αποχέτευσης του ΥΠΕΧΩΔΕ (Καραβοκυρός κ.ά., 1999).

Η μετεξέλιξη αυτή του Υδρονομέα κρίθηκε αναγκαία ώστε να ανταποκριθεί στις αυξημένες απαιτήσεις που τίθενται σε ένα Σύστημα Υποστήριξης της Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, όπως αυτές καταγράφονται στο τεύχος *Ανάλυσης Απαιτήσεων του παρόντος έργου* (Καραβοκυρός κ.ά., 2000). Παράλληλα ο Υδρονομέας θα πρέπει να διαθέτει την κατάλληλη υποδομή ώστε να προσαρμόζεται εύκολα σε απαιτήσεις επιχειρησιακής λειτουργίας που προβλέπονται για την 2<sup>η</sup> φάση του παρόντος ερευνητικού έργου.

Μια πρώτη συνέπεια των παραπάνω ήταν να δοθεί σε αυτήν την φάση του ερευνητικού έργου ιδιαίτερη βαρύτητα στην ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων προσομοίωσης και βελτιστοποίησης. Στόχος ήταν η ανάπτυξη νέων αλγορίθμων καθώς και η προσαρμογή υφιστάμενων που επιτρέπουν την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων μέσα στα χρονικά περιθώρια που προδιαγράφονται. Για την επίτευξη του στόχου αυτού η ερευνητική ομάδα συνέχισε το θεωρητικό της έργο που βασίζεται στη μεθοδολογία παραμετροποίησης-προσομοίωσης-βελτιστοποίησης προβλημάτων. Η μεθοδολογία παραμετροποίησης που ακολουθήθηκε και σε αυτήν την έκδοση του Υδρονομέα διατήρησε τον αριθμό μεταβλητών απόφασης, βάσει των οποίων πραγματοποιείται η κατανομή της ζήτησης νερού στους υδατικούς πόρους, σε χαμηλά επίπεδα. Μια νέα μέθοδος μετασχηματισμού του μοντέλου του υδροσυστήματος σε διγράφο που επινοήθηκε ανήγαγε το πρόβλημα προσομοίωσης της μεταφοράς του νερού στα επιμέρους υδραγωγεία σε τυπικό πρόβλημα μεταφόρτωσης που επιλύεται με ταχείες τεχνικές δικτυακού γραμμικού προγραμματισμού.

Το πρόβλημα της εύρεσης του βέλτιστου κανόνα διαχείρισης του συστήματος ανάγεται, σύμφωνα με τους Nalbantis and Koutsoyiannis, 1997, σε ένα μη γραμμικό πρόβλημα. Εδώ, βασικός στόχος του παρόντος ερευνητικού έργου ήταν η επιλογή, ύστερα από δοκιμές, ενός αξιόπιστου και αποδοτικού αλγορίθμου επίλυσης αναλόγων προβλημάτων και η προσαρμογή του στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης.

Παράλληλα, η δεύτερη έκδοση του Υδρονομέα είχε εξαρχής συγκεκριμένο αντικείμενο εφαρμογής, δηλαδή το σύστημα υδροδότησης της Αθήνας. Αυτό είχε ως συνέπεια την προσαρμογή του σχεδιασμού του υπολογιστικού συστήματος στις απαιτήσεις του πολύπλοκου συστήματος εξωτερικών υδραγωγείων που διαχειρίζεται η ΕΥΔΑΠ και την ακριβέστερη απεικόνιση του υδροσυστήματος σε μοντέλο. Σε σχέση με παλαιότερα μοντέλα υδροσυστήματος που είχαν χρησιμοποιηθεί, οι βασικότερες αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν σε συνεργασία με τους αρμόδιους παράγοντες της ΕΥΔΑΠ είναι οι ακόλουθες:

- Εισαγωγή των γεωτρήσεων ως εφεδρικοί υδατικοί πόροι στο μοντέλο. Η λειτουργία των ανυψωτικών αντλιοστασίων μπορεί να προσαρμοσθεί στην διαχείριση που καθορίζεται από το εκάστοτε σενάριο.
- Τροποποίηση της λειτουργίας των αντλιοστασίων απόληψης νερού από την Υλίκη στο μοντέλο έτσι ώστε να εξαρτάται από τη στάθμη της λίμνης.
- Προσαρμογή του μοντέλου δικτύου ώστε η λειτουργία ωστικών αντλιοστασίων να συνδέεται με την παροχή στο υδραγωγείο.
- Επέκταση του αρχικού μοντέλου του υδροσυστήματος και απεικόνιση του συνόλου των κλάδων του εσωτερικού υδραγωγείου που είναι σημαντικοί στην προσομοίωση του δικτύου.
- Εισαγωγή στο μοντέλο των μονάδων των διυλιστηρίων καθώς και των αγωγών διυλισμένου νερού που συνδέουν τα διυλιστήρια.
- Κατανομή της ζήτησης σε τέσσερις τελικούς κόμβους που αντιστοιχούν στις τέσσερις βασικές περιοχές που εξυπηρετούνται από τις μονάδες επεξεργασίας νερού.

Τέλος, κατά την ανάπτυξη του Υδρονομέα 2.0 δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην ασφάλεια του υπολογιστικού συστήματος με στόχο τον έλεγχο της πρόσβασης στο σύστημα και της δυνατότητας επεξεργασίας των δεδομένων που βρίσκονται στη Βάση.

### **1.3 Λειτουργίες του υπολογιστικού συστήματος**

Ύστερα από την εκκίνηση του Υδρονομέα εμφανίζεται η Κύρια Φόρμα του υπολογιστικού συστήματος. Οι εκτελέσιμες λειτουργίες του συστήματος μπορούν να επιλεγούν από τους σχετικούς καταλόγους επιλογών ή με το πάτημα σχετικού εικονιδίου.

Σε μια τυπική σύνοδο (session) του Υδρονομέα ο χρήστης αρχικά θα πραγματοποιήσει ταυτοποίηση δίνοντας τον κωδικό πρόσβασης και το σύνθημά του. Η ταυτοποίηση του χρήστη εξυπηρετεί δύο στόχους:

- την αναγνώριση του χρήστη από το υπολογιστικό σύστημα
- τη εκχώρηση στον χρήστη δικαιωμάτων εκτέλεσης λειτουργιών του συστήματος.

Αν και η ταυτοποίηση δεν πρέπει να είναι απαραίτητα η πρώτη ενέργεια μετά την εκκίνηση του συστήματος, οι δυνατότητες που προσφέρει το σύστημα σε μη εξουσιοδοτημένους χρήστες είναι πολύ περιορισμένες. Σε αυτές συγκαταλέγεται και η άμεση (online) επισκόπηση από την οθόνη του υπολογιστή των οδηγιών χρήσης του Υδρονομέα.

Αφού ο χρήστης αποκτήσει τα απαιτούμενα δικαιώματα μπορεί να προχωρήσει στην επισκόπηση των έργων που είναι αποθηκευμένα στη Βάση Δεδομένων. Τα έργα αντιστοιχούν σε σενάρια διαχείρισης που έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρόν ερευνητικό έργο. Επιλέγοντας κάποιο σενάριο αυτό φορτώνεται στον Υδρονομέα και ο χρήστης μπορεί αρχικά να επισκοπήσει τα χαρακτηριστικά των συνιστωσών του δικτύου και να τροποποιήσει ορισμένα από αυτά έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στο σενάριο που επιθυμεί.

Προσομοίωση καλείται η μαθηματική μέθοδος, η οποία αναπαριστά τη λειτουργία ενός φυσικού συστήματος στο χρόνο. Στην προκειμένη περίπτωση προσομοιώνεται ένα μοντέλο του συστήματος ύδρευσης της Αθήνας. Ο χρήστης μπορεί να θέσει πολλαπλούς στόχους προσομοίωσης που αφορούν:

- Την κάλυψη ζήτησης ύδρευσης ή άρδευσης.
- Τη διακύμανση της στάθμης ταμιευτήρων μέσα σε εποχιακά διαφοροποιημένα ανώτατα και κατώτατα όρια. Οι στόχοι αυτοί αφενός εξασφαλίζουν ένα ελάχιστο απόθεμα νερού και αφετέρου περιορίζουν τον κίνδυνο υπερχείλισης όπως π.χ. στον ταμιευτήρα του Μαραθώνα.
- Την ελάχιστη ροή σε επιλεγμένους αγωγούς του δικτύου που διατηρείται για λόγους συντήρησης ή ως περιβαλλοντική ροή.

Όλοι οι στόχοι εντάσσονται σε έναν κατάλογο προτεραιοτήτων σύμφωνα με τη σπουδαιότητα του στόχου και ο χρήστης επιλέγει την ανώτατη αποδεκτή πιθανότητα αστοχίας για κάθε έναν από αυτούς. Η εποχιακή μεταβολή των στόχων, όπως της ανώτατης στάθμης αποθήκευσης πλημμυρικού όγκου ταμιευτήρων καθώς και η πρόβλεψη διαχρονικής αύξησης της τιμής των στόχων, λαμβάνονται υπόψη κατά την προσομοίωση.

Η προσομοίωση βασίζεται σε παραμετρικούς κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων. Ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει τους καταχωρημένους στη Βάση κανόνες λειτουργίας που προέκυψαν ύστερα από βελτιστοποίηση. Εναλλακτικά μπορεί να ορίσει νέους κανόνες λειτουργίας. Για να είναι αποδεκτό το αποτέλεσμα της προσομοίωσης θα πρέπει να ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς μέγιστης αποδεκτής πιθανότητας αστοχίας στόχων που έχει θέσει ο χρήστης.

Η διαδικασία της προσομοίωσης μπορεί να αναλυθεί βήμα προς βήμα μέσω του Υποσυστήματος Δυναμικής Απεικόνισης. Παρακολουθώντας τα μεγέθη των συνιστωσών του υδροσυστήματος, όπως η στάθμη των ταμιευτήρων και η ροή στα υδραγωγεία, ο χρήστης μπορεί να ελέγξει καλύτερα τη διαδικασία και να αποκτήσει σαφέστερη αντίληψη του τρόπου εκτέλεσης της προσομοίωσης.

Ορισμένα από τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση ή την βελτιστοποίηση μπορούν να καταγραφούν στη Βάση Δεδομένων, έπειτα από επιλογή του χρήστη. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η εκτέλεση διαδοχικών δοκιμαστικών προσομοιώσεων διατηρώντας παράλληλα τα αποτελέσματα του πλέον αποδοτικού κανόνα λειτουργίας.

Είναι πιθανόν οι βέλτιστοι κανόνες λειτουργίας να μην έχουν υπολογιστεί για κάποιο σενάριο, ούτε και να είναι γνωστοί. Κατά την διαδικασία της βελτιστοποίησης το υπολογιστικό σύστημα υπολογίζει με βάση μια αντικειμενική συνάρτηση προς βελτιστοποίηση που έχει ορίσει ο χρήστης τον πλέον αποδοτικό κανόνα λειτουργίας πραγματοποιώντας διαδοχικές προσομοιώσεις και συγκρίσεις των αποτελεσμάτων. Οι δυνατές αντικειμενικές συναρτήσεις είναι οι ακόλουθες:

- Ελαχιστοποίηση της μέσης πιθανότητας αστοχίας για κάλυψη της ζήτησης νερού για την ύδρευση της Αθήνας, για δεδομένες τιμές στόχων.
- Ελαχιστοποίηση του μέσου κόστους λειτουργίας του υδροσυστήματος για δεδομένες τιμές στόχων και δεδομένο αποδεκτό επίπεδο αστοχίας.
- Μεγιστοποίηση της εγγυημένης απόδοσης του υδροσυστήματος για δεδομένο αποδεκτό επίπεδο αστοχίας.

Για να είναι αποδεκτός ένας κανόνας λειτουργίας θα πρέπει βεβαίως, όπως και στην προσομοίωση, να ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς που έθεσε ο χρήστης. Η αναγκαιότητα βελτιστοποίησης μπορεί να προκύψει ακόμα και μετά από μικρής εμβέλειας μετατροπές στη δομή ή τα χαρακτηριστικά του δικτύου ή μετά από αλλαγές στους στόχους και τις επιλογές του σεναρίου που εξετάζεται.

Η πρόοδος της προσομοίωσης όπως και της βελτιστοποίησης παρακολουθείται με τη Φόρμα Κατάστασης Προσομοίωσης/Βελτιστοποίησης στην οθόνη του υπολογιστή. Ο χρήστης ενημερώνεται

για τον αριθμό των προσομοιωμένων ετών καθώς και το χρόνο που παρήλθε από την έναρξη της διαδικασίας. Στην περίπτωση της βελτιστοποίησης αναφέρεται επιπλέον ο αριθμός των κανόνων λειτουργίας που προσομοιώθηκαν, ο βέλτιστος κανόνας λειτουργίας που έχει υπολογιστεί και η τιμή του δείκτη επίδοσης. Η διαδικασία μπορεί ανά πάσα στιγμή με παρέμβαση του χρήστη να διακοπεί προσωρινά ή να ανασταλεί, διατηρώντας το μέχρι εκείνη τη στιγμή βέλτιστο αποτέλεσμα.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και της βελτιστοποίησης δίνονται με πιθανοτικούς όρους. Σε αυτά συγκαταλέγονται η πιθανότητα αστοχίας στην ικανοποίηση των στόχων και περιορισμών που έθεσε ο χρήστης, το υδατικό και ενεργειακό ισοζύγιο του συστήματος όπως και βασικά οικονομικά μεγέθη που προκύπτουν από τη λειτουργία του υδροσυστήματος.

## **1.4 Οριοθέτηση και περιγραφή του περιεχομένου του τεύχους**

Το παρόν τεύχος χωρίζεται σε πέντε κεφάλαια, το πρώτο από τα οποία αποτελεί την παρούσα εισαγωγή. Το δεύτερο κεφάλαιο παραθέτει το μαθηματικό υπόβαθρο του υπολογιστικού συστήματος στο οποίο περιγράφεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στον Υδρονομέα, η απεικόνιση των συνιστωσών του υδροσυστήματος στο μοντέλο, και η διαδικασία της παραμετροποίησης, προσομοίωσης και βελτιστοποίησης. Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στο σχεδιασμό του Υδρονομέα περιγράφοντας τα υποσυστήματα που το απαρτίζουν, το μοντέλο μετάβασης κατάστασης, το διάγραμμα οντοτήτων-συσχετίσεων και το σύστημα ταυτοποίησης χρηστών. Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στις οδηγίες χρήσης του υπολογιστικού συστήματος και συγκεκριμένα στην έκδοση 2.0 του Υδρονομέα. Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα από την ανάπτυξη του Υδρονομέα και δίνονται οι κατευθύνσεις για περαιτέρω ανάπτυξη του συστήματος. Στο παράρτημα του παρόντος τεύχους περιγράφεται αναλυτικά η Βάση Δεδομένων του Υδρονομέα όπως αυτή αναπτύχθηκε για τις ανάγκες της παρούσας φάσης του ερευνητικού έργου.

Στα παραδοτέα τεύχη της πρώτης φάσης του παρόντος έργου συμπεριλαμβάνονται επιπρόσθετες πληροφορίες που σχετίζονται με την ανάπτυξη και εφαρμογή του Υδρονομέα. Συγκεκριμένα, στο τεύχος 1 (Καραβοκυρός κ.ά., 2000) περιγράφονται λεπτομερειακά και με τεχνικούς όρους οι απαιτήσεις από το υπολογιστικό σύστημα όπως προκύπτουν με βάση τις συμβατικές υποχρεώσεις. Οι απαιτήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν ως κείμενο αναφοράς από τους σχεδιαστές του υπολογιστικού συστήματος. Η εφαρμογή του Υδρονομέα στο σύστημα υδροδότησης της ΕΥΔΑΠ κατά την εκπόνηση του Διαχειριστικού Σχεδίου συμπεριλαμβάνονται στο τεύχος 5 (Κουτσογιάννης κ.ά., 2000). Το τεύχος 6 (Παπακώστας, 2000) περιγράφει την Κεντρική Βάση Δεδομένων του έργου που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί από τον Υδρονομέα στην επόμενη φάση του έργου. Οι συνθετικές υδρολογικές χρονοσειρές που χρησιμοποιήθηκαν κατά την προσομοίωση διαφόρων σεναρίων προέκυψαν ύστερα από στοχαστική προσομοίωση με το υπολογιστικό σύστημα *Κασταλία* που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του ίδιου έργου και περιγράφεται στο τεύχος 9 (Ευστρατιάδης κ.ά., 2000).

## 2 Μαθηματικό υπόβαθρο

---

### 2.1 Μεθοδολογία διαχείρισης

#### 2.1.1 Γενικό μαθηματικό μοντέλο βελτιστοποίησης συστημάτων ταμιευτήρων

Έστω υδατικό σύστημα αποτελούμενο από  $N$  ταμιευτήρες, των οποίων αναζητείται η βέλτιστη πολιτική διαχείρισης. Το σύστημα θεωρείται ότι εξυπηρετεί πολλαπλές χρήσεις ύδατος, όπως ύδρευση, άρδευση, παραγωγή ενέργειας, περιβαλλοντική διατήρηση, αντιπλημμυρική προστασία κλπ. Οι ταμιευτήρες συνδέονται είτε εν σειρά είτε παράλληλα, διαμορφώνοντας ένα δίκτυο οποιασδήποτε τοπολογίας. Η δυναμική του συστήματος σε κάθε χρονικό βήμα  $t$  ( $t = 1, 2, \dots, T$ ) περιγράφεται από ένα σύνολο  $N$  εξισώσεων υδατικού ισοζυγίου της μορφής:

$$S_i(t+1) = S_i(t) + I_i(t) - L_i(t) - R_i(t) \quad (1)$$

όπου  $S_i(t)$  το απόθεμα του  $i$  ταμιευτήρα στην αρχή του χρονικού βήματος,  $I_i(t)$  το άθροισμα των πάσης φύσεως εισροών,  $L_i(t)$  το άθροισμα των πάσης φύσεως απωλειών και  $R_i(t)$  οι ρυθμιζόμενες απολήψεις (εκροές) ύδατος. Κατά κανόνα, τα μοντέλα διαχείρισης υδροσυστημάτων αναφέρονται σε μηνιαία χρονικά βήματα  $t$ .

Οι περιορισμοί του συστήματος εντάσσονται σε δύο κατηγορίες:

α) *φυσικοί περιορισμοί*, οι οποίοι προκύπτουν από τις ιδιότητες των τεχνικών έργων (ελάχιστη στάθμη υδροληψίας και αποθηκευτική ικανότητα ταμιευτήρων, παροχετευτικότητα υδραγωγείων, εγκατεστημένη ισχύς στροβίλων και αντλιοστασίων κλπ)

β) *λειτουργικοί περιορισμοί*, οι οποίοι επιβάλλονται από τον φορέα που διαχειρίζεται το σύστημα

Στο σύστημα ορίζεται ένα *μέτρο επίδοσης* με το οποίο αξιολογείται η αποτελεσματικότητα της διαχείρισης και το οποίο μπορεί να αναφέρεται σε μία ή περισσότερες συνιστώσες (π.χ. κόστος, ασφάλεια, αξιοπιστία, εγγυημένη απόδοση). Ως βέλτιστη διαχείριση νοείται η ρύθμιση των όγκων νερού που εκρέουν από τους ταμιευτήρες και της κατανομής τους στα υδραγωγεία, με την οποία επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση του μέτρου επίδοσης του συστήματος. Η μαθηματική διατύπωση του μέτρου επίδοσης είναι η *αντικειμενική συνάρτηση* του προβλήματος βελτιστοποίησης, ενώ οι παράμετροι της συνάρτησης, δηλαδή οι απολήψεις  $R_i(t)$ , καλούνται *μεταβλητές ελέγχου*. Η αντικειμενική συνάρτηση μαζί με τις εξισώσεις ισοζυγίου, τους φυσικούς και λειτουργικούς περιορισμούς, συνιστούν το μαθηματικό μοντέλο βελτιστοποίησης του υδροσυστήματος.

#### 2.1.2 Τυπικές (μη παραμετρικές) τεχνικές αντιμετώπισης του προβλήματος

Το παραπάνω πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τη διατύπωση των εξισώσεων ισοζυγίου και των περιορισμών για κάθε χρονικό βήμα  $t$  και την επίλυση του μοντέλου βελτιστοποίησης με καθιερωμένες τεχνικές *ανάλυσης συστημάτων* (π.χ. μέθοδοι γραμμικού, δυναμικού ή στοχαστικού δυναμικού προγραμματισμού). Κατά κανόνα, η εφαρμογή τέτοιων μεθόδων προϋποθέτει σημαντικές απλοποιήσεις στο μαθηματικό μοντέλο (π.χ. γραμμικοποίηση των εξισώσεων, διακριτοποίηση του πεδίου ορισμού των παραμέτρων), με αποτέλεσμα να προκύπτουν λύσεις μειωμένης ακρίβειας. Επιπλέον, το μεγάλο πλήθος των μεταβλητών του προβλήματος, ίσο με  $N \times T$ , καθιστά υπερβολικά

δυσχερή την υπολογιστική διαδικασία, κάτι που συχνά επιβάλλει περαιτέρω απλοποιήσεις, ειδικά σε μεγάλα συστήματα.

Μια εναλλακτική προσέγγιση συνίσταται στη θεώρηση ευρετικών κανόνων διαχείρισης των ταμιευτήρων για τη ρύθμιση των εκροών, οι οποίοι εισάγονται απευθείας στο μαθηματικό μοντέλο. Με την τεχνική αυτή δεν τίθενται περιορισμοί ως προς τη διατύπωση του μαθηματικού μοντέλου, οπότε μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη προσέγγιση της λειτουργίας του υδατικού συστήματος. Η αναπαράσταση των δυναμικών διεργασιών ενός φυσικού συστήματος μέσω υπολογιστικών ομοιωμάτων καλείται *προσομοίωση*. Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου έγκειται στην επιλογή των κανόνων διαχείρισης με βάση εμπειρικά και όχι αντικειμενικά κριτήρια, δεδομένου ότι με αυτή την αντιμετώπιση το πρόβλημα παύει να έχει βαθμούς ελευθερίας και συνεπώς δεν υπάρχει δυνατότητα βελτιστοποίησης.

### **2.1.3 Το μεθοδολογικό σχήμα παραμετροποίηση – προσομοίωση – βελτιστοποίηση**

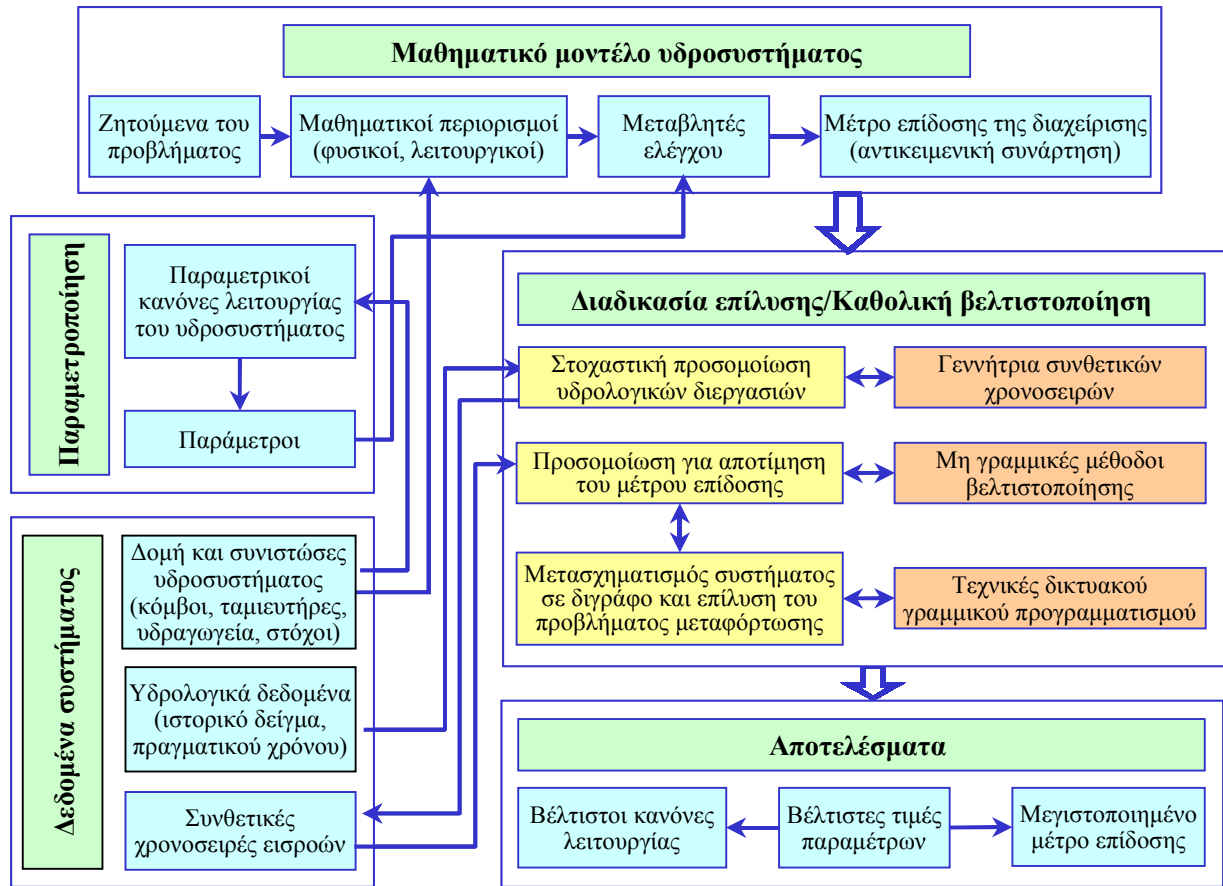
Η μεθοδολογία που προτείνεται έχει ως στόχο να συνδυάσει τα πλεονεκτήματα των μεθόδων προσομοίωσης και βελτιστοποίησης, που είναι αντίστοιχα η ακριβής αναπαράσταση των φυσικών διεργασιών και η εύρεση της αντικειμενικά καλύτερης πολιτικής διαχείρισης του συστήματος, μειώνοντας παράλληλα τον υπολογιστικό φόρτο. Η βασική ιδέα συνίσταται στην παραμετρική διατύπωση των κανόνων διαχείρισης των υδροσυστήματος, έτσι ώστε να περιοριστεί μεν το πλήθος των βαθμών ελευθερίας του μοντέλου, χωρίς όμως να μηδενιστεί.

Το διάγραμμα ροής του μεθοδολογικού σχήματος που ακολουθείται απεικονίζεται στην εικόνα 2.1. Στοιχεία εισόδου του μοντέλου είναι α) η δομή του υδροσυστήματος, δηλαδή οι συνιστώσες του (τεχνικά έργα), οι ιδιότητές τους και η τοπολογία, β) οι υδρολογικές χρονοσειρές, οι οποίες είτε προκύπτουν από το ιστορικό δείγμα είτε γεννώνται συνθετικά, με τεχνικές στοχαστικής προσομοίωσης, γ) οι λειτουργικοί περιορισμοί, δηλαδή οι στόχοι που εξυπηρετεί το σύστημα και δ) η αντικειμενική συνάρτηση. Το μαθηματικό μοντέλο του υδροσυστήματος διατυπώνεται με τρόπο ώστε οι μεταβλητές ελέγχου του μοντέλου, δηλαδή οι απολήψεις  $R_i(t)$ , να είναι συνάρτηση ενός μικρού αριθμού παραμέτρων. Η μεθοδολογία παραμετροποίησης του υδροσυστήματος αναπτύσσεται στο υποκεφάλαιο 2.3.

Για δεδομένες τιμές παραμέτρων, το μέτρο επίδοσης (αντικειμενική συνάρτηση) του συστήματος αποτιμάται μέσω προσομοίωσης. Μέσω της προσομοίωσης αναπαρίστανται οι φυσικές διεργασίες και η λειτουργία του υδροσυστήματος για μια ορισμένη χρονική περίοδο. Εφόσον οι υδρολογικές χρονοσειρές που χρησιμοποιούνται παράγονται συνθετικά, με βάση τα στατιστικά χαρακτηριστικά του ιστορικού δείγματος, η διαδικασία καλείται *στοχαστική προσομοίωση*. Η στοχαστική προσομοίωση είναι η καταλληλότερη μέθοδος διερεύνησης της μακροπρόθεσμων επιπτώσεων της διαχείρισης ενός υδατικού συστήματος, διότι δεν αναφέρεται σε συγκεκριμένο δείγμα εισροών αλλά σε ένα μεγάλο πλήθος ισοπίθανων υδρολογικών σεναρίων (βλ. Ευστρατιάδης κ.ά., 2000).

Για τη μεγιστοποίηση του μέτρου επίδοσης εισάγεται ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης. Η βελτιστοποίηση είναι μια εξωτερική επαναληπτική διαδικασία, σε κάθε βήμα της οποίας δίνονται τιμές στις παραμέτρους και εκτελείται μια πλήρης προσομοίωση του συστήματος, μέσω της οποίας αποτιμάται η αντικειμενική συνάρτηση και ορίζονται νέες τιμές παραμέτρων. Η διαδικασία σταματά όταν επέλθει σύγκλιση στη βέλτιστη λύση. Επειδή το μοντέλο βελτιστοποίησης είναι έντονα μη γραμμικό, αντιμετωπίζεται με εξελιγμένες υπολογιστικές μεθόδους.





Εικόνα 2.1: Διάγραμμα ροής του μεθοδολογικού σχήματος παραμετροποίηση – προσομοίωση – βελτιστοποίηση.

Επιχειρώντας μια σύγκριση μεταξύ της προτεινόμενης μεθοδολογίας και των κλασικών, μη παραμετρικών προσεγγίσεων, μπορούμε να διακρίνουμε τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Λόγω της παραμετροποίησης του συστήματος, επιτυγχάνεται δραστικός περιορισμός του πλήθους των βαθμών ελευθερίας του μοντέλου, και κατά συνέπεια μειώνεται ο υπολογιστικός φόρτος των διαδικασιών βελτιστοποίησης.
- Οι διαδικασίες προσομοίωσης είναι ανεξάρτητες του μοντέλου βελτιστοποίησης, οπότε αντίθετα με τη μη παραμετρική προσέγγιση, δεν εισάγονται περιορισμοί και απλοποιήσεις ως προς τη μαθηματική διατύπωση των εξισώσεων.
- Μέσω της στοχαστικής προσομοίωσης, μπορεί να εκτιμηθεί τόσο η μακροχρόνια απόδοση όσο και η αξιοπιστία της πολιτικής διαχείρισης του υδροσυστήματος.
- Η βέλτιστη λύση δεν εξαρτάται από τις υδρολογικές χρονοσειρές που χρησιμοποιούνται αλλά από τα στατιστικά τους χαρακτηριστικά.
- Επειδή έξοδος του μοντέλου είναι οι βελτιστοποιημένοι κανόνες λειτουργίας του συστήματος και όχι οι απολήψεις, το μοντέλο μπορεί να αποτελέσει ένα πρακτικό και εύχρηστο εργαλείο για τον φορέα διαχείρισης, χωρίς να απαιτεί επανεκτέλεση του μοντέλου.

## 2.2 Συνιστώσες του υδροσυστήματος

Ένα τυπικό υδροσύστημα θεωρείται ότι περιέχει τις εξής βασικές συνιστώσες:

- α) *κόμβους*, οι οποίοι αναφέρονται σε θέσεις προσφοράς (π.χ. ταμιευτήρες, γεωτρήσεις) ή ζήτησης νερού ή σημεία αλλαγής της τοπολογίας και των ιδιοτήτων του δικτύου

β) *υδραγωγεία*, τα οποία συνδέουν ζεύγη κόμβων και αναφέρονται σε φυσικούς ή τεχνητούς αγωγούς μεταφοράς νερού

γ) *στόχους*, οι οποίοι ορίζονται από το φορέα διαχείρισης και εκφράζουν τους λειτουργικούς περιορισμούς του συστήματος.

Στη συνέχεια του υποκεφαλαίου περιγράφονται οι ιδιότητες και το μαθηματικό μοντέλο κάθε συνιστώσας του υδροσυστήματος.

### 2.2.1 Απλοί κόμβοι

Πρόκειται για κόμβους του υδροσυστήματος χωρίς δυνατότητα προσφοράς ή αποθήκευσης νερού, στους οποίους συντρέχει ένα τουλάχιστον υδραγωγείο. Σε κάθε απλό κόμβο ισχύει η εξίσωση συνέχειας, δηλαδή το άθροισμα των εισροών ισούται με το άθροισμα των εκροών μείον την απόληψη για εξυπηρέτηση της τοπικής ζήτησης.

### 2.2.2 Ταμιευτήρες

Η δυναμική κάθε ταμιευτήρα σε κάθε χρονικό βήμα  $t$  περιγράφεται από την εξίσωση υδατικού ισοζυγίου (2.1), συνιστώσες της οποίας είναι το απόθεμα, οι εισροές, οι απώλειες και οι απολήψεις. Οι *εισροές* περιλαμβάνουν την απορροή της ανάντη υπολεκάνης  $Q_i(t)$ , τη βροχόπτωση  $P_i(t)$  στην επιφάνεια του ταμιευτήρα και την τροφοδοσία από ανάντη υδραγωγεία  $IV_i(t)$ . Οι *απώλειες* αναφέρονται στην εξάτμιση  $E_i(t)$  από την επιφάνεια του ταμιευτήρα, στις υπόγειες διαφυγές  $LK_i(t)$  και στις υπερχειλίσεις  $SP_i(t)$ . Τέλος, οι *απολήψεις* αναφέρονται στις εκροές ύδατος  $X_i(t)$  για εξυπηρέτηση της τοπικής ζήτησης  $D_i(t)$  και στο νερό που διοχετεύεται στα κατάντη υδραγωγεία  $OV_i(t)$ .

Τα *υδρολογικά δεδομένα* εισάγονται στο μοντέλο ως ισοδύναμα ύψη βροχής  $p_i(t)$ , απορροής  $q_i(t)$  και εξάτμισης  $e_i(t)$ , τα οποία ανάγονται σε όγκους μέσω των σχέσεων:

$$\begin{aligned} P_i(t) &= p_i(t) A_i(t) \\ Q_i(t) &= q_i(t) [F_i - A_i(t)] \\ E_i(t) &= e_i(t) A_i(t) \end{aligned} \quad (2)$$

όπου  $A_i(t)$  το εμβαδόν της επιφάνειας του ταμιευτήρα και  $F_i$  η έκταση της ανάντη του φράγματος υπολεκάνης.

Οι *υπόγειες διαφυγές* θεωρούνται συνάρτηση της τρέχουσας στάθμης  $Z_i(t)$  του ταμιευτήρα και εκτιμώνται μέσω μιας πολυωνυμικής εξίσωσης της μορφής:

$$LK_i(t) = \alpha_i(\tau) Z_i^3(t) + \beta_i(\tau) Z_i^2(t) + \gamma_i(\tau) Z_i(t) + \varepsilon_i(\tau) + \zeta_i(\tau) \quad (3)$$

όπου  $\tau$  δείκτης που αναφέρεται στον μήνα, δηλαδή:

$$\tau = (t - 1) \bmod 12 + 1 \quad (4)$$

$\alpha_i(\tau)$ ,  $\beta_i(\tau)$ ,  $\gamma_i(\tau)$  και  $\varepsilon_i(\tau)$  συντελεστές, οι οποίοι μπορούν να μεταβάλλονται ανάλογα με τον μήνα  $\tau$  και  $\zeta_i(\tau)$  τυχαίος όρος σφάλματος, ο οποίος ακολουθεί κανονική κατανομή, με μέση τιμή μηδέν και τυπική απόκλιση  $\sigma_i(\tau)$ .

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των ταμιευτήρων είναι:

α) Η *καμπύλη στάθμης-αποθέματος*  $S_i = f_i(Z_i)$ , η οποία κατασκευάζεται με λογαριθμική παρεμβολή μεταξύ γνωστών ζευγών τιμών  $(z_i, s_i)$ .

β) Η *καμπύλη στάθμης-επιφάνειας*  $A_i = f_2(Z_i)$ , η οποία κατασκευάζεται με λογαριθμική παρεμβολή μεταξύ γνωστών ζευγών τιμών  $(z_i, a_i)$ .

γ) Ο *νεκρός όγκος*  $DV_i$ , ο οποίος αντιστοιχεί στην κατώτατη στάθμη υδροληψίας  $Z_i^{\min}$ .

δ) Η *αποθηκευτική ικανότητα*  $K_i$ , η οποία αντιστοιχεί στην ανώτατη στάθμη υδροληψίας  $Z_i^{\max}$ .

Το απόθεμα  $S_i(t)$  περιορίζεται μεταξύ των φυσικών ορίων:

$$0 \leq S_i(t) \leq K_i \quad (5)$$

Από λειτουργική άποψη, το κατώτατο όριο του αποθέματος ενός ταμιευτήρα ισούται με τον νεκρό του όγκο  $DV_i$ , δεδομένου ότι δεν υπάρχει δυνατότητα υδροληψίας σε χαμηλότερη στάθμη. Ωστόσο, το απόθεμα μπορεί να κατέβει και κάτω από τη στάθμη του νεκρού όγκου, λόγω αρνητικού υδατικού ισοζυγίου, εφόσον δηλαδή οι απώλειες λόγω εξάτμισης και υπόγειων διαφυγών ξεπεράσουν τις υδρολογικές εισροές. Αντίθετα, αν στο τρέχον απόθεμα προστεθούν καθαρές εισροές οι οποίες ξεπερνούν την αποθηκευτική ικανότητα του ταμιευτήρα αλλά δεν μπορούν να διοχετευτούν από τα κατάντη υδραγωγεία, προκύπτει πλεόνασμα αποθέματος, το οποίο εκρέει ως υπερχειλίση  $SP_i(t)$ , δηλαδή:

$$SP_i(t) = \begin{cases} 0 & S_i(t) + I_i(t) - L_i(t) - R_i(t) \leq K_i \\ S_i(t) + I_i(t) - L_i(t) - R_i(t) - K_i & S_i(t) + I_i(t) - L_i(t) - R_i(t) > K_i \end{cases} \quad (6)$$

Η πολιτική διαχείρισης των υπερχειλίσεων καθορίζεται με βάση μια λογική μεταβλητή, η οποία είναι αληθής, εφόσον δεν κρίνεται σκόπιμη μια διαχειριστική πολιτική αποτροπής των υπερχειλίσεων και ψευδής, εφόσον οι υπερχειλίσεις πρέπει να περιορίζονται στο μέγιστο δυνατό βαθμό.

