

# LIFE STRYMON

## ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ

Διαχείριση των υδατικών πόρων στη λεκάνη του Στρυμόνα για τη μείωση των επιπτώσεων από τη γεωργία με τη χρήση σύγχρονων μεθόδων

## TECHNICAL REPORT

Ecosystem based water resources management to minimize environmental impacts from agriculture using state of the art modeling tools in Strymonas Basin

## ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ

Διαχείριση των υδατικών πόρων στη λεκάνη του Στρυμόνα  
για τη μείωση των επιπτώσεων από τη γεωργία με τη χρήση  
σύγχρονων μεθόδων

## TECHNICAL REPORT

Ecosystem based water resources management to minimize  
environmental impacts from agriculture using state of the art  
modeling tools in Strymonas Basin



**LIFE**  
**STRYMON**

Η παρούσα έκδοση εκπονήθηκε από το Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ) στο πλαίσιο του έργου «*Διαχείριση των υδατικών πόρων στη λεκάνη του Στρυμόνα για τη μείωση των επιπτώσεων από τη γεωργία με τη χρήση σύγχρονων μεθόδων*» (LIFE03 ENV/GR/000217). Το έργο συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, το Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας/Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων - Υγροτόπων, τη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Σερρών-Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων, την Αναπτυξιακή Εταιρία Σερρών και τον Σύνδεσμο Προστασίας & Ανάδειξης Περιοχής Λίμνης Κερκίνης.

The present work is part of the 4 years project: '*Ecosystem Based Water Resources Management to Minimise Environmental Impacts from Agriculture Using State of the Art Modeling Tools in Strymonas Basin*' (contract number LIFE03 ENV/GR/000217). The project is co-funded by the European Commission, the Goulandris Natural History Museum-Greek Biotope/Wetland Centre (EKBY), the Prefecture of Serres, the Development Agency of Serres S.A. and the Local Association for the Protection of Lake Kerkini.

*Επιμέλεια έκδοσης/Editing:* Μαρία Κατσακιώρη και Κατερίνα Μπόλη/Maria Katsakiori & Katerina Boli

*Γραφιστικός σχεδιασμός/Graphic design:* Art Makers

*Εκτύπωση/Printing:* Δ. Αλτιντζής/D. Altintzis

ISBN 978-960-7511-32-4

*Η πλήρης αναφορά στην εργασία αυτή έχει ως εξής:*

Χαλκίδης Ηρ. και Δ. Παπαδήμος (Συντονιστές Έκδοσης). 2007. Τεχνική έκδοση έργου LIFE-Περιβάλλον: *Διαχείριση των υδατικών πόρων στη λεκάνη του Στρυμόνα για τη μείωση των επιπτώσεων από τη γεωργία με τη χρήση σύγχρονων μεθόδων*. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ). Θέρμη. 117σελ.

*This document may be cited as follows:*

Halkidis, I. and D. Papadimos (Editors). 2007. Technical report of LIFE Environment project: *Ecosystem Based Water Resources Management to Minimise Environmental Impacts from Agriculture Using State of the Art Modeling Tools in Strymonas Basin*. Greek Biotope/Wetland Centre (EKBY). Thermi, Greece. 120p.

## ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ

Διαχείριση των υδατικών πόρων στη λεκάνη του Στρυμόνα  
για τη μείωση των επιπτώσεων από τη γεωργία με τη χρήση  
σύγχρονων μεθόδων

## TECHNICAL REPORT

Ecosystem based water resources management to minimize  
environmental impacts from agriculture using state of the art  
modeling tools in Strymonas Basin

# LIFE STRYMON



Η παρούσα έκδοση εκπονήθηκε από το Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (EKBY) στο πλαίσιο του έργου «Διαχείριση των υδατικών πόρων στη λεκάνη του Στρυμόνα για τη μείωση των επιπτώσεων από τη γεωργία με τη χρήση σύγχρονων μεθόδων» (LIFE03 ENV/GR/000217). Το έργο συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, το Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας/Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων, τη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Σερρών-Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων, την Αναπτυξιακή Εταιρία Σερρών και τον Σύνδεσμο Προστασίας & Ανάδειξης Περιοχής Λίμνης Κερκίνης.

The present work is part of the 4 years project: 'Ecosystem Based Water Resources Management to Minimise Environmental Impacts from Agriculture Using State of the Art Modeling Tools in Strymonas Basin' (contract number LIFE03 ENV/GR/000217). The project is co-funded by the European Commission, the Goulandris Natural History Museum-Greek Biotope/Wetland Centre (EKBY), the Prefecture of Serres, the Development Agency of Serres S.A. and the Local Association for the Protection of Lake Kerkini.

Επιμέλεια έκδοσης/Editing: Μαρία Κατσακιώρη, Κατερίνα Μπόλη / MariaKatsakiiori, Katerina Boli  
Γραφιστικός σχεδιασμός/Graphic design: Art Makers  
Εκτύπωση/Printing: Δ. Αλτιντζής/D. Altintzis

ISBN 978-960-7511-32-4

Η πλήρης αναφορά στην εργασία αυτή έχει ως εξής:  
Χαλκίδης Ηρ. και Δ. Παπαδήμος (Συντονιστές Έκδοσης). 2007. Τεχνική έκδοση έργου LIFE-Περιβάλλον: Διαχείριση των υδατικών πόρων στη λεκάνη του Στρυμόνα για τη μείωση των επιπτώσεων από τη γεωργία με τη χρήση σύγχρονων μεθόδων. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (EKBY). Θέρμη. 117σελ.

This document may be cited as follows:  
Chalkidis, I. and D. Papadimos (Editors). 2007. Technical report of LIFE Environment project: Ecosystem Based Water Resources Management to Minimise Environmental Impacts from Agriculture Using State of the Art Modeling Tools in Strymonas Basin. Greek Biotope/Wetland Centre (EKBY). Thermi, Greece. 117p.

## Πρόλογος

Η δυνατότητα της σύγχρονης γεωργίας να παράγει τεράστιες ποσότητες τροφίμων, χρησιμοποιώντας αντίστοιχες ποσότητες νερού, οφείλεται, κυρίως, στον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη διαχείριση των μεγάλων εγχειοβελτιωτικών έργων.

Στην Ελλάδα, η έναρξη κατασκευής εγχειοβελτιωτικών έργων σηματοδοτείται στη δεκαετία του 1920. Μετά από ένα διάστημα διακοπής, εξαιτίας του 2ου Παγκοσμίου Πολέμου, συνεχίζεται έως σήμερα αδιάλειπτα. Στο διάστημα από το 1920 έως και τα μέσα του 1960 τέθηκαν ουσιαστικά οι βάσεις για την ανάπτυξη της αρδευόμενης γεωργίας στη χώρα μας και, παράλληλα, για τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του αγροτικού πληθυσμού.

Παρόλα αυτά, η αρδευόμενη γεωργία, από την απαρχή της εμφάνισής της, είναι συνυφασμένη με την αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος και την άσκηση πιέσεων στα υδάτινα οικοσυστήματα. Στην Ελλάδα αποτελεί τον μεγαλύτερο χρήστη νερού, όπου, ωστόσο, η περιορισμένη δυνατότητα διαχείρισής του, οδηγεί σε υπερβολικές απολήψεις από τα υδάτινα συστήματα, με καταστρεπτικές συνέπειες για τα εξαρτώμενα από αυτά οικοσυστήματά τους.

Ουσιαστική βοήθεια προς την κατεύθυνση αυτή, μπορεί να προσφέρει η σύγχρονη τεχνολογία. Στο πλαίσιο του παρόντος έργου, επιχειρείται να αναδειχθεί ο τρόπος με τον οποίο η τηλεπισκόπηση, η τηλεματική, τα σύγχρονα συστήματα υδρολογικής προσομοίωσης, καθώς και οι σύγχρονες γεωργοοικονομικές μέθοδοι βελτιστοποίησης, μπορούν να συμβάλουν στην ορθολογική διαχείριση του αρδευτικού νερού και στη μείωση των επιπτώσεων από την άσκηση της γεωργίας στα οικοσυστήματα.

## Ομάδα Εργασίας για τη σύνταξη της Τεχνικής Έκθεσης

Αποστολάκης Αντώνης, Γεωπόνος, Μεταπτυχιακό δίπλωμα στις Έγχειρες Βελτιώσεις, ΕΚΒΥ. (Συγγραφή 2ου Κεφαλαίου)

Βουγιούκας Σταύρος, Επίκουρος καθηγητής Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονική Σχολή, ΑΠΘ. (Συγγραφή 4ου Κεφαλαίου, Επιμέλεια αγγλικής περίληψης)

Θεοδωρίδης Αλέξανδρος, Γεωπόνος, Μεταπτυχιακό δίπλωμα στα Οικονομικά, ΑΠΘ. (Συγγραφή 5ου Κεφαλαίου)

Κατσιακιώρη Μαρία, Περιβαλλοντολόγος, Ειδική σε θέματα Συμμετοχικού Σχεδιασμού και Εκδόσεων, ΕΚΒΥ. (Συγγραφή 5ου Κεφαλαίου, Επιμέλεια έκδοσης)

Μπόλη Αικατερίνη, Αρχαιολόγος, Ειδική σε θέματα Σχεδιασμού Εκδόσεων, ΕΚΒΥ (Επιμέλεια έκδοσης)

Παπαδήμος Δημήτρης, Γεωπόνος, Μεταπτυχιακό δίπλωμα στις Έγχειρες Βελτιώσεις, ΕΚΒΥ. (Συγγραφή 6ου Κεφαλαίου)

Ράγκος Αθανάσιος, Γεωπόνος, Μεταπτυχιακό δίπλωμα στην Αγροτική Οικονομία, ΑΠΘ. (Συγγραφή 5ου Κεφαλαίου)

Σεφερλής Μιλτιάδης, Βιολόγος, Μεταπτυχιακό δίπλωμα στην Περιβαλλοντική Βιολογία, ΕΚΒΥ. (Επιμέλεια αγγλικής περίληψης)

Χαλκίδης Ηρακλής, Δρ. Γεωπόνος, Ειδικός σε θέματα Υδρολογίας και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, ΕΚΒΥ. (Συγγραφή 1ου Κεφαλαίου)

Χατζηορδάνου Ελένη, Γεωλόγος, Μεταπτυχιακό δίπλωμα στην Περιβαλλοντική Γεωτεχνολογία, ΕΚΒΥ. (Συγγραφή 3ου Κεφαλαίου)

Ψυχουδάκης Ασημάκης, Καθηγητής Τομέα Αγροτικής Οικονομίας, Γεωπονική Σχολή, ΑΠΘ. (Συγγραφή 5ου Κεφαλαίου)

## Ευχαριστίες

---

Ευχαριστούμε τη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Σερρών για την αμέριστη συμπαράστασή της στην υλοποίηση του έργου. Η συνεργασία της Διεύθυνσης Εγγείων Βελτιώσεων, της Αναπτυξιακής Εταιρίας Σερρών, του Συνδέσμου Προστασίας & Ανάδειξης Περιοχής Λίμνης Κερκίνης ήταν καθοριστική για την απρόσκοπτη υλοποίηση του έργου. Σημαντική ήταν, εξάλλου, η υποστήριξη του Φορέα Διαχείρισης Λίμνης Κερκίνης στην υλοποίηση δράσεων του έργου.

Ευχαριστίες οφείλουμε και στα μέλη ΔΕΠ της Γεωπονικής Σχολής του ΑΠΘ, καθηγητή κ. Παπαμιχαήλ Δημήτριο και λέκτορα κ. Γεωργίου Πανταζή, καθώς και στον κ. Τσάρτα Πάρι, καθηγητή του Πανεπιστημίου Αιγαίου, για την επιστημονική συμβολή τους στο έργο. Θερμά, επίσης, ευχαριστούμε, τους κ.κ. Παπαιοικονόμου Αστέριο και Φιλέλη Ανέστη της εταιρίας EVRESIS, καθώς και τον κ. Βαλμά Ισαάκ, για το ιδιαίτερο ενδιαφέρον και τη συμβολή τους στην ανάπτυξη και κατασκευή του πρότυπου σταθμού μέτρησης της παροχής στον ποταμό Στρυμόνα.

Τέλος, θα πρέπει να ευχαριστήσουμε το Γραφείο Υδραυλικών Έργων της Διεύθυνσης Ελέγχου Κατασκευής Έργων (ΔΕΚΕ) Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας στις Σέρρες, που έθεσε στη διάθεσή μας τις πληροφορίες που χρειαστήκαμε.

Ευτυχία Αλεξανδρίδου,  
Διευθύντρια ΕΚΒΥ



<b>Πρόλογος</b>	
<b>Ομάδα εργασίας</b>	
<b>Ευχαριστίες</b>	
<b>English summary</b>	6
<b>Εισαγωγή</b>	26
<b>1. Δίκτυο παρακολούθησης ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων της υδρολογικής λεκάνης του Στρυμόνα</b>	
Εισαγωγή	28
1.1. Δίκτυο παρακολούθησης ποιοτικών παραμέτρων	28
1.2. Δίκτυο παρακολούθησης ποσοτικών παραμέτρων	32
1.2.1. Δίκτυο παρακολούθησης στάθμης επιφανειακών υδάτων	32
1.2.2. Δίκτυο παρακολούθησης στάθμης υπόγειων υδάτων	34
1.2.3. Δίκτυο παρακολούθησης μετεωρολογικών παραμέτρων	34
<b>2. Ανάλυση και ερμηνεία δορυφορικών εικόνων για την αναγνώριση των καλλιιεργειών στη λεκάνη του Στρυμόνα</b>	
Εισαγωγή	36
2.1. Επιλογή της πηγής στοιχείων τηλεπισκόπησης	37
2.1.1. Κριτήρια επιλογής κατάλληλης πηγής στοιχείων τηλεπισκόπησης	37
2.1.2. Επιλογή της κατάλληλης πηγής τηλεπισκοπικών δεδομένων	37
2.2. Προμήθεια και προετοιμασία δορυφορικών δεδομένων	38
2.2.1. Προμήθεια δορυφορικών εικόνων	38
2.2.2. Προετοιμασία τηλεπισκοπικών δεδομένων	38
2.2.3. Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε	39
2.3. Συλλογή φασματικών υπογραφών	39
2.3.1. Επισκέψεις στο πεδίο και συλλογή φασματικών υπογραφών	39
2.3.2. Συλλογή και προετοιμασία βοηθητικών δεδομένων	40
2.4. Η διαδικασία ταξινόμησης	41
2.4.1. Βήματα που ακολουθήθηκαν	41
2.4.2. Επιβλεπόμενη ταξινόμηση	41
2.5. Αποτελέσματα - Συζήτηση	41
Βιβλιογραφία 2ου Κεφαλαίου	44
<b>3. Εφαρμογή του λογισμικού SHYLOC στη λεκάνη του ποταμού Στρυμόνα</b>	
Εισαγωγή	45
3.1. Μέθοδος	46
3.1.1. Εγκατάσταση συστήματος παρακολούθησης ποσοτικών παραμέτρων	46
3.1.2. Λήψη και επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων	46
3.1.3. Εφαρμογή αλγορίθμων υπολογισμού του πλάτους του νερού των διατομών στο SHYLOC	47
3.1.4. Εκτίμηση της στάθμης του νερού των διατομών	49
3.1.5. Συσχέτιση των εκτιμώμενων τιμών του πλάτους και της στάθμης του νερού με τις μετρούμενες τιμές της στάθμης	50
3.2. Αποτελέσματα	50
3.3. Συμπεράσματα	54
Βιβλιογραφία 3ου Κεφαλαίου	55

<b>4. Ανάπτυξη πρότυπου συστήματος μέτρησης της παροχής νερού στον ποταμό Στρυμόνα</b>	
Εισαγωγή	56
4.1. Υφιστάμενη τεχνολογία μέτρησης υδραυλικών παραμέτρων της κίνησης του νερού σε φυσικούς ανοιχτούς αγωγούς	57
4.1.1. Τεχνολογία μέτρησης της ταχύτητας ροής του νερού σε διατομή φυσικού ανοιχτού αγωγού	57
4.1.2. Τεχνολογία μέτρησης του βάθους ροής του νερού σε διατομή φυσικού ανοιχτού αγωγού	60
4.1.3. Μέθοδοι υπολογισμού της παροχής σε διατομή φυσικού ανοιχτού αγωγού	61
4.2. Επιλογή της θέσης εγκατάστασης του πρότυπου συστήματος μέτρησης παροχής στον Στρυμόνα	63
4.3. Επιλογή τεχνολογιών μετρήσεων	64
4.4. Περιγραφή του προτύπου συστήματος μέτρησης παροχής	65
4.4.1. Σύστημα Α - Μέτρηση της κατανεμημένης ταχύτητας ροής του νερού	65
4.4.2. Σύστημα Β - Μέτρηση της κατανομής του βάθους νερού	66
4.4.3. Σύστημα Γ - Υπολογισμός παροχής	66
4.4.4. Αποτελέσματα μετρήσεων	67
Βιβλιογραφία 4ου Κεφαλαίου	69
<b>5. Βέλτιστα σχέδια αναδιάταξης των αγροοικοσυστημάτων στη λεκάνη του Στρυμόνα</b>	
Εισαγωγή	70
5.1. Μεθοδολογικό πλαίσιο εκπόνησης διαχειριστικών σχεδίων	72
5.2. Αποτελέσματα εκτίμησης του κόστους ευκαιρίας από τη μείωση της χρήσης του νερού και των αγροχημικών από τη γεωργία στη λεκάνη του Στρυμόνα	76
5.3. Αποτελέσματα αξιολόγησης της δυνατότητας μείωσης της χρήσης νερού και αγροχημικών από την εφαρμογή αγροπεριβαλλοντικών μέτρων στη λεκάνη του Στρυμόνα	80
5.4. Αποτελέσματα εκπόνησης βέλτιστων διαχειριστικών σχεδίων της φυτικής παραγωγής στη λεκάνη του Στρυμόνα	82
5.5. Ανάλυση των εμπλεκόμενων κοινωνικών ομάδων και σχεδιασμός συμμετοχικών διαδικασιών για τη διαχείριση των υδατικών πόρων στη λεκάνη του Στρυμόνα	87
5.6. Συμπεράσματα για την κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης	92
Βιβλιογραφία 5ου Κεφαλαίου	93
<b>6. Υδρολογικό ομοίωμα της λεκάνης του Στρυμόνα</b>	
Εισαγωγή	94
6.1. Υδρολογική λειτουργία της λεκάνης του Στρυμόνα	95
6.2. Μεθοδολογική προσέγγιση	96
6.3. Το υδρολογικό ομοίωμα	98
6.3.1. Ανάπτυξη του συστήματος MIKE SHE	98
6.3.2. Ανάπτυξη του συστήματος MIKE 11	100
6.4. Ρύθμιση του υδρολογικού ομοιώματος	102
6.5. Αποτελέσματα	102
6.6. Συμπεράσματα	111
Βιβλιογραφία 6ου Κεφαλαίου	112
<b>Παράρτημα Α: Φωτογραφικό υλικό Τεχνικής Έκδοσης</b>	113

# LIFE STRYMON PROJECT - ENGLISH SUMMARY

---

## Introduction

The Greek part of Strymonas river basin is located at the north of the region of Central Macedonia and covers an area of 6,400 km<sup>2</sup>. Strymonas river and lake Kerkini (artificial lake fed by Strymonas) are the main surface water bodies in the basin, which in turn support the natural enrichment of the basin with groundwater. Lake Kerkini constructed during 1933-36 mainly for protection against floods caused by Strymonas river. It was used as reservoir for irrigation water. During recent decades a unique wetland ecosystem has been developed on its shores, which is protected by Ramsar Convention and by EU Directives. The Strymonas river outflows to Strymonikos gulf whose coastal ecosystems are very important for fisheries, biodiversity and tourism.

Agricultural activities, which constitute the main threat to surface waters and groundwater in the basin, takes place in its lower part (elevation less than +100 m), which covers an area of 100,000 ha. The irrigation and drainage of this area is been elaborated through a dense network of canals and ditches. The Land Reclamation Service of Serres is responsible for the water resources management in agricultural areas through its administrative and technical supervision of the General Land Reclamation Agency and of the 10 Local Land Reclamation Agencies.

The main problems in the area where agricultural activities take place are:

- a) Loss of water due to the incomplete or damaged irrigation distribution network.
- b) Salinization of the downstream agricultural soils due to the reuse of drainage water with high concentration in nutrients and salts as irrigation water.
- c) Undesirable alterations in the hydroperiod of the ecosystems of lake Kerkini.
- d) High concentration of surface waters in nutrients due to the intensive agricultural practices, which in turn end up in Strymonikos gulf leading to its eutrophication.
- e) Intrusion of the sea into Strymonas river during the irrigation period due to its low discharge.

A feasible solution to the aforementioned complications could be produced only through comprehensive management of water resources and agroecosystems at the water basin level.

An extensive series of factors need to be investigated towards this direction such as: availability of water resources in the catchment and water needs of ecosystems, applied management practices of irrigation water and their level of effectiveness, crop pattern, agricultural practices and the resulting pressure on water resources and natural ecosystems, stand and prospects of local communities.

EKBY, in collaboration with the Prefectural Authority of Serres, Direction of Land Reclamation, the Development Agency of Serres S.A. and the Association for the Protection of Lake Kerkiní, implemented in the Greek section of Strymonas river catchment a project titled: **Ecosystem Based Water Resources Management to Minimize Environmental Impacts from Agriculture Using State of the Art Modelling Tools in Strymonas Basin**

The specific objective of the project is to promote the role of modern technologies and scientific methods in the study and resolution of the aforementioned problems, through:

- > State-of-the-art hydrological simulation tools for assessing the impacts of agricultural sector on the status of surface waters and groundwater in the basin.
- > Development and use of modern tools for monitoring water quality and quantity of water resources in the Strymonas river catchment.
- > Use of optimization methods for the elaboration and suggestion of solutions for the sustainable management, protection, and restoration of all water bodies in the basin.

The project lasted four years starting on September 2003 until August 2007 and it was financed by EKBY, project partners and the European Union.

It was implemented through several actions which aimed to: a) use state-of-the-art modelling tools and methods for the assessment of the impacts of agricultural activities on the status of surface waters and groundwater in Strymonas basin, including spatial and temporal variations, b) use optimisation methods for the elaboration of solutions -by taking into account the needs of the aquatic ecosystems- in order to address factors that have caused the above problems to be eliminated and c) disseminate the methodological framework as well as the results, contributing to the promotion of the sustainable water resources management at national and international level.

In the first stage, the implemented actions aimed to the quantitative description of prevailing conditions in reference to natural environment and agro-economy in the catchment as well as current needs of ecosystems and of major stakeholders. For this purpose, modern hydrological simulation tools, satellite imagery analysis and monitoring devices for quality and quantity of the water balance were used.

In addition, stakeholder analysis was run and a technical and economical analysis of agro-ecosystems with farm management survey was carried out.

Elaboration and planning of optimum management plans for the amendment of the above problems was the second stage, thus considering results from previous activities. Planning of management plans was conducted using optimization methods and their effectiveness was test with hydrological simulation tools. Final management plans were presented to stake holders for further consultation.

In the following chapters the implementation, major drawbacks and results of project activities are presented.

1<sup>o</sup>

## Water quality and hydrological regime monitoring network in Strymonas basin

---

## 1.1

### Water quality monitoring network in Strymonas basin

The main objective of a water quality monitoring network is to provide adequate information for the assessment of the pressure exerted by imported pollution and intensive agriculture on its surface water.

The network includes 16 sampling stations where 11 parameters are monitored every 15 days. Temperature (T), pH, dissolved oxygen (DO), electrical conductivity (ECw) and REDOX are measured using a portable multi parameter device while water samples are analysed for NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, Ca, Mg, K, Na in the laboratory. BOD<sub>5</sub> is also measured at certain sample stations (No 1, 3, 13 and 16)

The spatial distribution of the 16 stations was guided by the functioning and management of the surface water network in the catchment. Hence the stations were established at the inlets and outlets of natural water bodies (e.g. Strymonas river, lake Kerkini, Ag. Ioannis river etc.), as well as at the main irrigation and drainage networks in the catchment. Also, water quality stations coincide with those where water level auto recorders have been established.

## 1.2

### Hydrological regime monitoring network

#### 1.2.1. Surface water level monitoring network

The surface water level monitoring network includes 12 water level auto recorders. The main objective is to provide for an adequate number of water depth time series for the calibration and validation of the hydraulic model of the catchment.

Additionally, the monitoring network includes discharge measurements at the same positions where the water level auto-recorders have been established so that water level - discharge curves can be produced.

The type of the device that has been selected is an advanced data logging probe. It is completely self-contained and features an internal data logger with a pressure/level and a temperature sensor. It is used worldwide for collecting real time information to analyse short and long term water level trends. Such monitoring network devices have been set up to record the water level measurements every 5 minutes in Strymonas river basin. The distribution of the 12 instruments was determined by the functioning of the surface water network in the catchment. Hence the instruments were established at the inlets and outlets of either the natural water bodies or the irrigation and drainage networks in the catchment.

### **1.2.2. Groundwater monitoring network**

The main objective of the groundwater monitoring network is to provide for adequate information regarding the fluctuation of the water table and piezometric head in Strymonas river basin. Twenty eight wells were uniformly distributed in the basin taking into account:

1. The geology in the basin. In the case of the Strymonas basin, several geological lenses exist, consisting of gravels, alluvium materials and sediments stretched and interconnected. For the hydrological investigation of the basin, geological lenses are assumed to constitute a uniform aquifer.
2. The condition of the wells. Wells were selected based on their current use as well as their geological section and physical characteristics (e.g. hydraulic conductivity, specific storage etc.).
3. Free and safe access to the wells.