### 2.2.3 Γεωτρήσεις

Κάθε γεώτρηση ή ομάδα γεωτρήσεων αναφέρεται σε έναν κόμβο  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, B$ ) στον οποίο θεωρείται ότι υπάρχει σταθερή ανά μήνα προσφορά νερού, ίση με  $W_i(\tau)$ . Η τιμή αυτή εξαρτάται από τη δυναμικότητα του υδροφορέα και την παροχτετευτικότητα του αντλιοστασίου. Κατά συνέπεια, η απόληψη από τη γεώτρηση περιορίζεται στο εύρος:

$$0 \leq R_i(t) \leq W_i(\tau) \quad (7)$$

Σε κάθε γεώτρηση ορίζεται μια τιμή κόστους  $c_i'$ , η οποία αναφέρεται σε χρηματικές μονάδες ανά μονάδα αντλούμενου όγκου. Στην τιμή αυτή θεωρείται ότι περιλαμβάνεται τόσο το κόστος λειτουργίας των ανυψωτικών αντλιοστασίων όσο και το κόστος μεταφοράς του νερού μέσω του τοπικού αγωγού.

### 2.2.4 Υδραγωγεία

Κάθε υδραγωγείο  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, M$ ) συνδέει έναν κόμβο μεγαλύτερου ενεργειακού υψομέτρου (ανάντη κόμβος) με έναν κόμβο μικρότερου ενεργειακού υψομέτρου (κατάντη κόμβος), καθορίζοντας με αυτό τον τρόπο τη φορά ροής του νερού. Το χαρακτηριστικό μέγεθος του υδραγωγείου είναι η *παροχτετευτικότητα*  $DC_j(t)$ , ο μέγιστος δηλαδή όγκος νερού που μπορεί να παροχτετευτεί σε κάθε χρονικό βήμα  $t$ , ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$DC_j(t) = m(\tau) (1 - r_j) Q_j(t) \quad (8)$$

όπου  $Q_j(t)$  η παροχτευτικότητα του υδραγωγείου εκφρασμένη σε  $m^3/s$ ,  $r_j$  μειωτικός συντελεστής ο οποίος περιλαμβάνει τόσο τους χρονικούς περιορισμούς στη χρήση του υδραγωγείου όσο και την επίδραση της χρονικής διακύμανσης της παροχής στο εσωτερικό του μήνα, και  $m(\tau)$  συντελεστής αναγωγής της παροχής σε μονάδες όγκου, ο οποίος εξαρτάται από τον αριθμό των ημερών κάθε μήνα  $\tau$ . Κατά συνέπεια, ο διερχόμενος όγκος  $V_j(t)$  υπόκειται στον περιορισμό:

$$0 \leq V_j(t) \leq DC_j(t) \quad (9)$$

Η παροχτευτικότητα  $Q_j(t)$  εξαρτάται από τη διαφορά ενεργειακού υψομέτρου (ύψος πτώσης)  $H_j(t)$  στα δύο άκρα του υδραγωγείου, ενώ αν υπάρχει εγκατεστημένο αντλιοστάσιο στον αγωγό, εξαρτάται και από τα χαρακτηριστικά του αντλιοστασίου (συντελεστής απόδοσης αντλίας, υδραυλικές απώλειες, μανομετρικό ύψος). Η εξίσωση μεταβολής της παροχτευτικότητας περιγράφεται από μια καμπύλη  $Q_j = f_3(H_j)$ , η οποία κατασκευάζεται με λογαριθμική παρεμβολή μεταξύ γνωστών ζευγών τιμών  $(h_j, q_j)$ .

Σε κάθε υδραγωγείο ορίζεται μια τιμή κόστους  $c_j$ , η οποία αναφέρεται σε χρηματικές μονάδες ανά μονάδα παροχτευόμενου όγκου νερού.

### 2.2.5 Στόχοι

Σε κάθε συνιστώσα του συστήματος (κόμβο ή υδραγωγείο) μπορούν να οριστούν ένας ή περισσότεροι στόχοι  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, L$ ), οι οποίοι αναφέρονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- απόληψη νερού  $D_i$  από απλό κόμβο ή ταμιευτήρα για άρδευση, ύδρευση ή άλλη χρήση
- διατήρηση του αποθέματος ταμιευτήρα μεταξύ μιας ελάχιστης ( $S_i^{\min}$ ) και μιας μέγιστης ( $S_i^{\max}$ ) επιθυμητής τιμής
- διατήρηση μιας ελάχιστης παροχής  $V_j^{\min}$  σε υδραγωγείο

Οι στόχοι ορίζονται κατά σειρά προτεραιότητας και οι τιμές τους μπορούν να μεταβάλλονται εποχιακά (από μήνα σε μήνα) ή διαχρονικά (από έτος σε έτος). Η εποχιακή διακύμανση θεωρείται σταθερή και ορίζεται ως ένα διάνυσμα 12 συντελεστών της μορφής:

$$u_k(\tau) = \frac{D_k(\tau, y)}{\sum_{\tau=1}^{12} D_k(\tau, y)} = \frac{D_k(\tau, y)}{D_k(y)} \quad (10)$$

όπου  $D_k(\tau, y)$  η τιμή του  $k$  στόχου, η οποία αναφέρεται στον μήνα  $\tau$  του έτος  $y$  και  $D_k(y)$  η αντίστοιχη ετήσια τιμή. Κατά συνέπεια στο μοντέλο εισάγεται η ακολουθία των ετήσιων τιμών  $D_k(1), D_k(2), \dots, D_k(Y)$  και η αναγωγή τους σε μηνιαίες γίνεται μέσω των συντελεστών  $u_k(\tau)$ . Σημειώνεται ότι  $Y = T/12$ , όπου  $T$  το πλήθος των βημάτων προσομοίωσης.

Οι στόχοι εισάγουν περαιτέρω περιορισμούς στο μαθηματικό μοντέλο του συστήματος. Ωστόσο, οι περιορισμοί αυτοί δεν είναι αυστηροί γιατί δεν επιβάλλονται από τις φυσικές συνθήκες αλλά από τον διαχειριστή του συστήματος. Για το λόγο αυτό οι στόχοι αναφέρονται και ως *λειτουργικοί περιορισμοί* του μαθηματικού μοντέλου. Η επίτευξη της επιθυμητής τιμής ενός στόχου εξαρτάται τόσο από τους φυσικούς περιορισμούς του συστήματος όσο και από την πολιτική διαχείρισης που ακολουθείται. Για την αποτίμηση του βαθμού επίτευξης ενός στόχου εισάγεται ένα μέτρο *αστοχίας*, το οποίο ορίζεται ως η πιθανότητα:

$$\alpha_k = \text{prob}(X_k < D_k) \quad (11)$$

όπου  $D_k$  η επιθυμητή τιμή του  $k$  στόχου και  $X_k$  η επιτευχθείσα τιμή. Σε κάθε στόχο ορίζεται μια μέγιστη επιτρεπόμενη πιθανότητα αστοχίας  $\alpha_k^{\max}$ . Κατά συνέπεια, οι σχετικοί περιορισμοί εισάγονται στο μαθηματικό μοντέλο του υδροσυστήματος με τη μορφή:

$$\alpha_k \leq \alpha_k^{\max} \quad (12)$$

Η αναλυτική εκτίμηση της  $\alpha_k$  με μεθόδους της θεωρίας πιθανοτήτων δεν είναι δυνατή, διότι δεν είναι γνωστή η συνάρτηση κατανομής της. Για το λόγο αυτό η εκτίμηση γίνεται με την εκτέλεση ένας μεγάλου πλήθους προσομοιώσεων της κατάστασης του συστήματος με διαφορετικές τυχαίες, αρχικές συνθήκες. Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή ως μέθοδος *Monte Carlo*. Σημειώνεται ότι η τυχαιότητα, η οποία οφείλεται στη στοχαστική φύση των υδρολογικών διεργασιών, εισάγεται ως παράμετρος στη γεννήτρια των συνθετικών χρονοσειρών που χρησιμοποιούνται και όχι στο μαθηματικό μοντέλο του υδροσυστήματος. Η εκτιμήτρια της  $\alpha_k$  ορίζεται ως ο λόγος των χρονικών περιόδων (ετών) κατά τις οποίες δεν επιτυγχάνεται ο στόχος προς τον συνολικό αριθμό των χρονικών περιόδων προσομοίωσης,  $Y$ . Είναι προφανές ότι όσο αυξάνει το μήκος της προσομοίωσης (δηλαδή πλήθος των χρονικών βημάτων), τόσο ακριβέστερη είναι η εκτίμηση της αστοχίας.

Μια εναλλακτική διατύπωση της αστοχίας είναι ως προς το μέσο ποσοστιαίο έλλειμμα (*ογκομετρικό μέτρο αστοχίας*), το οποίο ορίζεται ως:

$$\beta_k = 1 - \frac{E[X_k]}{E[D_k]} \quad (13)$$

όπου  $E[X]$  τελεστής που υποδηλώνει την αναμενόμενη (μέση) τιμή της μεταβλητής  $X$ . Χαρακτηριστικό είναι ότι ενώ η συνάρτηση  $\beta_k$  λαμβάνει συνεχείς τιμές, η συνάρτηση  $\alpha_k$  λαμβάνει μόνο διακριτές τιμές από το σύνολο  $\{0, 1/Y, 2/Y, \dots, 1\}$ . Επιπλέον, ισχύει πάντοτε η συνθήκη:

$$\alpha_k \geq \beta_k \quad (14)$$

Κατά συνέπεια, η εκτίμηση της αστοχίας με βάση τον πρώτο ορισμό  $\alpha_k$  είναι πιο αυστηρή σε σχέση με τον δεύτερο ορισμό  $\beta_k$ .

## 2.3 Παραμετροποίηση του υδροσυστήματος

### 2.3.1 Κανόνες λειτουργίας ταμιευτήρων

Η μεθοδολογία που περιγράφεται έχει προταθεί από τους Nalbantis and Koutsoyiannis (1997) για τη μελέτη συστημάτων ταμιευτήρων πολλαπλού σκοπού. Ο παραμετρικός κανόνας λειτουργίας είναι η βάση πάνω στην οποία στηρίζεται το μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, και αποτελεί το βασικό εργαλείο διαχείρισης.

Έστω  $V(t)$  το συνολικό ωφέλιμο απόθεμα του συστήματος (στο οποίο μπορεί να συμπεριλαμβάνεται και το συνολικό δυναμικό των γεωτρήσεων, οι οποίες εξομοιώνονται με ταμιευτήρες) και  $S_i(t)$  το ωφέλιμο απόθεμα του  $i$  ταμιευτήρα. Προφανώς ισχύει:

$$\sum_{i=1}^N S_i(t) = V(t) \quad (15)$$

Θεωρώντας ότι οι απολήψεις από τους ταμειυτήρες και τις γεωτρήσεις ικανοποιούν επακριβώς την κατάντη ζήτηση  $D(t)$  και θεωρώντας γνωστές τις εισροές και απώλειες σε κάθε ταμειυτήρα, ο συνολικός όγκος του συστήματος στο τέλος του χρονικού βήματος  $t$  ισούται με:

$$V(t) = \sum_{i=1}^N [S_i(t-1) + I_i(t) - L_i(t)] - D(t) \quad (16)$$

Ζητούμενο του προβλήματος είναι ο βέλτιστος καθορισμός των απολήψεων  $R_i(t)$  με τη συνθήκη ώστε ώστε το άθροισμά τους να ισούται με τη συνολική ζήτηση νερού  $D(t)$ . Ισοδύναμα, το πρόβλημα συνίσταται στη βέλτιστη κατανομή του συνολικού όγκου  $V(t)$  στους ταμειυτήρες, και τις γεωτρήσεις (δηλαδή τους υδροφορείς) έτσι ώστε να ικανοποιείται η (15). Το σύστημα των εξισώσεων που προκύπτουν είναι αόριστο, καθώς υπάρχουν άπειροι συνδυασμοί λύσεων  $S_i(t)$  που τις ικανοποιούν. Μια ειδική διατύπωση της λύσης του προβλήματος με τη μορφή κανόνες λειτουργίας είναι:

$$S_i^* = K_i - a_i K + b_i V \quad (17)$$

όπου  $K_i$  η ωφέλιμη χωρητικότητα του  $i$  ταμειυτήρα,  $K$  η ολική ωφέλιμη χωρητικότητα του συστήματος,  $a_i$  και  $b_i$  παράμετροι, οι οποίες λαμβάνουν τιμές στο διάστημα  $[0, 1]$ , και  $S_i^*$  το απόθεμα-στόχος στο τέλος του χρονικού βήματος. Η σχέση (17) είναι ελαφρά τροποποιημένη σε σχέση με την αυθεντική των Nalbantis and Koutsoyiannis (1997). Το απόθεμα-στόχος γενικά διαφέρει από το πραγματικό απόθεμα  $S_i$ , εξαιτίας των φυσικών περιορισμών, οι οποίοι δεν έχουν ληφθεί προς το παρόν υπόψη. Σημειώνεται ότι, για λόγους απλούστευσης, έχει απαλειφθεί ο δείκτης που αναφέρεται στο χρονικό βήμα  $t$ .

Αποδεικνύεται ότι ο γραμμικός κανόνας λειτουργίας (17) αποτελεί μια εφικτή και αποτελεσματική παραμετροποίηση του συστήματος (Nalbantis and Koutsoyiannis, 1997). Οι παράμετροι  $a_i$  και  $b_i$  μπορούν να θεωρηθούν είτε σταθερές για όλη την περίοδο προσομοίωσης είτε μεταβαλλόμενες, ανάλογα με την εποχή. Μια απλοποιημένη μορφή του κανόνα (17) είναι:

$$S_i^* = b_i V \quad (18)$$

Η σχέση (18) συνιστά τον λεγόμενο *ομογενή* κανόνα, ο οποίος προκύπτει από την (17) με τη θεώρηση σταθερών τιμών των παραμέτρων  $a_i$ , ίσων με:

$$a_i = \frac{K_i}{K} \quad (19)$$

Οι φυσικοί περιορισμοί επιβάλλουν τη διατήρηση του ωφέλιμου αποθέματος μεταξύ μιας κατώτατης και μια ανώτατης τιμής. Κατά συνέπεια, τα αποθέματα-στόχοι που προκύπτουν από την (17) ή την (18) διορθώνονται έτσι ώστε:

$$S_i^* = \begin{cases} 0 & K_i - a_i K + b_i V < 0 \\ K_i - a_i K + b_i V & 0 \leq K_i - a_i K + b_i V \leq K_i \\ K_i & K_i - a_i K + b_i V > K_i \end{cases} \quad (20)$$

Εφόσον τα αποθέματα-στόχοι διορθωθούν σύμφωνα με τη σχέση (20), είναι δυνατόν να μην ικανοποιείται πλέον ο περιορισμός (15). Στην περίπτωση αυτή ακολουθείται μια διαδικασία αναγωγής, καθώς η ποσότητα  $V - \sum_{j=1}^N S_j^*$  κατανέμεται ανάλογα με την ποσότητα  $S_i^* (1 - S_i^*/K_i)$ , έτσι ώστε η συνθήκη ( $S_i^* = 0$ ) να αντιστοιχεί στη συνθήκη ( $S_i''^* = 0$ ), ενώ η συνθήκη ( $S_i^* = K_i$ ) να

αντιστοιχεί στη συνθήκη ( $S_i'^* = K_i$ ). Με τον τρόπο αυτό δεν επηρεάζονται οι περιπτώσεις κατά τις οποίες προκύπτει η απαίτηση άδειου ή γεμάτου ταμειυτήρα. Τα τελικά αποθέματα-στόχοι  $S_i'^*$  δίνονται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} S_i'^* &= S_i'^* + \frac{S_i'^*(1 - S_i'^*/K_i)}{\sum_{j=1}^N S_j'^*(1 - S_j'^*/K_j)} \left( V - \sum_{j=1}^N S_j'^* \right) \\ &= S_i'^* [1 + \varphi (1 - S_i'^*/K_i)] \end{aligned} \quad (21)$$

όπου:

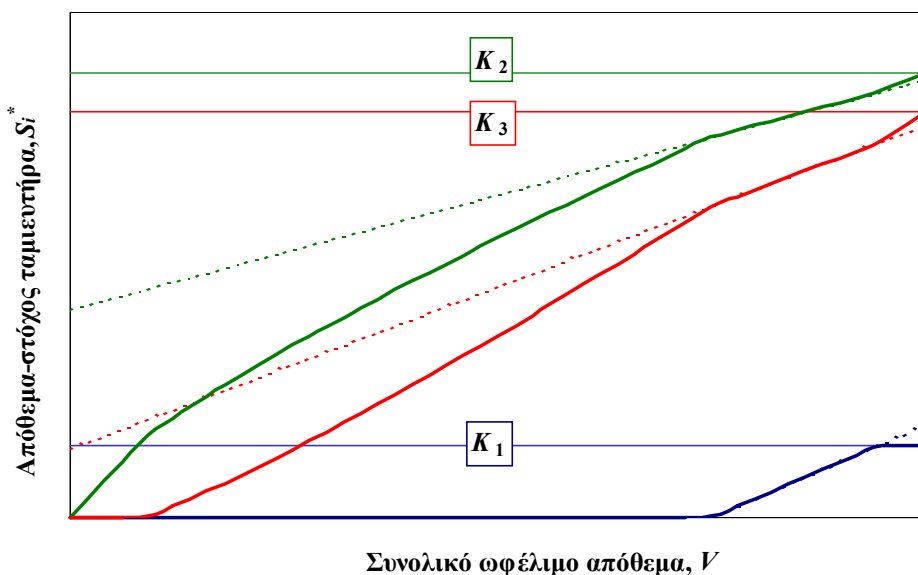
$$\varphi := \frac{V - \sum_{j=1}^N S_j'^*}{\sum_{j=1}^N S_j'^*(1 - S_j'^*/K_j)} \quad (22)$$

Σημειώνεται ότι κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, όπως για τιμές του  $\varphi$  εκτός του διαστήματος  $[-1, 1]$ , η εξίσωση (21) μπορεί να δώσει τιμές αποθεμάτων-στόχων που εξακολουθούν να παραβιάζουν τους φυσικούς περιορισμούς. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος ακολουθείται ειδική επαναληπτική διαδικασία.

Όλες οι παραπάνω εξισώσεις αναφέρονται σε ωφέλιμα και όχι μικτά μεγέθη ή διαφορετικά αντιστοιχούν σε ταμειυτήρες με μηδενικό νεκρό όγκο. Η θεώρηση του νεκρού όγκου γίνεται μέσω των σχέσεων αναγωγής:

$$\begin{aligned} S_i^* &\rightarrow S_i^* + DV_i \\ K_i &\rightarrow K_i - DV_i \end{aligned} \quad (23)$$

Αν και εξαιτίας των διορθώσεων η τελική μορφή των κανόνων λειτουργίας είναι μη γραμμική, καθορίζεται πλήρως από τις τιμές των παραμέτρων  $a_i$  και  $b_i$ . Κατά συνέπεια, το πλήθος των βαθμών ελευθερίας του μαθηματικού μοντέλου ισούται με  $2N$  (δύο παράμετροι ανά ταμειυτήρα) και είναι ανεξάρτητο του πλήθους των βημάτων προσομοίωσης,  $T$ . Στην εικόνα 2.2 παρουσιάζονται οι κανόνες λειτουργίας για τρεις υποθετικούς ταμειυτήρες. Με διακεκομμένη γραμμή απεικονίζονται οι αρχικοί κανόνες, όπως προκύπτουν από τη σχέση (17), ενώ με συνεχή γραμμή απεικονίζονται οι κανόνες στην τελική τους μορφή.



Εικόνα 2.2: Γραφική παράσταση των κανόνων λειτουργίας για τρεις υποθετικούς ταμιευτήρες. Με λεπτή γραμμή απεικονίζεται η ωφέλιμη χωρητικότητα κάθε ταμιευτήρα, με παχιά γραμμή η τελική μορφή των κανόνων λειτουργίας, ενώ με διακεκομμένη η αρχική (γραμμική) τους μορφή.

### 2.3.2 Κανόνες λειτουργίας γεωτρήσεων

Σε κάθε γεώτρηση  $i$  ορίζονται δύο κατώφλια  $b_i^{up}$  και  $b_i^{down}$ , τα οποία ορίζονται ως ποσοστά επί του συνολικού ωφέλιμου όγκου του συστήματος  $V$  και κατά συνέπεια λαμβάνουν τιμές στο διάστημα  $[0, 1]$ . Εφόσον το απολήψιμο δυναμικό των ταμιευτήρων βρίσκεται πάνω από το πρώτο κατώφλι  $b_i^{up}$ , απαγορεύεται η χρήση της γεώτρησης, ενώ όταν βρεθεί κάτω από το δεύτερο κατώφλι  $b_i^{down}$ , η γεώτρηση χρησιμοποιείται κατά απόλυτη προτεραιότητα (χωρίς οικονομικά κριτήρια). Τέλος, για ενδιάμεσες τιμές η γεώτρηση χρησιμοποιείται μόνο εφόσον το νερό της προκύπτει οικονομικότερο από άλλες λύσεις.

## 2.4 Μοντέλο προσομοίωσης

Η προσομοίωση είναι η διαδικασία αναπαράστασης των φυσικών διεργασιών που διέπουν τη λειτουργία του υδατικού συστήματος και έχει ως στόχο την αποτίμηση του βαθμού επίδοσης των κανόνων διαχείρισης. Η προσομοίωση εκτελείται σε μηνιαία χρονικά βήματα, τα οποία ομαδοποιούνται σε χρονικές περιόδους (έτη). Η υπολογιστική διαδικασία συνίσταται στον καθορισμό των απολήψεων βάσει των κανόνων λειτουργίας των ταμιευτήρων και την επίλυση των εξισώσεων ισοζυγίου, με τρόπο ώστε να ικανοποιούνται όλοι οι φυσικοί και λειτουργικοί περιορισμοί του συστήματος.

Σε συστήματα απλής τοπολογίας (π.χ. γραμμική διάταξη ταμιευτήρων, μοναδικός στόχος ζήτησης κατάντη), ο χειρισμός των εξισώσεων ισοζυγίου και των περιορισμών κατά μήκος του δικτύου των υδραγωγείων είναι δεδομένος, εφόσον οι εκροές διοχετεύονται κατά μοναδικό τρόπο. Αντίθετα, σε πιο σύνθετα συστήματα, η κατανομή των εκροών στα υδραγωγεία δεν είναι δεδομένη, αντίθετα μπορεί να προκύπτει πληθώρα εναλλακτικών διαδρομών μεταφοράς του νερού, με διαφορετικό μάλιστα κόστος. Στην περίπτωση αυτή τίθεται ένα επιπλέον πρόβλημα κατανομής των εκροών στα υδραγωγεία, το οποίο αντιμετωπίζεται ως ένα πρόβλημα μεταφόρτωσης (transshipment problem) και επιλύεται με τεχνικές δικτυακού γραμμικού προγραμματισμού.



### 2.4.1 Μαθηματική διατύπωση του προβλήματος μεταφόρτωσης

Το πρόβλημα μεταφόρτωσης είναι γνωστό από τη θεωρία γράφων (Deo 1974, Smith 1982). Ο γράφος (graph) είναι μια μαθηματική οντότητα η οποία ορίζεται ως ένα σύνολο που αποτελείται από διατεταγμένα ζεύγη σημείων. Κάθε γράφος μπορεί να παρασταθεί με τη μορφή  $(N, A)$ , όπου  $N$  το σύνολο των σημείων (κόμβοι) και  $A$  το σύνολο των διατεταγμένων ζευγών (τόξα ή ακμές). Διγράφος (digraph) καλείται ο γράφος του οποίου τα τόξα έχουν προσανατολισμένη φορά, ενώ δίκτυο (network) είναι ένας γράφος, στα στοιχεία του οποίου (κόμβοι και τόξα) αντιστοιχούν κάποιες ιδιότητες.

Η τοπολογία ενός γράφου που αποτελείται από  $n$  κόμβους και  $m$  τόξα περιγράφεται μαθηματικά μέσω ενός  $n \times m$  μητρώνου πρόσπτωσης (incidence matrix), με τιμές  $a_{ij} = 1$  αν η φορά είναι από τον κόμβο  $i$  προς το τόξο  $j$ ,  $a_{ij} = -1$  αν η φορά είναι ανάστροφη και  $a_{ij} = 0$  αν δεν υπάρχει σύνδεση μεταξύ του κόμβου  $i$  και του τόξου  $k$ .

Το πρόβλημα μεταφόρτωσης έγκειται στην ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς μιας ποσότητας  $Y$  από κάποιους κόμβους που καλούνται πηγές (sources) στους κόμβους κατανάλωσης (sinks), μέσω ενός δικτύου  $n$  κόμβων και  $m$  τόξων. Κόμβοι στους οποίους δεν υπάρχει ούτε προσφορά ούτε ζήτηση καλούνται ενδιάμεσοι (intermediate).

Στο πρόβλημα μεταφόρτωσης ισχύουν οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Η συνολική προσφορά  $Y$  ισούται με τη συνολική ζήτηση.
- Σε κάθε κόμβο οι εισερχόμενες ποσότητες ισούνται με τις εξερχόμενες μείον τις καταναλισκόμενες (εξίσωση συνέχειας).
- Σε κάθε τόξο  $(i, j)$  η μεταφερόμενη ποσότητα  $x_{ij}$  δεν μπορεί να ξεπεράσει τη χωρητικότητα του τόξου,  $u_{ij}$ .

Στην περίπτωση που δεν ισχύει η πρώτη προϋπόθεση ορίζεται ένας εικονικός κόμβος ο οποίος απορροφά το πλεόνασμα της προσφοράς. Η μητρική διατύπωση του προβλήματος είναι:

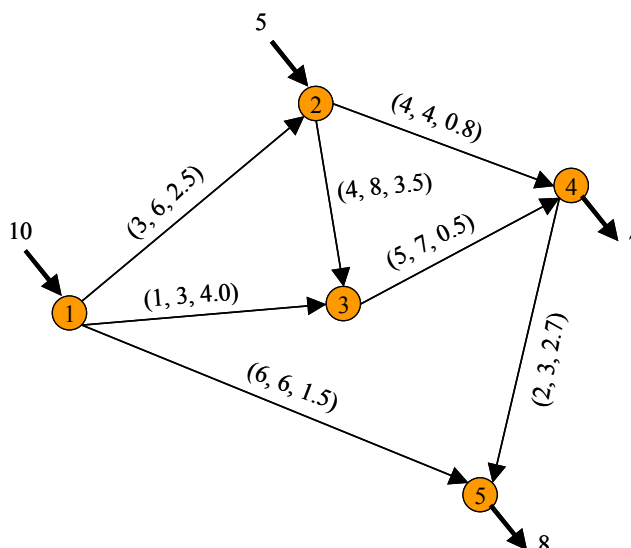
$$\begin{aligned} \text{minimise } f(\mathbf{x}) &= \mathbf{c}^T \mathbf{x} = \sum_{ij} c_{ij} \cdot x_{ij} \\ \text{έτσι ώστε } \mathbf{A} \mathbf{x} &= \mathbf{y} \\ \mathbf{0} &\leq \mathbf{x} \leq \mathbf{u} \end{aligned} \tag{24}$$

όπου  $c_{ij}$  το μοναδιαίο κόστος μεταφοράς στο τόξο  $(i, j)$ ,  $y_i$  η τιμή της ζήτησης ή προσφοράς στον κόμβο  $i$  (με θετικό και αρνητικό πρόσημο αντίστοιχα) και  $a_{ij}$  το στοιχείο του μητρώου πρόσπτωσης  $\mathbf{A}$ .

Εφόσον η συνολική προσφορά ισούται με τη συνολική ζήτηση, ισχύει η συνθήκη:

$$\sum_{i=1}^n y_i = 0 \tag{25}$$

Στην Εικόνα 2.3 απεικονίζεται ένα υποθετικό δίκτυο. Στους κόμβους 1 και 2 πραγματοποιείται η προσφορά, η οποία είναι ίση με 10 και 5 μονάδες αντίστοιχα. Ο κόμβος 3 είναι ενδιάμεσος, ενώ στους κόμβους 4 και 5 πραγματοποιείται η ζήτηση, η οποία είναι ίση με 7 και 8 μονάδες αντίστοιχα. Σε κάθε τόξο αναγράφονται η ποσότητα που μεταφέρεται, η χωρητικότητα και το μοναδιαίο κόστος.



Εικόνα 2.3: Υποθετικό μοντέλο δικτυακού γραμμικού προγραμματισμού. Εντός παρενθέσεως αναγράφονται η διερχόμενη παροχή, η χωρητικότητα και το μοναδιαίο κόστος των τόξων.

Το σύστημα των σχέσεων (24) ορίζει ένα πρόβλημα δικτυακού γραμμικού προγραμματισμού, το οποίο μπορεί να επιλυθεί αναλυτικά είτε με τον τυπικό αλγόριθμο simplex είτε με μια εξειδικευμένη παραλλαγή του, τη λεγόμενη δικτυακή simplex (Chvatal 1983). Η δικτυακή simplex επιλύει μοντέλα γραμμικού προγραμματισμού στα οποία οι συντελεστές των περιορισμών λαμβάνουν τιμές 1, -1 ή 0. Ο αλγόριθμος πλεονεκτεί ως προς την ταχύτητα επίλυσης, η οποία μπορεί να είναι από μία ως δύο τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη σε σχέση με την τυπική μέθοδο simplex.

### 2.4.2 Μετασηματισμός του υδροσυστήματος σε διγράφο

Στην αρχή κάθε χρονικού βήματος  $t$  είναι γνωστά ή μπορούν να υπολογιστούν τα ακόλουθα μεγέθη:

- το τρέχον απόθεμα κάθε ταμιευτήρα  $S_i$ , και το διαθέσιμο απόθεμα κάθε γεώτρησης  $W_i$
- το σύνολο των υδρολογικών εισροών και απωλειών
- οι παροχετευτικότητες των υδραγωγείων  $DC_j$ , οι οποίες είτε είναι σταθερές είτε εξαρτώμενες από το τρέχον ύψος πτώσης  $H_j$
- οι τιμές των στόχων

Το συνολικό ωφέλιμο απόθεμα του συστήματος στο τέλος του χρονικού βήματος προκύπτει από την εξίσωση (16), χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι πιθανές απώλειες λόγω υπερχειλίσσης  $SP_i$ , οι οποίες δεν είναι δυνατόν να εκτιμηθούν εκ των προτέρων. Για δεδομένες τιμές των παραμέτρων  $a_i$  και  $b_i$ , υπολογίζονται τα αποθέματα-στόχοι των ταμιευτήρων  $S_i^*$ , οπότε, επιλύοντας τις εξισώσεις ισοζυγίου ως προς τις επιθυμητές απολήψεις (απολήψεις-στόχοι) προκύπτει:

$$R_i^* = \max \{0, S_i + Q_i + P_i - E_i - LK_i - S_i^*\} \tag{26}$$

Τονίζεται ότι στην παραπάνω σχέση, η ποσότητα  $S_i$  αναφέρεται στο τρέχον απόθεμα του ταμιευτήρα, ενώ η ποσότητα  $S_i^*$  στο επιθυμητό απόθεμα στο τέλος του χρονικού βήματος. Σημειώνεται ακόμη ότι η θεώρηση μηδενικών υπερχειλίσσεων εισάγει σφάλμα στο μοντέλο, το οποίο δεν θεωρείται σημαντικό, εφόσον τα μεγέθη που υπολογίζονται είναι τα επιθυμητά και όχι τα πραγματικά. Η ποσότητα:

$$\Delta S_i = S_i + Q_i + P_i - E_i - LK_i \tag{27}$$

εκφράζει το ιδατό απόθεμα του ταμειυτήρα, το οποίο προκύπτει από την προσθήκη των συνιστωσών του υδρολογικού ισοζυγίου στο τρέχον απόθεμα  $S_i$ .

Η βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων υδατικών πόρων στις επιμέρους συνιστώσες του υδροσυστήματος (ταμειυτήρες και υδραγωγεία) αντιμετωπίζεται ως ένα πρόβλημα μεταφόρτωσης. Αυτό προϋποθέτει το μετασχηματισμό του υδροσυστήματος σε διγράφο, σε ένα σύνολο δηλαδή ιδατών κόμβων και τόξων, και στον καθορισμό των τιμών χωρητικότητας  $u_{ij}$  και μοναδιαίου κόστους  $c_{ij}$ . Στο μοντέλο ορίζονται 13 τύποι τόξων, τα στοιχεία των οποίων δίνονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Ιδιότητες (χωρητικότητα και μοναδιαίο κόστος) όλων των τύπων τόξων του διγράφου.

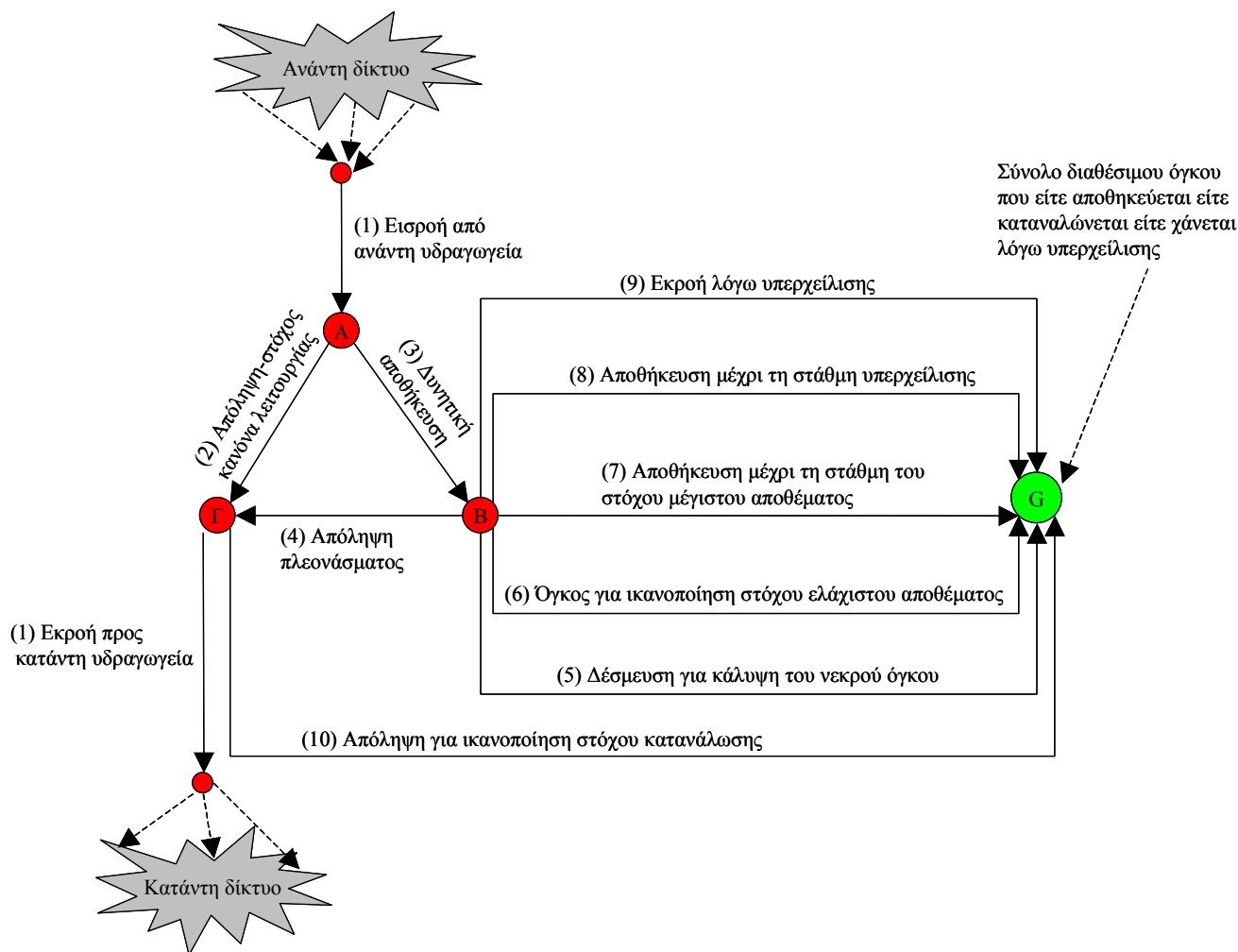
Τύπος	Χωρητικότητα	Κόστος	Μεταφερόμενη ποσότητα
0	$V_j^{min}$	$c_j - c_k^*$	Όγκος που δεσμεύεται για την πλήρωση του υδραγωγείου μέχρι την επίτευξη του στόχου ελάχιστης ροής, με αρνητικό κόστος που εξαρτάται από τη σχετική προτεραιότητα του στόχου $k$ (ισχύει $c_j \ll c_k^*$ , όπου $c_j$ το πραγματικό κόστος του υδραγωγείου και $c_k^*$ το εικονικό κόστος του στόχου ελάχιστης ροής)
1	$DC_j - V_j^{min}$	$c_j$	Ροή πέρα από την ελάχιστη επιθυμητή, η οποία περιορίζεται από την παροχευτικότητα του υδραγωγείου
2	$R_i^*$	0	Απόληψη-στόχος που θέτει ο παραμετρικός κανόνας
3	$\infty$	0	Όγκος που μπορεί θεωρητικά να αποθηκευτεί, εφόσον δεν περιορίζεται από τη χωρητικότητα του ταμειυτήρα
4	$\infty$	$c_{par}$	Απόληψη πέραν της επιθυμητής που ορίζει ο παραμετρικός κανόνας, για την οποία τίθεται εικονικό κόστος (ποινή)
5	$DV_i$	$-c_{dv}$	Όγκος που δεσμεύεται κατά απόλυτη προτεραιότητα, η οποία εκφράζεται μέσω μιας πολύ μεγάλης αρνητικής τιμής κόστους, για την πλήρωση του νεκρού όγκου
6	$S_i^{min} - DV_i$	$-c_k^*$	Όγκος που δεσμεύεται για την πλήρωση του ταμειυτήρα μέχρι τη στάθμη του στόχου ελάχιστου αποθέματος, με αρνητική τιμή κόστους, η οποία εξαρτάται από τη σχετική προτεραιότητα του στόχου $k$
7	$S_i^{max} - S_i^{min}$	0	Επιπλέον αποθήκευση μέχρι τη στάθμη του στόχου μέγιστου αποθέματος χωρίς κόστος
8	$K_i - S_i^{max}$	$c_k$	Αποθήκευση μεταξύ της στάθμης του στόχου μέγιστου αποθέματος και της στάθμης υπερχειλίσης, με ποινή που εξαρτάται από τη σχετική προτεραιότητα του στόχου $k$
9	$\infty$	$c_{sp}$	Όγκος υπερχειλίσης για την οποία είτε τίθεται ποινή, έτσι ώστε να λαμβάνει χώρα μόνο εφόσον επιβάλλεται από τους φυσικούς περιορισμούς.
10	$D_i$	$-c_k^*$	Όγκος που καταναλώνεται και έχει αρνητικό κόστος, το οποίο εξαρτάται από τη σχετική προτεραιότητα του στόχου $k$
11	$W_i$	$c_i'$	Απόληψη νερού από γεώτρηση, με κόστος εξαρτώμενο από το συνολικό απόθεμα του συστήματος και τον κανόνα λειτουργίας
12	$\infty$	0	Διαθέσιμο νερό από γεώτρηση, το οποίο δεν χρησιμοποιείται από το σύστημα

Στο σύστημα εισάγεται ένας εικονικός κόμβος ζήτησης  $G$ , στον οποίο καταλήγουν όλα τα τόξα που μεταφέρουν το νερό που είτε αποθηκεύεται είτε καταναλώνεται είτε υπερχειλίζει είτε δεν χρησιμοποιείται από τις γεωτρήσεις. Με τον τρόπο αυτό όλη η διαθέσιμη προσφορά νερού:

$$Y = \sum_{i=1}^N \Delta S_i + \sum_{i=1}^B W_i \quad (28)$$

απορροφάται από το σύστημα, έτσι ώστε να ικανοποιείται η συνθήκη (25).