### **1.2.3. Meteorological station network**

The purpose of the meteorological station network is to provide data related to precipitation and all the required parameters for the estimation of evapotranspiration in the Strymonas basin.

Ten precipitation stations and a meteorological one are included in the above network providing daily measurements. The stations are located at: Serres, Kato Orini, Ano Vrontou, Nea Zihni, Alistrati, Aidonohori, Nigrita, Lithotopos, Ano Poroia, Sidirokastro and Ahladohori.

## Crop pattern identification in Strymonas basin

---

Identifying the crops in Strymonas basin early in the summer gives indispensable information for rational water usage during July and August, when demand for irrigation water is at its annual peak. We can use this information to design a detailed water distribution plan based on the crops water demand and the available water resources. Remote sensing offers some relatively fast and cost effective methods for crop identification using data from satellite images. Remote sensing thus covers two major demands of the project: the need for the spatial distribution of crops and the need to have this information in early summer so that we can effectively design a water distribution plan.

In the following chapters we are going to describe how we chose our source of remote sensing data, how we used it, the problems that we faced during the application of the method and how we coped with them, the results of the application and a discussion on them.

### 2.1 Choosing the source of remote sensing (RS) data

The main criteria for choosing an appropriate source for RS data are discussed next. The first criterion is the size of the study area. Next, the minimum area of crops that needs to be identified. Considering that the majority of the parcels in this area are relatively small (few thousands sq. meters) and that the minimum dimension in parcels are in many times 10 - 20 meters, we need a RS source with a resolution less than 15 meters. Also, the RS data should be available for analysis in the first days of June each year. Additionally, the area should be covered with the smallest possible amount of RS images. This feature saves time for image preparation (georeference, mosaicing) and gives better results in image classification. Furthermore, the time between the scenes of the area should be as short as possible (in case that our study area is covered by more than one image). Also, the images should be multi-spectral, for better classification results. Finally, the available funds for RS data purchasing constitutes an important factor and constraint.

Based on the above criteria, the SPOT 5 satellite was selected as the primary source of RS data.

### 2.2 RS data acquisition and preparation

Four sets of images were obtained and purchased for the period 2004 to 2007. All SPOT images from the set were first georeferenced to the Greek Geodetic Reference System EGSA1987 using ERDAS IMAGINE version 8.4. 'Image to map' and 'image to image' coordinate transformations were applied for the georeference, using well defined ground control points from topographic maps (scale 1:50.000). The first order polynomial method was preferred for the transformations, because of the suitability of this method when dealing with relatively flat areas, such as is the case of the Strymonas river basin. The bilinear interpolation was selected for re-sampling the images, because of its higher spatial accuracy.

## Signature collection 2.3

### 2.3.1. Field visits and signatures

Field visits for vegetation signature collection were conducted at the study area, mainly during the early weeks of summer. Approximately 120 - 150 signatures were collected from different crop samples. The position of all these signatures was recorded using the GPS and ArcPad system.

A complete track log file from the GPS was also collected with a 10 sec time step. In this file the time and position of the GPS was recorded every 10 sec and when the accuracy of the GPS was less than 12 m.

Additionally, detailed descriptions of the signatures were orally recorded using a tape recorder. A long series of photographs were also taken during each visit as additional information for the vegetation signatures.

### 2.3.2. Auxiliary data collection and preparation

Satellite images and signatures are not enough for successful image classification. There is always need for some auxiliary data which can be used as a general background, or for some specialized tasks during the data preparation or the classification procedures. Sixteen topographic maps in 1:50.000 scales were acquired from the Hellenic Army Geographic Survey and were used for general background, field map, digitization of auxiliary data (villages, streams etc). These maps were scanned at 300 dpi, georeferenced and were used to compose a unified background of the study area. Additionally, a Digital Elevation Model (DEM) was acquired from EKBY for rectification and general background purposes. The DEM required interpolation of hypsography and hydrology data in order to be used. Finally, the corine landcover was acquired from the EKBY archive and was used as additional background information.

## The classification procedure 2.4

### 2.4.1. Steps followed

The first step was the digitization of more detailed boundaries of the study area. This was necessary to extract areas that could confuse the classification procedure and to include areas with crops that were excluded during the preliminary delineation. Next, the urban, inhabited and non-cultivated areas had to be excluded from the areas with crops. Subsequently, all areas covered by clouds and their shadows, and areas covered with water like lake Kerkini and Strymonas river were removed. Following, rice beds were extracted using a simple unsupervised classification or direct digitization on the satellite image. Finally, the rest crops were classified using supervised classification.



## 2.4.2. Supervised classification

This procedure can be described by the following steps:

1. Choose the class to be extracted based on the available signatures and some draft classification tests.
  2. Perform the supervised classification based on the class's signatures.
  3. Perform accuracy assessment.
  4. Make corrections and fine tuning of the signatures and their position.
  5. Repeat from step 2 until we the best accuracy assessment is reached.
  6. Save the layer representing the class in raster format, convert to vector and estimate the area of the class.
  7. Remove from the satellite image the pixels corresponding to the estimated class.
  8. Repeat steps 1 - 7 in the remaining image's pixels and for the rest of the classes.
- After the completion of the above procedure the remaining pixels, represent non agricultural uses.

# 2.5

## Results and discussion

### 2.5.1. Results

The results for each year were produced in three formats: as tabular data for the crops, the area they cover and the accuracy assessment for each crop, as GIS data files with accurate spatial reference for each crop and as a crop pattern identification map. The classification accuracy ranged from 100 % for rice, down to 55 % for tomatoes. Crops like poplar and maize were also easily recognized (96 % and 93 % respectively). On the other hand, crops like almond and olive groves were more difficult to classify (60 % and 65 % respectively).

### 2.5.2. Discussion

Based on the above description of the classification procedure and the experience gained in testing the signatures and estimating the accuracy of the results, we can come to some conclusions. There are also some issues raised during this procedure, affecting the project's targets and some suggestions.

A major fall back and time consuming issue was the fact that it was not possible to mosaic the two images in one. The main reason for this was that the two images were usually taken with a time gap of few days in a period of fast plant growth. So the two images had quite different pixel values for the same classes and practically it was impossible to archive a good mosaic of the two images.

A solution for this problem is to order the images with a maximum time gap of 3 days. This is not always possible and can be affected by the available programmable options of the satellite, the cloud coverage, and the satellite image provider. (Leica Geosystems, 2002. Erdas Spectral Analysis).

The equipment combination for signature collection (basically consisted by a GPS's with track log file production and a tape recorder for the oral descriptions during the field visits), was also very useful in the signature evaluation procedure and in the completion of more signatures on the screen.

The only problem here is that, for some classes it was not possible to collect enough signatures for an effective classification and accuracy assessment. This happened in hard to find classes in the study area such as large areas with walnut trees, olive trees, potatoes, cabbages etc. A solution for this problem could be a more intense search for these hard to find signatures or to completely exclude them from the classification process.

Some specific classes were very difficult to separate, i.e. tobacco, cotton and sugar beets. This was a rather difficult problem and we have to use some advanced techniques to face it. It was also necessary to perform some pre processing to achieve better results.

The accuracy assessment achieved for the above classes has still relative low values. A good solution for this problem could be to have a second layer of satellite images with time difference of 30 to 40 days. Then, a change detection procedure could be applied which would produce additional layers of information in order to achieve better class-separation and to perform successful classification. In order to face this problem, a second set of images was ordered in 2006. Unfortunately collection of this extra set was not possible during the summer because of high percentage of cloud cover and difficulties in satellite scheduling.

There are also some questions which were raised during the classification process and they need to be addressed, as they affect directly the achievement of the project's targets. One question is whether the spatial distribution of all these classes is necessary in our study area to achieve the project's targets. Also, are all these classes needed, and which of them are more important? Also, is it possible to separate the study area in some zones where we need high values of classification accuracy assessment?

A good approach to answer the first three questions is to have a draft estimation of the main water consuming classes for each cultivation period. As some of them are standard for each year (rice, maize, cotton, sugar beets) the decision has to be taken for some of them (tomatoes, potatoes, etc.). A similar decision has to be taken for parcels covered by trees: Do we really need the areas covered by walnut trees?

The last of the above questions affects the available irrigation networks. It is obvious that we need high values of accuracy assessment in areas covered by the existing irrigation networks as the consumption and need for water there is very important for an effective water management.

Alfalfa is a very special case of crop because it does not have the same (or similar) pixel values in the same area, the same time. This happens because some fields may have just been harvested (so the looks like bare land), some may have little growth (because of a previous harvest) or some may have a complete growth.

There is also a problem in distinguishing harvested wheat fields from uncultivated areas and just harvested alfalfa. This happens because these three classes look the same. A good (and possibly the only) practical solution to this problem is to use two or more layers of satellite images, to detect the changes and combine these layers for the classification process. So we have one more good reason in addition to the one we described previously to obtain and use two sets of images for the classification process.

## SHYLOC implementation in Strymonas basin

---

For the effective installation and calibration of the hydrologic model that is developed in the Strymonas river basin, it is essential to calculate certain parameters of the hydrographic network.

The objective of this work is to examine the possibility of using a satellite image analysis method to provide water levels at certain positions of the irrigation network of the Strymonas river basin. In particular, satellite images, that cover the wider area of the basin, were used to estimate the water widths of certain ditches and these values were correlated with the recordings of water depth instrumentation at specific cross sections and on specific dates.

The software that was used for the analysis of the satellite images and the calculation of water widths is SHYLOC (System for Hydrology using Land Observation for model Calibration). The composition of the satellite data with vector data of the hydrographic network, and the application of appropriate algorithms in SHYLOC, led to the estimation of water widths and water surface at specific cross sections of the irrigation network of the Strymonas river basin.

The linear correlations of the SHYLOC derived water widths with the measured water depths identified the appropriateness of various methods of calculating the water depths at random positions of the irrigation network, aiming to import these values in the hydrologic simulation software for the calibration of the hydrologic model.

### 3.1 Method

The method included the installation of water level monitoring network in concrete cross-sections of the drainage and irrigation network of the river basin, the acquisition and pre-processing of the satellite images, the application of algorithms in SHYLOC to calculate the water widths of specific ditches, the assessment of water depths of the ditches, the correlation of the estimated values of the water depths with the measured ones, and the correlation of the estimated values of the water widths with the measured water depths.

#### 3.1.1. Water level monitoring network

The main objective of the water level monitoring network is to provide an adequate number of water depth time series for the calibration and validation of the hydraulic model of the catchment. The water level monitoring network is constituted from 12 water level recorders that continuously provide data of the water depth from 12 cross sections of the irrigation and drainage network of the Strymonas river basin.

#### 3.1.2. Image acquisition and pre-processing

The selection of the appropriate satellite imagery was based on its spatial resolution, its coverage and its ability to distinguish water from land. SPOT imagery outweighed other space and airborne remote sensing data on all the above matters. A further advantage of SPOT is that its images can be acquired under exact acquisition programming request.

Thus, 14 multi spectral SPOT images that cover the whole study area were requested to be acquired at desired dates and times. The programming request included detailed descriptions and technical requirements of the imagery needs, such as survey period, survey area and repeated acquisitions at specified time intervals for crop monitoring. The image acquisition was programmed for the spring and summer of 2004, 2005, 2006 and 2007, in order to avoid cloud and ice coverage. More precisely, seven sets of images were purchased, each including two scenes, one from the north eastern part and one from the south western part of the basin. Most of them were acquired by SPOT-4 and some by SPOT-5, depending on the time availability of the satellite's pass at the requested time period. A minimum radiometric correction was already performed to them by 'SPOT Image France' (level of processing: 1A). SPOT images of the sixth and seventh sets were georeferenced to the World Geodetic System (WGS84)<sup>2</sup>, in order to be imported to SHYLOC.

### **3.1.3. Application of algorithms in SHYLOC to calculate the widths of water of specific ditches**

The application of the algorithms for calculating the width of the water of specific ditches of the river basin, required the use of 14 multi-spectral SPOT images of 2004, 2005, 2006 and 2007 (in bitmap format), of the vector data of the hydrographic network (in shape file format), and the vector data of the borders that define the position of the water level recorders (in DXF format).

The 4<sup>th</sup> spectral band (Short Wave Infrared) of SPOT was used for the SHYLOC calculations, due to the ability that offers to distinguish water from land, as it takes advantage of their different reflectance at this spectral range.

The pure water reference value was stable for each image. The land reference value was automatically computed by the software for each cross section on the images, using 8 different calculation methods: 'moving average 5x5', 'moving average 3x3', 'fixed average inside boundary', 'maximum average inside boundary', 'fixed average in 1 nearest pixel', 'maximum average in 1 nearest pixel', 'fixed average in 2 nearest pixels', and 'maximum average in 2 nearest pixels'.

The main scope of using the 8 different land calculation methods was to examine their effects on the statistical relationships between the satellite derived and the measured water depths. Given these land reference values, the SHYLOC algorithm was applied for the identification of the water carrying pixels and for the extraction of the water widths through the calculation of the Ditch Index (DI).

The Ditch Index is derived by calculating the water percentage of each pixel only in positions where ditches are located. The identification of water carrying pixels is done by overlaying the hydrographic vector data on the satellite images.

The calculation was applied 8 times for each one of the boundaries. In all cases the same water reference value was declared at the calculation bar, but the land reference value was dependent on the selected land calculation method.

In some cases, editing of the ditch pixels was necessary in order to correct some slight errors, caused by digitization inaccuracies. The pixel water coverage is visualised on screen using 8 colour coded categories. The deeper the colour of the category, the greater the pixel water content is. Dry pixels are shown in orange.

Then, the software calculates the total ditch length in a user-defined area within the image. The effective wet ditch width (in meters) is evaluated by dividing the total water surface area (in square meters) of all ditch-carrying pixels in the user-defined area by the length of the ditches (in meters).

The first application of SHYLOC was performed to satellite imagery of 2004 and is described in the first SHYLOC technical report. SHYLOC application to the remaining satellite images of 2004 and those of 2005 was implemented in 2005 and is described thoroughly in the second SHYLOC technical report. The third application of SHYLOC, performed to satellite imagery of 2006, is described in the third SHYLOC technical report. The final SHYLOC application to satellite imagery of 2007 is described in the fourth SHYLOC technical report.

### **3.1.4. Assessment of the ditches' water depths**

Satellite derived water depths were estimated from the water width calculations, taken into account that ditches are trapezoids with known inclinations and bases. Water level recorders 2, 3, 4, 5, 6 and 7 are installed in concrete trapezoid shaped ditches with known geometry. Thus, the SHYLOC derived water widths were used for estimating the water depths of these ditches. However, water level recorders 9, 10, 11 and 12 are installed in earthen ditches with unknown geometry. In this case, the SHYLOC derived water widths were not used for estimating the water depths. Moreover, SHYLOC was not applied at ditches where water level recorders 1 and 8 are installed, because water level recorder 1 is installed at an orthogonal ditch, and water level recorder 8 was not detected on the satellite images.

### **3.1.5. Correlation of SHYLOC derived water widths and depths with the measured depths**

The water depths that were estimated by SHYLOC were compared with the measurements of water depths from the water level recorders at the exact day and time that the satellite passed over the instruments. This resulted to the assessment of the effectiveness of each land calculation method. Then, SHYLOC derived water widths were correlated to the values of the measured depths.

## **3.2 Results**

The correlations between the SHYLOC derived water depths and those depths measured by water level recorders were not good. The differences appear to be independent of the land calculation method that was used. The land calculation methods that resulted to significant deviations between SHYLOC-derived depths and the measured depths were the 'maximum value inside boundary', the 'maximum value in 1 nearest pixel' and the 'maximum value in 2 nearest pixels'. Various other methods resulted in better correlations between SHYLOC derived depths and measured depths. More specifically, the 'moving laverage 3x3 window' method was effective for sections 2, 4 and 7, the 'fixed average in 1 nearest pixel' method was effective for sections 5 and 7, and the 'moving average 5x5' and 'fixed average inside boundary' were both effective for section 5.

Nevertheless, at some cases (cross sections 3 and 6) none of the land calculation methods proved to be effective. Apart from that, at some cases the land calculation method used (moving average 3x3) resulted in negative depth values.

The linear correlations for the best fit relationship between SHYLOC derived water widths and ground-based measurements of ditch water level did not produce strong correlation fits for most of the cross sections. However, the methods that gave the better correlations were different for each cross-section.

The best fit linear relationship between SHYLOC derived water widths and measured water levels, for cross section 2 and SPOT scenes 1, 2, 5 and 7 produced an  $R^2$  equal to 0.945. For the same SPOT scenes, cross section 3 had an  $R^2 = 0.838$ , cross section 4 had  $R^2 = 0.478$ , cross section 5 had  $R^2 = 0.956$ , cross section 6 had  $R^2 = 0.505$ , and cross section 7 had  $R^2 = 0.945$ .

## Discussion and conclusions 3.3

During the SHYLOC application in the Strymonas river basin, several applications of the SHYLOC algorithm were tested using a temporal series of satellite images from 2004, 2005, 2006 and 2007. The aim of these tests was to find the best linear correlations between the satellite derived water widths of specific ditches, with the depths that were measured by the water level recorders. The objective was to use these linear correlations for assessing the water levels in random positions of the drainage and irrigation network, and to finally calibrate the hydrologic model. Several land calculation methods were examined in order to identify the most appropriate that could result the best linear correlations. However, most of the correlations were weak and no method was found to be appropriate enough.

Weak correlations are probably related with the land pixels that surround those ditches where instrumentation is installed. Either dense vegetation may dominate some of the ditches, or deciduous trees (e.g. aspens) may cover part of them and prevent water detection by the satellite. Thus, in many cases the results of pixels' water percentage and of the water width were not realistic. The main disadvantage of SHYLOC is that it does not provide any tool for anticipating such problems.

Apart from that, other obstacles that were met during the SHYLOC application were related to digitization inaccuracies that resulted to bad estimation of some water carrying pixels. The software interface was proved weak to deal with the problem, as it required a lot of manual and time consuming editing processes.

Given that that the coverage of some of the water level recorders from the satellite images did not provide an adequate number of temporal data, the linear correlations were not reliable. For example, as each SPOT scene is covering either the NW or the SE part of the basin and the overlapping of the scenes are small, some water level recorders were only detected in 6 out of 14 images. The weaknesses of the software could be minimised in the ideal case where SHYLOC could be applied in more satellite images. Therefore, it is not reliable to use the results of the present SHYLOC application for the calibration of the hydrologic model.

## Development of prototype discharge measuring system at Strymonas river

The goal of the project was the design, development and installation of an innovative automatic system for the real-time discharge measurement at the Strymonas river. Other major objectives were to conduct hydrologic measurements in order to validate the system's operation and to develop algorithms for filtering and processing the acquired data.

The system is innovative because it combines state of the art technologies in the areas of spatially distributed water velocity measurements, mechatronics, signal processing, telecommunications, power-management and remote controlled operation.

### 4.1 System description

The discharge measuring system was installed at a 40 meter wide cross section near the estuary of the Strymonas river, in the Region of Central Macedonia, (Longitude:484983, Latitude:4518336; EGSA). The system consists of three (3) sub systems:

- A) A mechatronic system which measures and transmits the water velocity profile at various depths and the river stage. This system is permanently positioned at the measurement site.
- B) A mechanical system for measuring the depth profile of the river at the measurement site.
- C) A discharge computing system, which receives the measurements from systems (A) and (B), and computes the discharge based on a scientifically validated model. All measurements and results are stored in a database with controlled access via the web.

A more detailed description of the three sub systems is given next.

#### 4.1.1. Velocity profile and stage measuring system (A)

The system measures the water velocity profile at a certain depth by using the ultrasonic sensor RD Instruments Channel-Master H-ADCP. The sensor operates at a frequency of 600 kHz and uses the Doppler-effect in order to measure the velocity profile.

In order to evaluate the performance of the system, velocity profiles at the section were measured concurrently with the H-ADCP and from a boat, with a conventional current meter (Type OSS-B1 No. 86-27), at depths of 25 cm, 50 cm, 75 cm, 100 cm and 125 cm, and sampling distance 5 m across the section (23 October 2006). The current meter measured point velocities in the vertical profile, whereas the cell velocities reported by the H-ADCP are actually averages over the entire cell.

The comparison between the H-ADCP and the current meter measurements was very good at distances between 5 and 35 meters from the H-ADCP sensor head, with maximum absolute difference at 15.4 %. At distances close to the H-ADCP (< 5 m) and close to the opposite river bank (> 35 m) the comparison was very bad (up to 80 % differences) because of the sensor's blanking distance and reflections from the bank and water surface,

respectively. Hence, only readings within 5 and 35 meters are usable for discharge calculations. The same measurements were repeated several times, with comparable results.

The H-ADCP sensor has been attached at the end of an actuating mechanism, which consists of a closed-circuit oil pressure cylinder with an oil pump operating at 24 V. The pump is controlled by the host computer using relay switches. Thus, the H-ADCP can move vertically in the water, moving from the water surface to arbitrary depths, until the bottom. The entire system is powered by a solar panel capable of producing a peak power of 50 W which is stored in a pair of lead-acid batteries. The whole system is controlled by a single board host computer which communicates with the sensor via a serial cable (RS485).

There are two operation modes: automatic and manual. In the automatic mode, the system takes measurements every half hour at a fixed 'parking' position near the bottom. If there is enough energy, the computer moves the oil-pressure cylinder and scans water depths, starting from 25 cm below the surface until the bottom with steps of 25 cm. At each depth, the computer takes 5 consecutive measurements and applies filtering to reject outliers and compute a smooth velocity profile. The filtered data from all depths is sent to an email account using a GPRS modem. From this account the data can be collected by the remote server (system C). In the manual mode, a user can connect a laptop to the host computer which provides a command-line user interface for controlling the system. Also, commands may be sent by a mobile phone using SMS messages. The host computer, the pump, the batteries and the control electronics are all stored in a special container under the ground for safety purposes.

#### **4.1.2. Depth profile measuring system (B)**

The depth profile measuring system relies on the mechanical scanning of the entire width of the river with an ultrasonic digital altimeter, which reads the depth of the river at an adequate number of samples across the width of the river. The altimeter sensor is attached to a small floating base which is hung from the metal wire that extends from one bank of the river to the opposite. The motion of this wire is produced by a couple of winches.

The measurements are transmitted via Bluetooth to a host computer at the river bank and are stored in a USB memory stick. The USB stick can be then inserted to the software server (system C) in order to update the depth profile which is stored in the database.

Measurements of the river profile were taken several times and the profile was found to be constant, i.e., it did not change over time. Hence, the scanning of the river profile could be taken only once every 6 - 12 months, or in extraordinary cases, when there is suspicion of sudden changes due to flooding.



### 4.1.3. Discharge Computing System (C)

The discharge computing system consists of a server running appropriate software. The server collects all water velocity and stage measurements in real-time from an email account. The data is sent to this account by system (A) using the GPRS service. The data is archived in a database using an SQL server. The server may also read a depth profile file from a USB stick and insert it into the database. Every few minutes specific software on the server combines all velocity, stage and depth profile measurements and also model coefficients estimated via experimental validation, in order to compute an accurate estimate of the river discharge.

The discharge  $Q$  ( $m^3/s$ ) is computed using the following formula:

$$Q = \sum_j F_j \sum_i V_{ij} A_{ij}$$

The quantity  $V_{ij}$  is the mean water velocity of a cell  $A_{ij}$  which is measured by the RDI sensor. In our implementation, the cell's length is 1 m and its width is 0.5 m. Hence, for cell  $A_{ij}$ , the measurement depth is  $0.25i$  and the distance from the sensor is  $j$  meters. The  $F_j$  coefficients compensate for the part of the river depth which cannot be measured by the sensor because of the irregular depth profile and have been calculated experimentally.

Finally, the stage and discharge of the river are displayed in real time on a dynamic web page. From this web page, any authorized user can have access to the entire measurements database. This is accomplished with an account and password combination.

## Optimum plans for rearranging agro-ecosystems in Strymonas river basin

---

Agriculture in Strymonas basin is characterized by the predominance of few crops, some of which are considered traditional. The main irrigated crops are cotton, maize, lucerne, sugar beet and rice, while non-irrigated crops include winter cereals and tobacco. Agriculture is the main source of income and employment in the catchment and the majority of local population is employed in the sector, either full-time or part-time. However, excessive use of water resources and agrochemicals are common externalities of agriculture.

The multifunctional character of agriculture in Strymonas basin points out the importance of compromising conflicting policy targets: the achievement of acceptable income and employment as opposed to the threats imposed on the environment. The introduction of an environmental-friendly model of agriculture that will sustain income and employment constitutes a major policy subject, given the issues arising in the new Common Agricultural Policy (Reg. 1782/2003 and 1698/2005) as well as the linkages between agriculture and the environment established by the Water Framework Directive (Directive 60/2000). In this context, the analysis at this stage of the project aims at elaborating effective management plans for Strymonas basin in order to safeguard benefits by minimizing the adverse effects of intensive agriculture. The analysis focuses on specific policy targets, namely the maximization of income in terms of gross margin, the minimization in nitrogen use, the minimization of the value of pesticides and the minimization in the quantity of irrigation water used.