Κάθε ταμειυτήρας προσομοιώνεται ως ένα ιδεατό δίκτυο 3 κόμβων και 9 τόξων (Εικόνα 2.4). Στον κόμβο A πραγματοποιείται η συνολική εισροή νερού, η οποία περιλαμβάνει την ιδεατή προσφορά  $\Delta S_i$  και την άγνωστη τροφοδοσία από τα ανάντη υδραγωγεία. Σημειώνεται ότι οι κόμβοι τύπου A είναι οι μόνοι του γράφου στους οποίους λαμβάνει χώρα προσφορά νερού. Στον κόμβο B πραγματοποιείται η αποθήκευση του νερού, ενώ στον κόμβο Γ πραγματοποιείται η απόληψη, με την οποία ικανοποιείται η ζήτηση και τροφοδοτούνται τα κατόντη υδραγωγεία.

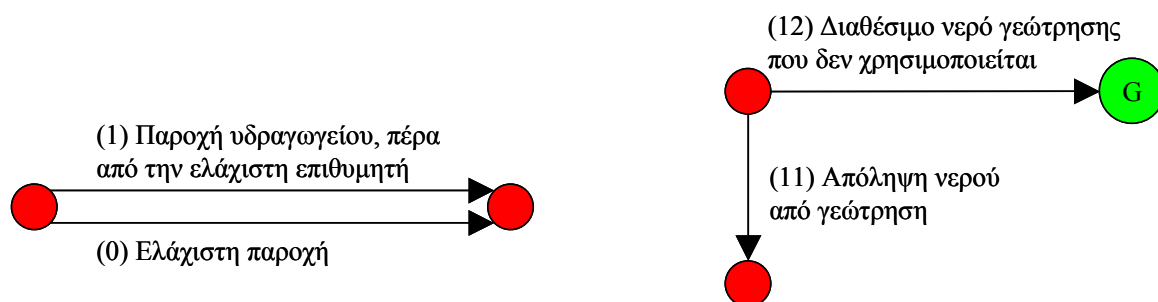


Εικόνα 2.4: Μετασηματισμός ταμειυτήρα σε κόμβους και τόξα διγράφου.

Κάθε υδραγωγείο προσομοιώνεται ως ένα μεμονωμένο τόξο, με χωρητικότητα ίση με την πραγματική του παροχετευτικότητα  $DC_j$ . Εξάιρεση αποτελεί η περίπτωση που έχει τεθεί στόχος ελάχιστης παροχής  $V_j^{min}$ , οπότε δημιουργείται ένα δίδυμο τόξο, με χωρητικότητες  $V_j^{min}$  και  $DC_j - V_j^{min}$  αντίστοιχα (Εικόνα 2.5).

Κάθε γεώτρηση προσομοιώνεται ως ένα σύστημα δύο κόμβων και δύο τόξων (Εικόνα 2.5). Στον πρώτο κόμβο πραγματοποιείται η ιδεατή εισροή  $W_i$ , ενώ ο δεύτερος κόμβος είναι αυτός στον οποίον αναφέρεται η γεώτρηση (δηλαδή είναι πραγματικός κόμβος του συστήματος). Οι κόμβοι συνδέονται

με ένα ιδεατό τόξο παροχευτικότητας  $W_i$ , το οποίο μεταφέρει το ποσοστό της εισροής που χρησιμοποιείται από το σύστημα, ενώ το υπόλοιπο της εισροής μεταφέρεται στον εικονικό κόμβο G.



Εικόνα 2.5: Μετασχηματισμός υδραγωγείου με στόχο ελάχιστης παροχής (αριστερά) και γεώτρησης (δεξιά) σε κόμβους και τόξα διγράφου.

### 2.4.3 Ορισμός τιμών κόστους στα τόξα

Στο πρόβλημα μεταφόρτωσης που ορίστηκε, το κόστος εκφράζει τη σχετική προτεραιότητα των επιμέρους συνιστωσών του ισοζυγίου. Στους πραγματικούς αγωγούς του δικτύου (τόξα τύπου 1), το κόστος αναφέρεται σε οικονομικά μεγέθη, τα οποία σχετίζονται με λειτουργικά και άλλα έξοδα μεταφοράς νερού. Στα υπόλοιπα τόξα το κόστος είναι εικονικό μέγεθος. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιείται ως ποινή, έτσι ώστε να αποτρέψει τη μεταφορά νερού από τα αντίστοιχα τόξα στην περίπτωση που υπάρχουν αποδοτικότερες εναλλακτικές διαδρομές. Με τον τρόπο αυτό εμποδίζονται η απόληψη που ξεπερνά αυτή που ορίζει ο παραμετρικός κανόνας λειτουργίας των ταμιευτήρων (τόξο τύπου 4), η αποθήκευση πέρα από τον στόχο μέγιστου αποθέματος (τόξο τύπου 8), η υπερχειλίση (τόξο τύπου 9) και η χρήση των γεωτρήσεων, εφόσον αυτό δεν επιβάλλεται από τους κανόνες λειτουργίας τους (τόξο τύπου 11). Αντίθετα, στις υπόλοιπες περιπτώσεις, το κόστος εισάγεται με αρνητικό πρόσημο, έτσι ώστε να εξαναγκαστεί το σύστημα να μεταφέρει νερό μέσω των αντίστοιχων τόξων, δεσμεύοντας νερό για την πλήρωση του νεκρού όγκου (τόξο τύπου 5) καθώς και την επίτευξη των στόχων διατήρησης ελάχιστης παροχής σε υδραγωγεία (τόξο τύπου 0), διατήρησης ελάχιστου αποθέματος σε ταμιευτήρες (τόξο τύπου 6) και εξυπηρέτησης της ζήτησης (τόξο τύπου 10).

Για τον καθορισμό των απόλυτων τιμών κόστους ακολουθείται ένας αναδρομικός αλγόριθμος. Τα κόστη, και κατά συνέπεια τα τόξα του διγράφου, ομαδοποιούνται σε επίπεδα προτεραιότητας, έτσι ώστε να ισχύει η συνθήκη:

$$c[u] > s[u - 1] \quad (29)$$

όπου  $c[u]$  οι τιμές κόστους στο επίπεδο προτεραιότητας  $u$  και  $s[u - 1]$  το αθροιστικό κόστος όλων των προηγούμενων επιπέδων. Με τον ορισμό αυτό, η ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς σε τόξα διαφορετικών επιπέδων πραγματοποιείται παράλληλα, χωρίς να επηρεάζει τη βέλτιστη λύση του προβλήματος μεταφόρτωσης.

Στο κατώτερο (μηδενικό) επίπεδο τίθενται τα τόξα μηδενικού κόστους, δηλαδή τα τόξα τύπου 2, 3, 7 και 12. Στο πρώτο επίπεδο τίθενται τα τόξα τύπου 1 και 11, τα οποία αναφέρονται σε πραγματικά κόστη, δηλαδή σε κόστη λειτουργίας υδραγωγείων  $c_j$  και γεωτρήσεων  $c_i'$  αντίστοιχα. Η ποσότητα

$$s[1] = \sum_{j=1}^M c_j + \sum_{i=1}^B c_i' \quad (30)$$

είναι το άθροισμα όλων των πραγματικών τιμών κόστους του δικτύου. Κάθε άλλο κόστος είναι ιδεατό και κατά συνέπεια οφείλει να είναι μεγαλύτερο από το  $s[1]$ , έτσι ώστε να μην υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ πραγματικών και ιδεατών τιμών κόστους.

Στο δεύτερο επίπεδο περιέχεται η ποινή που θέτει το μοντέλο στα τόξα τύπου 4 για παραβίαση του παραμετρικού κανόνα λειτουργίας των ταμιευτήρων, η οποία είναι ίση με:

$$c_{\text{par}} = s[1] + \varepsilon \quad (31)$$

όπου  $\varepsilon$  ένας μικρός θετικός αριθμός, ο οποίος προστίθεται στο αθροιστικό κόστος  $s(1)$  του προηγούμενου επιπέδου έτσι ώστε για να ικανοποιείται η συνθήκη (29). Ισχύει:

$$s[2] = s[1] + N c_{\text{par}} \quad (32)$$

όπου  $N$  το πλήθος των ταμιευτήρων και κατά συνέπεια το πλήθος των τόξων τύπου 4.

Στο τρίτο επίπεδο υπολογίζονται τα κόστη των γεωτρήσεων (τόξα τύπου 11), με τα οποία υλοποιείται η πολιτική διαχείρισής τους. Συγκεκριμένα:

$$c_i[3] = \begin{cases} s[2] + \varepsilon & V/K > b_i^{\text{up}} \\ -s[2] - \varepsilon & V/K < b_i^{\text{down}} \\ c_i' & \text{διαφορετικά} \end{cases} \quad (33)$$

Κατά συνέπεια, αν το σχετικό ωφέλιμο απόθεμα του συστήματος  $V/K$  είναι μεγαλύτερο από το άνω όριο  $b_i^{\text{up}}$ , τίθεται μια μεγάλη ποινή για την αποφυγή της χρήσης των γεωτρήσεων. Αντίθετα, αν το σχετικό απόθεμα είναι μικρότερο από το κάτω όριο  $b_i^{\text{down}}$ , τότε η ποινή ορίζεται ως αρνητικό κόστος, έτσι ώστε να επιβάλει τη χρήση της γεωτρήσεως χωρίς να ληφθούν υπόψη οι οικονομικές επιπτώσεις, οι οποίες εμπεριέχονται στον όρο  $s[2]$ . Τέλος, στην ενδιάμεση περίπτωση, οι γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται συναρτήσει καθαρά οικονομικών κριτηρίων, καθώς εισάγονται τα πραγματικά τους κόστη  $c_i'$ .

Σε αντίθεση με τα υπόλοιπες συνιστώσες κόστους, οι τιμές  $c_i[3]$  αναθεωρούνται σε κάθε χρονικό βήμα, γιατί είναι συνάρτηση του ωφέλιμου όγκου του συστήματος  $V$ . Ωστόσο, το αθροιστικό κόστος υπολογίζεται θεωρώντας ότι ισχύει  $V/K > b_i^{\text{up}}$ , οπότε:

$$s[3] = (B + 1) s[2] + B \varepsilon \quad (34)$$

όπου  $B$  το πλήθος των γεωτρήσεων.

Στο τέταρτο επίπεδο υπολογίζονται τα εικονικά κόστη  $c_k^*$  που αναφέρονται στους στόχους του υδροσυστήματος, δηλαδή τα κόστη των τόξων τύπου 0 (ελάχιστη παροχή υδραγωγείου), 6 (ελάχιστο απόθεμα ταμιευτήρα), 8 (μέγιστο απόθεμα ταμιευτήρα) και 10 (ζήτηση νερού). Οι τιμές κόστους διαφοροποιούνται ανάλογα με την προτεραιότητα του κάθε στόχου και υπολογίζονται από την αναδρομική σχέση:

$$c_k^* = 2^{(L-k)} (s[3] + \varepsilon) \quad (35)$$

όπου  $L$  το πλήθος των στόχων του υδροσυστήματος και  $k$  ο δείκτης κάθε στόχου, ο οποίος εκφράζει τη σειρά προτεραιότητας. Το αθροιστικό κόστος είναι ίσο με:

$$s[4] = s[3] + \sum_{k=1}^L c_k^* \quad (36)$$

Στο πέμπτο επίπεδο υπολογίζονται οι ποινές που τίθενται για την πλήρωση του νεκρού όγκου (τόξα τύπου 5) και την αποφυγή των υπερχειλίσεων (τόξα τύπου 9), οι οποίες είναι ίσες με:

$$c_{dv} = c_{sp} = s[4] + \varepsilon \quad (37)$$

Εάν οι υπερχειλίσεις ενός ταμιευτήρα είναι αποδεκτές, η τιμή του κόστους τίθεται ίση με  $\varepsilon$ , έτσι ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν κατά προτεραιότητα, εφόσον έχει πληρωθεί η χωρητικότητα  $K_i$ . Υπενθυμίζεται ότι τίθεται αρνητικό κόστος μέχρι τη στάθμη πλήρωσης του νεκρού όγκου (ή της στάθμης ελάχιστου αποθέματος, εφόσον έχει τεθεί τέτοιος στόχος), και μηδενικό κόστος μέχρι τη στάθμη υπερχείλισης. Στην περίπτωση αυτή δεν έχει νόημα ο καθορισμός ανώτατου ορίου αποθέματος.

#### 2.4.4 Αλγόριθμος προσομοίωσης

Το διάγραμμα ροής του αλγόριθμου προσομοίωσης απεικονίζεται στην Εικόνα 2.6. Στοιχεία εισόδου του αλγορίθμου είναι η δομή και οι συνιστώσες του υδροσυστήματος, οι τιμές των παραμέτρων των κανόνων λειτουργίας των ταμιευτήρων και η αντικειμενική συνάρτηση, μέσω της οποίας διατυπώνεται μαθηματικά το μέτρο επίδοσης της διαχείρισης του συστήματος. Οι συνθήκες εκκίνησης της προσομοίωσης καθορίζονται από τις τιμές των αρχικών αποθεμάτων των ταμιευτήρων.

Οι συνιστώσες του υδροσυστήματος μετασχηματίζονται σε κόμβους και τόξα διγράφου και ορίζεται το μητρώο πρόσπτωσης. Το μητρώο παραμένει αμετάβλητο κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, αφού η τοπολογία του δικτύου είναι σταθερή. Επιπλέον, ορίζονται οι ιδιότητες των τόξων, οι οποίες παραμένουν επίσης αμετάβλητες (π.χ. μοναδιαία κόστη όλων των τόξων πλην των τόξων τύπου 11).

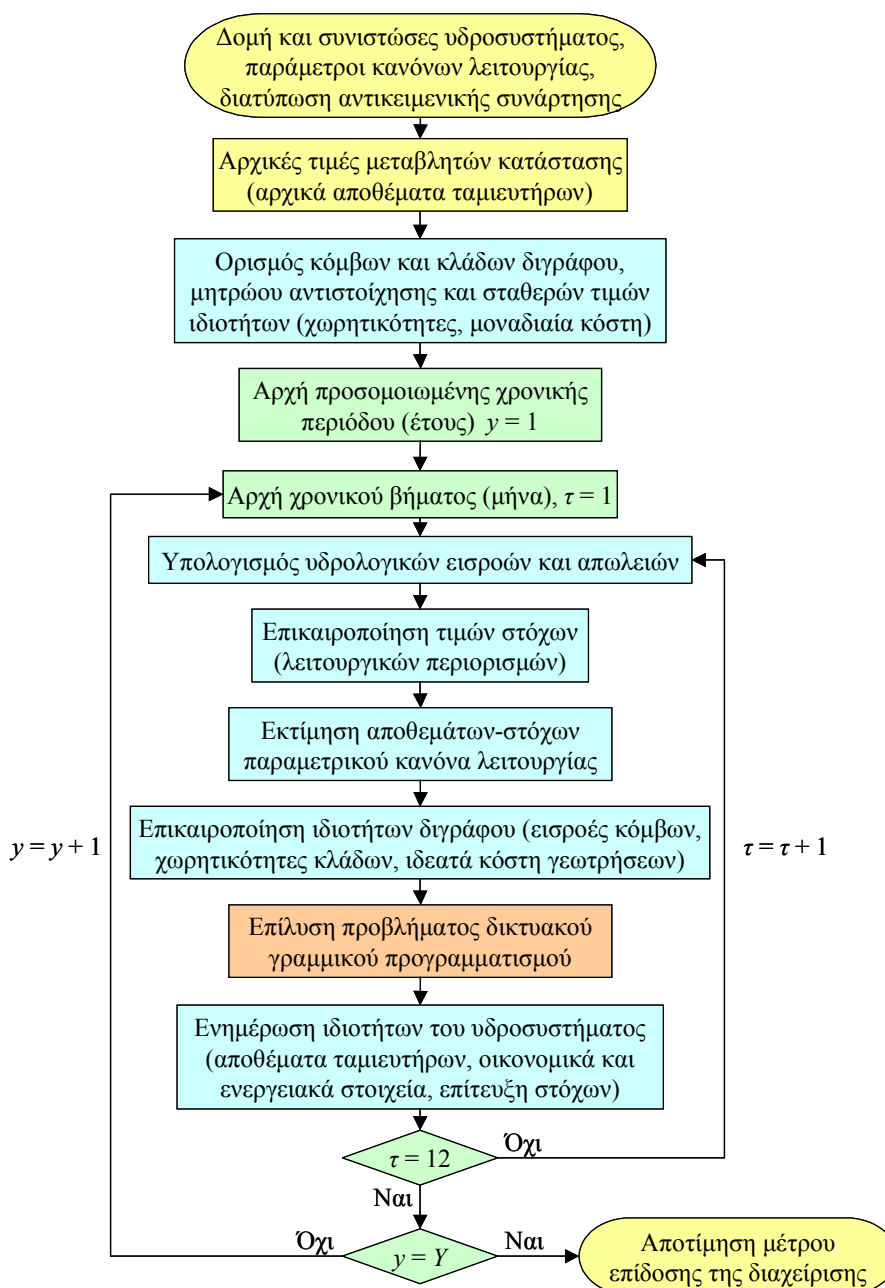
Η προσομοίωση αναφέρεται σε δύο χρονικά επίπεδα, ένα μηνιαίο (εσωτερικός βρόχος) και ένα ετήσιο (εξωτερικός βρόχος). Η διαφοροποίηση είναι αναγκαία έτσι ώστε να ενημερώνονται μεταβλητές που εξαρτώνται από την τιμή του μήνα (π.χ. συντελεστές υπόγειων διαφυγών ταμιευτήρων, συντελεστές εποχιακής μεταβολής στόχων). Όλες οι διεργασίες της προσομοίωσης εκτελούνται στον εσωτερικό βρόχο και περιλαμβάνουν τα ακόλουθα βήματα:

**Βήμα 1ο:** Υπολογίζονται οι υδρολογικές εισροές και απώλειες των ταμιευτήρων, δηλαδή οι τιμές απορροής, βροχόπτωσης, εξάτμισης και υπόγειων διαφυγών.

**Βήμα 2ο:** Επικαιροποιούνται οι τιμές των στόχων, οι οποίες εξαρτώνται από την τρέχουσα χρονική περίοδο  $y$  και τον μήνα  $\tau$ .

**Βήμα 3ο:** Με βάση τη μεταβολή του υδρολογικού ισοζυγίου και τις τιμές των στόχων κατανάλωσης νερού, εκτιμάται το αναμενόμενο συνολικό ωφέλιμο απόθεμα στο τέλος του χρονικού βήματος και υπολογίζονται τα αποθέματα-στόχοι των ταμιευτήρων, συναρτήσει των παραμέτρων των κανόνων λειτουργίας.

**Βήμα 4ο:** Με βάση τη μεταβολή του υδρολογικού ισοζυγίου, υπολογίζονται οι εισροές στους κόμβους τύπου A. Επιπλέον, επικαιροποιούνται οι χωρητικότητες των περισσότερων τόξων καθώς και οι τιμές κόστους των γεωτρήσεων, οι οποίες εξαρτώνται από το συνολικό ωφέλιμο απόθεμα του συστήματος.



Εικόνα 2.6: Διάγραμμα ροής αλγόριθμου προσομοίωσης.

**Βήμα 5ο:** Επιλύεται το πρόβλημα μεταφόρτωσης με μεθόδους δικτυακού γραμμικού προγραμματισμού και επιστρέφονται οι βέλτιστες τιμές των  $x_{ij}$  με τις οποίες ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος του δικτύου (πραγματικό και εικονικό).

**Βήμα 6ο:** Οι ποσότητες  $x_{ij}$  αντιστοιχίζονται στις μεταβλητές του μαθηματικού μοντέλου του υδροσυστήματος, έτσι ώστε να εκφράζουν πραγματικά και όχι ιδεατά μεγέθη (αποθέματα ταμιευτήρων, παροχές υδραγωγείων, απολήψεις για την εξυπηρέτηση στόχων). Επιπλέον, επικαιροποιούνται το υδρολογικό, ενεργειακό και οικονομικό ισοζύγιο του υδροσυστήματος καθώς και οι δείκτες αστοχίας των λειτουργικών περιορισμών.

Μετά το πέρας των παραπάνω διεργασιών ελέγχεται αν έχουν πραγματοποιηθεί όλα τα χρονικά βήματα, οπότε η διαδικασία τερματίζεται και επιστρέφεται η τιμή του μέτρου επίδοσης.



### 2.4.5 Μέτρο επίδοσης της διαχείρισης του υδροσυστήματος

Το μέτρο επίδοσης του συστήματος αντιπροσωπεύει την αποτελεσματικότητα της πολιτικής διαχείρισης που εφαρμόζεται. Το μέτρο επίδοσης αναφέρεται στην αξιοπιστία, στο κόστος λειτουργίας ή στην εγγυημένη απόδοση του υδροσυστήματος.

#### *Αξιοπιστία συστήματος*

Η αξιοπιστία  $r$  είναι μαθηματική έννοια, η οποία εκφράζει την πιθανότητα επίτευξης της επιθυμητής απόδοσης ενός συστήματος και συνδέεται με την αστοχία  $f$  μέσω της σχέσης:

$$r = 1 - f \quad (38)$$

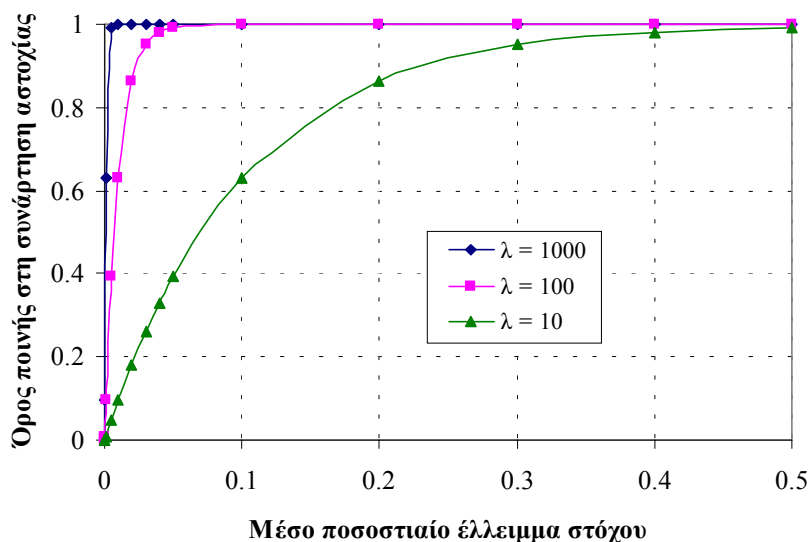
Μέτρα της αστοχίας ενός στόχου είναι οι δείκτες  $\alpha_k$  και  $\beta_k$ , οι οποίοι επεξηγούνται στο εδάφιο 2.2.5. Υπενθυμίζεται ότι ο πρώτος δείκτης αναφέρεται στο ποσοστό των χρονικών περιόδων κατά τα οποία δεν επιτυγχάνεται η επιθυμητή τιμή του στόχου, ενώ ο δεύτερος στο μέσο ποσοστιαίο έλλειμμα. Είναι προφανές ότι ο μονομερής ορισμός της  $f$  με βάση μόνο τον έναν από τους δύο δείκτες δεν είναι αντιπροσωπευτικός. Για παράδειγμα, η τιμή ενός στόχου  $k$  μπορεί να μην επιτυγχάνεται οριακά για μεγάλο χρονικό διάστημα, οπότε ενώ η τιμή του δείκτη  $\alpha_k$  είναι μεγάλη, η τιμή του δείκτη  $\beta_k$  τείνει στο μηδέν. Για το λόγο αυτό εισάγεται ένας σύνθετος ορισμός της αστοχίας, ο οποίος περιέχει και τους δύο δείκτες. Η μαθηματική του έκφραση είναι:

$$f_k = \alpha_k \{1 - \exp(-\lambda \beta_k)\} \quad (39)$$

όπου  $\lambda$  παράμετρος κλίμακας. Ο όρος

$$1 - \exp(-\lambda \beta_k) \quad (40)$$

εκφράζει την ποινή που εισάγει το ποσοστιαίο έλλειμμα της επίτευξης του στόχου στον δείκτη αστοχίας  $\alpha_k$ . Εφόσον  $\beta_k \rightarrow 0$ , τότε και  $f_k \rightarrow 0$ , ανεξάρτητα από την τιμή του  $\alpha_k$ . Το χαρακτηριστικό της συνάρτησης (40) είναι η απότομη ασυμπτωτική συμπεριφορά ακόμη και για μικρές τιμές του  $\beta_k$ , η οποία ρυθμίζεται μέσω της παραμέτρου  $\lambda$ . Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.7, όσο αυξάνει η τιμή του  $\lambda$  τόσο πιο απότομη γίνεται η καμπύλη και κατά συνέπεια τόσο πιο αυστηρός είναι ο ορισμός της αστοχίας.



Εικόνα 2.7: Γραφική απεικόνιση της συνάρτησης ποινής (40) για διάφορες τιμές της παραμέτρου  $\lambda$ .

Η μέση αστοχία  $F$  προκύπτει ως το σταθμισμένο άθροισμα των δεικτών αστοχίας των επιμέρους στόχων, με βάση την εξίσωση:

$$F = \sum_{k=1}^L w_k f_k \quad (41)$$

όπου  $w_k$  συντελεστής βάρους τέτοιος ώστε:

$$\sum_{k=1}^L w_k = 1 \quad (42)$$

### Κόστος λειτουργίας

Το μέσο κόστος λειτουργίας  $C$  είναι ένας συνήθης τρόπος αποτίμησης της διαχειριστικής πολιτικής ενός υδρoσυστήματος. Το κόστος αυτό, το οποίο περιλαμβάνει το κόστος μεταφοράς νερού στα υδραγωγεία και το κόστος των γεωτρήσεων, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$C = \frac{1}{T} \left[ \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^M c_j V_j(t) + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^B c_i R_i(t) \right] \quad (43)$$

Στο μοντέλο ορίζεται ακόμη ένα συνδυαστικό μέτρο επίδοσης, το οποίο ενσωματώνει τη μέση αστοχία  $F$  στο μέσο κόστος  $C$  με τη μορφή του πολλαπλασιαστικού συντελεστή ποινής:

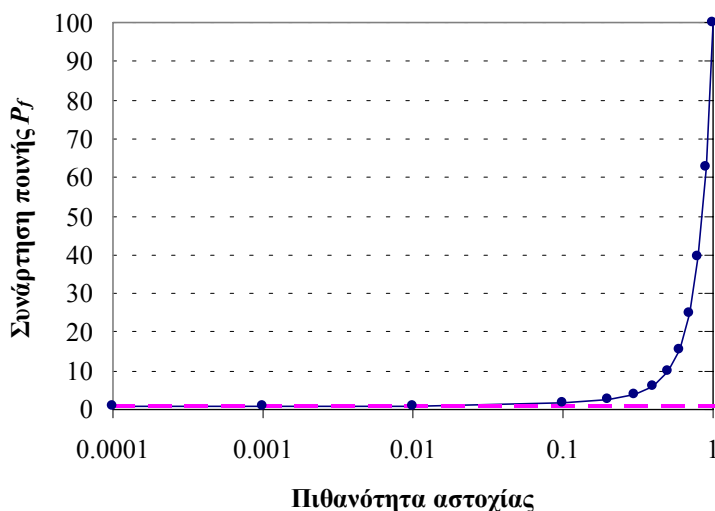
$$P_F = \exp \left( \frac{F - F_{\max}}{\kappa} \right) \quad (44)$$

όπου  $F_{\max}$  η μέγιστη επιτρεπόμενη αστοχία και  $\kappa$  παράμετρος κλίμακας, η οποία ορίζεται ως:

$$\kappa = \frac{1 - F_{\max}}{\ln(P_{\max})} \quad (45)$$

όπου  $P_{\max}$  η μέγιστη τιμή της συνάρτησης ποινής  $P_F$ . Αν  $F = F_{\max}$  η ποινή  $P_F$  γίνεται ίση με την μονάδα, οπότε το μέτρο επίδοσης του συστήματος ταυτίζεται με το μέσο κόστος  $C$ . Αν  $F < F_{\max}$  η

ποινή γίνεται ελαφρά μικρότερη της μονάδας, μειώνοντας οριακά το κόστος. Τέλος, αν  $F > F_{\max}$  η ποινή αυξάνει απότομα, μέχρι την τιμή  $P_{\max}$ , η οποία αντιστοιχεί σε  $F = 1$ . Η γραφική παράσταση της εξίσωσης (44) για  $F_{\max} = 0.01$  και  $P_{\max} = 100$  απεικονίζεται στην Εικόνα 2.8.



Εικόνα 2.8: Γραφική απεικόνιση της εξίσωσης (44) σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα για  $F_{\max} = 0.01$  και  $P_{\max} = 100$ . Με διακεκομμένη απεικονίζεται η στάθμη της μέγιστης επιτρεπόμενης αστοχίας, η οποία ισοδυναμεί με αποδεκτό επίπεδο αξιοπιστίας 99%.

### Απόδοση συστήματος

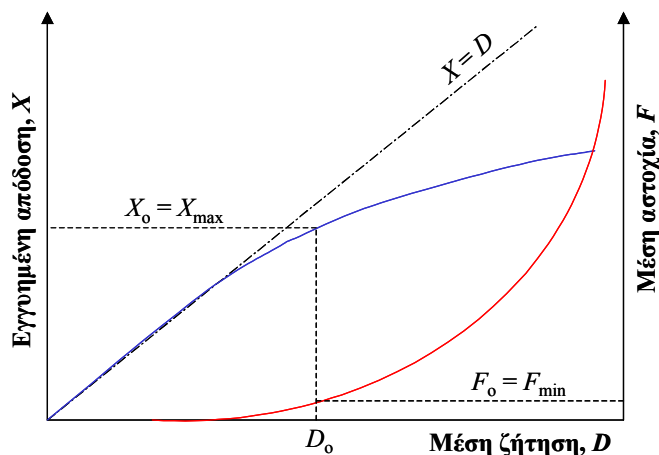
Η απόδοση του συστήματος ορίζεται ως η μέση αθροιστική απόληψη για την ικανοποίηση των στόχων ζήτησης, δηλαδή:

$$X = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^L X_k \quad (46)$$

Η εγγυημένη απόδοση  $X_F$  ορίζεται ως η μέση αθροιστική απόληψη που επιτυγχάνεται για κάποιο αποδεκτό επίπεδο αστοχίας  $F_{\max}$ , δηλαδή:

$$X_F = \{X: \text{prob}(X < D) = F_{\max}\} \quad (47)$$

Η μεγιστοποιημένη εγγυημένη απόδοση  $X_{\max}$ , η οποία αντιστοιχεί στη βέλτιστη πολιτική διαχείρισης για δεδομένη ζήτηση  $D$  και δεδομένο επίπεδο αστοχίας  $F_{\max}$ , αποτελεί το θεωρητικό άνω όριο της προσφοράς του συστήματος. Για κάθε άλλον κανόνα διαχείρισης, το σύστημα επιτυγχάνει μικρότερη εγγυημένη απόδοση. Αντίστοιχα, υπάρχει μια ελάχιστη αστοχία  $F_{\min}$ , με την οποία μπορεί να ανταποκριθεί το σύστημα σε δεδομένη ζήτηση  $D$ , η οποία αντιστοιχεί στον βέλτιστο κανόνα διαχείρισης. Για κάθε άλλον κανόνα διαχείρισης, το σύστημα ικανοποιεί τους στόχους ζήτησης με μεγαλύτερη πιθανότητα αστοχίας. Η Εικόνα 2.9 απεικονίζονται η μεγιστοποιημένη εγγυημένη απόδοση  $X$  και η ελαχιστοποιημένη αστοχία  $F$  συναρτήσει της μέσης ζήτησης  $D$ .



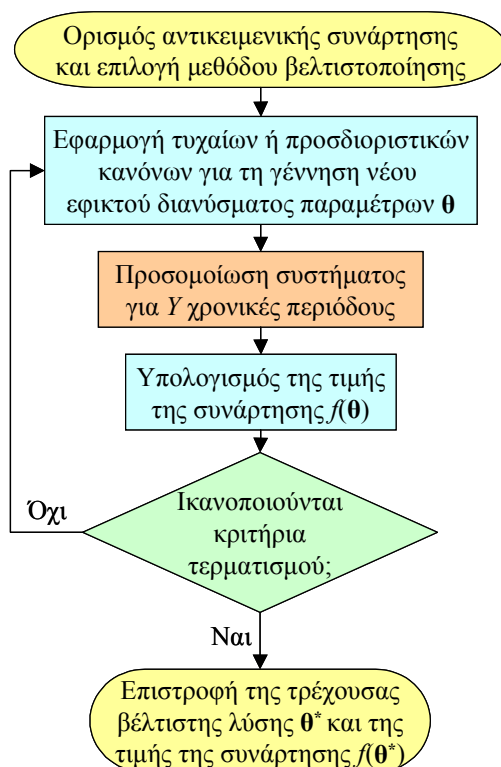
Εικόνα 2.9: Γραφική απεικόνιση των καμπυλών μεγιστοποιημένης εγγυημένης απόδοσης  $X_{\max}$  και ελαχιστοποιημένης αστοχίας  $F_{\min}$ , συναρτήσει της μέσης ζήτησης  $D$ .

## 2.5 Διαδικασίες βελτιστοποίησης

### 2.5.1 Περιγραφή του αλγορίθμου

Η βελτιστοποίηση είναι μια συστηματική διαδικασία αναζήτησης των τιμών των παραμέτρων του μοντέλου διαχείρισης, με τις οποίες μεγιστοποιείται η επίδοση του συστήματος. Η μαθηματική έκφραση της επίδοσης είναι η αντικειμενική συνάρτηση  $f(\theta)$ , η οποία λαμβάνει ως όρισμα ένα διάνυσμα παραμέτρων  $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_g)$  και επιστρέφει μια πραγματική τιμή.

Το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου απεικονίζεται στην Εικόνα 2.10. Για την εκκίνηση της διαδικασίας απαιτείται ο προσδιορισμός της αντικειμενικής συνάρτησης καθώς και η επιλογή της μεθόδου βελτιστοποίησης και των ορισμάτων της (π.χ. κριτήρια σύγκλισης και τερματισμού). Κάθε τέτοια μέθοδος χρησιμοποιεί ειδικούς αλγορίθμους για την γέννηση εφικτών συνδυασμών παραμέτρων του προβλήματος,  $\theta$ . Για κάθε διάνυσμα που παράγεται καλείται η διαδικασία προσομοίωσης και υπολογίζεται η τιμή της συνάρτησης  $f(\theta)$ . Η γέννηση της επόμενης λύσης βασίζεται σε τυχαίους, προσδιοριστικούς ή συνδυαστικούς κανόνες, που εξαρτώνται από τη μέθοδο που επιλέγεται. Εφόσον ικανοποιούνται τα κριτήρια τερματισμού, ο αλγόριθμος διακόπτεται και επιστρέφει την καλύτερη από τις λύσεις που έχει εντοπίσει μέχρι τότε, η οποία αποτελεί την εκτίμηση της ολικά βέλτιστης λύσης του προβλήματος.