The aforementioned policy objectives can be achieved either by introducing new farming practices, or by introducing new crops, or by changing the cropping pattern alone, retaining existing crops and current farming practices. The latter is a rather interesting issue, given the pattern of Mediterranean agriculture, consisting of a relatively large number of crops. An examination of possible effects of introducing alternative cropping patterns yields important policy implications concerning decision making for agriculture on catchment scale. The current study addresses this issue using a multi criteria analysis technique. It is demonstrated that alternative cropping patterns vary substantially in terms of economic and environmental performance.

The analysis is based on a farm management survey over a random sample of 250 local farms. The survey was conducted during a 3 - year period (2004 - 2006), with in-person interviews, using a questionnaire designed to account for all aspects of farming practices in local farms. Data from this survey were analyzed in order to estimate technical and economic indicators of farm management practices in Strymonas basin. The derived indicators provide information concerning the yield and the prices of crops, labour requirements and wages, the costs of hired machinery labour, the costs of seeds and agrochemicals (fertilisers, herbicides, insecticides, and fungicides), fuel expenses, the quantity of irrigation water and irrigation costs. Such indicators reflect the prevailing farming practices for main crops and account for varying farming practices among irrigation networks.

These indicators are the basis for the implementation of the multi-objective programming technique, employed to elaborate alternative management schemes for local agriculture. The multi-objective programming method is an optimization technique which produces a set of non inferior optimal solutions that achieve a set of conflicting goals, under a set of constraints. The application of the technique entails four steps. First, one formulates a set of optimization problems, one for each of the objectives under examination. Each problem has uniform constraint matrix and uniform variables. The optimal value of each objective function as well as the value of other functions under the same optimal solution yield a square matrix (pay-off matrix), the diagonal of which indicates an optimal but infeasible solution to the multi-objective problem. Second, following the results of the pay-off matrix, one calculates the minimum and the maximum value of each function. Third, another set of optimization problems is formulated, where one of the functions is set as the objective function, the rest of the functions are added to the constraint matrix, which is held constant, and each one of them is varied within the limits set by their minimum and maximum values in the pay-off matrix. This procedure normally yields a large number of optimal non inferior solutions. The fourth step is to choose among these solutions the ones that vary substantially of the others, by means of a filtering technique.

The remaining solutions are all optimal, however, in order to define the bounds within which a solution compromises the conflicting objectives one should produce the solutions that lie at a minimum distance from the optimal infeasible solution. These bounds are defined by solutions L-1 and L-infinity, where '1' and 'infinity' refer to the dimensions of the coordinates.

Each one of the solutions to the multi-objective problem is an alternative management scheme that achieves the conflicting policy goals linked to agricultural activity at various degrees. The basic model for the multi objective analysis is analytically constructed over twelve blocks of variables and constraints, one for each of twelve irrigation networks in the region, in order to simulate farming conditions in the area and to capture site-specific characteristics. This specification allows predictions about the effects of alternative management techniques over the whole area as well as on each irrigation network.

The pay - off matrix was computed. In this matrix, the columns represent the values of the objectives and the rows stand for the four optimal solutions estimated in the first step of the analysis. According to the pay-off matrix, a reduction of 68.9 % can be achieved in the use of nitrogen, of 59.3 % in the value of pesticides and of 16.4 % in the use of irrigation water, while gross margin varies from 33.77 mil.€ to 67.58 mil.€.

The implementation of the multi objective programming technique yielded 144 non-inferior solutions, which were reduced to 25 with the employment of the filtering technique. This filtering encompasses the limits in which the conflicting objective functions are compromised. These limits are 39.97 mil.€ - 56.72 mil.€ (697.7 €/ha - 990.0 €/ha) for gross margin, 422.5 mil.m<sup>3</sup> - 434.4 mil.m<sup>3</sup> (7,376.0 m<sup>3</sup>/ha - 7,584.0 m<sup>3</sup>/ha) for the quantity of irrigation water, 5.29 mil. kg.N - 5.76 mil. kg.N (92.4 kg N/ha - 100.6 kg N/ha) for the quantity of nitrogen used in fertilisers and 9.35 mil.€ - 11.33 mil.€ (163.2 €/ha - 197.8 €/ha) for the value of pesticides.

All the computed solutions are optimal, i.e. the use of the available resources in each case (nitrogen, pesticides, water) yields the maximum income in terms of gross margin. The rest of the objectives were met at different levels. The choice of the best solution lies upon the acceptance of local farmers, who are the key stakeholders. Discussions with stakeholders should yield important policy suggestions to be considered in the ultimate choice of the best management option. Such an option would guarantee a profitable farming pattern with minimum adverse effects on local resources and the environment.

6<sup>o</sup>

## Strymonas basin integrated surface water and groundwater model

## 6.1

## Hydrological processes governing the Strymonas river basin

Strymonas river and lake Kerkini (an artificial lake fed by Strymonas) are the main surface water bodies in the basin which in turn support the natural enrichment of the basin with groundwater. Lake Kerkini was constructed during 1933 - 36 mainly for protection against floods caused by Strymonas river. Soon afterwards, it was used as a reservoir for irrigation water. During recent decades a unique wetland ecosystem has been developed in its shores, which is protected by the Ramsar Convention and EU legislation.

Strymonas river outflows to Strymonikos gulf whose coastal ecosystems are very important for fisheries, biodiversity and tourism. Agricultural activities, which constitute the main threat to surface waters and groundwater in the basin, take place in its lower part (elevation less than +100 m), which covers an area of 100.000 ha. The irrigation and drainage of this area has been elaborated through a dense network of irrigation canals and drainage ditches. The Land Reclamation Service of Serres - Greece is responsible for the water resources management in the agricultural area through its administrative and technical supervision of the General Land Reclamation Agency and of the 10 Local Land Reclamation Agencies. These agencies are organizations of an agro cooperative nature aiming at the management of land reclamation works and the distribution of irrigation water.

During the period between autumn and spring the whole amount of Strymonas discharge just after it crosses the Greece - Bulgarian border flows into lake Kerkini. The water level in the lake is controlled by four gates that also control the downstream discharge to avoid floods at the lowest area of the basin (Ahinos area) since the maximum conveyance of the river nowadays has been reduced to 200 m<sup>3</sup>/s. This has as a result the gradual increase of the water level in the lake which causes undesirable alterations to the hydroperiod of its ecosystem. Sedimentation is also another factor that causes a gradual increase of the water level of the lake by reducing its volume capacity.

Downstream the lake, Strymonas river crosses the plain for 77 km and outflows into Strimonikos gulf. The gulf is also the final receiver of all the surface runoff of the basin. The surrounding mountainous area of the plain (areas with elevation higher than +100 m) drain through a number of torrents, either in lake Kerkini or in Strymonas river. The western part of the mountainous area downstream of lake Kerkini drains through a number of torrents that outflow directly into Strymonas river. At the east, the main drainage canal Belitsa receives almost all surface runoff from both the plain and mountainous areas and finally outflows into Strymonas river. The rest of the east mountainous area drains through the torrent Ag. Ioannis and small drainage ditches directly to Strymonas river. The north and west mountainous area drains through a number of torrents direct either to Strymonas river or lake Kerkini..

During the summer, at a distance of 11 km after Strymonas crosses the Greek - Bulgarian borders, part of its discharge diverts through the 'Ypsilon 1 (Y1)' flow control structure into

lake Kerkini. Three more irrigation networks receive water directly from the lake through the 'Ypsilon 2 (Y2)' and 'Ypsilon 3 (Y3)' flow control structures. Downstream the lake there is no water flowing in Strymonas river up to its joint with Belitsa drainage ditch. Meanwhile, the latter receives the drainage water from all the above irrigation networks (almost all the networks located at the east of Strymonas river) and supplies with water three more irrigation networks. The excess water of Belitsa outflows again into Strymonas river which in turn is used from the remaining irrigation networks downstream lake Kerkini.

The plain of Serres is probably one of the richest ones in Greece in terms of surface water availability. In many cases soil studies in the plain have shown that the crops could meet their irrigation needs directly from the capillary zone. Due to the above together with the early constructions of the lake Kerkini and the accompanied land reclamation works the use of ground water constitutes only a small percentage compared to surface water use in Strymonas basin. For the same reason, data related to the ground water are very limited. Presently the agricultural area that meets its irrigation needs using ground water is located in places where surface water irrigation schemes have not yet been constructed.

## Modelling approach 6.2

Due to the interaction between surface water bodies, the underlying saturated zone and the aquifers as well as the conjunctive use of surface water and groundwater in Strymonas basin, an integrated hydrological modeling system MIKE SHE/MIKE 11 has been chosen for the simulation of the hydrological functioning of the basin.

MIKE SHE is a fully distributed, physics-based, finite difference hydrological modelling system coupled dynamically with MIKE 11 that contains an implicit, finite difference computation of unsteady flows in rivers and estuaries. Using the modelling system the following major water flow processes were simulated simultaneously in the basin (catchment): runoff from the surrounding subcatchments, overland sheet flow and depression storage, infiltration and storage in the unsaturated zone, dynamic exchange between unsaturated zone-groundwater (recharge), dynamic exchange between aquifers - rivers (seepage), groundwater flow, storage and potential heads, river/canal flow and water levels, evapotranspiration losses, drainage effects, and effects from the allocation of irrigation water. MIKE SHE/MIKE 11 consists of several components (modules) that simulate all the above processes.

In the mountainous areas of the basin where human activities are very limited, a lumped hydrological model is used. More specifically, the NAM model, which constitutes a module of MIKE 11 was applied for the estimation of the surface runoff, as well as the ground water recharge. All the surrounding subcatchments were delineated using GIS in order NAM to be applied individually to each one of them. In the plain (elevation less than +100 m) of Strymonas basin the full MIKE SHE/MIKE 11 was applied. Hence, the model area has been discretized into a number of computational cells for the numerical solution of the governing equations. The spatial scale of MIKE SHE (grid size) was chosen either to address regional basin issues or to do local detailed studies focusing on certain areas.

## Εισαγωγή

Το ελληνικό τμήμα της λεκάνης του Στρυμόνα καλύπτει έκταση 6.400 km<sup>2</sup> και υπάγεται διοικητικά στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας. Τα κύρια επιφανειακά υδάτινα συστήματα, στο τμήμα αυτό, είναι ο ποταμός Στρυμόνας και η τεχνητή λίμνη Κερκίνη (η οποία τροφοδοτείται από τον Στρυμόνα), που με τη σειρά τους συμβάλλουν στον φυσικό εμπλουτισμό των υπόγειων υδάτων. Κατά την Κερκίνης, ο Στρυμόνας διασχίζει την πεδιάδα των Σερρών και εκβάλλει στον Στρυμονικό κόλπο.

Οι γεωργικές δραστηριότητες λαμβάνουν χώρα στα χαμηλότερα τμήματά της (περιοχές με υψόμετρο κάτω από 100 m), τα οποία καταλαμβάνουν έκταση περίπου 1.000.000 στρέμματα. Η άρδευση και η στράγγιση της έκτασης αυτής επιτελούνται μέσω ενός πυκνού δικτύου διωρύγων, ενώ η διαχείριση των αρδευτικών και στραγγιστικών δικτύων ασκείται από τη Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων Σερρών, συνεπικουρούμενη από τον Γενικό Οργανισμό Εγγείων Βελτιώσεων (ΓΟΕΒ) και τις 12 Τοπικές Οργανώσεις Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ).

Τα κυριότερα προβλήματα που έχουν προκύψει στην περιοχή σχετίζονται με την υφιστάμενη διαχείριση του αρδευτικού νερού και των αγροοικοσυστημάτων και είναι τα ακόλουθα:

- α) Οι μεγάλες απώλειες νερού κατά τη μεταφορά και διανομή του από τα ημιτελή ή ανεπαρκώς συντηρημένα, λόγω του υψηλού κόστους, δίκτυα άρδευσης.
- β) Η άρδευση των κατόντη γεωργικών εδαφών με νερό, προερχόμενο από τις στραγγιστικές τάφρους, γεγονός που εγκυμονεί τον κίνδυνο αλάτωσής τους.
- γ) Η συνεχής υποβάθμιση του οικοσυστήματος της Κερκίνης, λόγω της μεταβολής της υδροπεριόδου της, από την συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για αποθήκευση μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού για άρδευση.
- δ) Η μεγάλη περιεκτικότητα των επιφανειακών υδάτων σε θρεπτικά άλατα, κυρίως NO<sub>3</sub>-N και PO<sub>4</sub>-P, προερχόμενα από τις απορροές γεωργικών εδαφών, τα οποία καταλήγουν στον Στρυμονικό κόλπο, οδηγώντας τον στον ευτροφισμό.
- ε) Η είσοδος, αρκετά ανάντη στον Στρυμόνα, θαλασσινού νερού, λόγω της μειωμένης θερινής του παροχής, εξαιτίας των αρδεύσεων.

Λύση στα παραπάνω προβλήματα θα μπορούσε να επέλθει μόνο μέσα από τη συνδυασμένη διαχείριση, σε επίπεδο λεκάνης απορροής, των υδατικών πόρων και των αγροοικοσυστημάτων. Οι διαθέσιμες ποσότητες νερού στη λεκάνη και οι ανάγκες των οικοσυστημάτων, η υφιστάμενη διαχείριση του αρδευτικού νερού και ο βαθμός αποδοτικότητάς της, η σύνθεση των καλλιεργειών, οι γεωργικές πρακτικές που εφαρμόζονται και οι πιέσεις που ασκούνται από αυτές στους υδάτινους πόρους και τα οικοσυστήματα, η στάση και οι προσδοκίες της τοπικής κοινωνίας, αποτελούν βασικές παραμέτρους, οι οποίες θα πρέπει να διερευνηθούν και να ποσοτικοποιηθούν, στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης αντιμετώπισης των συγκεκριμένων προβλημάτων.

Προς την κατεύθυνση αυτή, το Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων - Υγροτόπων, με εταίρους τη Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Σερρών, την Αναπτυξιακή Εταιρεία Σερρών και τον Σύνδεσμο Προστασίας & Ανάδειξης Περιοχής Λίμνης Κερκίνης, υλοποίησε, στο ελληνικό τμήμα της λεκάνης του Στρυμόνα, το έργο, διάρκειας τεσσάρων ετών (Σεπτέμβριος 2003 - Αύγουστος 2007), με τίτλο: «Διαχείριση των υδατικών πόρων στη λεκάνη του Στρυμόνα για τη μείωση των επιπτώσεων από τη γεωργία με τη χρήση σύγχρονων μεθόδων».

Ειδικότεροι σκοποί του έργου είναι να αναδείξει τον ρόλο νέων τεχνολογιών και επιστημονικών μεθόδων στη μελέτη και επίλυση των προβλημάτων που προαναφέρθηκαν, μέσα από:

- > τη χρήση σύγχρονων συστημάτων υδρολογικής προσομοίωσης για την ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση των επιπτώσεων από την άσκηση της γεωργίας στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα της λεκάνης του Στρυμόνα,
- > την ανάπτυξη και χρήση σύγχρονων εργαλείων παρακολούθησης των ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων των υδάτων στη λεκάνη του Στρυμόνα και
- > τη χρήση μεθόδων βελτιστοποίησης για την εξεύρεση εναλλακτικών προτάσεων για την αειφορική διαχείριση των υδατικών πόρων και των αγροοικοσυστημάτων.

Η υλοποίηση του έργου αφορούσε ένα σύνολο δράσεων, οι οποίες αποσκοπούσαν:

- α) στην ποσοτικοποίηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των υδατικών πόρων, των φυσικών οικοσυστημάτων και των αγροοικοσυστημάτων της λεκάνης του Στρυμόνα,
- β) στην επεξεργασία και στον σχεδιασμό διαχειριστικών προτάσεων για τη μείωση των επιπτώσεων στους υδατικούς πόρους και τα οικοσυστήματα από την υφιστάμενη διαχείριση των αγροοικοσυστημάτων,
- γ) στη διάδοση των αποτελεσμάτων του έργου σε τοπικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο.

Υλοποιήθηκαν δράσεις, οι οποίες έθεταν ως σκοπό την ποσοτική αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης, όσον αφορά στο φυσικό και γεωργοοικονομικό περιβάλλον στη λεκάνη, καθώς και των απαιτήσεων των οικοσυστημάτων και των προσδοκιών των εμπλεκόμενων κοινωνικών ομάδων. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν σύγχρονα συστήματα υδρολογικής προσομοίωσης, συστήματα επεξεργασίας και ανάλυσης δορυφορικών εικόνων, καθώς και σύγχρονα εργαλεία καταγραφής ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων του υδατικού ισοζυγίου στη λεκάνη του Στρυμόνα. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε ανάλυση των αναγκών των εμπλεκόμενων κοινωνικών ομάδων, ενώ διενεργήθηκε, με τη μέθοδο της λογιστικής παρακολούθησης, η τεχνική και οικονομική ανάλυση των αγροοικοσυστημάτων στη λεκάνη.

Η διερεύνηση και ο σχεδιασμός βέλτιστων διαχειριστικών προτάσεων για την αντιμετώπιση των προβλημάτων, έγινε, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις παραπάνω δράσεις. Ο σχεδιασμός των διαχειριστικών προτάσεων επιτεύχθηκε με μεθόδους βελτιστοποίησης, σε συνδυασμό με τη χρήση των συστημάτων υδρολογικής προσομοίωσης για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους, ενώ οι τελικές προτάσεις προέκυψαν ύστερα από διαβούλευση με τις εμπλεκόμενες κοινωνικές ομάδες.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν περιγράφονται ο τρόπος υλοποίησης, τα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν, καθώς και τα αποτελέσματα των κυριότερων δράσεων του έργου:

- > Σχεδιασμός και εγκατάσταση δικτύου παρακολούθησης ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων των υδάτων στη λεκάνη του Στρυμόνα.
- > Ανάπτυξη υδρολογικού ομοιώματος του Στρυμόνα με το λογισμικό MIKE SHE/11.
- > Ανάλυση και ερμηνεία δορυφορικών εικόνων για την αναγνώριση της σύνθεσης των καλλιεργειών στη λεκάνη του Στρυμόνα.
- > Διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής τηλεπισκοπικών μεθόδων με τη χρήση του λογισμικού SHYLOC για την εκτίμηση της στάθμης του νερού.
- > Σχεδίαση, ανάπτυξη και εγκατάσταση ενός καινοτόμου αυτόματου συστήματος συνεχούς μέτρησης της παροχής του ποταμού Στρυμόνα.
- > Σχεδιασμός και αξιολόγηση βέλτιστων σχεδίων αναδιάρθρωσης των αγροοικοσυστημάτων στη λεκάνη του Στρυμόνα.



## Δίκτυο παρακολούθησης ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων των υδάτων της υδρολογικής λεκάνης του Στρυμόνα

### Εισαγωγή

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης δράσης, σχεδιάστηκε και εγκαταστάθηκε στη λεκάνη του Στρυμόνα, δίκτυο παρακολούθησης ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων των υδατικών της πόρων.

Σκοπός του δικτύου ήταν η παρακολούθηση: α) της υφιστάμενης διαχείρισης του αρδευτικού νερού στη λεκάνη, των εισερχόμενων και εξερχόμενων παροχών στα δίκτυα, β) του εισερχόμενου φορτίου θρεπτικών αλάτων από τη Βουλγαρία, γ) των πιέσεων που ασκούνται στα επιφανειακά ύδατα της λεκάνης από τις υφιστάμενες γεωργικές πρακτικές λίπανσης, καθώς και δ) η ρύθμιση του υδρολογικού ομοιώματος της λεκάνης.

Κατά την έναρξη υλοποίησης του έργου, οι παράμετροι που μετρούνταν αφορούσαν στην παροχή του Στρυμόνα, αμέσως μετά την είσοδό του στην Ελλάδα, καθώς και στη διακύμανση της στάθμης της Κερκίνης.

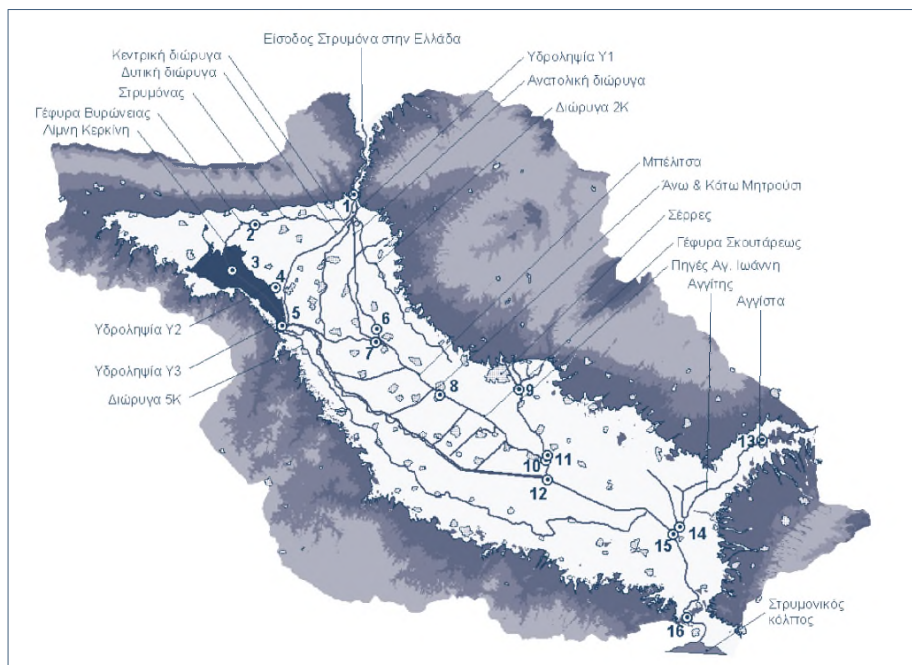
Το δίκτυο αποτελούνταν από 16 σημεία λήψης δειγμάτων νερού προς ανάλυση ανά τακτά χρονικά διαστήματα, 12 καταγραφείς στάθμης νερού (σταθμηγράφοι), ένα πρότυπο σύστημα μέτρησης της παροχής, το οποίο εγκαταστάθηκε στην έξοδο του Στρυμόνα, καθώς και 28 γεωτρήσεις των οποίων καταγραφόταν η στάθμη.

Επιπλέον, επιλέχθηκαν 11 μετεωρολογικοί σταθμοί, εντός και εκτός της λεκάνης, για τη λήψη ημερήσιων τιμών των παρακολουθούμενων παραμέτρων.

Ο σχεδιασμός του δικτύου αναλύεται διεξοδικά στις επόμενες ενότητες.

### 1.1 Δίκτυο παρακολούθησης ποιοτικών παραμέτρων

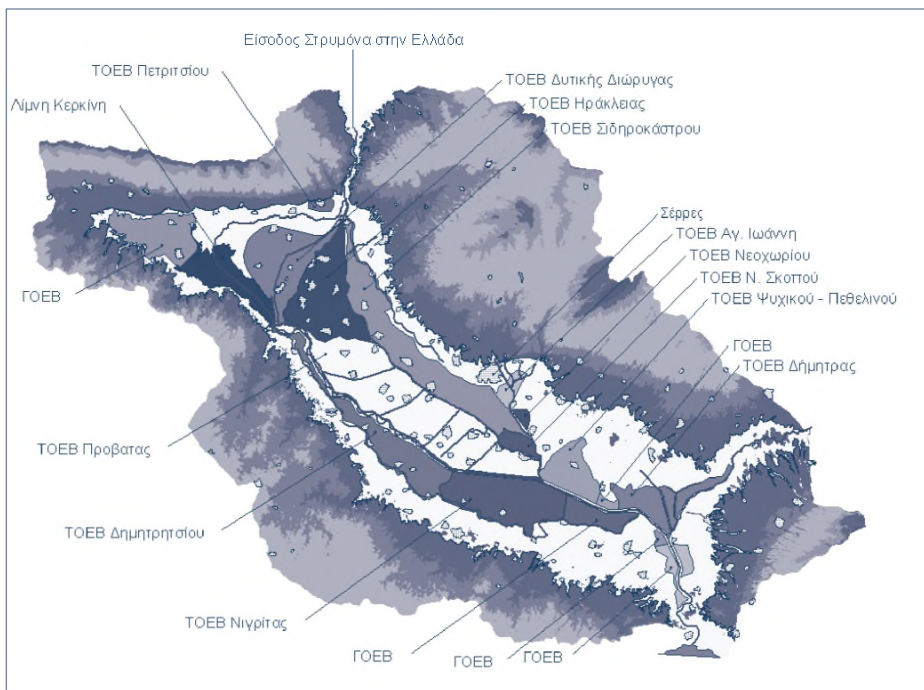
Το δίκτυο των ποιοτικών παραμέτρων (Σχήμα 1.1.), περιλάμβανε 16 σταθμούς δειγματοληψίας, στους οποίους παρακολουθούνταν οι τιμές 11 παραμέτρων, με συχνότητα μετρήσεων κάθε 10 ημέρες. Από τις παραμέτρους που παρακολουθούνταν, η θερμοκρασία (T), το pH, το διαλυμένο οξυγόνο (DO) και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECw) μετρούνταν επιτόπου, με φορητή συσκευή. Ταυτόχρονα, για τη μέτρηση των  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{PO}_4$ , Ca, Mg, K, Na, λαμβάνονταν δείγματα νερού και αναλύονταν στο εργαστήριο. Το BOD μετρούνταν μόνο σε ορισμένους σταθμούς, με συχνότητα μια φορά το μήνα.