Εικόνα 2.10: Διάγραμμα ροής αλγόριθμου βελτιστοποίησης.

### 2.5.2 Τύποι αντικειμενικής συνάρτησης

Με βάση τους τρεις ορισμούς για το μέτρο επίδοσης του συστήματος, μπορούν να διαμορφωθούν οι αντίστοιχες αντικειμενικές συναρτήσεις. Γενικά, η αντικειμενική συνάρτηση διατυπώνεται ως προς τους συντελεστές  $a_i$  και  $b_i$  του παραμετρικού κανόνα καθώς και ως προς τα κατώφλια  $b_i^{up}$  και  $b_i^{down}$  των γεωτρήσεων. Το πεδίο ορισμού όλων των μεταβλητών ελέγχου της συνάρτησης είναι το διάστημα  $[0, 1]$ . Εναλλακτικά, μπορεί να οριστούν σταθερά κατώφλια ή σταθερές τιμές των παραμέτρων  $a_i$  (ομογενής μορφή παραμετρικού κανόνα).

Τα προβλήματα βελτιστοποίησης που εξετάζονται είναι:

α) η ελαχιστοποίηση της μέσης αστοχίας του συστήματος για δεδομένες τιμές στόχων, δηλαδή:

$$\text{minimise } F \quad (48)$$

β) η ελαχιστοποίηση του μέσου κόστους λειτουργίας του συστήματος για δεδομένες τιμές στόχων και δεδομένο αποδεκτό επίπεδο αστοχίας  $F_{max}$ , δηλαδή:

$$\text{minimise } C P_F \quad (49)$$

όπου  $P_F$  η συνάρτηση ποινής που επεξηγείται στο εδάφιο 2.4.5.

γ) η μεγιστοποίηση της εγγυημένης απόδοσης του συστήματος για δεδομένο αποδεκτό επίπεδο αστοχίας  $F_{max}$ , δηλαδή

$$(50)$$

Η τρίτη περίπτωση μπορεί να θεωρηθεί ως γενίκευση της πρώτης, με τη διαφορά ότι οι τιμές των στόχων κατανάλωσης δεν είναι στοιχεία εισόδου του μοντέλου αλλά αποτελούν παραμέτρους προς βελτιστοποίηση. Η απαίτηση  $F = F_{\max}$  υλοποιείται με τη διατύπωση του ισοδύναμου προβλήματος:

$$\text{maximise } D - \mu (F - F_{\max})^2 \quad (51)$$

όπου  $\mu$  ένας θετικός αριθμός μεγαλύτερης τάξης μεγέθους από τη ζήτηση  $D$ .

Για την απλοποίηση του προβλήματος, θεωρείται ως παράμετρος μόνο η συνολική ζήτηση  $D$ , η οποία κατανέμεται στους επιμέρους στόχους. Για λόγους συμβατότητας, η παράμετρος κανονικοποιείται, με εφαρμογή του γραμμικού μετασχηματισμού:

$$d = \frac{D - D_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}} \quad (52)$$

όπου  $D_{\max}$ ,  $D_{\min}$  όρια που τίθενται στο πεδίο ορισμού της  $D$  για υπολογιστικούς λόγους.

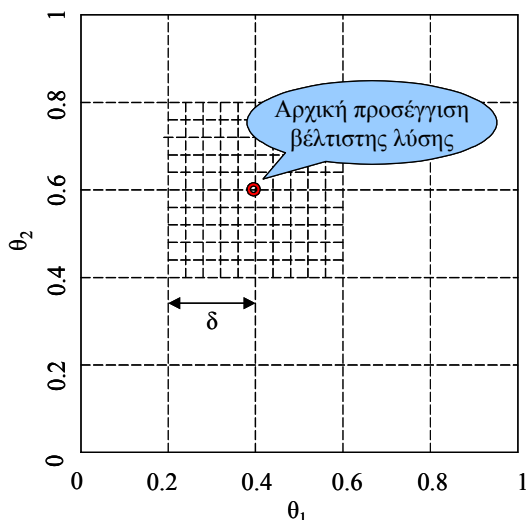
### 2.5.3 Τεχνικές βελτιστοποίησης

Τα προβλήματα βελτιστοποίησης που ορίστηκαν στο εδάφιο 2.5.2 είναι έντονα μη γραμμικά και μπορούν να επιλυθούν μόνο με εξελιγμένες υπολογιστικές τεχνικές. Η μη γραμμικότητα έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη πεπερασμένου ή άπειρου πλήθους τοπικών ακροτάτων, λύσεων δηλαδή που είναι καλύτερες από τις γειτονικές τους αλλά όχι βέλτιστες για το πρόβλημα. Σε τέτοια προβλήματα, δεν υπάρχει μέθοδος που να εγγυάται τον εντοπισμό της ολικά βέλτιστης λύσης. Κατά συνέπεια, το ζητούμενο για μια μέθοδο ολικής βελτιστοποίησης είναι η εύρεση μιας "ικανοποιητικής" εκτίμησης της βέλτιστης λύσης, με τον μικρότερο δυνατό αριθμό δοκιμών.

Στη συνέχεια του εδαφίου παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά των μεθόδων βελτιστοποίησης που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα.

#### *Η μέθοδος των επάλληλων ομοιόμορφων πλεγμάτων*

Η μέθοδος αυτή είναι μια τεχνική συστηματικής απαρίθμησης λύσεων. Ο χώρος των εφικτών λύσεων διακριτοποιείται διαμορφώνοντας έναν πλέγμα, σε κάθε κόμβο του οποίου υπολογίζεται η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης (Loucks et al. 1981). Χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι ότι ο αριθμός των κόμβων του πλέγματος αυξάνει εκθετικά με τον αριθμό των μεταβλητών ελέγχου, με αποτέλεσμα να καθίσταται ασύμφορη, ακόμη και για προβλήματα λίγων μεταβλητών. Για τη μείωση του υπολογιστικού φόρτου, εφαρμόζεται η τεχνική των επάλληλων πλεγμάτων, η οποία συνίσταται στην αδρή διακριτοποίηση του αρχικού πλέγματος και στη διαδοχική πύκνωσή του γύρω από την περιοχή του εκάστοτε βελτίστου (Εικόνα 2.11).

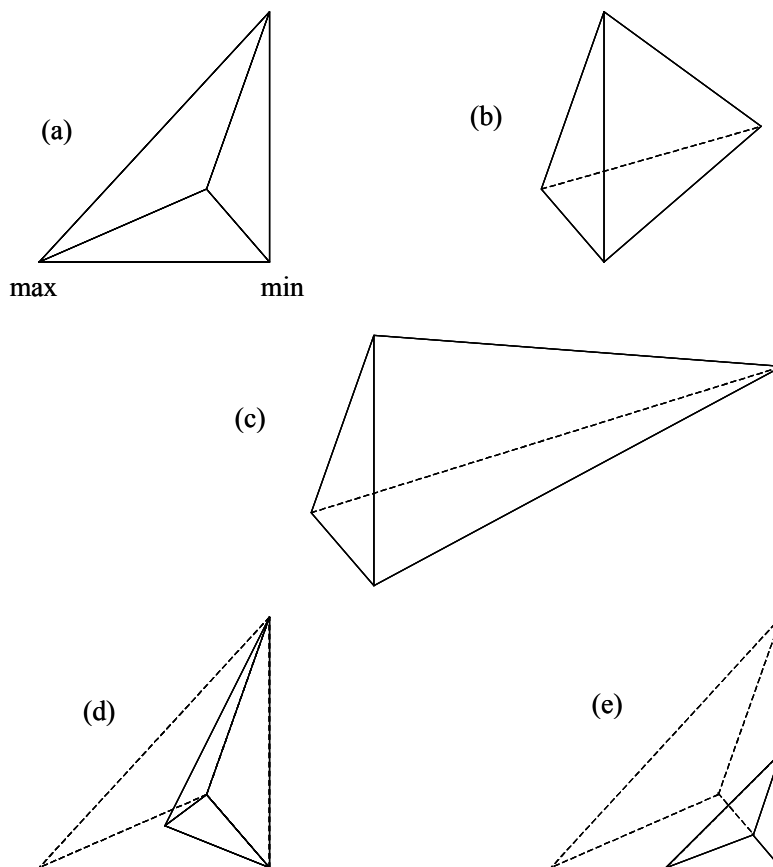


Εικόνα 2.11: Διαμόρφωση αρχικού πλέγματος αναζήτησης στο χώρο των δύο διαστάσεων με ισοδιάσταση  $\delta$  και πύκνωση γύρω από την αρχική βέλτιστη λύση.

### Η μέθοδος *downhill simplex*

Η τεχνική αυτή έχει προταθεί από τους Nelder and Mead (1965) και αποτελεί μία από τις πλέον διαδεδομένες μεθόδους αναζήτησης τοπικών ακροτάτων. Η μέθοδος λαμβάνει την ονομασία της από το *άπλοκο* (simplex) γεωμετρικό σχήμα, το οποίο ορίζεται ως ένα πολύεδρο  $n + 1$  σημείων (κορυφών) στον  $n$ -διάστατο χώρο. Για παράδειγμα, στον χώρο των δύο διαστάσεων το *άπλοκο* αντιστοιχεί σε ένα τρίγωνο, ενώ στον χώρο των τριών διαστάσεων σε ένα τετράεδρο.

Για την εκκίνηση του αλγορίθμου ορίζονται οι αρχικές κορυφές του απλόκου, με επιλογή  $n + 1$  τυχαίων, γραμμικά ανεξάρτητων λύσεων του προβλήματος. Το *άπλοκο* μετακινείται σταδιακά προς την κοντινότερη βέλτιστη λύση, προσαρμόζοντας το σχήμα του ανάλογα με τη γεωμετρία του χώρου που διερευνά. Οι δυνατές κινήσεις του είναι η ανάκλαση, η επέκταση, η μονοδιάστατη συμπίεση και η πολλαπλή συμπίεση (Εικόνα 2.12). Η ανάκλαση είναι η αντικατάσταση της κορυφής στην οποία αντιστοιχεί η χειρότερη λύση με την αντικατοπτρική της, έτσι ώστε να παραμένει αναλλοίωτος ο όγκος του σχήματος. Αν η λύση που προκύπτει είναι καλύτερη από τις υφιστάμενες, τότε το *άπλοκο* επεκτείνεται προς την κατεύθυνση της ανάκλασης, ενώ αν είναι χειρότερη, συμπιέζεται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Αν και τότε η λύση παραμένει χειρότερη από όλες, τότε το συμπιέζεται κατά μήκος όλων των διαστάσεών του, γύρω από την κορυφή στην οποία αντιστοιχεί η καλύτερη λύση.



Εικόνα 2.12: Δυνατές κινήσεις του άπλοκου για ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης στον χώρο των τριών διαστάσεων: (a) αρχικό σχήμα (b) ανάκλαση περί την χειρότερη κορυφή (c) επέκταση κατά μήκος της διεύθυνσης ανάκλασης (d) μονοδιάστατη συμπίεση (e) πολλαπλή συμπίεση γύρω από την καλύτερη κορυφή (Πηγή: Press et al. 1992).

### ***H μέθοδος SCE-UA***

Η μέθοδος αυτή, η οποία λαμβάνει την ονομασία της από τα αρχικά των λέξεων Shuffled Complex Evolution, αναπτύχθηκε πριν από λίγα χρόνια από μια ερευνητική ομάδα στο Πανεπιστήμιο της Αριζόνα (Duan et al. 1992) και μέσα σε σύντομο διάστημα καθιερώθηκε ως μία από τις πλέον αποτελεσματικές τεχνικές βελτιστοποίησης στον χώρο της υδρολογίας.

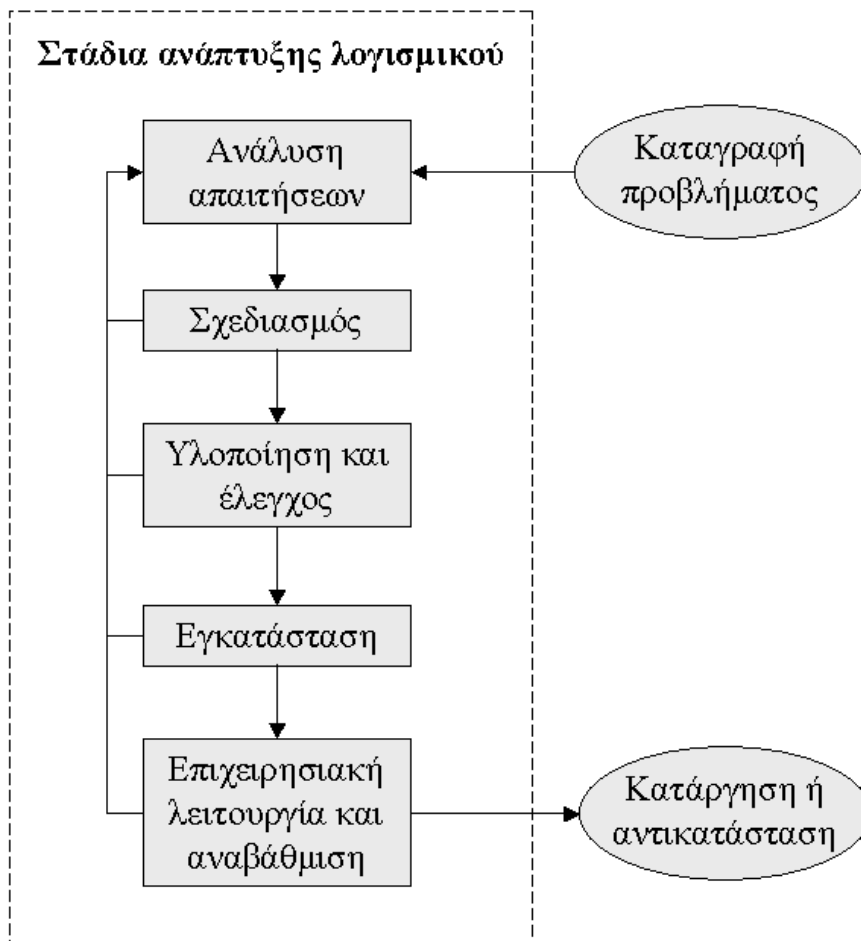
Η γενική στρατηγική της μεθόδου έχει ως εξής: Αρχικά παράγεται ένας πληθυσμός τυχαίων λύσεων, οι οποίες χωρίζονται ανά ομάδες. Από κάθε ομάδα λύσεων (complex) προκύπτει ένας βελτιωμένος πληθυσμός, χρησιμοποιώντας το σχήμα simplex και στατιστικά κριτήρια εξέλιξης. Η διαδικασία αυτή καλείται ανταγωνιστική εξέλιξη (Competitive Complex Evolution, CCE). Δύο ή περισσότερες λύσεις κάθε ομάδας μορφώνουν μια "υποομάδα" (sub-complex) και διασταυρώνονται για να παράγουν ένα νέο σημείο, το οποίο αντικαθιστά το χειρότερο της υποομάδας. Για να εξασφαλιστεί η ανταγωνιστικότητα της εξελικτικής διαδικασίας, ορίζεται μεγαλύτερη πιθανότητα επιλογής των "καλών" λύσεων σε σχέση με τις "κακές". Η παραγωγή των περισσότερων λύσεων πραγματοποιείται με βάση τα βήματα της μεθόδου Nelder-Mead, ενώ ένα μικρό ποσοστό λύσεων παράγεται τυχαία. Ανά τακτά διαστήματα ο συνολικός πληθυσμός χωρίζεται σε νέες ομάδες, εξασφαλίζοντας τη διάδοση των πληροφοριών που έχουν συλλεγεί. Σταδιακά, όλα τα σημεία τείνουν προς το ολικό βέλτιστο του προβλήματος, υπό την προϋπόθεση ότι το μέγεθος του αρχικού πληθυσμού είναι αρκετά μεγάλο.



### 3 Σχεδιασμός του υπολογιστικού συστήματος

Ο σχεδιασμός αποτελεί βασικό τμήμα της ανάπτυξης ενός υπολογιστικού συστήματος. Όπως φαίνεται από τον κύκλο ανάπτυξης λογισμικού (Software Life Cycle) της εικόνας Εικόνα 3.1 ο σχεδιασμός αποτελεί το δεύτερο στάδιο ανάπτυξης μετά την ανάλυση των απαιτήσεων, αποτέλεσμα της οποίας είναι η λεπτομερής και με τεχνικούς όρους καταγραφή όλων των χαρακτηριστικών που θα διαθέτει το τελικό προϊόν. Το αποτέλεσμα του σχεδιασμού χρησιμοποιείται στη φάση της υλοποίησης του συστήματος.

Στο στάδιο του σχεδιασμού και με βάση την ανάλυση απαιτήσεων καταγράφονται η δομή και οι λειτουργίες του υπολογιστικού συστήματος τα οποία περιγράφονται στα παρακάτω υποκεφάλαια με τη βοήθεια μοντέλων και διαγραμμάτων. Συγκεκριμένα, με το διάγραμμα μετάβασης κατάστασης περιγράφονται όλες οι δυνατές καταστάσεις στις οποίες μπορεί να περιέλθει ο Υδρονομέας κατά τη διάρκεια μιας συνόδου (υποκεφάλαιο 3.1). Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός (υποκεφάλαιο 3.2) δίνει τη δομή του υπολογιστικού συστήματος περιγράφοντας τα υποσυστήματα, τις μεταξύ τους διασυνδέσεις και τις λειτουργίες τους. Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιεί ο Υδρονομέας αναλύεται με τη βοήθεια διαγραμμάτων Οντοτήτων-Συσχετισμών στο υποκεφάλαιο 3.3. Το τελευταίο υποκεφάλαιο (3.4) αναφέρεται στο μοντέλο ταυτοποίησης χρηστών που προσδίδει ασφάλεια πρόσβασης στο σύστημα.



Εικόνα 3.1: Κύκλος ανάπτυξης λογισμικού

### 3.1 Διάγραμμα μετάβασης κατάστασης

Το διάγραμμα μετάβασης κατάστασης (state transition diagram) περιγράφει τις καταστάσεις στις οποίες μπορεί να περιέλθει το υπολογιστικό σύστημα και τον τρόπο μετάβασης από την μία κατάσταση στην άλλη. Αποτελείται από κυκλικά ή ελλειπτικά σχήματα που αντιστοιχούν σε δυνατές καταστάσεις του υπολογιστικού συστήματος και από τόξα που δίνουν τις δυνατότητες μετάβασης. Η μετάβαση μπορεί να συνοδεύεται και από μια ή περισσότερες ενέργειες ή αποτελέσματα.

Το διάγραμμα μετάβασης κατάστασης του Υδρονομέα παρατίθεται στο σχήμα της εικόνας 3.2. Τα σημεία εκκίνησης και τερματισμού δεν αποτελούν καταστάσεις του υπολογιστικού συστήματος και διαφοροποιούνται χρωματικά από αυτές. Αμέσως μετά από την εκκίνηση, το σύστημα μεταβαίνει σε μια αρχική κατάσταση, κατά την οποία δεν έχει πραγματοποιηθεί ακόμα η ταυτοποίηση του χρήστη.

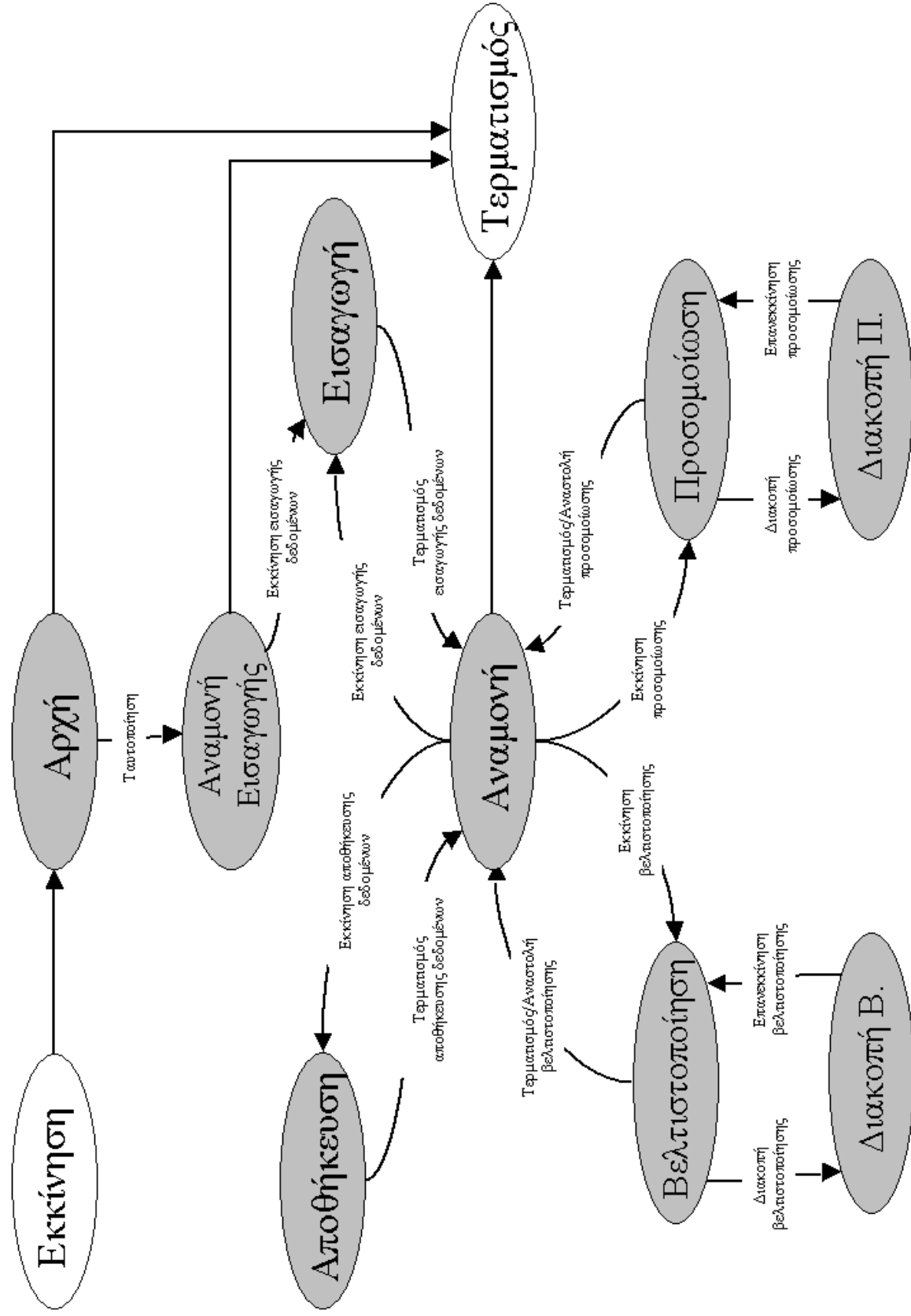
Σε αυτήν την φάση οι λειτουργίες που μπορεί να εκτελέσει είναι πολύ περιορισμένες. Για να αποκτήσει ο χρήστης περισσότερα δικαιώματα εκτέλεσης λειτουργιών θα πρέπει να προβεί σε ταυτοποίηση. Με την ολοκλήρωση της ταυτοποίησης το υπολογιστικό σύστημα έχει αναγνωρίσει τον χρήστη και προχωρά στην κατάσταση *Αναμονή Εισαγωγής*. Σε αυτήν την φάση το υπολογιστικό σύστημα δεν έχει φορτώσει ακόμα κάποιο σενάριο από τη Βάση Δεδομένων. Ο εξουσιοδοτημένος χρήστης μπορεί να κινήσει τη διαδικασία εισαγωγής δεδομένων κάποιου σεναρίου θέτοντας τον Υδρονομέα στην κατάσταση *Εισαγωγή*. Σε όλη τη διάρκεια της κατάστασης αυτής καμία άλλη λειτουργία του υπολογιστικού συστήματος δεν είναι δυνατή. Με την ολοκλήρωση της εισαγωγής δεδομένων ο Υδρονομέας μεταβαίνει στην κατάσταση *Αναμονή* από την οποία ο εξουσιοδοτημένος χρήστης μπορεί να εκτελέσει μια σειρά από λειτουργίες, οι βασικότερες των οποίων είναι η προσομοίωση και η βελτιστοποίηση.

Με την εκκίνηση της προσομοίωσης ή της βελτιστοποίησης ο Υδρονομέας μεταβαίνει από την κατάσταση αναμονής στις αντίστοιχες καταστάσεις (*Προσομοίωση/Βελτιστοποίηση*). Από αυτές μπορεί να επανέλθει στην κατάσταση αναμονής είτε με την ολοκλήρωση της τρέχουσας διαδικασίας είτε αναστέλλοντάς την. Όταν ο Υδρονομέας πραγματοποιεί προσομοίωση ή βελτιστοποίηση ο χρήστης μπορεί να διακόψει προσωρινά τη διαδικασία. Το υπολογιστικό σύστημα μεταβαίνει στην κατάσταση *Διακοπή Προσομοίωσης* ή *Διακοπή Βελτιστοποίησης*, από την οποία μπορεί να επανέλθει στην προηγούμενη κατάσταση μόνο με την επανεκκίνηση της διαδικασίας.

Σύμφωνα με το διάγραμμα μετάβασης κατάστασης, όταν ο Υδρονομέας βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής ο χρήστης μπορεί να κινήσει τη διαδικασία αποθήκευσης αποτελεσμάτων προσομοίωσης και βελτιστοποίησης. Το υπολογιστικό σύστημα μεταβαίνει στην κατάσταση *Αποθήκευση απ' όπου επανέρχεται στην κατάσταση Αναμονή* μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, για την μετάβαση του Υδρονομέα από τη μία κατάσταση στην άλλη απαιτείται κατά κανόνα κάποια ενέργεια του χρήστη. Εξάιρεση αποτελεί η αυτόματη μετάβαση στην κατάσταση *Αναμονή* ύστερα από εισαγωγή ή αποθήκευση δεδομένων ή με την ολοκλήρωση της προσομοίωσης ή βελτιστοποίησης. Ο χρήστης μπορεί να τερματίσει τη λειτουργία του υπολογιστικού συστήματος εάν αυτό βρίσκεται σε μια από τις καταστάσεις *Αρχή*, *Αναμονή Εισαγωγής* και *Αναμονή*.

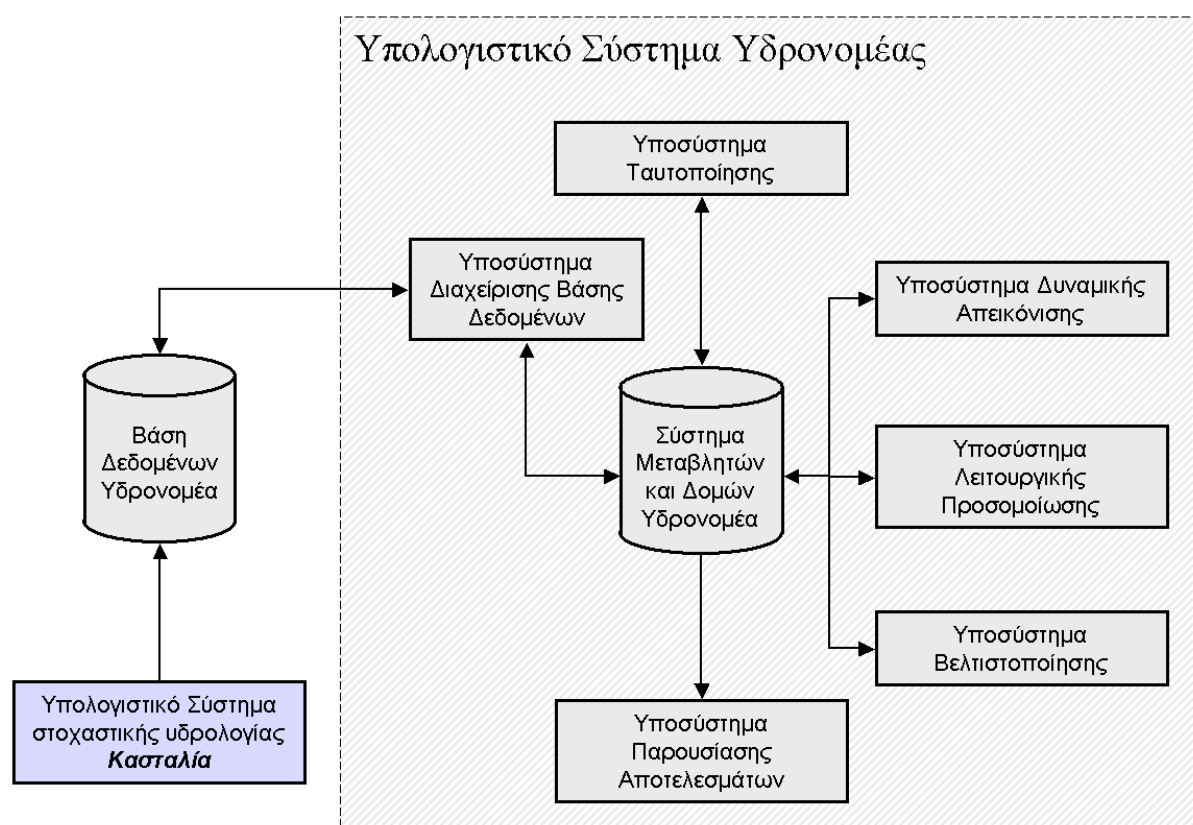
Τέλος, ο χρήστης του Υδρονομέα ενημερώνεται ανά πάσα στιγμή για την τρέχουσα κατάσταση του υπολογιστικού συστήματος, η οποία αναγράφεται στην γραμμή κατάστασης της Κύριας Φόρμας του.



Εικόνα 3.2: Διάγραμμα μετάβασης κατάστασης του υπολογιστικού συστήματος Υδρονομίας

### 3.2 Τα συστατικά του Υπολογιστικού Συστήματος

Στο σχήμα της εικόνας 3.3 παρουσιάζεται μια απλουστευμένη αλλά κατατοπιστική εικόνα των βασικών υποσυστημάτων του Υδρονομέα και των αλληλεπιδράσεών τους. Από το σχήμα διαφαίνεται ότι τα υδρολογικά δεδομένα του υπολογιστικού συστήματος Κασταλία καταχωρούνται στη Βάση Δεδομένων του Υδρονομέα, απ' όπου εισάγονται στον Υδρονομέα για επεξεργασία. Το σχήμα δεν συμπεριλαμβάνει τις επιδράσεις χρηστών στο σύστημα. Οι ειδικές φόρμες μέσω των οποίων ο χρήστης μπορεί να παρέμβει στο σύστημα περιγράφονται στο κεφάλαιο 4. Τα συστατικά του Υδρονομέα παρουσιάζονται αναλυτικότερα στα επόμενα εδάφια.



Εικόνα 3.3: Τα βασικά συστατικά του Υδρονομέα και οι αλληλοεπιδράσεις τους

#### 3.2.1 Υποσύστημα Διαχείρισης της Βάσης Δεδομένων

Το Υποσύστημα Διαχείρισης της Βάσης Δεδομένων παρέχει τις απαραίτητες λειτουργίες για την εισαγωγή, διαμόρφωση και αποθήκευση των δεδομένων που απαρτίζουν ένα διαχειριστικό σενάριο. Οι λειτουργίες αυτές περιλαμβάνουν την εισαγωγή επιλεγμένων σεναρίων από τη Βάση Δεδομένων και την αποθήκευσή τους στο εσωτερικό Σύστημα Δομών Δεδομένων και Μεταβλητών, στο οποίο και έχουν άμεση πρόσβαση όλα τα υποσυστήματα του Υδρονομέα. Τα δεδομένα που εισάγονται με κάθε σενάριο χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

**Δεδομένα μοντέλου δικτύου.** Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται η τοπολογία του δικτύου, οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των έργων αξιοποίησης νερού που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο και η αρχική στάθμη νερού στους ταμιευτήρες

**Υδρολογικά δεδομένα.** Τα υδρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιεί ο Υδρονομέας είναι ιστορικές ή συνθετικές χρονοσειρές βροχόπτωσης, εξάτμισης και απορροής στους ταμιευτήρες.

**Επιλογές του χρήστη.** Για την εκτέλεση προσομοιώσεων και βελτιστοποιήσεων είναι απαραίτητο να καθορισθούν κάποιες επιλογές από το χρήστη που αφορούν τη διαδικασία προσομοίωσης ή βελτιστοποίησης. Οι επιλογές αυτές μπορούν να καταχωρηθούν στη Βάση Δεδομένων και να φορτωθούν ως μέρος του διαχειριστικού σεναρίου. Συγκεκριμένα, οι επιλογές αφορούν τα παρακάτω στοιχεία:

- Οι στόχοι και περιορισμοί προσομοίωσης που προβλέπει το σενάριο
- Οι συντελεστές των παραμετρικών κανόνων λειτουργίας των ταμιευτήρων (χρησιμότητα μόνο κατά την εκτέλεση προσομοιώσεων)
- Η επιλογή της αντικειμενικής συνάρτησης (χρησιμότητα μόνο κατά την πραγματοποίηση βελτιστοποίησης)
- Η τιμή κόστους μονάδας ενέργειας

Εκτός από την εισαγωγή ενός διαχειριστικού σεναρίου, ο χρήστης μπορεί μέσω του Υποσυστήματος Διαχείρισης της Βάσης Δεδομένων να τροποποιήσει τα χαρακτηριστικά συστατικών του δικτύου και να διαμορφώσει τις παραμέτρους για την προσομοίωση/ βελτιστοποίηση. Οι τροποποιήσεις καταγράφονται στο Σύστημα Μεταβλητών και Δομών Δεδομένων του Υδρονομέα. Κατ' αυτόν τον τρόπο μπορούν να τροποποιηθούν τα στοιχεία των κόμβων των αγωγών, των γεωτρήσεων και των στόχων προσομοίωσης και να πραγματοποιηθούν προσομοιώσεις, διατηρώντας παράλληλα στη Βάση Δεδομένων του Υδρονομέα το αρχικό σενάριο.

Στην παρούσα έκδοση ο Υδρονομέας παρέχει μέσω του Υποσυστήματος περιορισμένες μόνο δυνατότητες αποθήκευσης των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης και βελτιστοποίησης. Σε αυτές συγκαταλέγονται τα ακόλουθα στοιχεία:

- Οι συντελεστές του πλέον πρόσφατου κανόνα λειτουργίας που χρησιμοποιήθηκε κατά την προσομοίωση. Σε περίπτωση βελτιστοποίησης καταχωρούνται οι συντελεστές του βέλτιστου κανόνα λειτουργίας.
- Η αστοχία των στόχων και περιορισμών που προέκυψε κατά την προσομοίωση με τον παραπάνω κανόνα λειτουργίας.
- Το υδατικό ισοζύγιο που προέκυψε κατά την προσομοίωση με τον παραπάνω κανόνα λειτουργίας.

Το παρόν Υποσύστημα Διαχείρισης της Βάσης Δεδομένων αποσυνδέει τα υπόλοιπα υποσυστήματα του Υδρονομέα από τη Βάση Δεδομένων και μπορεί εύκολα να προσαρμοσθεί μελλοντικά εάν τροποποιηθεί ο σχεδιασμός της.

### **3.2.2 Υποσύστημα Ταυτοποίησης**

Το Υποσύστημα Ταυτοποίησης αναγνωρίζει τους χρήστες με βάση τον κωδικό πρόσβασης και το σύνθημά τους. Αφού αναγνωριστεί ο χρήστης, το σύστημα ελέγχει τα δικαιώματα εκτέλεσης λειτουργιών και επικαιροποιεί τις μεταβλητές πρόσβασης στο Σύστημα Μεταβλητών και Δομών Δεδομένων του Υδρονομέα. Η λειτουργία του Υποσυστήματος Ταυτοποίησης περιγράφεται αναλυτικότερα στο κεφ. 3.4.

### **3.2.3 Υποσύστημα Λειτουργικής Προσομοίωσης**

Το Υποσύστημα Λειτουργικής Προσομοίωσης αναπαριστά τη λειτουργία του υδροσυστήματος για μεγάλο χρονικό διάστημα. Χρησιμοποιεί τις εσωτερικές δομές και τις καθολικές μεταβλητές του Υδρονομέα στις οποίες είναι καταχωρημένο το μοντέλο του υδροσυστήματος, οι επιλογές του χρήστη

και οι χρονοσειρές εισόδου. Για την εκτέλεση προσομοίωσης απαιτείται η επιλογή ενός κανόνα λειτουργίας που εισάγεται σε παραμετρική μορφή με έναν από τους ακόλουθους δύο τρόπους:

- Από τον χρήστη ο οποίος ορίζει από τη Φόρμα Επιλεκτικής Προσομοίωσης τις τιμές των συντελεστών του παραμετρικού κανόνα λειτουργίας για κάθε έναν ταμιευτήρα που συμμετέχει στη διαδικασία διαχείρισης βάσει του τροποποιημένου χωρικού κανόνα.
- Από το Υποσύστημα Βελτιστοποίησης, το οποίο στα πλαίσια της διαδικασίας της βελτιστοποίησης ελέγχει το Υποσύστημα Λειτουργικής Προσομοίωσης.

Μετά την προσομοίωση της συνολικής προβλεπόμενης περιόδου, το Υποσύστημα Λειτουργικής Προσομοίωσης επιστρέφει τα εξής αποτελέσματα:

- Το σύνολο των χρονικών βημάτων και χρονικών περιόδων όπου δεν ήταν δυνατή η εξυπηρέτηση στόχου.
- Το συνολικό όγκο νερού που χρησιμοποιήθηκε για την κάλυψη του στόχου, εάν ο στόχος αναφέρεται στην κατανάλωση νερού.
- Τα συνολικά μεγέθη του υδατικού ισοζυγίου για κάθε έναν από τους κόμβους του δικτύου, δηλαδή την απορροή, την βροχόπτωση στην επιφάνεια του ταμιευτήρα, την εξάτμιση, τις εκροές από τον κόμβο μέσω υδραγωγείων, την υπερχείλιση, και τις υπόγειες διαφυγές.
- Τις ροές των υδραγωγείων του δικτύου και για τις δύο κατευθύνσεις.
- Την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε χρονικό βήμα και για κάθε υδραγωγείο που λειτουργεί με άντληση. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται από το Υποσύστημα Παρουσίασης αποτελεσμάτων για την εκτίμηση των μέσων ετήσιων τιμών του ενεργειακού ισοζυγίου.