**Σχήμα 1.1.** Θέσεις παρακολούθησης ποιοτικών παραμέτρων των επιφανειακών υδάτων στη λεκάνη του Στρυμόνα.

Η χωρική κατανομή των σταθμών δειγματοληψίας (Σχήμα 1.2.) επιλέχθηκε με βάση το δίκτυο ροής των επιφανειακών υδάτων, δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στο σύστημα διανομής και στράγγισης του νερού στα αρδευτικά δίκτυα. Συγκεκριμένα, ελεγχόταν η ποιότητα του νερού σε σημεία του ποταμού Στρυμόνα, του ποταμού Αγγίτη και της λίμνης Κερκίνης, στα σημεία υδροδότησης του δικτύου διανομής του νερού άρδευσης, καθώς και στις κύριες στραγγιστικούς τάφρους. Επίσης, για την επιλογή της θέσης των σταθμών δειγματοληψίας στο δίκτυο παρακολούθησης των ποιοτικών παραμέτρων, λήφθηκε υπόψη και η θέση των σταθμηγράφων του συστήματος παρακολούθησης των ποσοτικών παραμέτρων.

Η θέση 1 βρίσκεται στον ποταμό Στρυμόνα ανάντη από την υδροληψία Υ1 και σε απόσταση περίπου 10 km από τα Ελληνο - Βουλγαρικά σύνορα, ώστε να παρακολουθείται η ποιότητα του νερού που εισέρχεται στο ελληνικό τμήμα της υδρολογικής λεκάνης του Στρυμόνα. Επίσης, δεδομένου ότι η θέση αυτή είναι πολύ κοντά (λιγότερο από 500 m) στην υδροληψία Υ1, δίνεται η δυνατότητα ελέγχου της ποιότητας του νερού, με το οποίο αρδεύονται τα δίκτυα των ΤΟΕΒ της Ηράκλειας, της Δυτικής Διώρυγας και του Σιδηροκάστρου. Ο αποδέκτης των στραγγιστικών υδάτων των αρδευτικών δικτύων Ηράκλειας και Δυτικής Διώρυγας είναι η τάφρος αναγεννήσεως, στην έξοδο της οποίας βρίσκεται η θέση 9.



**Σχήμα 1.2.** Περιοχές δικαιοδοσίας του Γενικού και των Τοπικών Οργανισμών Εγγείων Βελτιώσεων, GOEB και ΤΟΕΒ αντίστοιχα, του Νομού Σερρών.

Το επόμενο σημείο ελέγχου της ποιότητας του νερού, το οποίο δεν επηρεάζεται από έντονες γεωργικές δραστηριότητες της πεδιάδας των Σερρών, είναι η θέση 9, με την οποία ελέγχεται η ποιότητα των υδάτων των πηγών του Αγίου Ιωάννη. Με τη θέση 11 ελέγχεται η ποιότητα τους λίγο πριν την έξοδό τους στην Μπέλιτσα.

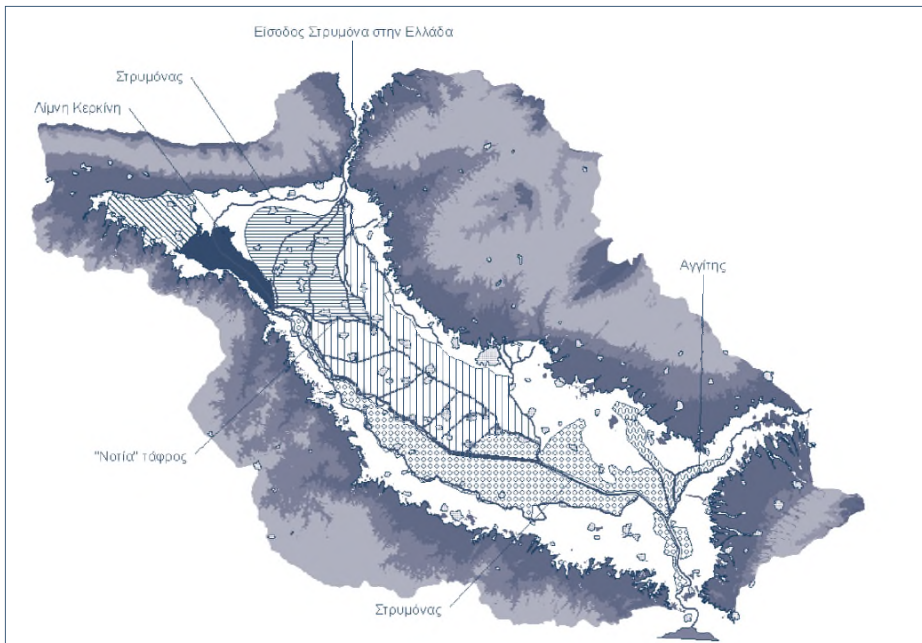
Στη θέση 13, ελέγχεται η ποιότητα των υδάτων του Αγγίτη, με τα οποία αρδεύεται ένα μεγάλο τμήμα του 5ου αρδευτικού δικτύου του ΤΟΕΒ Δήμητρας. Τέσσερα από τα σημεία δειγματοληψίας (θέσεις 2 - 5) βρίσκονται στη λίμνη Κερκίνη, λόγω της εξαιρετικής της σημασίας ως φυσικό οικοσύστημα, αλλά και της συμβολής της στην παροχή αρδευτικού νερού. Συγκεκριμένα, η λίμνη αποτελεί την κύρια πηγή υδροδότησης των αρδευτικών δικτύων που βρίσκονται στα κατόντι της. Από τα σημεία αυτά, η θέση 2 βρίσκεται στην είσοδο του Στρυμόνα στη λίμνη, με σκοπό τον έλεγχο της ποιότητας του νερού που εισρέει στη λίμνη, ενώ, παράλληλα, ελέγχεται και η διαφοροποίηση της ποιότητας των υδάτων του από τη θέση 1. Το επόμενο σημείο είναι η θέση 3, στο μέσο της λίμνης. Εξαιτίας της σημαντικότητας της θέσης αυτής, όσον αφορά στο οικοσύστημα της λίμνης Κερκίνης, εξετάζεται και το BOD5. Η θέση 4 βρίσκεται εντός της λίμνης, κοντά στην υδροληψία Υ2, από την οποία αρδεύονται τα περίπου 141.000 στρέμματα του αρδευτικού δικτύου του ΤΟΕΒ Προβατάς. Αντίστοιχα, η θέση 5 βρίσκεται κοντά στην υδροληψία Υ3, από την οποία αρδεύονται τα δίκτυα των ΤΟΕΒ Δημητρησίου, ΤΟΕΒ Νιγρίτας, καθώς και τα μικρότερα αρδευτικά δίκτυα του GOEB Σερρών στην περιοχή της Μαυροθάλασσας.

Επίσης σημαντικό επιφανειακό υδάτινο σύστημα, στο οποίο έχουν εγκατασταθεί θέσεις ελέγχου της ποιότητας των υδάτων, είναι η στραγγιστική τάφρος Μπέλιτσα (Σχήματα 1.1. και 1.2.). Η Μπέλιτσα είναι ο αποδέκτης των υδάτων στράγγισης σχεδόν ολόκληρης της έκτασης που καλλιεργείται ανατολικά της κοίτης του ποταμού Στρυμόνα (Σχήμα 1.3.). Παράλληλα, αποτελεί και πηγή υδροδότησης ορισμένων μικρών αρδευτικών δικτύων του ΓΟΕΒ, καθώς και του δικτύου του ΤΟΕΒ Νέου Σκοπού (Σχήμα 1.2.). Τα σημεία δειγματοληψίας στην τάφρο Μπέλιτσα είναι οι θέσεις 6, 8 και 10.

Η θέση 6 καθορίστηκε, με σκοπό να παρακολουθείται η ποιότητα των υδάτων της τάφρου Μπέλιτσας, τα οποία επιβαρύνονται από ένα μεγάλο τμήμα του αρδευτικού δικτύου Σιδηροκάστρου και ενός μικρού τμήματος από το δίκτυο της Ηράκλειας (Σχήμα 1.3.).

Η θέση 8 βρίσκεται αμέσως κατάντη από τη συμβολή της τάφρου Μπέλιτσας με τη στραγγιστική τάφρο τμήματος του αρδευτικού δικτύου του ΤΟΕΒ Προβατά. Αξίζει να σημειωθεί ότι με τη στράγγιση του συγκεκριμένου τμήματος του ΤΟΕΒ Προβατά, στο οποίο παρατηρείται εκτεταμένη καλλιέργεια ρυζιού, καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό η παροχή της τάφρου Μπέλιτσας.

Η θέση 10 βρίσκεται στην έξοδο της τάφρου Μπέλιτσας, λίγο πριν από τη συμβολή της με τις πηγές του Αγίου Ιωάννη.



**Σχήμα 1.3.** Περιοχές στράγγισης ανά τελικό αποδέκτη στη λεκάνη του Στρυμόνα.

Η θέση 12 βρίσκεται στον ποταμό Στρυμόνα, πριν από τη συμβολή της τάφρου Μπέλιτσας, έτσι ώστε να απομονωθούν οι επιδράσεις στα ύδατά του από την στράγγιση των δικτύων του ΤΟΕΒ Δημητριάσιου, του βόρειου τμήματος του ΤΟΕΒ Νιγρίτας και του νότιου τμήματος του ΤΟΕΒ Προβατά (Σχήματα 1.2. και 1.3.).

Κατάντη της θέσης 12 στον ποταμό Στρυμόνα, καθορίστηκε η θέση 15, στην οποία εισρέουν ρυπαντικά φορτία από το νότιο τμήμα του δικτύου της Νιγρίτας, από το δυτικό τμήμα του αρδευτικού δικτύου του ΤΟΕΒ Δήμητρας και από τα δίκτυα του ΓΟΕΒ, που βρίσκονται εκατέρωθεν της όχθης του Στρυμόνα.

Η θέση 14 βρίσκεται επί του Αγγίτη πριν από τη συμβολή του με τον Στρυμόνα, σημείο στο οποίο περιλαμβάνεται το ρυπαντικό φορτίο από τη στράγγιση του αρδευτικού δικτύου, στο ανατολικό τμήμα του ΤΟΕΒ Δήμητρας.

Τέλος, η θέση 16, βρίσκεται στον Στρυμόνα, περίπου 2 km ανάντη του Στρυμονικού κόλπου, ο οποίος αποτελεί τον τελικό αποδέκτη όλων των ρυπαντικών φορτίων που μεταφέρονται στη λεκάνη του Στρυμόνα.

## 1.2

### Δίκτυο παρακολούθησης ποσοτικών παραμέτρων

#### 1.2.1. Δίκτυο παρακολούθησης στάθμης επιφανειακών υδάτων

Το δίκτυο παρακολούθησης της στάθμης των επιφανειακών υδάτων της λεκάνης του Στρυμόνα αποτελείται από 12 αυτόματους καταγραφείς στάθμης (σταθμηγράφοι), οι θέσεις των οποίων δίνονται στο Σχήμα 1.4.

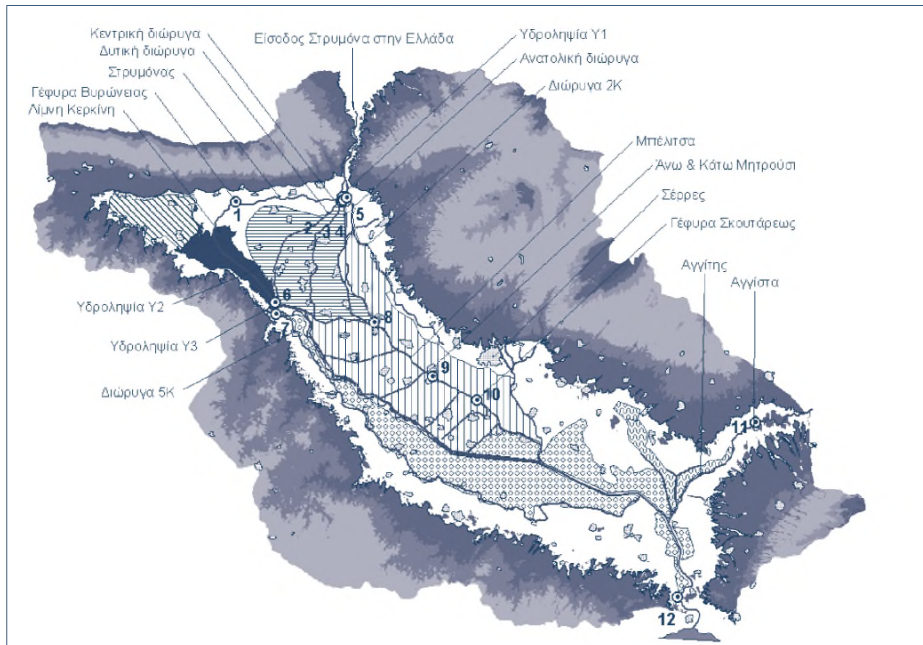
Επιπρόσθετα, για κάθε θέση στην οποία εγκαταστάθηκε σταθμηγράφος, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις παροχής για διαφορετικά βάθη ροής και παράχθηκαν οι καμπύλες στάθμης - παροχής για τις εν λόγω θέσεις. Κατά τον τρόπο αυτό, από τις καταγεγραμμένες χρονοσειρές στάθμης, υπολογίστηκαν χρονοσειρές παροχών για τις συγκεκριμένες θέσεις.