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης ενημερώνονται οι καθολικές μεταβλητές των συνιστωσών του δικτύου που χρησιμοποιούνται στο Υποσύστημα Δυναμικής Απεικόνισης, όπως ο επίκαιρος όγκος των ταμιευτήρων, ο όγκος που μεταφέρθηκε από τους αγωγούς κατά τη διάρκεια του επίκαιρου χρονικού βήματος κ.ά.

### **3.2.4 Υποσύστημα Βελτιστοποίησης**

Το Υποσύστημα Βελτιστοποίησης ενεργοποιείται από το χρήστη και εκτελεί επαναληπτικά το Υποσύστημα Λειτουργικής Προσομοίωσης. Ανάλογα με την αντικειμενική συνάρτηση βελτιστοποίησης η προσομοίωση εκτελείται με διαφορετικό κάθε φορά διάνυσμα παραμέτρων του τροποποιημένου χωρικού κανόνα ή/και με διαφοροποιημένο κατάλογο στόχων προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συγκρίνονται και αξιολογούνται με τα προηγούμενα και διατηρούνται τα αποτελέσματα του βέλτιστου κανόνα λειτουργίας.

### **3.2.5 Υποσύστημα Δυναμικής Απεικόνισης Προσομοίωσης**

Το Υποσύστημα Δυναμικής Απεικόνισης μπορεί να ενεργοποιηθεί από την αρχή ή κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Χρησιμοποιεί το σύστημα μεταβλητών και δομών του Υδρονομέα για να παραστήσει την επίκαιρη κατάσταση του δικτύου.

Το υποσύστημα αυτό όταν ενεργοποιηθεί εκτελείται παράλληλα με το Υποσύστημα Λειτουργικής Προσομοίωσης, ενώ με εντολή του χρήστη μπορεί να διακόψει προσωρινά και να επαναθέσει σε λειτουργία την προσομοίωση. Οι λειτουργίες του υποσυστήματος παρέχουν την ευχέρεια στο χρήστη να οπτικοποιήσει σε κάθε της φάση τη διαδικασία της προσομοίωσης, παρέχοντάς του τις παρακάτω πληροφορίες:

#### Ταμιευτήρες

- Ονομασία ταμιευτήρα
- Στάθμη νεκρού όγκου

- Στάθμη όγκου-στόχου εάν έχει τεθεί από το χρήστη
- Επίκαιρη στάθμη όγκου-στόχου του παραμετρικού κανόνα
- Τιμή επίκαιρου όγκου
- Τιμή όγκου στόχου του παραμετρικού κανόνα
- Δείκτης αστοχίας στόχων που συνδέονται με τον ταμιευτήρα

#### Αγωγοί

- Ονομασία αγωγού
- Επίκαιρη παροχή
- Τιμή παροχευτικότητας
- Φορά ροής
- Δείκτης αστοχίας στόχων που συνδέονται με τον αγωγό

#### Γεωτρήσεις

- Ονομασία γεώτρησης
- Τιμή παροχής άντλησης
- Τιμή αντλητικής ικανότητας

### **3.2.6 Υποσύστημα Παρουσίασης Αποτελεσμάτων**

Το Υποσύστημα Παρουσίασης Αποτελεσμάτων επεξεργάζεται τα πρωτογενή αποτελέσματα της προσομοίωσης και βελτιστοποίησης για να τα παρουσιάσει σε κατάλληλη μορφή στο χρήστη. Συγκεκριμένα παρέχει τις ακόλουθες πληροφορίες:

- Την πιθανότητα αστοχίας ως προς τη χρονική περίοδο και το χρονικό βήμα για κάθε έναν στόχο που έθεσε ο χρήστης ξεχωριστά. Εάν ο στόχος αναφέρεται στην κατανάλωση νερού, τότε δίνεται επιπλέον και η αστοχία κάλυψης όγκου.
- Το αναλυτικό υδατικό ισοζύγιο ετήσιων μέσων όρων για κάθε κόμβο του δικτύου
- Το ισοζύγιο ροών των υδραγωγείων του δικτύου και για τις δύο κατευθύνσεις.
- Τα οικονομικά μεγέθη που προκύπτουν από την κατανάλωση ενέργειας

Σε περίπτωση που έχει προηγηθεί βελτιστοποίηση τα αποτελέσματα αναφέρονται στον βέλτιστο κανόνα λειτουργίας.

### **3.3 Σχεδιασμός της Βάσης Δεδομένων του Υδρονομέα**

Στην παρούσα φάση του ερευνητικού έργου δεν προβλέπεται η διασύνδεση των συστημάτων που αναπτύχθηκαν. Ως εκ τούτου η αρχική μορφή της Βάσης Δεδομένων του Υδρονομέα που παρουσιάζεται παρακάτω σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε με σκοπό την χρήση της αποκλειστικά από το Σύστημα Υποστήριξης της Διαχείρισης Υδατικών Πόρων. Στην δεύτερη, επιχειρησιακή φάση του έργου προβλέπεται η διασύνδεση όλων των συστημάτων και η αποθήκευση των δεδομένων στην Κεντρική Βάση Δεδομένων, ο σχεδιασμός της οποίας παρουσιάζεται στο τεύχος 6 (Παπακώστας, 2000). Η Βάση Δεδομένων του Υδρονομέα σχεδιάστηκε κάτω από το πρίσμα της μελλοντικής ενοποίησης.

#### **3.3.1 Μοντέλο Οντοτήτων-Συσχετισμών**

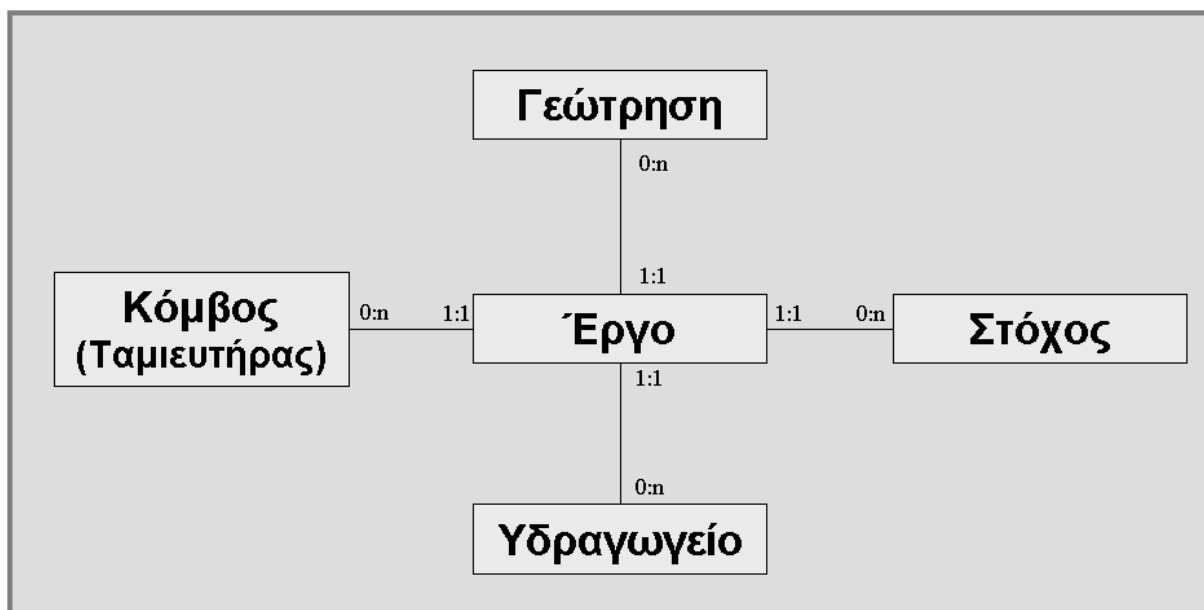
Ένας κοινός τρόπος σχεδιασμού του μοντέλου δεδομένων που χρησιμοποιεί ένα υπολογιστικό σύστημα είναι το μοντέλο Οντοτήτων-Συσχετισμών (Entity-Relationship Model, ER-Model) που πρότεινε ο Chen (1976). Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό η Βάση Δεδομένων χωρίζεται σε δύο μέρη, τις οντότητες και τους συσχετισμούς μεταξύ των οντοτήτων. Ως οντότητα μπορεί να θεωρηθεί ένα

αντικείμενο ή μια έννοια που χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό του μοντέλου. Η σχηματική απεικόνιση του μοντέλου δίνεται από το διάγραμμα Οντοτήτων-Συσχετισμών (Entity-Relationship Diagram). Από την εποχή που πρωτοπαρουσιάστηκε μέχρι σήμερα έχουν εμφανιστεί διάφορες μορφές απεικόνισης των οντοτήτων και συσχετισμών σε διάγραμμα. Στα βασικά στοιχεία των περισσότερων από αυτά συγκαταλέγεται και η απεικόνιση των πληθάριθμων (cardinality) εισόδου και εξόδου των συσχετίσεων. Μερικά διαγράμματα συμπεριλαμβάνουν και τις χαρακτηριστικές ιδιότητες των οντοτήτων (attributes).

Στα παρακάτω διαγράμματα των σχημάτων 3.4 και 3.5 για λόγους οικονομίας χώρου δεν περιλαμβάνονται οι ιδιότητες των οντοτήτων. Αυτές παρατίθενται αναλυτικά στο παράρτημα Α. Ο πληθάριθμος εισόδου (input cardinality) θεωρείται πάντοτε η μονάδα.

### 3.3.2 Το έργο

Βασική οντότητα στο σχεδιασμό του Υδρονομέα (έκδοση 2.0) αποτελεί το Έργο. Ένα έργο συμπεριλαμβάνει όλες τις συνιστώσες του δικτύου και τις επιλογές του χρήστη που είναι απαραίτητες για την εκτέλεση ενός διαχειριστικού σεναρίου. Όπως φαίνεται στο πρώτο διάγραμμα Οντοτήτων-Συσχετισμών του Υδρονομέα (σχήμα εικόνας 3.4), ένα έργο συνδέεται άμεσα με (θεωρητικά) έναν απεριόριστο αριθμό οντοτήτων του είδους Κόμβος/Ταμιευτήρας, Υδραγωγείο, Γεώτρηση και Στόχος. Κάθε οντότητα από τις παραπάνω συνδέεται με ακριβώς μία οντότητα έργου. Οι συσχετισμοί μεταξύ των οντοτήτων που απαρτίζουν το έργο διακρίνονται στο σχήμα της εικόνας 3.5.



Εικόνα 3.4: Πρώτο διάγραμμα Οντοτήτων-Συσχετισμών του Υδρονομέα - Διασυνδέσεις της οντότητας Έργο

### 3.3.3 Οι συνιστώσες ενός έργου

#### Ο κόμβος

Μια από τις βασικές οντότητες από τις οποίες απαρτίζεται το δίκτυο είναι ο κόμβος. Ένας κόμβος μπορεί θεωρητικά να συνδέεται με έναν απεριόριστο αριθμό ανάντη ή κατόντη αγωγών μέσω των σχετικών συσχετισμών. Επίσης μπορεί να διαθέτει έως και μία γεώτρηση, το νερό της οποίας διοχετεύεται μέσω του κόμβου στους κατόντη αγωγούς. Εάν ο κόμβος στο μοντέλο του υδροσυστήματος αποτελεί σημείο υδροληψίας για μια περιοχή, τότε η οντότητα συνδέεται με έναν στόχο που έχει τα χαρακτηριστικά της ζήτησης νερού. Ένας κόμβος μπορεί να συνδέεται



με περισσότερους στόχους ζήτησης νερού που προκύπτουν από υδρευτικές ή αρδευτικές ανάγκες.

### **Ο ταμιευτήρας**

Σε περίπτωση που ένας κόμβος έχει αποθηκευτική δυνατότητα, ονομάζεται ταμιευτήρας και συνδέεται με την οντότητα κόμβος με μια σχέση κληρονομικότητας. Η οντότητα ταμιευτήρας συνεπώς κληρονομεί τις ιδιότητες και τους συσχετισμούς που διαθέτει ένας κοινός κόμβος. Διαθέτει δε επιπρόσθετες ιδιότητες (χωρητικότητα, καμπύλες στάθμης-όγκου-επιφάνειας κ.ά.) ενώ μπορεί να συνδέεται με μια ενότητα χρονοσειρών υδρολογικών δεδομένων εισόδου που αποτελούνται από τις χρονοσειρές βροχής, απορροής και εξάτμισης. Καθώς ο ταμιευτήρας διαθέτει αποθηκευτικό όγκο είναι δυνατή η σύνδεση της οντότητας με έναν στόχο ανώτατης στάθμης και έναν στόχο ελάχιστης στάθμης της επιφάνειας νερού.

### **Το υδραγωγείο**

Το υδραγωγείο ορίζεται από τους δύο εκατέρωθεν του αγωγού κόμβους. Βασικό χαρακτηριστικό της οντότητας Υδραγωγείο στο μοντέλο είναι η παροχετευτικότητά του η οποία ορίζεται ως η ελάχιστη παροχετευτικότητα των επί μέρους τόξων του.

Καμία φορά, για λόγους συντήρησης του υδραγωγείου ή για άλλον λόγο, επιβάλλεται η διατήρηση μιας ελάχιστης ροής στο υδραγωγείο. Αυτή η μεταφορά νερού πρέπει να συνυπολογιστεί στο υδατικό ισοζύγιο του υδροσυστήματος. Στο μοντέλο εισάγεται ως στόχος ελάχιστης ροής. Κάθε υδραγωγείο μπορεί να συνδέεται με έναν στόχο αυτού του είδους

### **Η γεώτρηση**

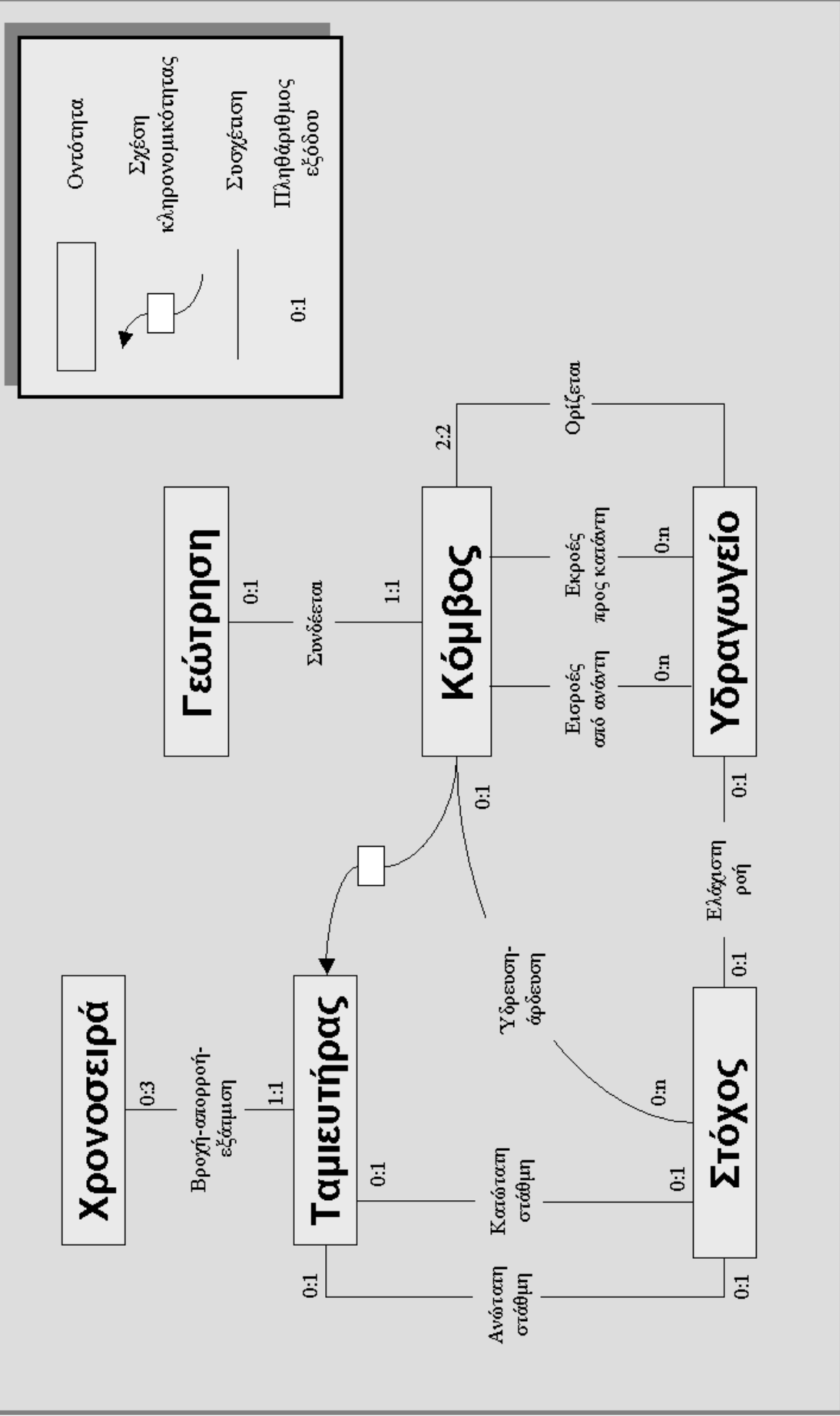
Η γεώτρηση θεωρείται εφεδρικός υδατικός πόρος ο οποίος συνδέεται με έναν κόμβο του δικτύου στον οποίο διοχετεύεται το νερό του υπόγειου υδροφορέα μετά από άντληση. Στο μοντέλο του υδροσυστήματος δεν παρεμβάλλεται οντότητα υδραγωγείου μεταξύ της γεώτρησης και του κόμβου.

### **Ο στόχος**

Η οντότητα στόχος χρησιμοποιείται στο μοντέλο Οντοτήτων-Συσχετισμών για να απεικονίσει τους στόχους και περιορισμούς που θέτει ο χρήστης στο υδροσύστημα κατά τη διαδικασία της προσομοίωσης. Κάθε στόχος συνδέεται με ακριβώς μία από τις οντότητες Ταμιευτήρας, Κόμβος ή Υδραγωγείο. Οι διασυνδέσεις που μπορούν να δημιουργηθούν στο μοντέλο μεταξύ των οντοτήτων αυτών και της οντότητας Στόχος εξαρτώνται από το είδος του στόχου και δίνονται από τον πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Εξάρτηση των συσχετισμών μεταξύ της οντότητας Στόχος και άλλων οντοτήτων από το είδος του στόχου.

<b>Είδος στόχου</b>	<b>Οντότητα συσχετισμού</b>
κατανάλωση νερού για ύδρευση	κόμβος
κατανάλωση νερού για άρδευση	κόμβος
ελάχιστη στάθμη ταμιευτήρα	ταμιευτήρας
μέγιστη στάθμη ταμιευτήρα	ταμιευτήρας
ελάχιστη ροή σε αγωγό	υδραγωγείο



Εικόνα 3.5: Δεύτερο διάγραμμα Οντοτήτων-Συσχετισμών του Υδρονομία - Διασυνδέσεις των συστατικών ενός έργου.

## Η χρονοσειρά

Η οντότητα Χρονοσειρά περιλαμβάνει μια ενότητα χρονοσειρών βροχόπτωσης, εξάτμισης και απορροής από την υπολεκάνη και συνδέεται με έναν ταμιευτήρα.

Από τις οντότητες, του συστήματος ο κόμβος, ο ταμιευτήρας, το υδραγωγείο και η γεώτρηση αντιστοιχούν σε πραγματικά αντικείμενα του δικτύου, ενώ το έργο, η χρονοσειρά και ο στόχος είναι εννοιολογικές οντότητες (conceptual entities).

### 3.3.4 Δομή της Βάσης Δεδομένων

Η αποθήκευση δεδομένων υλοποιήθηκε σε βάση δεδομένων σχεσιακής μορφής. Κάθε κατηγορία οντοτήτων καταχωρείται σε έναν πίνακα, ο οποίος περιέχει τις βασικές ιδιότητες της κάθε οντότητας. Τέτοιοι πίνακες είναι οι ακόλουθοι:

- Ο πίνακας έργων (PROJECT)
- Ο πίνακας κόμβων και ταμιευτήρων (NODE)
- Ο πίνακας υδραγωγείων (PIPE)
- Ο πίνακας γεωτρήσεων (BOREHOLE)
- Ο πίνακας στόχων (TARGET)
- Ο πίνακας χρονοσειρών (TIMESERIES)

Ιδιότητες οντοτήτων που αποτελούνται από έναν μη προκαθορισμένο αριθμό τιμών, καταχωρούνται στη Βάση σε ξεχωριστούς πίνακες. Τέτοιες ιδιότητες είναι οι ακόλουθες:

- Χρονικά μεταβαλλόμενοι στόχοι προσομοίωσης υλοποιούνται στη Βάση χρησιμοποιώντας δύο πίνακες (TARGET\_CURVES και TARGET\_MONTHLY\_DATA). Στον πρώτο από αυτούς καταγράφεται η εποχιακή και στον δεύτερο η ετήσια διακύμανση του στόχου.
- Η καμπύλη υδραυλικού ύψους πτώσης-παροχетеυτικότητας της σήραγγας Εύηνου-Μόρνου (PIPE\_VAR\_DISCHARGECAPACITY).
- Οι χαρακτηριστικές καμπύλες στάθμης-όγκου και στάθμης-επιφάνειας των ταμιευτήρων (LEVEL\_VOLYME\_SURFACE).

Άλλες ιδιότητες μιας οντότητας που από μόνες τους αποτελούν μια ξεχωριστή ενότητα, όπως είναι οι συντελεστές υπογειών διαφυγών των ταμιευτήρων (LEAKAGE\_RESERVOIR) και οι επιλογές του χρήστη (SIMULATION) καταχωρούνται χάριν ευκρίνειας σε ξεχωριστούς πίνακες.

Τέλος, για την υλοποίηση των συσχετισμών 0:n και 1:n μεταξύ των οντοτήτων, χρησιμοποιούνται κατά την υλοποίηση σχεσιακών βάσεων δεδομένων βοηθητικοί πίνακες. Τέτοιοι πίνακες είναι οι εξής:

- Βοηθητικός πίνακας απεικόνισης του συσχετισμού μεταξύ μιας οντότητας έργου και οντοτήτων των κατηγοριών κόμβος, υδραγωγείο, γεώτρηση και στόχος (REPOSITORY).
- Βοηθητικός πίνακας απεικόνισης του συσχετισμού μεταξύ μιας οντότητας έργου και οντότητας χρονοσειράς (TIMESERIES\_PROJECTS)

Η αναλυτική παρουσίαση των πινάκων της Βάσης Δεδομένων παρουσιάζεται στο παράρτημα Α.

## 3.4 Δικαιώματα και ταυτοποίηση χρηστών

Η απαίτηση (6.6) του Τεύχους Ανάλυσης Απαιτήσεων του έργου (Καραβοκυρός κ.ά., 2000) αναφέρεται σε βασικά θέματα ασφάλειας του υπολογιστικού συστήματος. Σύμφωνα με αυτήν το υπολογιστικό σύστημα *θα επιτρέπει την πρόσβαση μόνο σε χρήστες που θα έχουν τα ανάλογα δικαιώματα*. Επίσης, σύμφωνα με την ίδια παράγραφο θα πρέπει για κάθε χρήστη να είναι δυνατή η *επιλεκτική παραχώρηση δικαιωμάτων σε κείρια υποσυστήματα*. Ο Υδρονομέας ανταποκρίνεται σε

αυτήν την απαίτηση και στο υποκεφάλαιο αυτό περιγράφεται ο έλεγχος πρόσβασης των χρηστών στο υπολογιστικό σύστημα και η μεταβίβαση δικαιωμάτων εκτέλεσης λειτουργιών στους χρήστες.

Αρχικά, με την έναρξη της λειτουργίας του Υδρονομέα, ο χρήστης είναι άγνωστος στο σύστημα και συνεπώς διαθέτει πολύ περιορισμένες δυνατότητες εκτέλεσης λειτουργιών, όπως για παράδειγμα η επισκόπηση οδηγιών χρήσης. Για να αναγνωριστεί από το σύστημα και να αποκτήσει τα απαιτούμενα δικαιώματα πρέπει να πραγματοποιήσει ταυτοποίηση (user identification). Κατά τη διαδικασία της ταυτοποίησης ο χρήστης καλείται να εισαγάγει τον κωδικό και το σύνθημα πρόσβασης με το οποίο είναι καταχωρημένος στο σύστημα. Αφού αναγνωριστεί ο χρήστης, μεταβιβάζονται σε αυτόν τα δικαιώματα εκτέλεσης λειτουργιών του Υδρονομέα, ενώ παράλληλα ενεργοποιούνται οι αντίστοιχες επιλογές στο μενού επιλογών της Κύριας Φόρμας του υπολογιστικού συστήματος. Στην γραμμή κατάστασης της ίδιας φόρμας εμφανίζεται η ονομασία του χρήστη. Τα δικαιώματα του συγκεκριμένου χρήστη περιορίζονται σε αυτά που έχουν προκαθοριστεί μέχρι το τέλος της τρέχουσας συνόδου. Η σύνοδος τερματίζεται είτε με τον τερματισμό του υπολογιστικού συστήματος είτε με την αλλαγή χρήστη.

Κατά την ταυτοποίηση ο Υδρονομέας κατατάσσει τους χρήστες σε μία από τις εξής δύο κατηγορίες:

Χρήστες (user): Οι κοινói χρήστες έχουν δικαίωμα εκτέλεσης ορισμένων μόνο λειτουργιών του συστήματος. Η εξουσιοδότηση εκτέλεσης των λειτουργιών δίνεται από τους διαχειριστές του συστήματος.

Διαχειριστές (administrator): Οι χρήστες αυτοί έχουν απεριόριστα δικαιώματα στο σύστημα και μπορούν να εκτελούν όλες τις λειτουργίες του συστήματος χωρίς περιορισμό. Κυρίως όμως μπορούν να τροποποιούν τα δικαιώματα άλλων χρηστών παρέχοντάς τους πρόσβαση στο υπολογιστικό σύστημα και δίνοντάς τους επιλεκτικά δικαιώματα λειτουργίας των υποσυστημάτων. Ένας από τους διαχειριστές ονομάζεται Βασικός Διαχειριστής και καταχωρείται κατά την εγκατάσταση του Υδρονομέα στον υπολογιστή. Ο διαχειριστής αυτός δεν μπορεί να διαγραφεί από το σύστημα και έχει απεριόριστα δικαιώματα χωρίς αυτά να μπορούν να καταργηθούν.

Τα δικαιώματα που μπορούν επιλεκτικά να παραχωρήσουν οι διαχειριστές του συστήματος σε χρήστες είναι τα ακόλουθα:

- Ανάγνωση των δεδομένων των καταχωρημένων στη Βάση έργων και επισκόπηση των αποτελεσμάτων προηγούμενων επεξεργασιών.
- Εκτέλεση προσομοιώσεων και βελτιστοποιήσεων.
- Αποθήκευση των αποτελεσμάτων στη Βάση Δεδομένων.
- Τροποποίηση των στοιχείων διαχείρισης. Οι λειτουργίες που συνδέονται με αυτό το δικαίωμα περιλαμβάνουν την καταχώρηση νέων και τη διαγραφή παλαιών χρηστών από το υπολογιστικό σύστημα καθώς και την παραχώρηση δικαιωμάτων λειτουργίας υποσυστημάτων σε άλλους.

Το δικαίωμα αυτό ανήκει αποκλειστικά στους διαχειριστές του συστήματος. Η μεταβίβασή του δικαιώματος αυτού σε κοινούς χρήστες τους καθιστά αυτομάτως διαχειριστές. Αντίστοιχα, η κατάργησή του από έναν διαχειριστή συνεπάγεται την υποβίβασή του στην κατηγορία των κοινών χρηστών.

Για εκπαιδευτικούς λόγους είναι δυνατόν να δοθούν σε χρήστες δικαιώματα ανάγνωσης δεδομένων από τη Βάση και εκτέλεσης προσομοιώσεων και βελτιστοποιήσεων, αφαιρώντας τους το δικαίωμα αποθήκευσης των αποτελεσμάτων. Κατ' αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η διενέργεια διαδοχικών δοκιμαστικών προσομοιώσεων και βελτιστοποιήσεων, διατηρώντας πάντοτε τα αρχικά αποτελέσματα.


## 4 Οδηγίες χρήσης του Υπολογιστικού Συστήματος

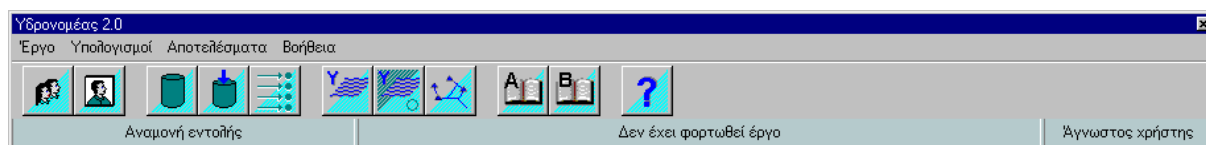
Οι παρακάτω οδηγίες χρήσης αναφέρονται στην έκδοση 2.0 του Υδρονομέα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού έργου. Το κείμενο των οδηγιών έχει αποθηκευτεί και σε ηλεκτρονική μορφή και μπορεί να επισκοπηθεί από τους χρήστες του υπολογιστικού συστήματος. Οι οδηγίες χρήσης επιτρέπουν στον εκπαιδευμένο χρήστη να εκτελέσει τις ακόλουθες λειτουργίες του Υδρονομέα

- Ταυτοποίηση, κατά την οποία το σύστημα αναγνωρίζει τον χρήστη και του μεταβιβάζει δικαιώματα εκτέλεσης λειτουργιών (βλ. υποκεφάλαιο 4.2)
- Εισαγωγή ενός καταχωρημένου έργου από τη Βάση Δεδομένων (βλ. εδάφιο 4.4.1)
- Διαμόρφωση των δεδομένων δικτύου σύμφωνα με το επιθυμητό σενάριο (βλ. υποκεφάλαιο 4.5).
- Διαμόρφωση των επιλογών προσομοίωσης (βλ. εδάφιο 4.6.1). Εκτέλεση και παρακολούθηση της διαδικασίας προσομοίωσης μέσω της Φόρμας Κατάστασης Προσομοίωσης (βλ. εδάφια 4.6.2 και 4.6.3) και της σχηματικής παράστασης του μοντέλου του υδροσυστήματος (βλ. εδάφιο 4.6.3).
- Διαμόρφωση των επιλογών και εκτέλεση βελτιστοποίησης (βλ. υποκεφάλαιο 4.7).
- Επισκόπηση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης και της βελτιστοποίησης, που περιλαμβάνουν τον βέλτιστο κανόνα λειτουργίας, την αστοχία στόχων, το υδατικό ισοζύγιο και το ισοζύγιο ροών (βλ. υποκεφάλαιο 4.8).
- Αποθήκευση των αποτελεσμάτων στη Βάση Δεδομένων (βλ. εδάφιο 4.4.2).

Τέλος, το υποκεφάλαιο 4.3 απευθύνεται σε διαχειριστές του υπολογιστικού συστήματος και αναφέρεται στη διαχείριση χρηστών.

### 4.1 Η Κύρια Φόρμα του Υδρονομέα

Με την εκτέλεση του υπολογιστικού συστήματος εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή η Κύρια Φόρμα του Υδρονομέα όπως φαίνεται στην εικόνα 4.1. Η φόρμα παραμένει καθ' όλη τη διάρκεια της συνόδου στην οθόνη του υπολογιστή. Το κλείσιμο της φόρμας, με το πάτημα του συμβόλου  στο άνω δεξιό μέρος αυτής, ισοδυναμεί με τερματισμό της λειτουργίας του Υδρονομέα.



Εικόνα 4.1: Κύρια Φόρμα του Υδρονομέα

Το άνω μέρος της φόρμας καταλαμβάνει το μενού επιλογών λειτουργίας του συστήματος. Για να εκτελέσει ο χρήστης μια λειτουργία πρέπει να πατήσει με το ποντίκι επάνω στην ονομασία μιας ενότητας. Αμέσως εμφανίζονται σε δεύτερο μενού επιλογών οι δυνατές λειτουργίες της ενότητας αυτής. Συγκεκριμένα, οι δυνατές επιλογές ενός εξουσιοδοτημένου χρήστη είναι οι ακόλουθες:

#### Έργο

Η ενότητα αυτή περιλαμβάνει τις επιλογές που σχετίζονται με τη διαχείριση ενός έργου, τη διαμόρφωση του επιθυμητού σεναρίου και την ασφάλεια του συστήματος.

*Διαχείριση χρηστών.* Η επιλογή παραπέμπει στη Φόρμα Διαχείρισης Χρηστών (εικόνα 4.3). Η λειτουργία είναι επιλέξιμη μόνο από τους διαχειριστές του συστήματος.

*Ταυτοποίηση χρήστη.* Η επιλογή παραπέμπει στη Φόρμα Ταυτοποίησης (εικόνα 4.2).

*Εισαγωγή έργου.* Η επιλογή παραπέμπει στη Φόρμα Εισαγωγής Έργου (εικόνα 4.4).

*Αποθήκευση αποτελεσμάτων.* Η επιλογή παραπέμπει στη Φόρμα Αποθήκευσης Αποτελεσμάτων (εικόνα 4.6).

*Κόμβοι/Ταμιευτήρες.* Η επιλογή παραπέμπει στη Φόρμα Διαχείρισης Κόμβων και Ταμιευτήρων (εικόνες 4.7 και 4.8).

*Υδραγωγεία.* Η επιλογή παραπέμπει στη Φόρμα Διαχείρισης Υδραγωγείων (εικόνα 4.12).

*Γεωτρήσεις.* Η επιλογή παραπέμπει στη Φόρμα Διαχείρισης Γεωτρήσεων (εικόνα 4.14).

*Στόχοι.* Η επιλογή παραπέμπει στη Φόρμα Διαχείρισης Στόχων (εικόνα 4.16).

*Έξοδος.* Η επιλογή τερματίζει αμέσως τον Υδρονομέα.

### **Υπολογισμοί**

Οι επιλογές της ενότητας αυτής αφορούν τον έλεγχο της διαδικασίας προσομοίωσης και βελτιστοποίησης

*Επιλογές.* Η επιλογή παραπέμπει στη Φόρμα Επιλογών Έργου (εικόνες 4.21 και 4.28).

*Επιλεκτική προσομοίωση.* Η επιλογή παραπέμπει στη Φόρμα Προσομοίωσης (εικόνα 4.22).

*Βελτιστοποίηση.* Η επιλογή εκτελεί άμεσα βελτιστοποίηση του σεναρίου που έχει εισαχθεί από τη βάση και διαμορφωθεί κατάλληλα από το χρήστη.

*Δυναμική απεικόνιση.* Η επιλογή εμφανίζει στην οθόνη το μοντέλο του υδροσυστήματος με το οποίο μπορεί να παρακολουθηθεί η διαδικασία της προσομοίωσης (εικόνες 4.26 και 4.27).

### **Αποτελέσματα**

Οι επιλογές της ενότητας αυτής χρησιμεύουν στην εμφάνιση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης ή της βελτιστοποίησης.

*Κανόνας λειτουργίας.* Η επιλογή που χρησιμεύει στη βελτιστοποίηση εμφανίζει τον μέχρι στιγμής βέλτιστο παραμετρικό κανόνα λειτουργίας στην οθόνη (εικόνα 4.25).

*Αστοχία.* Η επιλογή εμφανίζει τη Φόρμα Αστοχίας Στόχων και Περιορισμών (εικόνα 4.29).

*Υδατικό ισοζύγιο.* Η επιλογή εμφανίζει τη Φόρμα Αποτελεσμάτων Ισοζυγίων στο φύλλο που αναφέρεται στο υδατικό ισοζύγιο των κόμβων και των ταμιευτήρων (εικόνα 4.30).

*Ισοζύγιο ροών.* Η επιλογή εμφανίζει τη Φόρμα Αποτελεσμάτων Ισοζυγίων στο φύλλο που αναφέρεται στο ισοζύγιο ροών (εικόνα 4.31).

### **Βοήθεια**

*Οδηγίες χρήσης.* Εμφανίζονται στην οθόνη του υπολογιστή οι οδηγίες χρήσης του υπολογιστικού συστήματος.

*Πληροφορίες:* Παρέχονται ενημερωτικές πληροφορίες για την έκδοση του Υδρονομέα.

Στο μέσο της Κύριας Φόρμας του Υδρονομέα εμφανίζεται μια σειρά εικονιδίων που αντιστοιχούν στις ακόλουθες βασικές λειτουργίες του υπολογιστικού συστήματος:











Κλήση της Φόρμας Διαχείρισης Χρηστών



Κλήση της Φόρμας Ταυτοποίησης



Κλήση της Φόρμας Εισαγωγής Έργου

	Κλήση της Φόρμας Αποθήκευσης Αποτελεσμάτων
	Κλήση της Φόρμας Επιλογών Έργου
	Κλήση της Φόρμας Προσομοίωσης
	Εκτέλεση βελτιστοποίησης
	Οπτικοποίηση της διαδικασίας προσομοίωσης
	Κλήση της Φόρμας Αστοχίας Στόχων και Περιορισμών
	Εμφάνιση του υδατικού ισοζυγίου και του ισοζυγίου ροών
	Εμφάνιση των οδηγιών χρήσης στην οθόνη του υπολογιστή

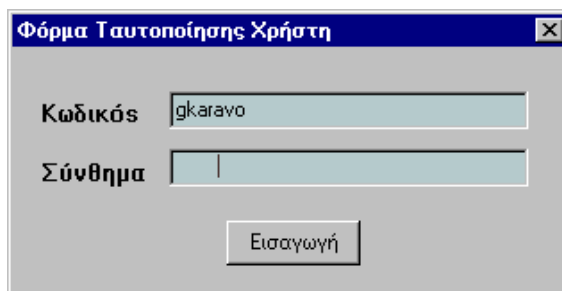
Μετακινώντας το ποντίκι επάνω σε κάποιο από τα εικονίδια, αναγράφεται για λίγα δευτερόλεπτα στην οθόνη ως υπενθύμιση η εντολή που αντιστοιχεί. Όταν ένας χρήστης επιχειρήσει να εκτελέσει μια λειτουργία για την οποία δεν είναι εξουσιοδοτημένος, τότε εμφανίζεται στην οθόνη ένα μήνυμα υπενθύμισης.

Το κάτω μέρος της Κύριας Φόρμας του Υδρονομέα καταλαμβάνει η γραμμή κατάστασης (status bar) που παρέχει χρήσιμες πληροφορίες στο χρήστη του συστήματος. Στο αριστερό της μέρος αναγράφεται η επίκαιρη κατάσταση του υπολογιστικού συστήματος σύμφωνα με το διάγραμμα μετάβασης κατάστασης (βλ. υποκεφάλαιο 3.1). Το μεσαίο μέρος της γραμμής κατάστασης παρέχει στο χρήστη στοιχεία για το έργο που επεξεργάζεται. Σε αυτά συμπεριλαμβάνεται η ονομασία του έργου καθώς και στατιστικά στοιχεία του υδροσυστήματος και των χρονοσειρών που φορτώθηκαν. Στη δεξιά πλευρά της γραμμής κατάστασης αναγράφεται η ονομασία του χρήστη που έχει αναγνωριστεί από το σύστημα.

## 4.2 Ταυτοποίηση

Για να εκτελέσει κάποιος χρήστης βασικές λειτουργίες του Υδρονομέα πρέπει προηγουμένως να έχει αναγνωριστεί από το υπολογιστικό σύστημα και να διαθέτει τα απαραίτητα δικαιώματα εκτέλεσης των λειτουργιών σύμφωνα με τα στοιχεία χρηστών που διατηρεί το υπολογιστικό σύστημα στη Βάση Δεδομένων. Η διαδικασία αυτή καλείται ταυτοποίηση και μπορεί να την ξεκινήσει ο οποιοσδήποτε χρήστης από την Κύρια Φόρμα επιλέγοντας από το μενού *Έργο/Ταυτοποίηση χρήστη* ή πατώντας με το ποντίκι το σχετικό εικονίδιο. Αμέσως μετά εμφανίζεται στην οθόνη η Φόρμα Ταυτοποίησης Χρήστη (εικόνα 4.2). Σε αυτήν ο χρήστης καλείται να δώσει τον κωδικό και το σύνθημα, με τα οποία έχει καταχωρηθεί στο σύστημα. Να σημειωθεί ότι τα σύμβολα που εισάγονται στο πεδίο του συνθήματος δεν εμφανίζονται στην οθόνη του υπολογιστή για λόγους ασφαλείας.

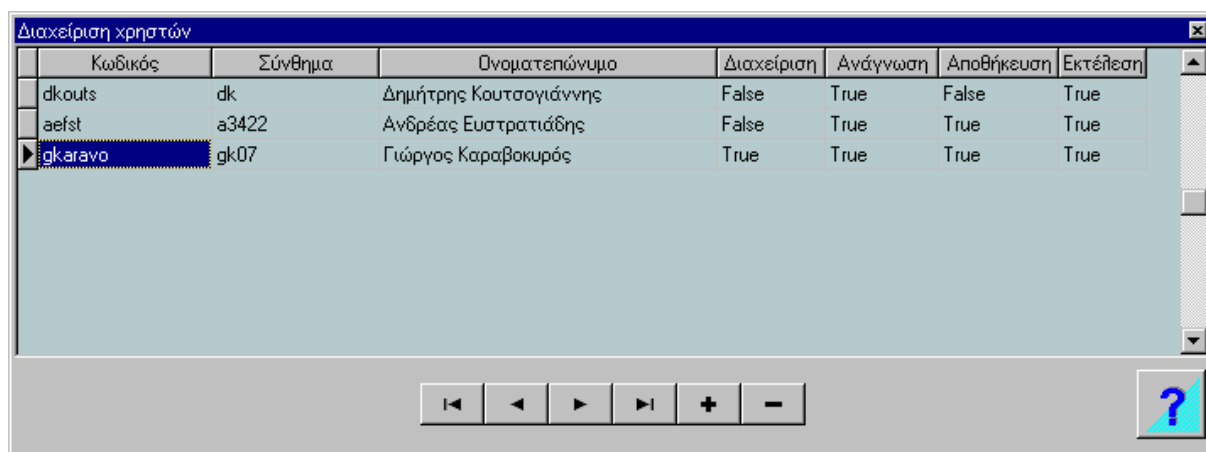
Σε περίπτωση που δεν κατέστη δυνατή η αναγνώριση του χρήστη, ο τελευταίος καλείται να επαναλάβει τη διαδικασία. Μετά την ταυτοποίηση το ονοματεπώνυμο του χρήστη εμφανίζεται στο δεξί μέρος της γραμμής κατάστασης της Κύρια Φόρμας του Υδρονομέα.



Εικόνα 4.2: .Φόρμα Ταυτοποίησης Χρήστη

### 4.3 Διαχείριση χρηστών








Αφού αναγνωριστεί ένας χρήστης από το σύστημα ως διαχειριστής, μπορεί από την Κύρια Φόρμα να καλέσει την Φόρμα Διαχείρισης Χρηστών. Σε αυτήν του δίνονται επιπρόσθετα δικαιώματα όπως η εισαγωγή ενός νέου χρήστη στο σύστημα, η διαγραφή ενός καταχωρημένου χρήστη ή η τροποποίηση των δικαιωμάτων οποιουδήποτε χρήστη, συμπεριλαμβανομένου και του ιδίου. Στην Φόρμα Διαχείρισης Χρηστών εμφανίζονται σε μορφή πίνακα ο κωδικός, το σύνθημα, το ονοματεπώνυμο και τα δικαιώματα των χρηστών όπως δείχνει το παράδειγμα της εικόνας 4.3.



Κωδικός	Σύνθημα	Ονοματεπώνυμο	Διαχείριση	Ανάγνωση	Αποθήκευση	Εκτέλεση
dkouts	dk	Δημήτρης Κουτσογιάννης	False	True	False	True
aefst	a3422	Ανδρέας Ευστρατιάδης	False	True	True	True
gkaravo	gk07	Γιώργος Καραβοκυρός	True	True	True	True

Εικόνα 4.3: Φόρμα Διαχείρισης Χρηστών

Στο κάτω μέρος της φόρμας δίνονται με τη μορφή κουμπιών οι ακόλουθες επιλογές:

-  Επιλογή του πρώτου χρήστη στον κατάλογο
-  Επιλογή του προηγούμενου χρήστη
-  Επιλογή του επόμενου χρήστη
-  Επιλογή του τελευταίου χρήστη στον κατάλογο
-  Εισαγωγή νέου χρήστη
-  Διαγραφή του επιλεγμένου χρήστη
-  Κλήση των οδηγιών χρήσης για τη συγκεκριμένη φόρμα



Για να τροποποιηθούν τα στοιχεία ενός χρήστη, ο διαχειριστής πρέπει να επιλέξει με το ποντίκι το κελί που πρέπει να τροποποιηθεί και να εισαγάγει τα νέα στοιχεία. Όσον αφορά τα κελιά στα πεδία δικαιωμάτων του χρήστη, μόνο οι εξής δύο τιμές επιτρέπονται σε αυτά: Η τιμή *true* υποδηλώνει ότι ο χρήστης διαθέτει το σχετικό δικαίωμα ενώ η τιμή *false* απαγορεύει στο χρήστη την εκτέλεση της λειτουργίας. Η εισαγωγή τιμών σε όλα τα πεδία είναι υποχρεωτική.

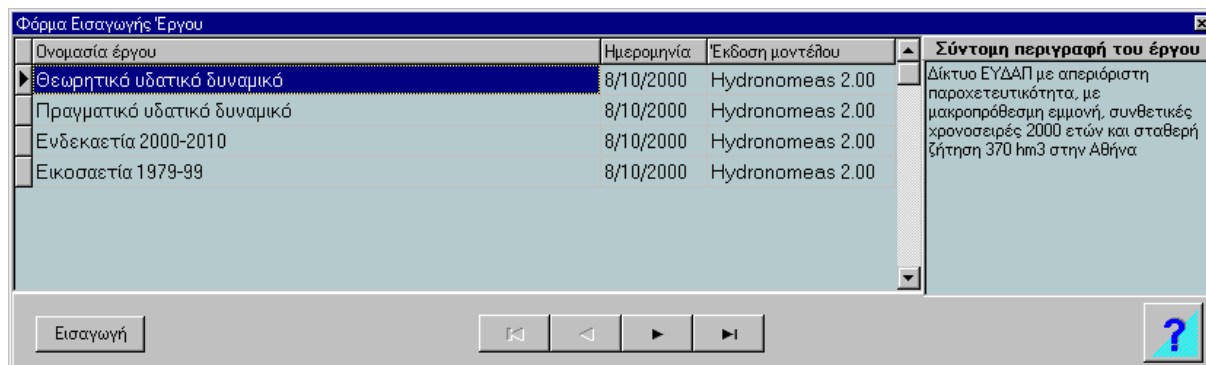
Οι αλλαγές στα δικαιώματα ενός χρήστη ενεργοποιούνται μετά την επόμενη ταυτοποίηση χρήστη ή μετά από επανεκκίνηση του συστήματος

## 4.4 Διαχείριση έργων

Η επεξεργασία των δεδομένων του δικτύου, με σκοπό την τροποποίηση ενός σεναρίου, δεν πραγματοποιείται απ' ευθείας στη Βάση Δεδομένων αλλά στην απεικόνιση του δικτύου στο Σύστημα Δομών και Μεταβλητών του Υδρονομέα. Η απεικόνιση διαμορφώνεται με την εισαγωγή του έργου. Κατ' αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η τροποποίηση των ιδιοτήτων του δικτύου και διενέργεια προσομοιώσεων χωρίς να επηρεάζονται τα αρχικά δεδομένα στη Βάση.

### 4.4.1 Εισαγωγή έργου

Η Φόρμα Εισαγωγής Έργου εμφανίζεται με την επιλογή *Έργο/Επιλογή έργου* από το μενού επιλογών ή με το πάτημα του σχετικού κουμπιού της Κύριας Φόρμας του Υδρονομέα (εικόνα 4.4). Η φόρμα περιλαμβάνει έναν πίνακα στον οποίο αναγράφονται η ονομασία, η ημερομηνία καταχώρησης και η έκδοση του Υδρονομέα με την οποία έγινε η πιο πρόσφατη επεξεργασία και αποθήκευση του έργου. Στο δεξιό μέρος της φόρμας μια σύντομη περιγραφή κατατοπίζει το χρήστη για το σενάριο που ακολουθήθηκε.



Εικόνα 4.4: Φόρμα Εισαγωγής Έργου

Ο εξουσιοδοτημένος χρήστης μπορεί να εισαγάγει κάποιο από τα καταχωρημένα στη Βάση Δεδομένων έργα για επισκόπηση και επεξεργασία, επιλέγοντάς το με το ποντίκι και μετά πατώντας το κουμπί *Εισαγωγή*. Τα έργα αυτά αντιστοιχούν κατά βάση στα σενάρια που εξετάστηκαν κατά την εκπόνηση του Σχεδίου Διαχείρισης Υδατικών Πόρων της ΕΥΔΑΠ (Κουτσογιάννης κ.ά., 2000) και είναι τα ακόλουθα:

#### 1<sup>ο</sup> Έργο: Υπολογισμός του θεωρητικού υδατικού δυναμικού του δικτύου της ΕΥΔΑΠ

Στα βασικά χαρακτηριστικά του σεναρίου συγκαταλέγεται η εισαγωγή του σημερινού δικτύου της ΕΥΔΑΠ με θεωρητικά απεριόριστη παροχρητευτικότητα των υδραγωγείων. Οι συνθετικές υδρολογικές χρονοσειρές 2000 ετών που χρησιμοποιούνται στο σενάριο έχουν προκύψει ύστερα από στατιστική προσομοίωση από τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ιστορικών χρονοσειρών της εικοσαετίας 1979-

99 με διατήρηση του φαινομένου της μακροπρόθεσμης εμμονής ξηρασίας. Ο στόχος ζήτησης για την ύδρευση της Αθήνας είναι σταθερός και ίσος με  $370 \text{ hm}^3/\text{έτος}$ .

### 2<sup>ο</sup> Έργο: Υπολογισμός του πραγματικού υδατικού δυναμικού του δικτύου της ΕΥΔΑΠ

Το έργο αυτό προβλέπει το ίδιο σενάριο με το πρώτο, με μόνη διαφορά ότι στα υδραγωγεία του δικτύου χρησιμοποιείται η εκτιμώμενη σημερινή παροχευτικότητα.

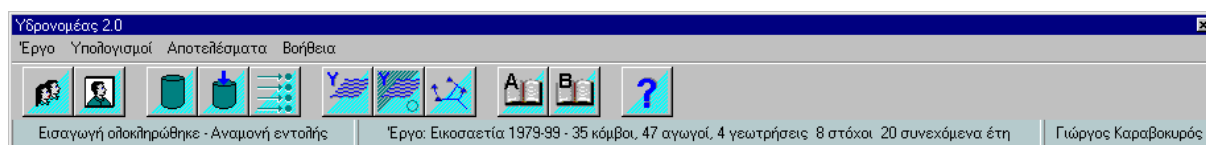
### 3<sup>ο</sup> Έργο: Προσομοίωση της ενδεκαετίας 2000-2010

Σενάριο πρόβλεψης ενδεκαετίας, ξεκινώντας από το υδρολογικό έτος 2000-01 με πρόβλεψη μακροπρόθεσμης εμμονής ξηρασίας και χαμηλούς αυξητικούς ρυθμούς ζήτησης νερού ύδρευσης στην Αθήνα. Οι εισροές στον Εύηνο από 10/2000 μέχρι 5/2001 είναι μηδενικές. Σε αυτήν την περίοδο ο ταμιευτήρας προβλέπεται να παραμείνει εκτός λειτουργίας. Οι συνθετικές υδρολογικές χρονοσειρές που χρησιμοποιούνται στο σενάριο αυτό διακρίνονται σε 200 ενότητες των ένδεκα συνεχόμενων ετών η κάθε μία.

### 4<sup>ο</sup> Έργο: Σενάριο ιστορικών χρονοσειρών της εικοσαετίας 1979-1999

Στο σενάριο περιλαμβάνονται οι καταγεγραμμένες ιστορικές υδρολογικές χρονοσειρές της εικοσαετίας 1979-99 στους ταμιευτήρες Εύηνο Μόρνο και Υλίκη και σταθερή ζήτηση νερού  $370 \text{ hm}^3/\text{έτος}$  στην Αθήνα

Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει κάποιο έργο πατώντας τα σχετικά κουμπιά στο κάτω μέρος της φόρμας ή στο αριστερό μέρος της σειράς του έργου. Κατόπιν με το κουμπί *Εισαγωγή* φορτώνεται το έργο από τη Βάση Δεδομένων. Ανάλογα με την έκταση των δεδομένων που περιλαμβάνονται στο έργο η διαδικασία εισαγωγής μπορεί να διαρκέσει μέχρι και λίγα λεπτά της ώρας. Για όση ώρα διαρκεί η εισαγωγή δεδομένων δεν είναι δυνατή η εκτέλεση άλλης λειτουργίας του Υδρονομέα. Ο τερματισμός της διαδικασίας εισαγωγής έργου γνωστοποιείται στο χρήστη με την αναγραφή της νέας κατάστασης του υπολογιστικού συστήματος και των στατιστικών στοιχείων του έργου στη γραμμή κατάστασης της Κύριας Φόρμας (εικόνα 4.5).



Εικόνα 4.5: Παράδειγμα γραμμής κατάστασης

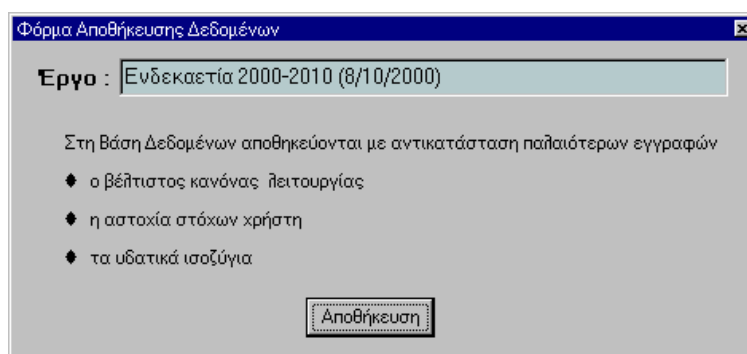
#### 4.4.2 Αποθήκευση αποτελεσμάτων

Ο Υδρονομέας, στην έκδοση 2.0 υποστηρίζει περιορισμένες δυνατότητες αποθήκευσης αποτελεσμάτων προσομοιώσεων και βελτιστοποιήσεων. Στα αποτελέσματα που με επιλογή του χρήστη μπορούν να καταχωρηθούν στη Βάση Δεδομένων συγκαταλέγονται:

- Ο βέλτιστος κανόνας λειτουργίας (χρησιμεύει στην περίπτωση που έχει προηγηθεί βελτιστοποίηση).
- Οι αστοχίες των στόχων και περιορισμών που υπολογίστηκαν στην πλέον πρόσφατη προσομοίωση ή βελτιστοποίηση. Στην περίπτωση βελτιστοποίησης διατηρούνται οι αστοχίες που υπολογίστηκαν με το βέλτιστο κανόνα λειτουργίας.
- Το μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο όπως προέκυψε από την πλέον πρόσφατη προσομοίωση ή βελτιστοποίηση.

Σε περίπτωση που στη Βάση Δεδομένων υπάρχουν παλαιότερες εγγραφές αποτελεσμάτων του έργου, αυτές αντικαθίστανται με τις πρόσφατες.

Η αποθήκευση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται με την επιλογή *Έργο/Αποθήκευση αποτελεσμάτων* από την Κύρια Φόρμα του Υδρονομέα ή πατώντας το σχετικό εικονίδιο. Το σύστημα ζητά από το χρήστη επιβεβαίωση της εντολής με τη φόρμα της εικόνας 4.6.



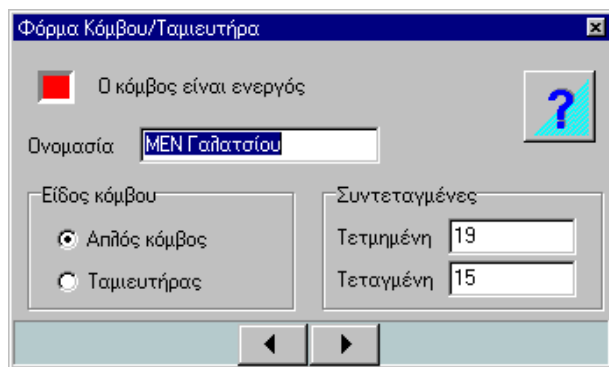
Εικόνα 4.6: Φόρμα Αποθήκευσης Δεδομένων

## 4.5 Διαχείριση των συνιστωσών του δικτύου

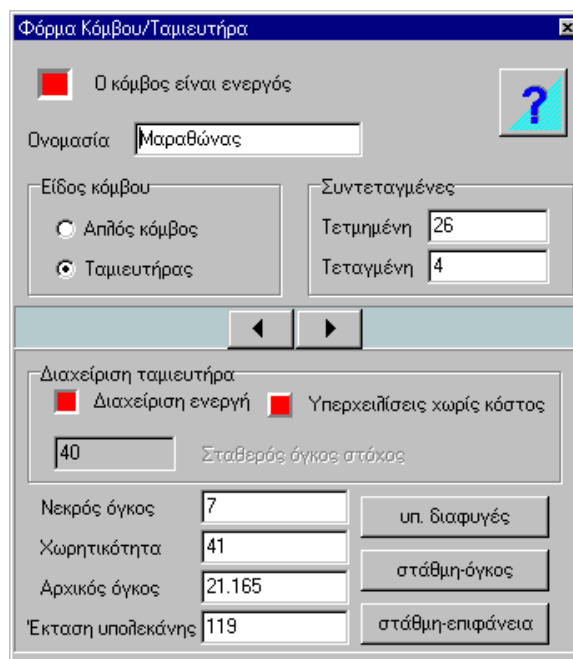
Μετά την εισαγωγή ενός έργου μπορούν να επισκοπηθούν και ενδεχομένως να τροποποιηθούν ορισμένα χαρακτηριστικά του δικτύου. Άλλα χαρακτηριστικά των συνιστωσών του δικτύου, παρότι εμφανίζονται στις σχετικές φόρμες, δεν είναι δυνατόν να τροποποιηθούν στην παρούσα έκδοση του Υδρονομέα.

### 4.5.1 Διαχείριση κόμβων και ταμιευτήρων



Επιλέγοντας από την Κύρια Φόρμα *Έργο/Κόμβοι-Ταμιευτήρες* εμφανίζεται η Φόρμα Κόμβου/Ταμιευτήρα του Υδρονομέα. Η μορφή της φόρμας διαφέρει ανάλογα με το είδος του κόμβου. Σε περίπτωση απλών κόμβων η φόρμα έχει τη μορφή της εικόνας 4.7. Ταμιευτήρες διαθέτουν επιπρόσθετες ιδιότητες και η φόρμα έχει την μορφή της εικόνας 4.8. Αλλάζοντας την ιδιότητα του κόμβου από απλό κόμβο σε ταμιευτήρα και αντίστροφα μεταβάλλεται και η μορφή της φόρμας.



Εικόνα 4.7: Φόρμα Κόμβου



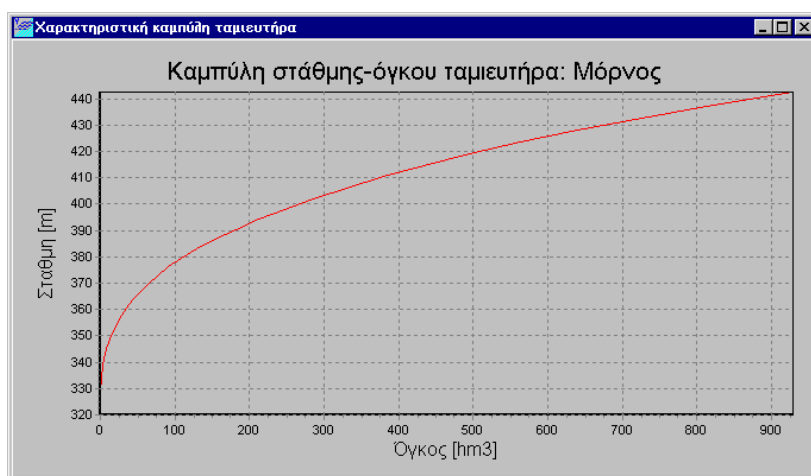
Εικόνα 4.8: Φόρμα Ταμιευτήρα

Στο άνω μέρος της φόρμας εμφανίζεται η ονομασία του κόμβου και μια ένδειξη που φανερώνει εάν στο έργο που επιλέχτηκε ο κόμβος αποτελεί μέρος του δικτύου (ενεργός κόμβος) ή όχι. Οι συντεταγμένες του κόμβου καθορίζουν τη θέση του στο μοντέλο του δικτύου που εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή. Πατώντας τα κουμπιά  και  ο χρήστης μπορεί να εμφανίζει τις χαρακτηριστικές ιδιότητες του προηγούμενου και του επόμενου καταχωρημένου στη Βάση κόμβου ή ταμιευτήρα.

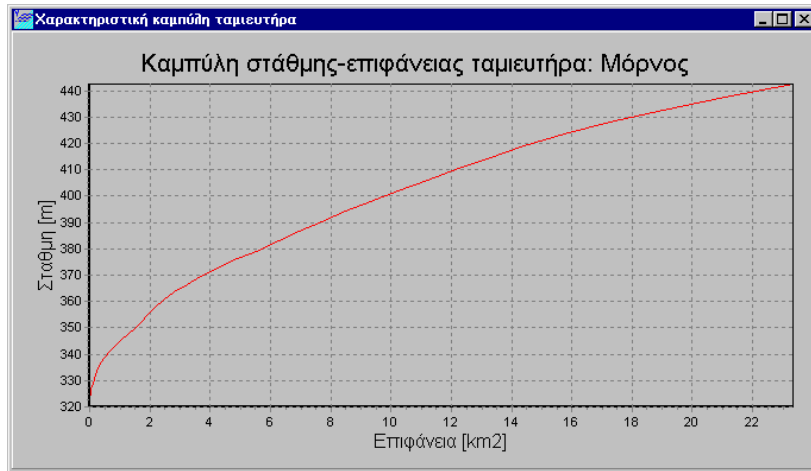
Ταμιευτήρες διαθέτουν επιπρόσθετες ιδιότητες. Αυτές αφορούν τα φυσικά χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα και της υπολεκάνης του που είναι:

- Ο νεκρός όγκος του ταμιευτήρα
- Η συνολική χωρητικότητά του
- Ο αρχικός όγκος του ταμιευτήρα. Χρησιμεύει στις περιπτώσεις που απαιτείται η επαναφορά του υδροσυστήματος σε μια αρχική κατάσταση (έναρξη προσομοίωσης, αλλαγή κανόνα λειτουργίας στη βελτιστοποίηση).
- Η έκταση της υπολεκάνης που τροφοδοτεί τον ταμιευτήρα
- Οι παράμετροι των υπογείων διαφυγών του ταμιευτήρα (εικόνα 4.11).
- Η χαρακτηριστική καμπύλη στάθμης-όγκου του ταμιευτήρα (εικόνα 4.9).
- Η χαρακτηριστική καμπύλη στάθμης-επιφάνειας του ταμιευτήρα (εικόνα 4.10).

Άλλες επιλογές αφορούν τη διαχείριση του ταμιευτήρα κατά την προσομοίωση. Συγκεκριμένα, τη δυνατότητα εξαίρεσης του ταμιευτήρα από τον παραμετρικό κανόνα λειτουργίας, και τη δυνατότητα υπερχειλίσης του ταμιευτήρα, χωρίς αυτό να συνεπάγεται μεγάλη ποινή στον υπολογισμό του δείκτη επίδοσης (βλ. εδάφιο 2.4.2).



Εικόνα 4.9: Η Φόρμα Καμπύλης Στάθμης-Όγκου με βάση το παράδειγμα του ταμιευτήρα του Μόρνου



Εικόνα 4.10: Η Φόρμα Καμπύλης Στάθμης-Επιφάνειας με βάση το παράδειγμα του ταμιευτήρα του Μόρνου

Μήνας	Συντελεστής α	Συντελεστής β	Συντελεστής γ	Συντελεστής ε	Τυπική απόκλιση
1	0	0.013	-1.16	28.3	3.53
2	0	0.013	-1.16	28.3	3.53
3	0	0.013	-1.16	28.3	3.53
4	0	0.013	-1.16	28.3	3.53
5	0	0.013	-1.16	28.3	3.53
6	0	0.013	-1.16	28.3	3.53
7	0	0.013	-1.16	28.3	3.53
8	0	0.013	-1.16	28.3	3.53
9	0	0.013	-1.16	28.3	3.53
10	0	0.013	-1.16	28.3	3.53
11	0	0.013	-1.16	28.3	3.53
12	0	0.013	-1.16	28.3	3.53

Εικόνα 4.11: Η Φόρμα Παραμέτρων Υπογείων Διαφυγών με βάση το παράδειγμα της λίμνης Υλίκης.

#### 4.5.2 Διαχείριση υδραγωγείων

Με την επιλογή *Έργο/Υδραγωγεία* από την Κύρια Φόρμα εμφανίζεται στην οθόνη η Φόρμα Υδραγωγείου (εικόνα 4.12). Σε αυτήν αναγράφονται οι παρακάτω χαρακτηριστικές ιδιότητες ενός υδραγωγείου:

- Το γεγονός εάν το υδραγωγείο είναι ενεργό ή όχι
- Το γεγονός εάν το υδραγωγείο έχει μονόδρομη ή αμφίδρομη κατεύθυνση ροής
- Η ονομασία του υδραγωγείου
- Ο ανάντη και ο κατόντη κόμβος οι οποίοι ορίζουν το υδραγωγείο
- Ο συντελεστής μείωσης της παροχетеυτικότητας που λαμβάνει υπόψη γραμμικές απώλειες και χρονικούς περιορισμούς στη χρήση του υδραγωγείου
- Οι στάθμες τροφοδοσίας και εξαγωγής του υδραγωγείου
- Η κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα μεταφερόμενου όγκου κατά την ροή του νερού στον αγωγό με την κανονική και την αντίστροφη φορά. Η τιμή κατανάλωσης ενέργειας είναι μηδενική όταν η μεταφορά πραγματοποιείται με βαρύτητα.

- Η παροχετευτικότητα του υδραγωγείου εμφανίζεται με το πάτημα του σχετικού κουμπιού από τη Φόρμα Υδραγωγείου. Για υδραγωγεία σταθερής παροχετευτικότητας δίνεται μια σταθερή τιμή, ενώ για τα υδραγωγεία μεταβλητής παροχετευτικότητας (π.χ. σήραγγα Εύηνου-Μόρνου) δίνεται η καμπύλη ύψους πτώσης – παροχετευτικότητας (εικόνα 4.13).

Πατώντας τα κουμπιά ◀ και ▶ ο χρήστης μπορεί να εμφανίζει τις χαρακτηριστικές ιδιότητες του προηγούμενου και του επόμενου καταχωρημένου στη Βάση υδραγωγείου. Αυτά χρησιμοποιούνται στο μοντέλο του δικτύου και δεν αντιστοιχούν απαραίτητα με τα υφιστάμενα υδραγωγεία που είναι καταχωρημένα στην Κεντρική Βάση Δεδομένων του έργου.

Φόρμα Υδραγωγείου

Το υδραγωγείο είναι ενεργό

Όνομασία: Βίλιζα-Αυλώνα (Φ900)

Ανάντη κόμβος: Βίλιζα

Κατάντη κόμβος: Αυλώνα

Κατεύθυνση ροής:  
 Μονοσήμαντη  
 Αμφίδρομη

Συντελεστής μείωσης της παροχετευτικότητας: 0.15

Στάθμη τροφοδοσίας: 241

Στάθμη εξαγωγής: 227

Κατανάλωση ενέργειας:  
Κανονική ροή: 0 kWh/m<sup>3</sup>  
Αντίστροφη ροή: 0 kWh/m<sup>3</sup>

Παροχετευτικότητα

Εικόνα 4.12: Η Φόρμα Υδραγωγείου

Φόρμα Καμπύλης Ύψους Πτώσης-Παροχετευτικότητας

Παροχετευτικότητα υδραγωγείου: Εύηνος-Μόρνος

Ύψος πτώσης	Παροχετευτικότητα κανονικής ροής	Παροχετευτικότητα αντίστρ. ροής
455	0	-1
460	15	-1
470	18.8	-1
480	21.6	-1
490	24.7	-1
500	26.6	-1

Εικόνα 4.13: Φόρμα Καμπύλης Ύψους Πτώσης-Παροχετευτικότητας

### 4.5.3 Διαχείριση γεωτρήσεων

Με την επιλογή *Έργο/Γεώτρηση* από την Κύρια Φόρμα εμφανίζεται στην οθόνη η Φόρμα Γεώτρησης (εικόνα 4.14). Οι γεωτρήσεις, ως εφεδρικοί υδατικοί πόροι, συνεισφέρουν στη διαχείριση όταν είναι ενεργή (κόκκινη) η σχετική ένδειξη στη Φόρμα Γεώτρησης. Στη φόρμα αναγράφεται η ονομασία της γεώτρησης και η ονομασία του κόμβου που τροφοδοτεί με το νερό του υπόγειου υδροφορέα, όπως επίσης και η ποσότητα ενέργειας σε kWh/m<sup>3</sup> που καταναλώνεται κατά την μεταφορά νερού μέσω της γεώτρησης.

Το άνω και κάτω κατώφλι επηρεάζουν την διαχειριστική πολιτική απόληψης από τον υπόγειο υδροφορέα. Το άνω κατώφλι δίνει το ποσοστό επί του συνολικού ωφέλιμου όγκου του υδροσυστήματος άνω του οποίου η απόληψη από τον υπόγειο υδροφορέα απαγορεύεται. Το κάτω κατώφλι είναι το ποσοστό κάτω του οποίου πραγματοποιούνται απολήψεις κατά απόλυτη προτεραιότητα από τη γεώτρηση για την κάλυψη της ζήτησης νερού, ανεξαρτήτως κόστους. Είναι φανερό ότι η τιμή του άνω κατωφλίου πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη από αυτήν του κάτω. Η απόληψη ανάμεσα στα δύο κατώφλια πραγματοποιείται με οικονομικούς όρους.

Η μέγιστη δυνατή παροχή της γεώτρησης μπορεί να κυμαίνεται εποχιακά και εμφανίζεται με τη μορφή πίνακα πατώντας το κουμπί *Μέγιστη παροχή* (εικόνα 4.15).

Φόρμα Γεώτρησης

Η γεώτρηση είναι ενεργή

Όνομασία: Μαυροσουβάλα

Κόμβος: Σφενδάλη

Κατανάλωση ενέργειας: 2.38 kWh/m<sup>3</sup>

Άνω κατώφλι: 0.4

Κάτω κατώφλι: 0.25

Μέγιστη παροχή

Εικόνα 4.14: Φόρμα Γεώτρησης

Φόρμα Παροχής Γεώτρησης

Γεώτρηση: Μαυροσουβάλα

Μήνας	Τιμή [m <sup>3</sup> /s]
1	1.3
2	1.3
3	1.3
4	1.3
5	1.3
6	1.3
7	1.3
8	1.3
9	1.3
10	1.3
11	1.3
12	1.3

Εικόνα 4.15: Φόρμα Παροχής Γεώτρησης

### 4.5.4 Διαχείριση Στόχων

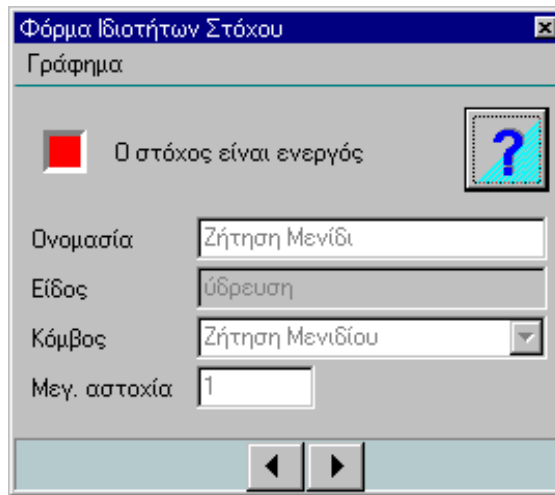
Για τη διαχείριση των στόχων προσομοίωσης χρησιμοποιούνται δύο βασικές φόρμες που παρουσιάζονται στις εικόνες 4.16 και 4.19. Η πρώτη καταγράφει τις χαρακτηριστικές ιδιότητες του στόχου ενώ η δεύτερη απαριθμεί τους στόχους με σειρά προτεραιότητας.

Η Φόρμα Ιδιοτήτων Στόχου αναφέρει τα εξής στοιχεία:

- Το γεγονός εάν ο στόχος είναι ενεργός (κόκκινη ένδειξη) ή όχι.
- Την ονομασία του στόχου.
- Το είδος του στόχου.
- Τη συνιστώσα του υδροσυστήματος με την οποία είναι συνδεδεμένος ο στόχος.

- Την ανώτατη αποδεκτή πιθανότητα αστοχίας του στόχου. Το πεδίο τιμών είναι [0,1].

Στο άνω μέρος της φόρμας βρίσκεται ένα μενού επιλογών από το οποίο μπορεί ο χρήστης να εμφανίσει την εποχιακή (μηνιαία) και ετήσια διακύμανση του στόχου σε μορφή γραφήματος (βλ. εικόνες 4.17 και 4.18). Η ετήσια τιμή για στόχους κατανάλωσης (ύδρευση, άρδευση) εκφράζει το άθροισμα των μηνιαίων τιμών, ενώ για τους υπόλοιπους στόχους (ελάχιστη ροή, στόχοι στάθμης ταμιευτήρων) αποτελεί τη μέση μηνιαία τιμή. Η εποχιακή διακύμανση στους στόχους κατανάλωσης νερού εκφράζεται με έναν συντελεστή επί της ετήσιας τιμής.



Εικόνα 4.16: Φόρμα Ιδιοτήτων Στόχου



Εικόνα 4.17: Παράδειγμα μηνιαίας διακύμανσης στόχου





Εικόνα 4.18: Παράδειγμα ετήσιας διακύμανσης στόχου

Οι στόχοι εντάσσονται στον κατάλογο της Φόρμας Προτεραιότητας Στόχων (εικόνα 4.19) με τη σειρά προτεραιότητας που εξυπηρετούνται κατά την προσομοίωση. Οι πρώτες τρεις στήλες αναφέρουν τον αριθμό προτεραιότητας, το αντικείμενο που συνδέεται με τον στόχο (*Συνιστώσα δικτύου*) και το είδος του στόχου. Η στήλη *1<sup>η</sup> Τιμή* αναφέρεται στην τιμή του στόχου κατανάλωσης ή ελάχιστης ροής κατά την πρώτη χρονική περίοδο προσομοίωσης. Εφ’ όσον ο στόχος είναι η διατήρηση κάποιων ορίων αποθέματος στους ταμιευτήρες, η τιμή αναφέρεται στον ετήσιο μέσο όρο.

Προτεραιότητα	Συνιστώσα δικτύου	Στόχος	Ενεργός στόχος	1η Τιμή	Μέγιστη αστοχία
1	Ζήτηση Μενιδίου	Κατανάλωση νερού - Ύδρευση (hm3)	ΝΑΙ	197.400	1.000
2	Ζήτηση Γαλατσίου	Κατανάλωση νερού - Ύδρευση (hm3)	ΝΑΙ	108.400	1.000
3	Ζήτηση Κιούρκων	Κατανάλωση νερού - Ύδρευση (hm3)	ΝΑΙ	44.600	1.000
4	Ζήτηση Μάνδρας	Κατανάλωση νερού - Ύδρευση (hm3)	ΝΑΙ	19.800	1.000
5	Εύηνος	Κατανάλωση νερού - Ύδρευση (hm3)	ΝΑΙ	2.600	1.000
6	Μαραθώνας	Μέγιστος όγκος (hm3)	ΝΑΙ	33.000	1.000
7	Μαραθώνας	Ελάχιστος όγκος (hm3)	ΝΑΙ	32.500	1.000
8	Υφίκη	Κατανάλωση νερού - Άρδευση (hm3)	ΝΑΙ	35.000	1.000

Εικόνα 4.19: Φόρμα Προτεραιότητας Στόχων και Περιορισμών

Η ανώτατη αστοχία για κάθε στόχο στη στήλη *Μέγιστη αστοχία*, περιορίζει τις αποδεκτές λύσεις σε αυτές που ικανοποιούν τον περιορισμό. Το πεδίο τιμών της παραμέτρου αυτής είναι από 0 (κανένας κανόνας λειτουργίας δεν γίνεται αποδεκτός πλην αυτού με μηδενική αστοχία), μέχρι 1 (δεν τίθεται περιορισμός στην αστοχία αυτού του στόχου η οποία απλώς καταγράφεται).

Για να αλλάξει η σειρά προτεραιότητας ενός από τους στόχους ο χρήστης πρέπει να πατήσει το κουμπί *Προτεραιότητα*, κατόπιν να κάνει με το ποντίκι αριστερό κλικ επάνω στον αριθμό

προτεραιότητάς του και να τον σύρει στη θέση που επιθυμεί, όπως δείχνει το παράδειγμα της εικόνας 4.20.



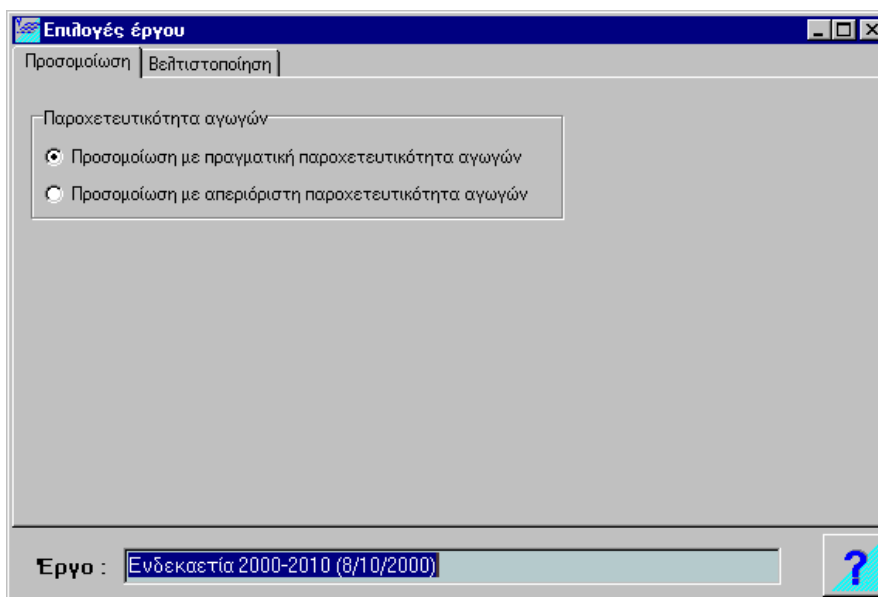
Εικόνα 4.20: Αλλαγή προτεραιότητας στόχου από τη 5<sup>η</sup> στην 3<sup>η</sup> θέση.

Από τη Φόρμα Προτεραιότητας Στόχων και Περιορισμών ο χρήστης μπορεί να διαγράψει στόχους πατώντας το κουμπί *Διαγραφή* και κατόπιν τον στόχο που επιθυμεί να διαγράψει. Πατώντας το κουμπί *Στοιχεία* και κατόπιν την σειρά ενός στόχου, εμφανίζεται στην οθόνη η Φόρμα Ιδιοτήτων Στόχου με τα στοιχεία του στόχου που επιλέχθηκε.

## 4.6 Εκτέλεση προσομοίωσης

### 4.6.1 Επιλογές προσομοίωσης

Πριν από την έναρξη της διαδικασίας της προσομοίωσης ο χρήστης καλείται να επιλέξει εάν στο σενάριο που θα ακολουθηθεί θα ληφθεί υπόψη ο περιορισμός της παροχτετευτικότητας των υδραγωγείων ή εάν η παροχτετευτικότητα θα θεωρηθεί απεριόριστη. Η επιλογή αυτή δίνεται από το φύλλο προσομοίωσης της Φόρμας Επιλογών Έργου που δείχνει η εικόνα 4.21. Η φόρμα εμφανίζεται ύστερα από την επιλογή *Υπολογισμοί/Επιλογές* στο μενού επιλογών της Κύριας Φόρμας του Υδρονομέα ή πατώντας το σχετικό εικονίδιο.



Εικόνα 4.21: Επιλογές προσομοίωσης της Φόρμας Επιλογών Έργου

### 4.6.2 Προσομοίωση με συγκεκριμένο κανόνα λειτουργίας

Η προσομοίωση εκτελείται πάντοτε με έναν συγκεκριμένο παραμετρικό κανόνα λειτουργίας των ταμιευτήρων από τον οποίο υπολογίζεται ο όγκος-στόχος του ταμιευτήρα για κάθε προσομοιωμένο χρονικό βήμα. Σύμφωνα με το σχήμα παραμετροποίησης που έχει υλοποιηθεί εισάγονται δύο

παράμετροι,  $\alpha$  και  $\beta$ , για κάθε ταμειυτήρα που συμμετέχει στη διαχείριση. Η εισαγωγή των παραμέτρων πραγματοποιείται από τη Φόρμα Προσομοίωσης (εικόνα 4.22). Σε αυτήν αναγράφονται οι ενεργοί ταμειυτήρες και οι παράμετροί τους. Την πρώτη φορά που θα εμφανιστεί η φόρμα, θα εμφανιστούν οι τιμές των παραμέτρων με τις οποίες είχε αποθηκευτεί την τελευταία φορά το σενάριο στη Βάση Δεδομένων. Οι τιμές των παραμέτρων μπορούν να τροποποιηθούν από το χρήστη και να λάβουν τις επιθυμητές τιμές.

Η προσομοίωση εκτελείται με το πάτημα του κουμπιού *Προσομοίωση*. Παράλληλα ο Υδρονομέας απαγορεύει την εκτέλεση άλλων λειτουργιών όπως βελτιστοποίηση ή αποθήκευση δεδομένων σε όλη τη διάρκεια της διαδικασίας της προσομοίωσης. Ο χρήστης ενημερώνεται για την αλλαγή από την γραμμή κατάστασης της Κύριας Φόρμας του Υδρονομέα (υποκεφάλαιο 4.1). Σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης εμφανίζεται στην οθόνη η Φόρμα Κατάστασης Προσομοίωσης, η οποία πληροφορεί το χρήστη για την πορεία της διαδικασίας.

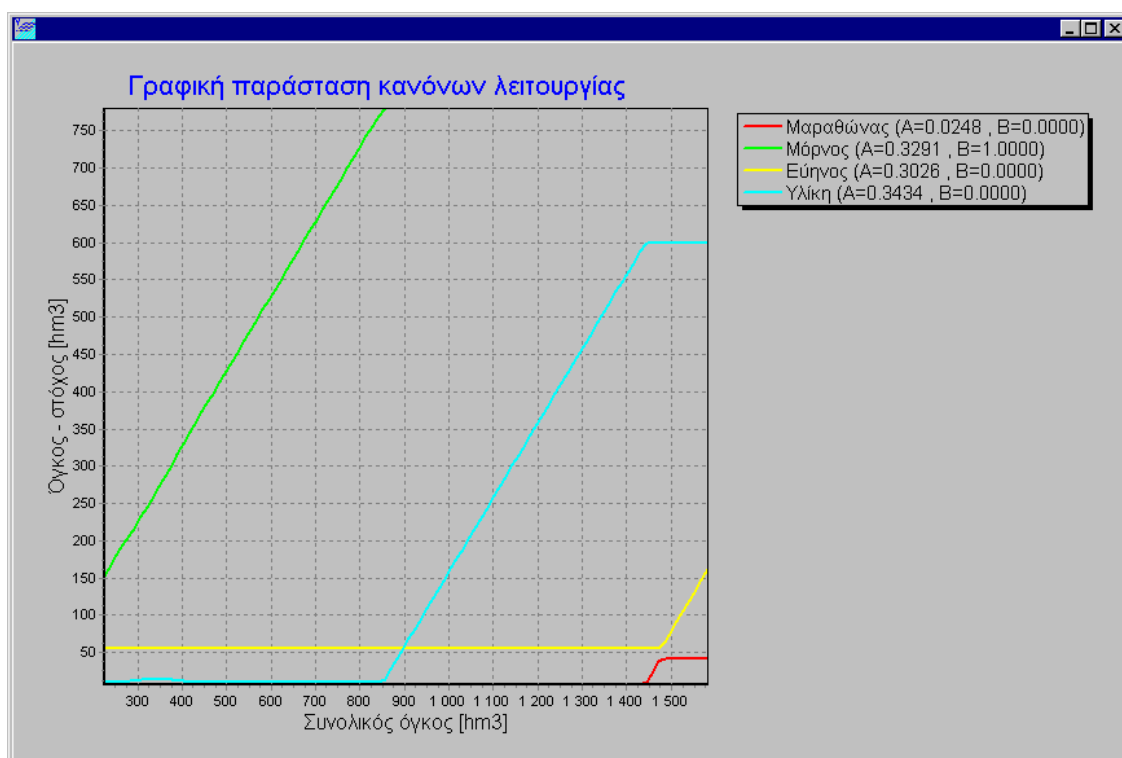
Ταμειυτήρας	Παραμ. $\alpha$	Παραμ. $\beta$
Εύηνος	0.3026	0.2344
Μαραθώνας	0.0248	0.0000
Μόρνος	0.3291	0.2245
Υψίκη	0.3434	0.5411

Δείκτης επίδοσης: 0.0458

Buttons: Προσομοίωση, Επαναφορά τιμών, Γράφημα, ?

Εικόνα 4.22: Φόρμα Προσομοίωσης

Με το πάτημα του κουμπιού *Γράφημα* εμφανίζεται στην οθόνη η γραφική παράσταση του κανόνα λειτουργίας, όπως δείχνει το παράδειγμα της εικόνας 4.23, ενώ το κουμπί *Επαναφορά τιμών* επαναφέρει τις αρχικές τιμές στα πεδία των παραμέτρων.





Εικόνα 4.23: Γραφική παράσταση του κανόνα λειτουργίας

### 4.6.3 Παρακολούθηση της διαδικασίας προσομοίωσης/βελτιστοποίησης

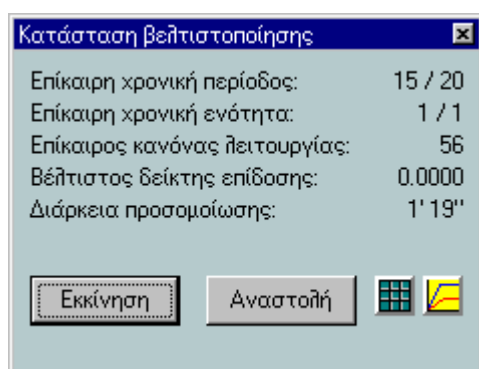
#### Φόρμα Κατάστασης Προσομοίωσης/Βελτιστοποίησης

Η διαδικασίες της προσομοίωσης και της βελτιστοποίησης παρακολουθούνται από τη Φόρμα Κατάστασης Προσομοίωσης/Βελτιστοποίησης που παραμένει στην οθόνη σε όλη τη διάρκεια της διαδικασίας (εικόνα 4.24). Στη φόρμα αυτή που ενημερώνεται κάθε ένα δευτερόλεπτο αναγράφονται τα εξής στοιχεία:

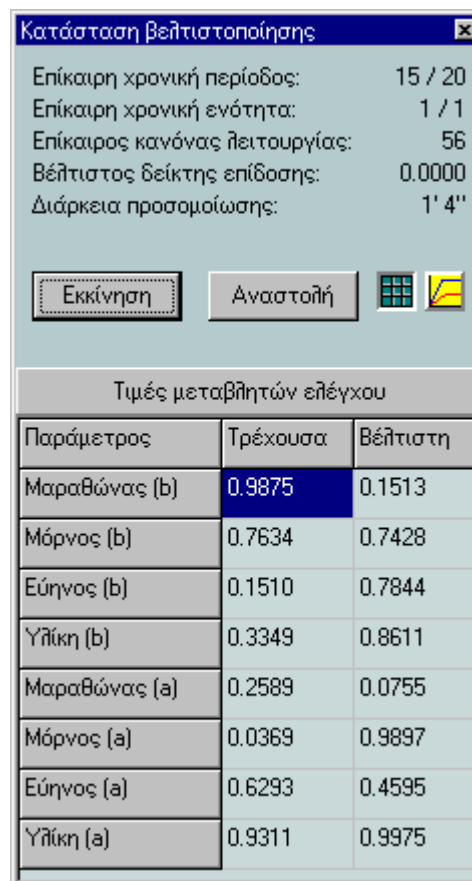
- Η τρέχουσα προσομοιωμένη χρονική περίοδος
- Η τρέχουσα προσομοιωμένη χρονική ενότητα
- Ο αριθμός των κανόνων λειτουργίας που προσομοιώθηκαν μέχρι στιγμής κατά τη διαδικασία της βελτιστοποίησης
- Ο δείκτης επίδοσης του βέλτιστου κανόνα λειτουργίας
- Η διάρκεια της προσομοίωσης από την έναρξη της διαδικασίας

Η Φόρμα Κατάστασης Προσομοίωσης/Βελτιστοποίησης έχει διπλή μορφή. Πατώντας το κουμπί  με το ποντίκι εμφανίζεται η αναλυτική της μορφή (εικόνα 4.25), που περιλαμβάνει τον τρέχοντα και τον μέχρι στιγμής βέλτιστο παραμετρικό κανόνα. Άλλο ένα πάτημα του κουμπιού επαναφέρει τη φόρμα στην αρχική συνοπτική της μορφή. Πατώντας το κουμπί  εμφανίζεται η γραφική παράσταση του τρέχοντος κανόνα λειτουργίας.

Η διαδικασία μπορεί να διακοπεί προσωρινά πατώντας το κουμπί *Διακοπή* ή να ανασταλεί οριστικά με το κουμπί *Αναστολή*. Η τρέχουσα κατάσταση του Υδρονομέα εμφανίζεται πάντοτε στην γραμμή κατάστασης της Κύριας Φόρμας.



Εικόνα 4.24: Συνοπτική μορφή της Φόρμας Κατάστασης Προσομοίωσης/Βελτιστοποίησης



Εικόνα 4.25: Αναλυτική μορφή της Φόρμας Κατάστασης Προσομοίωσης/Βελτιστοποίησης

### Φόρμα Δυναμικής Απεικόνισης Προσομοίωσης

Η διαδικασία της προσομοίωσης μπορεί να εξεταστεί καλύτερα με τη Φόρμα Δυναμικής Απεικόνισης (εικόνα 4.26) η οποία εμφανίζεται στην οθόνη με επιλογή *Υπολογισμοί/Δυναμική απεικόνιση* από το μενού επιλογών ή πατώντας το αντίστοιχο εικονίδιο της Κύριας Φόρμας. Η Φόρμα Δυναμικής Απεικόνισης κατατοπίζει τον χρήστη για την κατάσταση των ταμιευτήρων και τις ροές που λαμβάνουν χώρα στο επίκαιρο χρονικό βήμα κατά την προσομοίωση.

Η διαβάθμιση του μπλε χρώματος κατά τις ροές στους αγωγούς δείχνει τον όγκο νερού που μεταφέρθηκε από τους αγωγούς στο χρονικό βήμα σε σχέση με την τρέχουσα παροχετευτικότητα τους. Ροές που πραγματοποιούνται με άντληση εμφανίζονται ως αποχρώσεις του ροζ χρώματος.

Το απόθεμα στους ταμιευτήρες παρουσιάζεται με γαλάζιο χρώμα. Η στάθμη που αντιστοιχεί στον όγκο-στόχο του παραμετρικού κανόνα λειτουργίας απεικονίζεται με μια διακεκομμένη οριζόντια γραμμή, ενώ το όριο του νεκρού όγκου με μια συνεχή μαύρη γραμμή. Τα ανώτατα, ή κατώτατα όρια στους όγκους των ταμιευτήρων που έχει θέσει ο χρήστης απεικονίζονται με μια συνεχή κόκκινη γραμμή.

Σε περίπτωση που αστοχήσει κάποιος από τους στόχους που έθεσε ο χρήστης, εμφανίζεται η συνιστώσα του δικτύου που αστόχησε με κόκκινο περίγραμμα. Το περίγραμμα είναι εντονότερο όταν αστοχήσει το τρέχον χρονικό βήμα (μήνας) και λιγότερο έντονο εάν έχει αστοχήσει κάποιος άλλος μήνας της τρέχουσας χρονικής περιόδου (έτος).

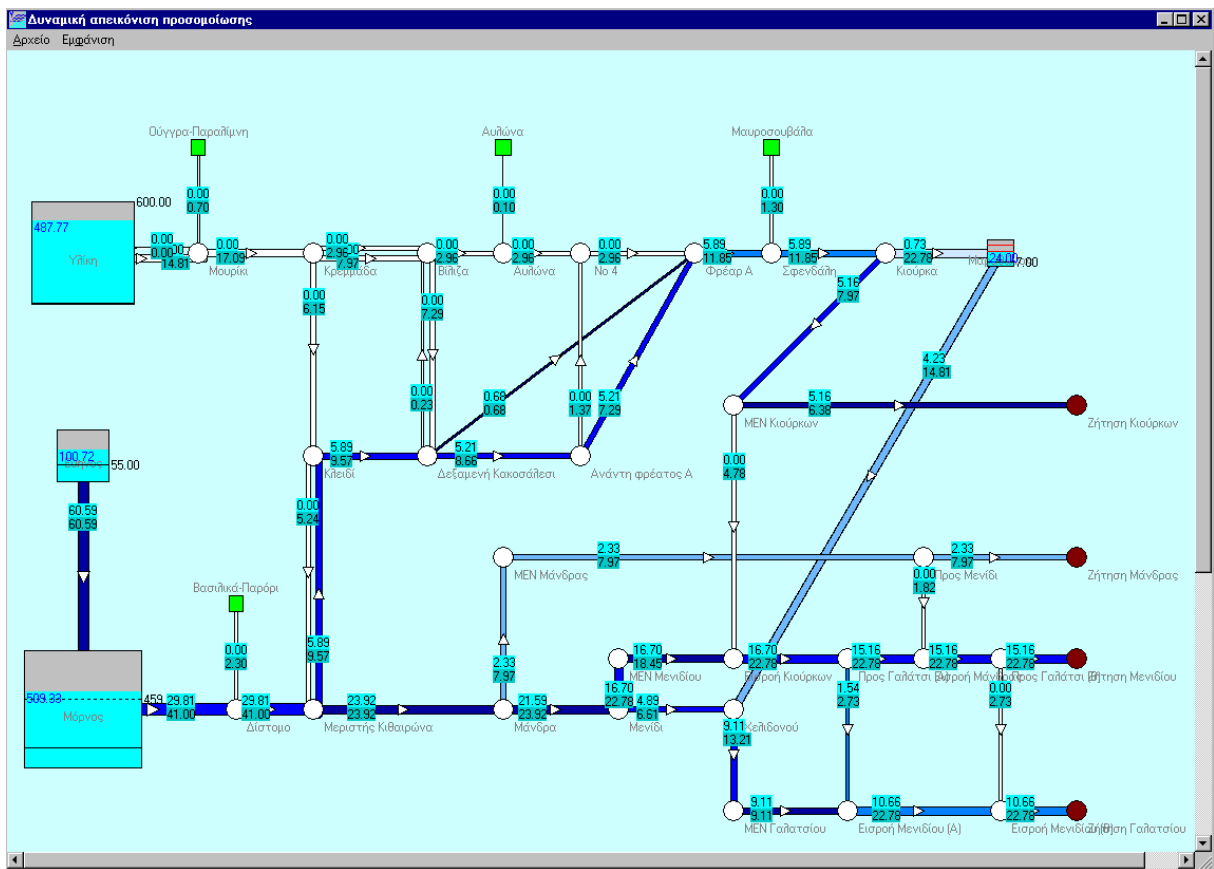
Στο δεξιό μέρος της οθόνης εμφανίζονται σε ξεχωριστή φόρμα οι επιλογές ελέγχου της διαδικασίας προσομοίωσης (εικόνα 4.27). Ο χρήστης μπορεί να διακόψει και να επανεκκινήσει τη διαδικασία προσομοίωσης με το κουμπί *Διακοπή/Εκκίνηση*. Επίσης με το κουμπί που φέρει το σύμβολο > μπορεί να προχωρήσει τη διαδικασία βήμα προς βήμα, ενώ στην οθόνη εμφανίζεται το επίκαιρο χρονικό βήμα (μήνας) και η επίκαιρη χρονική περίοδος (έτος).

Στο κάτω μέρος της Φόρμας Ελέγχου Οπτικοποίησης ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει τις ράβδους κύλισης επηρεάζοντας τη διάσταση των ταμιευτήρων για καλύτερη οπτική απόδοση του συστήματος.

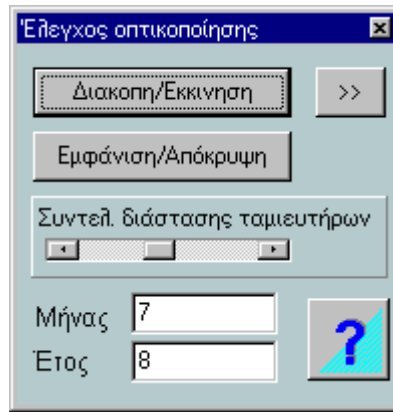
Τέλος, από το μενού της Φόρμας Δυναμικής Απεικόνισης μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες επιλογές:

- *Αρχείο*: Με την επιλογή αυτή ο χρήστης μπορεί να τυπώσει το δίκτυο στον εκτυπωτή ή να εγκαταλείψει τη φόρμα
- *Εμφάνιση*: Ο χρήστης μπορεί να εμφανίσει στην οθόνη ή να αποκρύψει ορισμένες πληροφορίες για τα αντικείμενα του δικτύου

Η οπτικοποίηση της προσομοίωσης επιβραδύνει σημαντικά τη διαδικασία. Η Φόρμα Δυναμικής Απεικόνισης θα πρέπει συνεπώς να εμφανίζεται μόνο με σκοπό τον έλεγχο και την καλύτερη κατανόηση του τρόπου εφαρμογής κάποιου κανόνα λειτουργίας. Ο χρήστης μπορεί με το κουμπί *Εμφάνιση/Απόκρυψη* της Φόρμας Ελέγχου Οπτικοποίησης να επιλέξει εάν επιθυμεί την εμφάνιση της Φόρμας Δυναμικής Απεικόνισης στην οθόνη.



Εικόνα 4.26: Δυναμική απεικόνιση της προσομοίωσης στη βάση του μοντέλου του συστήματος υδροδότησης της Αθήνας



Εικόνα 4.27: Φόρμα Ελέγχου Οπτικοποίησης

## 4.7 Εκτέλεση βελτιστοποίησης

### 4.7.1 Επιλογές βελτιστοποίησης

Οι επιλογές βελτιστοποίησης εμφανίζονται στο δεύτερο φύλλο της Φόρμας Επιλογών Έργου. Οι επιλογές αναφέρονται στην αντικειμενική συνάρτηση που θα χρησιμοποιηθεί, στη μέθοδο βελτιστοποίησης και στον αριθμό των μεταβλητών ελέγχου.

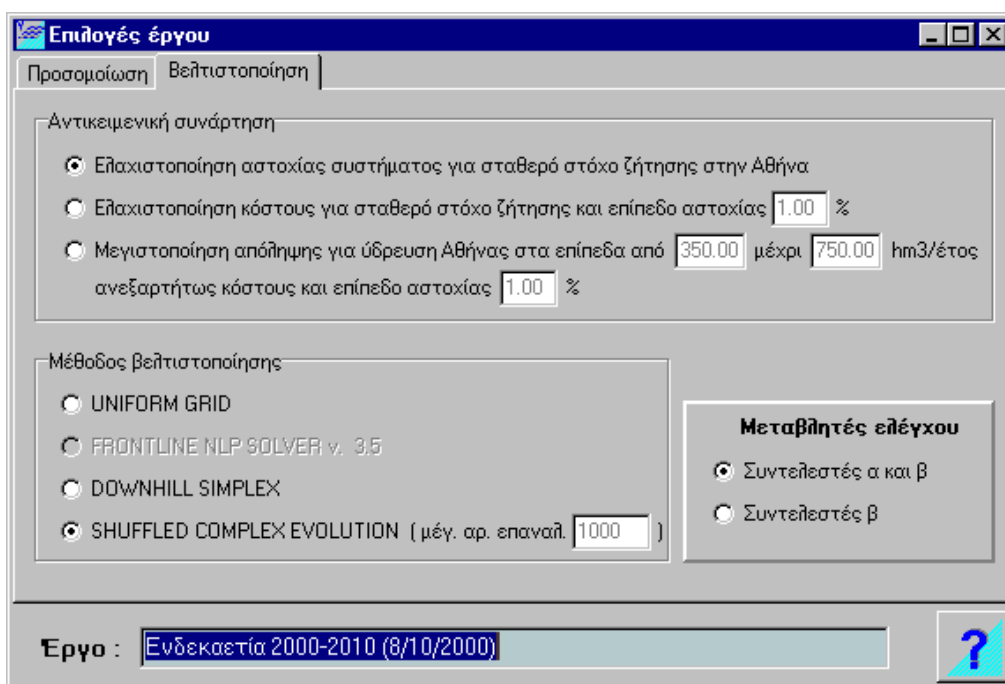
Συγκεκριμένα ο χρήστης καλείται να επιλέξει ανάμεσα στις ακόλουθες αντικειμενικές συναρτήσεις:

- Ελαχιστοποίηση της μέσης αστοχίας κάλυψης ζήτησης νερού για την ύδρευση της Αθήνας, με δεδομένες τιμές στόχων.
- Ελαχιστοποίηση του μέσου κόστους λειτουργίας του υδροσυστήματος, με δεδομένες τιμές στόχων και δεδομένο αποδεκτό επίπεδο αστοχίας που ο χρήστης καλείται να εισαγάγει. Η αστοχία δίνεται ως ποσοστό των άστοχων χρονικών περιόδων επί του συνόλου των προσομοιωμένων.
- Μεγιστοποίηση της εγγυημένης απόδοσης του υδροσυστήματος για δεδομένο αποδεκτό επίπεδο αστοχίας το οποίο ο χρήστης καλείται να εισαγάγει. Ταχύτερη σύγκλιση της βελτιστοποίησης στην επιθυμητή τιμή επιτυγχάνεται εάν ο χρήστης περιορίσει το πεδίο τιμών του αποτελέσματος.

Οι μέθοδοι βελτιστοποίησης που υλοποιήθηκαν στον Υδρονομέα και περιγράφονται στο εδάφιο 2.5.3 είναι οι ακόλουθες:

- Η μέθοδος των επάλληλων ομοιόμορφων πλεγμάτων
- Η μέθοδος Downhill Simplex
- Η μέθοδος Shuffled Complex Evolution

Τέλος περιορίζοντας τον αριθμό μεταβλητών ελέγχου μόνο στους συντελεστές  $\beta$  του κανόνα λειτουργίας (βλ. εδάφιο 2.3.1) επιτυγχάνεται η ταχύτερη ολοκλήρωση της βελτιστοποίησης εις βάρος όμως της ακρίβειας του αποτελέσματος.



Εικόνα 4.28: Επιλογές βελτιστοποίησης της Φόρμας Επιλογών Έργου

#### 4.7.2 Η διαδικασία της βελτιστοποίησης

Μετά την εισαγωγή ενός σεναρίου και την διαμόρφωσή του από τον χρήστη, η βελτιστοποίηση εκτελείται επιλέγοντας από το μενού επιλογών της Κύριας Φόρμας *Υπολογισμοί/Βελτιστοποίηση* ή πατώντας με το ποντίκι το εικονίδιο βελτιστοποίησης. Κατά την βελτιστοποίηση ο Υδρονομέας εκτελεί διαδοχικές προσομοιώσεις και συγκρίσεις των αποτελεσμάτων διαφόρων κανόνων λειτουργίας και διατηρεί τα αποτελέσματα του βέλτιστου από αυτούς, σύμφωνα με τον δείκτη επίδοσης που υπολογίζεται. Η διαδικασία, η οποία ανάλογα με τις επιλογές και το σενάριο που ακολουθείται μπορεί να κρατήσει αρκετή ώρα, παρακολουθείται από τη Φόρμα Κατάστασης Προσομοίωσης/Βελτιστοποίησης (εδάφιο 4.6.3). Η βελτιστοποίηση τερματίζεται είτε με παρέμβαση του χρήστη, πατώντας το κουμπί *Αναστολή* και διατηρώντας τα μέχρι στιγμής βέλτιστα αποτελέσματα, είτε μετά από σύγκλιση του αλγορίθμου στον βέλτιστο αποδεκτό κανόνα λειτουργίας.

### 4.8 Επισκόπηση αποτελεσμάτων

#### 4.8.1 Βέλτιστος κανόνας λειτουργίας

Οι κανόνες λειτουργίας με την παραμετρική τους μορφή εισάγονται κατά την προσομοίωση από τον χρήστη (εδάφιο 4.6.2). Ο βέλτιστος κανόνας λειτουργίας υπολογίζεται από το σύστημα και είναι αποτέλεσμα της διαδικασίας της βελτιστοποίησης. Μετά το τέλος της βελτιστοποίησης οι συντελεστές του βέλτιστου παραμετρικού κανόνα για κάθε έναν ταμειευτήρα, εμφανίζονται στην αναλυτική μορφή της Φόρμας Παρακολούθησης Προσομοίωσης/Βελτιστοποίησης (εικόνα 4.25).

Εφόσον αναζητείται με δεδομένο επίπεδο αστοχίας η τιμή της μέγιστης δυνατής απόληψης για την ύδρευση της Αθήνας, αυτή χρησιμοποιείται κατά την βελτιστοποίηση ως μια μεταβλητή ελέγχου και ως εκ τούτου εμφανίζεται στον πίνακα συντελεστών της Φόρμας Παρακολούθησης Προσομοίωσης/Βελτιστοποίησης.



#### 4.8.2 Αστοχία στόχων και περιορισμών

Για κάθε έναν από τους ενεργούς στόχους η Φόρμα Αστοχίας Συστήματος (εικόνα 4.29) δίνει την αστοχία του στόχου ως προς τις προσομοιωμένες χρονικές περιόδους (έτη) και τα προσομοιωμένα χρονικά βήματα (μήνες) του βέλτιστου κανόνα λειτουργίας. Μια χρονική περίοδος θεωρείται ότι αστόχησε όταν αστοχήσει τουλάχιστον ένα χρονικό βήμα της περιόδου. Στα είδη στόχων που αφορούν κατανάλωση νερού (ύδρευση και άρδευση) εμφανίζεται σε μια τρίτη στήλη και η αστοχία κάλυψης όγκου σε σχέση προς τις συνολικές ανάγκες νερού.

Στόχος	Αστοχία χρονικών περιόδων	Αστοχία χρονικών βημάτων	Αστοχία κάλυψης όγκου
1) Ζήτηση Μενιδίου - Κατανάλωση νερού - Ύδρευση	0.000 ( 0 / 2200 )	0.000 ( 0 / 26400 )	0.000 ( 0.00 / 210.75 )
2) Ζήτηση Γαϊλατσίου - Κατανάλωση νερού - Ύδρευση	0.000 ( 0 / 2200 )	0.000 ( 0 / 26400 )	0.000 ( 0.00 / 115.78 )
3) Ζήτηση Κιούρκων - Κατανάλωση νερού - Ύδρευση	0.182 ( 400 / 2200 )	0.045 ( 1200 / 26400 )	0.005 ( 0.22 / 47.63 )
4) Ζήτηση Μάνδρας - Κατανάλωση νερού - Ύδρευση	0.000 ( 0 / 2200 )	0.000 ( 0 / 26400 )	0.000 ( 0.00 / 21.18 )
5) Εύηνος - Κατανάλωση νερού - Ύδρευση	0.196 ( 432 / 2200 )	0.108 ( 2861 / 26400 )	0.106 ( 3.31 / 31.20 )
6) Μαραθώνας - Μέγιστος όγκος	0.697 ( 1534 / 2200 )	0.212 ( 5586 / 26400 )	
7) Μαραθώνας - Ελάχιστος όγκος	0.646 ( 1421 / 2200 )	0.187 ( 4924 / 26400 )	0.018 ( 0.37 / 20.42 )
8) Υλίκη - Κατανάλωση νερού - Άρδευση	0.036 ( 80 / 2200 )	0.009 ( 239 / 26400 )	0.020 ( 0.72 / 35.00 )

Εικόνα 4.29: Φόρμα Αστοχίας Συστήματος

#### 4.8.3 Υδατικό ισοζύγιο - ισοζύγια ροών

Η Φόρμα Ισοζυγίων αποτελείται από δύο φύλλα και μπορεί να εμφανιστεί στην οθόνη πατώντας στην Κύρια Φόρμα το σχετικό εικονίδιο ή επιλέγοντας από το μενού της Κύριας Φόρμας ένα από τα *Αποτελέσματα/Υδατικό Ισοζύγιο* και *Αποτελέσματα/ Ισοζύγιο ροών*.

Στις εικόνες 4.30 και 4.31 παρουσιάζονται τα φύλλα ισοζυγίων και αφορούν τους μέσους όρους χρονικών περιόδων (ετών) κατά την προσομοίωση με τον βέλτιστο κανόνα λειτουργίας. Στο φύλλο υδατικού ισοζυγίου αναλύεται το υδατικό ισοζύγιο κάθε κόμβου και ταμειυτήρα και δίνονται οι τυπικές αποκλίσεις των αποτελεσμάτων ενώ στο φύλλο ισοζυγίου ροών παρατίθεται και η κατανάλωση ενέργειας που συνδέεται με τη μεταφορά νερού από το εκάστοτε υδραγωγείο. Τέλος ο χρήστης μπορεί να εισαγάγει μια τιμή για τη μονάδα κατανάλωσης ενέργειας βάσει της οποίας υπολογίζεται το ετήσιο κόστος μεταφοράς νερού από τα υδραγωγεία.

Φόρμα Ισοζυγίων												
Υδατικό Ισοζύγιο   Ισοζύγιο Ροών												
Υδατικό Ισοζύγιο												
(Μέσσει όροι χρονικών περιόδων βεβήσιης λύσης σε hm3)												
	Βίλζα	Εύηος	Μεριστής Κίθαιρώνα	Κιούρκα	Κλειδί	Κρεμμάδα	Μαραθώνας	Μόρνος	Υίληη	ΜΕΝ Μάνδρος	ΜΕΝ Μενιδίου	ΣΥΝΟΛΟ
Απορροή από υπολεκάνη	0.000/0.0	261.427/101.2	0.000/0.0	0.000/0.0	0.000/0.0	0.000/0.0	13.715/5.0	220.395/77.0	295.747/114.1	0.000/0.0	0.000/0.0	791.285
Βροχόπτωση	0.000/0.0	4.590/1.9	0.000/0.0	0.000/0.0	0.000/0.0	0.000/0.0	1.397/0.3	17.845/4.4	11.921/3.9	0.000/0.0	0.000/0.0	35.753
Εξάτμηση	-0.000/0.0	-4.575/1.4	-0.000/0.0	-0.000/0.0	-0.000/0.0	-0.000/0.0	-2.919/0.4	-24.339/2.2	-26.121/5.2	-0.000/0.0	-0.000/0.0	-57.955
Υπόγειες διαφυγές	-0.000/0.0	-0.000/0.0	-0.000/0.0	-0.000/0.0	-0.000/0.0	-0.000/0.0	-0.000/0.0	-13.379/1.3	-123.441/47.1	-0.000/0.0	-0.000/0.0	-136.820
Εισροή (αγυγιά)	77.111/24.0	0.000/0.0	298.284/35.0	117.916/10.1	69.988/10.0	113.044/34.6	46.005/19.9	101.336/50.1	0.000/0.0	36.763/3.6	202.390/8.4	4192.743
Εισροή (γεωτρήσεις)	0.000/0.0	0.000/0.0	0.000/0.0	0.000/0.0	0.000/0.0	0.000/0.0	0.000/0.0	0.000/0.0	0.000/0.0	0.000/0.0	0.000/0.0	3.500
Απολήψεις - καταναλώσεις	-0.000	-27.886	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-34.284	-0.000	-0.000	-457.295
Υπερχειλίση												-0.000
Εξροή (αγυγιά)	-77.111/24.0	-101.336/50.1	-298.284/35.0	-117.916/10.1	-69.988/10.0	-113.044/34.6	-58.435/19.9	-266.392/44.4	-112.803/34.6	-36.763/3.6	-202.390/8.4	-4192.743
Περιβαλλοντική εκροή												
Έξοδος από το σύστημα	-0.000/0.0	-118.045/39.5	-0.000/0.0	-0.000/0.0	-0.000/0.0	-0.000/0.0	-0.076/0.6	-18.128/29.6	-13.467/40.2	-0.000/0.0	-0.000/0.0	-149.715
Χρήση αρρακού αποθέματος	0.000/0.0	-14.174/45.2	0.000/0.0	0.000/0.0	0.000/0.0	0.000/0.0	0.313/1.1	-17.338/56.4	2.449/42.5	0.000/0.0	0.000/0.0	-28.751
Διαφορά	-0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Όγκος ταμειυτήρα (hm3)	-	140.769	-	-	-	-	29.044	715.197	347.845	-	-	
Στάθμη ταμειυτήρα (m)	-	504.951	-	-	-	-	217.861	432.812	68.211	-	-	
Παράμετρος Α	-	0.218	-	-	-	-	0.348	0.395	0.968	-	-	
Παράμετρος Β	-	0.957	-	-	-	-	0.951	0.961	0.119	-	-	

Εικόνα 4.30: Φύλλο υδατικού ισοζυγίου της Φόρμας Ισοζυγίων

Φόρμα Ισοζυγίων											
Υδατικό Ισοζύγιο   Ισοζύγιο Ροών											
Ισοζύγιο Ροών											
(Μέσσει όροι χρονικών περιόδων βεβήσιης λύσης σε hm3) Σηνη τιμή ενέργειας αυτής της φόρμας δεν συνηολογίζονται τα ανωμωκά αντιλοσάσια γεωτρήσεων											
	Βίλζα-Αυλώνα (Φ900)	Εύηος-Μόρνος	Σήραγγα Κίθαιρώνα	Κίθαιρώνας-Κλειδί	Κιούρκα-Μαραθώνας	Κιούρκα-Διυλιστήρια	Ανωικότ Ενωτικό	Σίφων Βίλζας (Bar)	Κρεμμάδα-Κλειδί	Σήραγγα Μηγοιατίου	
Ροή αγυγιά	19.806/8.3	101.336/50.1	264.778/16.9	33.506/19.8	46.005/19.9	71.912/14.7	38.699/18.3	62.427/18.2	36.482/11.1	58.435/19.9	
Ανάσραφη ροή	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Φυσική ροή ποταμού	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ΣΥΝΟΛΟ	19.806	101.336	264.778	33.506	46.005	71.912	38.699	62.427	36.482	58.435	
Καταναλωμένη ενέργεια	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	16.052	0.000	
Καταναλωμένη ενέργεια α	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Παραγόμενη ενέργεια	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ΣΥΝΟΛΟ (GWh)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	16.052	0.000	
Κόστος [εκ. δρχ.]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	240.783	0.000	

Εικόνα 4.31: Φύλλο ισοζυγίου ροών της Φόρμας Ισοζυγίων

## 5 Ανακεφαλαίωση, συμπεράσματα και συζήτηση

---

Το λογισμικό πακέτο Υδρονομίας (έκδοση 2.0) αποτελεί τον πυρήνα του ολοκληρωμένου υπολογιστικού συστήματος που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού έργου *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*. Βασίζεται σε πρωτότυπο και προχωρημένο μεθοδολογικό-θεωρητικό υπόβαθρο, το οποίο υλοποιεί με γρήγορες και αποτελεσματικές υπολογιστικές δομές και διαδικασίες σε ένα εύχρηστο παραθυρικό υπολογιστικό περιβάλλον.

Το υπολογιστικό σύστημα πραγματοποιεί κατά βάση βελτιστοποίηση, προκειμένου να εντοπίσει τις βέλτιστες δυνατές πολιτικές διαχείρισης του συστήματος υδατικών πόρων. Η αξιολόγηση κάθε πολιτικής προϋποθέτει την ποσοτική έκφραση της επίδοσής της, η οποία υλοποιείται μέσω ενός μέτρου (ή δείκτη) επίδοσης. Το μέτρο επίδοσης, που είναι και το προς βελτιστοποίηση μέγεθος, μπορεί να είναι εναλλακτικά η πιθανότητα αστοχίας του υδροσυστήματος (προς ελαχιστοποίηση), το κόστος λειτουργίας του υδροσυστήματος (προς ελαχιστοποίηση) ή η συνολική απόληψη από το υδροσύστημα (προς μεγιστοποίηση).

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που ακολουθείται (και σε αντίθεση με συμβατικές μεθοδολογίες), οι ποσότητες που επηρεάζουν το μέτρο επίδοσης και αποτελούν τις μεταβλητές ελέγχου του προβλήματος βελτιστοποίησης, δεν είναι οι απολήψεις από τις διάφορες συνιστώσες του υδροσυστήματος, αλλά οι παράμετροι ενός παραμετρικού κανόνα λειτουργίας του υδροσυστήματος. Εφόσον καθοριστούν οι τιμές αυτών των παραμέτρων, προσδιορίζονται μονοσήμαντα οι απολήψεις σε κάθε χρονικό βήμα, οπότε προσδιορίζεται και το σχετικό μέτρο επίδοσης. Η χρήση παραμετρικών κανόνων για τη λειτουργία του υδροσυστήματος είναι γνωστή ως παραμετροποίησή του.

Ειδικότερα, ο προσδιορισμός του μέτρου επίδοσης γίνεται μέσω λεπτομερούς προσομοίωσης της λειτουργίας του υδροσυστήματος για ένα κατάλληλο χρονικό ορίζοντα. Προηγουμένως έχει εκτελεστεί στοχαστική προσομοίωση των υδρολογικών μεταβλητών, βάσει της οποίας έχουν παραχθεί οι κατάλληλες εισοδοί για την προσομοίωση της λειτουργίας του υδροσυστήματος. Με την τελευταία προσομοίωση προσδιορίζονται, βήμα προς βήμα, όλα τα μεγέθη που αφορούν στη λειτουργία όλων των συνιστωσών του υδροσυστήματος, όπως οι απολήψεις από κάθε υδατικό πόρο, οι παροχές σε κάθε αγωγό, οι παροχετεύσεις σε κάθε κόμβο κατανάλωσης, οι απώλειες νερού σε κάθε κόμβο, οι καταναλώσεις ενέργειας κ.ά. Όλες οι ποσότητες αυτές λαμβάνονται υπόψη προκειμένου να υπολογιστεί η τιμή του μέτρου επίδοσης.

Σε ένα σύνθετο υδροσύστημα, όπως αυτό της Αθήνας προσφέρονται εναλλακτικές δυνατότητες σε ότι αφορά τον τρόπο μεταφοράς του νερού από τον κάθε κόμβο αφετηρίας προς τον κόμβο κατανάλωσης. Οι παροχές των επιμέρους αγωγών δεν είναι δυνατό ούτε σκόπιμο να αντιμετωπιστούν με, παραμετρικούς ή όχι, κανόνες λειτουργίας. Η πολλαπλότητα των λύσεων επιτρέπει την αναζήτηση μιας βέλτιστης λύσης, οπότε σε κάθε βήμα προσομοίωσης επιλύεται ένα ξεχωριστό πρόβλημα βελτιστοποίησης με αντικειμενικό στόχο το ελάχιστο δυνατό κόστος μεταφοράς του νερού και παράλληλα την απόλυτη συμμόρφωση με τους διάφορους φυσικούς περιορισμούς (π.χ. παροχευτικότητα αγωγών) και την κατά το δυνατό συμμόρφωση με τους λειτουργικούς περιορισμούς (π.χ. τήρηση ελάχιστων ροών σε αγωγούς, αποφυγή υπερχειλίσεων κτλ.).

Αυτή η βελτιστοποίηση σε κάθε βήμα προσομοίωσης, που έχει ονομαστεί εσωτερική βελτιστοποίηση, αποδείχθηκε ότι μπορεί να αναχθεί σε γραμμικό δικτυακό πρόβλημα μεταφόρτωσης, το οποίο

επιλύεται με το δικτυακό αλγόριθμο simplex. Το σημαντικό πλεονέκτημα αυτού του αλγορίθμου είναι η ταχύτητά του, ιδιότητα άκρως επιθυμητή για το υπόψη πρόβλημα επειδή η εσωτερική βελτιστοποίηση εκτελείται εκ νέου σε κάθε βήμα προσομοίωσης. Για να μπορέσει να αναχθεί το πραγματικό πρόβλημα της μεταφοράς νερού στο υδροσύστημα στο τυπικό μαθηματικό πρόβλημα της μεταφόρτωσης, έγιναν εκτεταμένες μαθηματικές αναλύσεις με βάση τις οποίες μπόρεσε να γίνει η μετατροπή ενός τυχόντος πραγματικού υδροσυστήματος σε ένα μαθηματικό αντικείμενο γνωστό ως διγράφο.

Αντίθετα με την εσωτερική βελτιστοποίηση, η εξωτερική βελτιστοποίηση που αποσκοπεί στον προσδιορισμό των παραμέτρων του παραμετρικού κανόνα λειτουργίας και έχει ως αντικειμενικό στόχο την επίτευξη της καθολικά βέλτιστης επίδοσης του υδροσυστήματος, αποτελεί ένα έντονα μη γραμμικό πρόβλημα με πολλά τοπικά ακρότατα. Στην περίπτωση αυτή προσφέρονται διάφοροι αλγόριθμοι μη γραμμικής βελτιστοποίησης, ντετερμινιστικοί, όπως η απλή αλλά αργή μέθοδος των επάλληλων πλεγμάτων, ή στοχαστικοί, όπως η γρήγορη και αποτελεσματική μέθοδος της μετακινούμενης σύνθετης εξέλιξης (shuffled complex evolution). Μέχρι τώρα, ο τελευταίος αλγόριθμος έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα, αλλά το πρόβλημα αξίζει να ερευνηθεί περαιτέρω με στόχο την ανάπτυξη ενός ακόμη καλύτερου αλγορίθμου κατάλληλα προσαρμοσμένου στις ιδιαιτερότητες του υπόψη προβλήματος.

Οι παραπάνω μεθοδολογίες και οι αντίστοιχοι αλγόριθμοι υλοποιήθηκαν στο υπολογιστικό σύστημα Υδρονομέας (έκδοση 2.0). Πέρα από τους υπολογιστικούς αλγορίθμους, ο Υδρονομέας προσφέρει και μια σειρά επιπλέον λειτουργιών και δυνατοτήτων, όπως τη διαχείριση των σχετικών δεδομένων και των υπολογιστικών σεναρίων μέσω σχεσιακής βάσης δεδομένων, την ασφάλεια χειρισμού των δεδομένων μέσω εκχώρησης κατάλληλων δικαιωμάτων ανά κατηγορία χρηστών, την εποπτική παράσταση της προσομοίωσης και των κανόνων λειτουργίας μέσω δυναμικής γραφικής απεικόνισης, και την εξαγωγή εύχρηστων πινακοποιημένων αποτελεσμάτων των υπολογισμών.

Εκτός από τις εργασίες προγραμματισμού, η θέση σε λειτουργία του Υδρονομέα για το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας απαίτησε μια σειρά από εκτεταμένες εργασίες αναζήτησης και επεξεργασίας δεδομένων σχετικών με τη δομή, την ταυτότητα και τα λεπτομερή χαρακτηριστικά όλων των συνιστωσών του υδροσυστήματος. Αποτέλεσμα των ενεργειών αυτής της κατηγορίας είναι η κατάρτιση ενός δομημένου μοντέλου του υδροσυστήματος που είναι κατανοητό και αντιπροσωπεύει ικανοποιητικά το φυσικό υδροσύστημα με τον απλούστερο δυνατό τρόπο αλλά και χωρίς υπεραπλουστεύσεις ως προς τη δομή, τα χαρακτηριστικά και τη λειτουργία του.

Ο Υδρονομέας έχει ήδη δώσει ορισμένα πρώτα αποτελέσματα αφού χρησιμοποιήθηκε ως βάση για την κατάρτιση του *Σχεδίου Διαχείρισης του Υδροδοτικού Συστήματος της Αθήνας* για το έτος 2000-2001, ενώ έγινε και μια πρώτη ανάλυση ευαισθησίας ως προς τους λειτουργικούς κανόνες. Όπως προέκυψε ύστερα από δοκιμαστικές προσομοιώσεις, υψηλές αποδόσεις παρατηρούνται με διάφορους κανόνες λειτουργίας. Κοινό χαρακτηριστικό των κανόνων λειτουργίας με υψηλές αποδόσεις είναι η κατά προτεραιότητα απόληψη νερού από τον ταμιευτήρα του Ευήνου, προφανώς προς αποφυγή των υπερχειλίσεων. Ο βέλτιστος κανόνας λειτουργίας των ταμιευτήρων μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά ακόμα και με μικρές τροποποιήσεις στις ιδιότητες των συνιστωσών του δικτύου.

Στο επόμενο διάστημα αναμένεται να υπάρξει μεθοδική χρήση του Υδρονομέα, κυρίως από πλευράς ΕΥΔΑΠ, ώστε με τις επισημάνσεις και τις παρατηρήσεις που θα διατυπωθούν να γίνουν οι κατάλληλες προσαρμογές και διορθώσεις, με στόχο να κατασκευαστεί η επιχειρησιακή έκδοση του λογισμικού. Σε αυτή την επιχειρησιακή έκδοση, η οποία θα λειτουργεί με επίκαιρα υδρολογικά και λειτουργικά δεδομένα που θα λαμβάνονται με το υπό κατασκευή μετρητικό σύστημα, θα ενσωματωθούν και οι τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις σε θέματα βελτιστοποίησης και λογισμικών εργαλείων, δεδομένου ότι οι εν λόγω τεχνολογίες εξελίσσονται ραγδαία.

## Αναφορές

---

- Chen, P. P., The entity-relationship model: toward a unified view of data, *ACM Transactions on Database Systems* 1:1 pp 9-36, 1976
- Chvatal, V., *Linear Programming*, W. H. Freeman and Company, 1983.
- Deo, N., *Graph Theory with Applications to Engineering and Computer Science*, Prentice-Hall, 1974.
- Duan, Q., S. Sorooshian, and V. Gupta, Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models, *Water Resources Research*, 28(4), 1015-1031, 1992.
- Loucks, D. P., J. R. Stedinger, and D. A. Haith, *Water Resources Systems Planning and Analysis*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.
- Nalbantis, I., and D. Koutsoyiannis, A parametric rule for planing and management of multiple-reservoir systems, *Water Resources Research*, 33(9), 2165-2177, 1997.
- Nelder, J. A., and R. Mead, A simplex method for function minimization, *Computer Journal*, 7(4), 308-313, 1965.
- Press, W. H., S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery, *Numerical Recipes in C*, 2<sup>nd</sup> edition, Cambridge University Press, Cambridge, U. K., 1992.
- Smith, D. K., *Network Optimization Practice: A Computational Guide*, John Wiley and Sons, 1982.
- Ευστρατιάδης Α., και Δ. Κουτσογιάννης, Κασταλία: Σύστημα στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών μεταβλητών, *Εκσυγχρονισμός της Εποπτείας και Διαχείρισης του Συστήματος των Υδατικών Πόρων Ύδρευσης της Αθήνας*, Τεύχος 9, Αθήνα, 2000.
- Καραβοκυρός Γ., Δ. Κουτσογιάννης, Ν. Μανδέλλος, Ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης του υδροσυστήματος της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας. *Εκτίμηση και Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων της Στερεάς Ελλάδας (Φάση Γ)*, Τεύχος 40, Αθήνα 1998.
- Καραβοκυρός, Γ., Ι. Ναλμπάντης, Α. Κουκουβίνος, Α. Ευστρατιάδης, και Ν. Μαμάσης, Ανάλυση απαιτήσεων, *Εκσυγχρονισμός της Εποπτείας και Διαχείρισης του Συστήματος των Υδατικών Πόρων Ύδρευσης της Αθήνας*, Τεύχος 1, Αθήνα, 2000.
- Κουτσογιάννης, Δ., Γ. Καραβοκυρός, Ι. Ναλμπάντης, Α. Κουκουβίνος, Α. Ευστρατιάδης, και Ν. Μαμάσης, Β. Τσουκαλά, Ν. Δαμιανόγλου, Σ. Πολιτάκη, Δ. Γριντζιά, Α. Ξανθάκης, Σχέδιο Διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας – Έτος 2000-2001, *Εκσυγχρονισμός της Εποπτείας και Διαχείρισης του Συστήματος των Υδατικών Πόρων Ύδρευσης της Αθήνας*, Τεύχος 5, Αθήνα, 2000.
- Παπακώστας Α., Σχεδιασμός και υλοποίηση της κεντρικής βάσης δεδομένων, *Εκσυγχρονισμός της Εποπτείας και Διαχείρισης του Συστήματος των Υδατικών Πόρων Ύδρευσης της Αθήνας*, Τεύχος 6, Αθήνα, 2000.

## Παράρτημα Α

---

Οι παρακάτω πίνακες περιλαμβάνονται στην Βάση Δεδομένων του υπολογιστικού συστήματος Υδρονομέας. Η βάση αυτή αναπτύχθηκε στην πρώτη μη επιχειρησιακή φάση του ερευνητικού έργου, ενώ στη δεύτερη φάση προβλέπεται η ενσωμάτωσή της στην Κεντρική Βάση Δεδομένων, στην οποία θα έχουν άμεση πρόσβαση όλα τα υπολογιστικά συστήματα του έργου (βλ. Παπακώστας, 2000).

Η σχεσιακή βάση δεδομένων του Υδρονομέα αποτελείται από ένα σύνολο πινάκων με τις μεταξύ τους διασυνδέσεις. Ο παρακάτω τρόπος περιγραφής τους περιλαμβάνει την ονομασία των πεδίων του πίνακα, τον τύπο, το μέγεθος, την μονάδα μέτρησης καθώς και μια σύντομη περιγραφή του πεδίου:

Το σύμβολο (\*) δίπλα στο όνομα ενός πεδίου υποδηλώνει ότι το πεδίο αυτό χρησιμοποιείται για την αναγνώριση της οντότητας και κατά συνέπεια αποτελεί κλειδί του πίνακα.

Οι τύποι της ιδιότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι ακόλουθοι:

- A[x] : Συμβολοσειρά αποτελούμενη από το πολύ x αλφαριθμητικά σύμβολα
- N : Πραγματικός αριθμός
- I : Ακέραιος αριθμός
- H : Ημερομηνία
- Λ : Λογική τιμή (NAI/OXI)

### PROJECT

Πίνακας Α.1: Πίνακας έργων

Ονομασία ιδιότητας	Τύπος-Μέγεθος	Μονάδα μέτρησ.	Περιγραφή
PRJ_ID (*)	I	-	Κωδικός έργου
PRJ_NAME	A[20]	-	Ονομασία έργου
PRJ_DESCRIPTION	A[65536]	-	Περιγραφή του έργου
PRJ_DATE	H	-	Ημερομηνία καταχώρησης
PRJ_MODELVERSION	A	-	Έκδοση του μοντέλου με το οποίο επεξεργάστηκε το έργο
PRJ_RESULTS	Λ	-	Υπάρχουν καταχωρημένα αποτελέσματα προσομοίωσης/βελτιστοποιήσης;

## SIMULATION

Πίνακας A.2: Πίνακας επιλογών χρήστη για την προσομοίωση/βελτιστοποίηση

Όνομασία ιδιότητας	Τύπος-Μέγεθος	Μονάδα μέτρησης.	Περιγραφή
SIM_ID (*)	I	-	Κωδικός επιλογών χρήστη
PRJ_ID	I	-	Κωδικός συνδεδεμένου έργου
SIM_SET	Λ	-	Διακρίνονται ενότητες στις συνθετικές χρονοσειρές;
SIM_PERIODSPERSET	I	έτος	Περιοδικότητα ενοτήτων χρονοσειρών
SIM_REALDISCAP	Λ	-	Περιορισμός της παροχής στα υδραγωγεία στην πραγματική τους παροχευτικότητα;
SIM_CALC_A	Λ	-	Συνυπολογισμός παραμέτρων a κατά την προσομοίωση;
SIM_CALC_B	Λ	-	Συνυπολογισμός παραμέτρων b κατά την προσομοίωση;
SIM_OPT_METHOD	I	-	Μέθοδος βελτιστοποίησης: 1: Uniform Grid 2: Non Linear Solver 3: Downhill Simplex 4: Shuffled Complex Evolution)
SIM_OPT_MAXN	I	-	Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων κατά την βελτιστοποίηση
SIM_OBJFKT	I	-	Αντικειμενική συνάρτηση: 1: Βέλτιστος κανόνας λειτουργίας 2: Μεγιστοποίηση απόληψης 3: Ελαχιστοποίηση κόστους
SIM_FAILURE_ATHENS	N	-	Ανώτατο όριο αστοχίας ύδρευσης Αθήνας για βελτιστοποίηση με αντικειμενική συνάρτηση SIM_OBJFKT=2 ή 3
SIM_MAX_DEMAND	N	hm <sup>3</sup> /έτος	Ανώτατο όριο ζήτησης ύδρευσης Αθήνας για βελτιστοποίηση με αντικειμενική συνάρτηση SIM_OBJFKT=2
SIM_MIN_DEMAND	N	hm <sup>3</sup> /έτος	Κατώτατο όριο ζήτησης ύδρευσης Αθήνας για βελτιστοποίηση με αντικειμενική συνάρτηση SIM_OBJFKT=2
SIM_BUYENERGY	N	δρχ.	Τιμή αγοράς ενέργειας
SIM_SELLENERGY	N	δρχ.	Τιμή πώλησης ενέργειας

## REPOSITORY

Πίνακας A.3: Πίνακας απεικόνισης του συσχετισμού μεταξύ ενός έργου και των συνδεδεμένων οντοτήτων

Όνομασία ιδιότητας	Τύπος-Μέγεθος	Μονάδα μέτρησ.	Περιγραφή
PRJ_ID	I	-	Κωδικός συνδεδεμένου έργου
REP_ENTITY	I	-	Κωδικός κατηγορίας οντότητας: 1: κόμβος 2: υδραγωγείο 3: μονάδες μετατροπής Y/H ενέργειας 4: στόχος 5: γεώτρηση
REP_ENTITY_ID	I	-	Κωδικός συνδεδεμένης με το έργο οντότητας

## USER

Πίνακας A.4: Πίνακας χρηστών

Όνομασία ιδιότητας	Τύπος-Μέγεθος	Μονάδα μέτρησ.	Περιγραφή
U_ID(*)	I	-	Κωδικός χρήστη
U_USERNAME	A[20]	-	Όνομα πρόσβασης
U_PASSWORD	A[20]	-	Σύνθημα πρόσβασης
U_FULLNAME	A[255]	-	Όνοματεπώνυμο χρήστη
U_ADMIN	Λ	-	Διαθέτει δικαιώματα διαχειριστή;
U_READ	Λ	-	Διαθέτει δικαίωμα ανάγνωσης δεδομένων και αποτελεσμάτων καταχωρημένων έργων;
U_WRITE	Λ	-	Διαθέτει δικαίωμα καταχώρησης αποτελεσμάτων;
U_EXEC	Λ	-	Διαθέτει δικαίωμα εκτέλεσης προσομοιώσεων και βελτιστοποιήσεων;



## NODE

Πίνακας A.5: Πίνακας κόμβων

Όνομασία ιδιότητας	Τύπος-Μέγεθος	Μονάδα μέτρησ.	Περιγραφή
N_ID (*)	I	-	Κωδικός κόμβου
N_NAME	A[20]	-	Όνομασία κόμβου
N_ACTIVE	Λ	-	Ο κόμβος είναι ενεργός;
N_RESERVOIR	Λ	-	Διαθέτει ο κόμβος αποθηκευτικό χώρο (ταμιευτήρας);
N_XCOORD	I		Τιμή τετμημένης στην απεικόνιση του μοντέλου του δικτύου
N_YCOORD	I		Τιμή τεταγμένης στην απεικόνιση του μοντέλου του δικτύου
N_MAXSTORAGE	N	hm <sup>3</sup>	Χωρητικότητα ταμιευτήρα που αντιστοιχεί στη στάθμη υπερχειλίσσης (αναφέρεται μόνο σε κόμβο του τύπου reservoir)
N_MINVOLUME	N	hm <sup>3</sup>	Νεκρός όγκος (αναφέρεται μόνο σε κόμβο του τύπου reservoir)
N_INITIAL-VOLUME	N	hm <sup>3</sup>	Αρχική τιμή όγκου στον ταμιευτήρα κατά την εκκίνηση της προσομοίωσης (αναφέρεται μόνο σε κόμβο του τύπου reservoir)
N_SUBCAREA	N	km <sup>2</sup>	Επιφάνεια υπολεκάνης απορροής στον κόμβο
N_MANAGE	Λ	-	Συμμετέχει ο ταμιευτήρας στον παραμετρικό κανόνα λειτουργίας;
N_TARGETVOLUME	N	hm <sup>3</sup>	Απόθεμα-στόχος ταμιευτήρα που κατά την προσομοίωση εξαιρείται από τον παραμετρικό κανόνα λειτουργίας
N_AVOIDSPILL	Λ	-	Κατά τη διαχείριση επιχειρείται η αποτροπή της υπερχειλίσσης του ταμιευτήρα;

## LEVEL\_VOLUME\_SURFACE

Η ονομασία του πίνακα δίνεται από την ιδιότητα LVS του πίνακα Node και περιλαμβάνει έναν θεωρητικά απεριόριστα μεγάλο αριθμό αντιστοιχιών. Οι ενδιάμεσες τιμές υπολογίζονται με λογαριθμική παρεμβολή.

Πίνακας A.6: Πίνακας αντιστοιχιών στάθμης - όγκου - επιφάνειας ταμιευτήρα

Όνομασία	Τύπος-Μέγεθος	Μονάδα μέτρησ.	Περιγραφή
N_ID (*)	I	-	Κωδικός ταμιευτήρα
LVS_LEVEL(*)	N	m	Στάθμη νερού στον ταμιευτήρα
LVS_VOLUME	N	hm <sup>3</sup>	Όγκος ταμιευτήρα στην αντίστοιχη στάθμη
LVS_SURFACE	N	km <sup>2</sup>	Εμβαδόν επιφάνειας ταμιευτήρα στην αντίστοιχη στάθμη

## LEAKAGE\_RESERVOIR

Η μαθηματική εξίσωση που περιγράφει τις υπόγειες διαφυγές  $G_{i,j}$  ενός ταμιευτήρα παρατίθεται στο εδάφιο 2.2.2. Οι άγνωστοι δίνονται από τον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας A.7: Πίνακας υπογείων διαφυγών ταμιευτήρα

Συντελεστής	Τύπος-Μέγεθος	Μονάδα μέτρησ.	Περιγραφή
N_ID (*)	I	-	Κωδικός ταμιευτήρα
LR_A(*)	N	hm <sup>3</sup> / Step m <sup>3</sup>	Συντελεστής $\alpha_i(\tau)$
LR_B	N	hm <sup>3</sup> / Step m <sup>2</sup>	Συντελεστής $\beta_i(\tau)$
LR_C	N	hm <sup>3</sup> / Step m	Συντελεστής $\gamma_i(\tau)$
LR_E	N	hm <sup>3</sup> /Step	Συντελεστής $\zeta_i(\tau)$
LR_SIGMA	N	-	Τυπική απόκλιση $\sigma$

## NODE\_PARAMETERS

Πίνακας A.8: Πίνακας παραμέτρων ταμιευτήρα

Συντελεστής	Τύπος-Μέγεθος	Μονάδα μέτρησ.	Περιγραφή
N_ID (*)	I	-	Κωδικός ταμιευτήρα
PRJ_ID(*)	I	-	Κωδικός έργου
NP_SEASON	I	-	Κωδικός εποχής (η εποχιακή διαφοροποίηση των παραμέτρων δεν έχει υλοποιηθεί προς το παρόν)
NP_YEAR	I	-	Κωδικός έτους (η ετήσια διαφοροποίηση των παραμέτρων δεν έχει υλοποιηθεί προς το παρόν)
NP_A	N	-	Τιμή παραμέτρου $\alpha$ του κανόνα λειτουργίας
NP_B	N	-	Τιμή παραμέτρου $\beta$ του κανόνα λειτουργίας

## PIPE

Πίνακας A.9: Πίνακας υδραγωγείων

Όνομασία ιδιότητας	Τύπος-Μέγεθος	Μονάδα μέτρησ.	Περιγραφή
P_ID (*)	I	-	Κωδικός υδραγωγείου
N1_ID	I	-	Κωδικός κόμβου ανάντη
N2_ID	I	-	Κωδικός κόμβου κατόντη
P_NAME	A[20]	-	Όνομασία υδραγωγείου
P_ACTIVE	Λ	-	Το υδραγωγείο είναι ενεργό;
P_BIDIRECTIONAL	Λ	-	Ο αγωγός έχει δυνατότητα αμφίδρομης ροής;
P_OUTLETVAR	Λ	-	Η παροχτευτικότητα δεν είναι σταθερή, άλλα εξαρτάται από το ύψος πτώσης;
P_INLETLEVEL	N	m	Στάθμη σημείου τροφοδοσίας του υδραγωγείου. Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ύψους πτώσης.
P_OUTLET_LEVEL	N	m	Στάθμη στο σημείο εξαγωγής του υδραγωγείου. Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ύψους πτώσης
P_UNITCOST	N	kWh/m <sup>3</sup>	Ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη μεταφορά μονάδας όγκου νερού
P_UNITCOST_R	N	kWh/m <sup>3</sup>	Ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη μεταφορά μονάδας όγκου νερού στην αντίστροφη ροή
P_DECRCOEFF	N	-	Συντελεστής μείωσης της παροχτευτικότητας

## PIPE\_VAR\_DISCHARGE CAPACITY

Πίνακας A.10: Πίνακας αντιστοιχιών ύψους πτώσης - παροχτευτικότητας

Όνομασία ιδιότητας	Τύπος-Μέγεθος	Μονάδα μέτρησ.	Περιγραφή
P_ID (*)	I	-	Κωδικός υδραγωγείου
PVC_HEAD (*)	N	m	Ύψος πτώσης
PVC_DISCHARGE CAP	N	m <sup>3</sup> /sec	Παροχτευτικότητα αγωγού
PVC_REVERSE	N	m <sup>3</sup> /sec	Παροχτευτικότητα αγωγού στην αντίστροφη ροή

## BOREHOLES

Πίνακας A.11: Πίνακας γεωτρήσεων

Όνομασία ιδιότητας	Τύπος-Μέγεθος	Μονάδα μέτρησ.	Περιγραφή
BH_ID (*)	I	-	Κωδικός γεώτρησης
BH_NAME	A[20]	-	Όνομασία γεώτρησης
BH_ACTIVE	Λ	-	Η γεώτρηση είναι ενεργή;
BH_UNITCOST	N	kWh/m <sup>3</sup>	Ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη μεταφορά μονάδας όγκου νερού
N_ID	I	-	Κωδικός κόμβου που συνδέεται με την γεώτρηση
BH_THRESHHOLD_A	N	-	Κατώφλι $b_i^{up}$ της γεώτρησης
BH_THRESHHOLD_B	N	-	Κατώφλι $b_i^{down}$ της γεώτρησης

## BOREHOLE\_RATES

Πίνακας A.12: Πίνακας παροχής γεωτρήσεων

Όνομασία ιδιότητας	Τύπος-Μέγεθος	Μονάδα μέτρησ.	Περιγραφή
BH_ID (*)	I	-	Κωδικός γεώτρησης
STEP1	N	m <sup>3</sup> /sec	Ανώτατη παροχή γεώτρησης τον 1 <sup>ο</sup> μήνα
STEP2	N	m <sup>3</sup> /sec	Ανώτατη παροχή γεώτρησης τον 2 <sup>ο</sup> μήνα
STEP3	N	m <sup>3</sup> /sec	Ανώτατη παροχή γεώτρησης τον 3 <sup>ο</sup> μήνα
STEP4	N	m <sup>3</sup> /sec	Ανώτατη παροχή γεώτρησης τον 4 <sup>ο</sup> μήνα
STEP5	N	m <sup>3</sup> /sec	Ανώτατη παροχή γεώτρησης τον 5 <sup>ο</sup> μήνα
STEP6	N	m <sup>3</sup> /sec	Ανώτατη παροχή γεώτρησης τον 6 <sup>ο</sup> μήνα
STEP7	N	m <sup>3</sup> /sec	Ανώτατη παροχή γεώτρησης τον 7 <sup>ο</sup> μήνα
STEP8	N	m <sup>3</sup> /sec	Ανώτατη παροχή γεώτρησης τον 8 <sup>ο</sup> μήνα
STEP9	N	m <sup>3</sup> /sec	Ανώτατη παροχή γεώτρησης τον 9 <sup>ο</sup> μήνα
STEP10	N	m <sup>3</sup> /sec	Ανώτατη παροχή γεώτρησης τον 10 <sup>ο</sup> μήνα
STEP11	N	m <sup>3</sup> /sec	Ανώτατη παροχή γεώτρησης τον 11 <sup>ο</sup> μήνα
STEP12	N	m <sup>3</sup> /sec	Ανώτατη παροχή γεώτρησης τον 12 <sup>ο</sup> μήνα

## TARGET

Πίνακας A.13: Πίνακας στόχων

Όνομασία ιδιότητας	Τύπος-Μέγεθος	Μονάδα μέτρησ.	Περιγραφή
TRG_ID (*)	I	-	Κωδικός στόχου
TRG_NAME	A[20]	-	Όνομασία στόχου
TRG_DESCRIPTION	A[65536]	-	Περιγραφή του στόχου
TRG_ACTIVE	Λ	-	Ο στόχος είναι ενεργός;
TRG_TYPE	I	-	Το πεδίο δίνει τον τύπο του στόχου και μπορεί να λάβει τις εξής τιμές: <b>0:</b> Στόχος κατανάλωσης νερού για άρδευση <b>1:</b> Στόχος κατανάλωσης νερού για ύδρευση <b>2:</b> Στόχος ελάχιστης ροής υδραγωγείου <b>3:</b> Στόχος κατώτατου όγκου ταμιευτήρα <b>4:</b> Στόχος ανώτατου όγκου ταμιευτήρα
TRG_FAILURE	N	-	Μέγιστη τιμή αστοχίας στόχου-περιορισμού. Το πεδίο παίρνει τιμές από 0 μέχρι 1
TRG_REFERENCE_ID	I	-	Κωδικός οντότητας στον οποίο αναφέρεται ο στόχος. Ανάλογα με την τιμή του πεδίου TRG_TYPE, το πεδίο TRG_REFERENCE δίνει τον κωδικό <ul style="list-style-type: none"> <li>ενός ταμιευτήρα, εάν ο στόχος είναι του τύπου 0, 1, 3 ή 4</li> <li>ενός υδραγωγείου, εάν ο στόχος είναι του τύπου 2</li> </ul>
TRG_PRIORITY	I	-	Ακέραιος αριθμός που δίνει την σειρά προτεραιότητας του στόχου σε σχέση με τους άλλους στόχους του έργου

## TARGET\_CURVES

Πίνακας A.14: Πίνακας ετήσιας διακύμανσης στόχων

Όνομασία	Τύπος-Μέγεθος	Μονάδα μέτρησ.	Περιγραφή
TRG_ID (*)	I	-	Κωδικός στόχου
TC_YEAR (*)	I	-	Έτος αναφοράς
TC_VALUE	N	hm <sup>3</sup> /έτος hm <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /s	Το πεδίο αναφέρεται στην ετήσια τιμή στόχου, στις περιπτώσεις όπου ο στόχος είναι του τύπου 0 ή 1. Η μονάδα μέτρησης είναι hm <sup>3</sup> /έτος  Για τους στόχους του τύπου 2, 3 και 4 το πεδίο αναφέρεται στη μέση μηνιαία τιμή. Στους στόχους τύπου 2 η μονάδα μέτρησης είναι m <sup>3</sup> /s, ενώ στους στόχους τύπου 3 και 4 είναι hm <sup>3</sup> .

## TARGET\_MONTHLY\_DATA

Πίνακας Α.15: Πίνακας εποχιακής διακύμανσης στόχων

Ονομασία ιδιότητας	Τύπος-Μέγεθος	Μονάδα μέτρησης.	Περιγραφή
TRG_ID (*)	I	-	Κωδικός στόχου
TMD_STEP1	N	-	Συντελεστής στόχου για τον 1 <sup>ο</sup> μήνα
TMD_STEP2	N	-	Συντελεστής στόχου για τον 2 <sup>ο</sup> μήνα
TMD_STEP3	N	-	Συντελεστής στόχου για τον 3 <sup>ο</sup> μήνα
TMD_STEP4	N	-	Συντελεστής στόχου για τον 4 <sup>ο</sup> μήνα
TMD_STEP5	N	-	Συντελεστής στόχου για τον 5 <sup>ο</sup> μήνα
TMD_STEP6	N	-	Συντελεστής στόχου για τον 6 <sup>ο</sup> μήνα
TMD_STEP7	N	-	Συντελεστής στόχου για τον 7 <sup>ο</sup> μήνα
TMD_STEP8	N	-	Συντελεστής στόχου για τον 8 <sup>ο</sup> μήνα
TMD_STEP9	N	-	Συντελεστής στόχου για τον 9 <sup>ο</sup> μήνα
TMD_STEP10	N	-	Συντελεστής στόχου για τον 10 <sup>ο</sup> μήνα
TMD_STEP11	N	-	Συντελεστής στόχου για τον 11 <sup>ο</sup> μήνα
TMD_STEP12	N	-	Συντελεστής στόχου για τον 12 <sup>ο</sup> μήνα

### Πίνακες χρονοσειρών

Οι πίνακες χρονοσειρών TIMESERIES, TIMESERIES\_PROJECTS και DATA\_SYNTH αντιστοιχούν στους πίνακες της Κεντρικής Βάσης Δεδομένων που περιγράφονται στο τεύχος 6 (Παπακώστας, 2000).