Οι χρονοσειρές δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν για τη ρύθμιση του υδρολογικού ομοιώματος της λεκάνης του Στρυμόνα, το οποίο αναπτύχθηκε με το σύστημα MIKE SHE/MIKE 11.

Οι σταθμηγράφοι ρυθμίστηκαν έτσι, ώστε να καταγράφουν τη στάθμη των υδατορευμάτων στα οποία είχαν εγκατασταθεί κάθε πέντε λεπτά.

Ο πρώτος σταθμηγράφος εγκαταστάθηκε στη γέφυρα της Βυρώνειας πριν από την είσοδο του Στρυμόνα στη λίμνη Κερκίνη και κατάντη της υδροληψίας Υ1 (Σχήμα 1.4.). Οι σταθμηγράφοι 2, 3, 4 και 5 εγκαταστάθηκαν, αντίστοιχα, στην κεφαλή των αρδευτικών διωρύγων, Δυτική, Κεντρική, Ανατολική και 2Κ, οι οποίες υδροδοτούνται από την υδροληψία Υ1. Με τη συγκεκριμένη διάταξη των σταθμηγράφων, υπολογίζονται οι παροχές νερού που εισρέουν στη λίμνη και οι παροχές των αρδευτικών δικτύων που εξυπηρετούνται από τις συγκεκριμένες διώρυγες. Από τη Δυτική διώρυγα αρδεύονται περίπου 40.000 στρέμματα, από την Κεντρική και Ανατολική περίπου 60.000 στρέμματα και από την 2Κ περίπου 70.000 στρέμματα.

Ο 6ος σταθμηγράφος εγκαταστάθηκε κατάντη της υδροληψίας Υ2, από όπου διοχετεύεται νερό στο 2ο αρδευτικό δίκτυο Σερρών, έκτασης 141.000 στρεμμάτων, το οποίο διαχειρίζεται ο ΤΟΕΒ Προβατά. Στο συγκεκριμένο δίκτυο καλλιεργούνται περίπου 35.000 στρέμματα ρυζιού, με ιδιαίτερα αυξημένες ανάγκες σε νερό.



**Σχήμα 1.4.** Θέσεις εγκατάστασης σταθμηγράφων στη λεκάνη του Στρυμόνα.

Ο 7ος σταθμηγράφος εγκαταστάθηκε στη διώρυγα 5Κ, η οποία τροφοδοτεί με νερό τα αρδευτικά δίκτυα του ΤΟΕΒ Δημητριάσιου, Νιγρίτας και ορισμένων μικρών αρδευτικών δικτύων του ΓΟΕΒ. Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις που αρδεύονται από τη διώρυγα 5Κ ανέρχονται περίπου σε 112.000 στρέμματα.

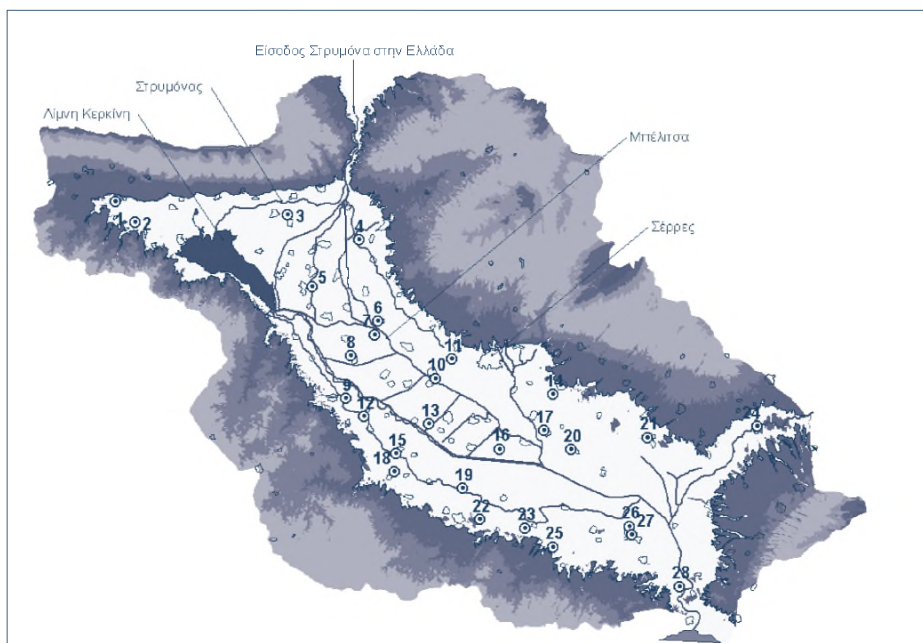
Οι σταθμηγράφοι 8, 9 και 10 έχουν εγκατασταθεί κατά μήκος της τάφρου Μπέλιτσας (Σχήμα 1.4.). Ο 8ος σταθμηγράφος εγκαταστάθηκε ανάντη της συμβολής της με την τάφρο Αναγεννήσεως, προκειμένου να καταγράψει τις αρχικές εισροές της Μπέλιτσας. Ο 9ος σταθμηγράφος εγκαταστάθηκε στη γέφυρα μεταξύ των οικισμών Άνω και Κάτω Μητρούσι, ώστε να καταγραφούν οι εισροές στράγγισης από το βόρειο τμήμα του δικτύου Προβατά, στο οποίο καλλιεργούνται, κυρίως, ρύζι και καλαμπόκι, ενώ στο τρίτο σημείο ελέγχου της παροχής της Μπέλιτσας, στη γέφυρα Σκουτάρεως εγκαταστάθηκε ο 10ος σταθμηγράφος.

Για τον έλεγχο των παροχών στον ποταμό Αγγίτη, ο 11ος σταθμηγράφος εγκαταστάθηκε κοντά στο σιδηροδρομικό σταθμό της Αγγίστας.

Τέλος, ο 12ος σταθμηγράφος εγκαταστάθηκε κοντά στις εκβολές του ποταμού Στρυμόνα στον Στρυμονικό κόλπο, στη θέση όπου, στη συνέχεια, εγκαταστάθηκε ο πρότυπος σταθμός μέτρησης της παροχής, ο οποίος αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του έργου LIFE STRYMON. Με τον συγκεκριμένο σταθμηγράφο, υπολογίστηκαν οι παροχές εξόδου του Στρυμόνα, έως την χρονική περίοδο εγκατάστασης του πρότυπου σταθμού και, στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν κατά τη δοκιμαστική λειτουργία του (Σχήμα 1.4.).

### 1.2.2. Δίκτυο παρακολούθησης στάθμης των υπόγειων υδάτων

Για την παρακολούθηση της διακύμανσης της στάθμης των υπόγειων υδάτων στην υδρολογική λεκάνη του Στρυμόνα, προσδιορίστηκε ένα δίκτυο υφιστάμενων γεωτρήσεων, αποτελούμενο από 28 γεωτρήσεις, κατανεμημένων κατά το δυνατό ομοιόμορφα σε ολόκληρη την έκταση της λεκάνης (Σχήμα 1.5.). Η συχνότητα λήψης των μετρήσεων ήταν κάθε 15 ημέρες, για διάστημα δυο ετών.



**Σχήμα 1.5.** Δίκτυο γεωτρήσεων για την παρακολούθηση της υπόγειας στάθμης στη λεκάνη του Στρυμόνα.

### 1.2.3. Δίκτυο παρακολούθησης μετεωρολογικών παραμέτρων

Το δίκτυο παρακολούθησης μετεωρολογικών παραμέτρων περιλάμβανε 10 βροχομετρικούς και έναν μετεωρολογικό σταθμό, κατανεμημένων εντός και εκτός της λεκάνης (Σχήμα 1.6.). Τα δεδομένα τα οποία λαμβάνονταν αφορούσαν ημερήσιες τιμές βροχής από όλους τους σταθμούς, καθώς και ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας, ταχύτητας ανέμου, ηλιοφάνειας και σχετικής υγρασίας, από τον μετεωρολογικό σταθμό της πόλης των Σερρών.

**Πίνακας 1.1.** Μετεωρολογικός και βροχομετρικοί σταθμοί της υδρολογικής λεκάνης του Στρυμόνα.

A/A	Θέση	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος	Υψόμετρο
1	Σέρρες	41° 05'	23° 32'	34
2	Κάτω Ορεινή	41° 12'	23° 36''	745
3	Άνω Βροντού	41° 18'	23° 41'	1.040
4	Νέα Ζίχνη	41° 02'	23° 50'	280
5	Αλιστράτη	41° 04'	23° 58'	300
6	Αηδονοχώρι	40° 50'	23° 44'	212
7	Νιγρίτα	40° 55'	23° 30'	111
8	Λιθότοπος	41° 08'	23° 13'	50
9	Άνω Πορόια	41° 18'	23° 02'	395
10	Σιδηρόκαστρο	41° 14'	23° 24'	78
11	Αχλαδοχώρι	41° 20'	23° 33'	500



## Ανάλυση και ερμηνεία δορυφορικών εικόνων για την αναγνώριση των καλλιεργειών στη λεκάνη του Στρυμόνα

### Εισαγωγή

Ο σκοπός της χρήσης της τηλεπισκόπησης στο έργο αφορούσε στην ανάλυση και ερμηνεία δορυφορικών εικόνων για την αναγνώριση της σύνθεσης των καλλιεργειών στη λεκάνη του Στρυμόνα.

Η σημασία της πληροφορίας αυτής είναι ιδιαίτερα μεγάλη, στο πλαίσιο της ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων σε μια λεκάνη απορροής, δεδομένου ότι καθορίζει τις αρδευτικές ανάγκες σε νερό, τις απολήψιμες ποσότητες από τα υδάτινα συστήματα για την κάλυψή τους και, κατ' επέκταση, τις πιέσεις που ασκούνται σε αυτά και στα οικοσυστήματά τους.

Εκτός από τα παραπάνω, ιδιαίτερης σημασίας μπορεί να θεωρηθεί και η συμβολή τους στην ποσοτική και χωρική εκτίμηση των πιέσεων που ασκούνται από τις λιπάνσεις σε επίπεδο λεκάνης απορροής, εφόσον συνδυαστούν με πληροφορίες σχετικές με τις λιπαντικές πρακτικές που εφαρμόζονται από τους γεωργούς.

Σήμερα, η τηλεπισκόπηση είναι σε θέση να προσφέρει γρήγορες, οικονομικές και αποδοτικές μεθόδους για τον προσδιορισμό της σύνθεσης των καλλιεργούμενων εκτάσεων, χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα. Στο πλαίσιο του παρόντος έργου, διερευνάται, αφενός η συγκεκριμένη δυνατότητα στη λεκάνη του Στρυμόνα και αφετέρου, το κατά πόσο η πληροφορία αυτή μπορεί να συμβάλει στην ακριβέστερη διαχείριση του αρδευτικού νερού με τη χρήση σύγχρονων συστημάτων υδρολογικής προσομοίωσης, όπως είναι το MIKE SHE.

Στη συνέχεια περιγράφονται τα δορυφορικά δεδομένα και οι πηγές λήψης τους, ο τρόπος επεξεργασίας τους, καθώς και τα προβλήματα που προέκυψαν, αλλά και ο τρόπος αντιμετώπισής τους.

### 2.1.1. Κριτήρια επιλογής κατάλληλης πηγής στοιχείων τηλεπισκόπησης

Τα κύρια κριτήρια για την επιλογή μιας κατάλληλης πηγής λήψης στοιχείων RS (Remote Sensing) είναι τα ακόλουθα:

- > Η έκταση της περιοχής μελέτης.
- > Η ελάχιστη έκταση αγροτεμαχίου που πρόκειται να προσδιοριστεί. Στην περίπτωση της λεκάνης του Στρυμόνα, όπου τα αγροτεμάχια, στην πλειονότητά τους, είναι σχετικά μικρά (10 - 20 στρέμματα), η ανάλυση των τηλεπισκοπικών δεδομένων επιδιώχθηκε να είναι της τάξης των 15 μέτρων ή μικρότερη.
- > Τα παραπάνω δεδομένα πρέπει να είναι διαθέσιμα για ανάλυση στις πρώτες ημέρες του Ιουνίου κάθε έτους.
- > Η περιοχική μελέτης πρέπει να καλυφθεί με τον μικρότερο δυνατό αριθμό τηλεπισκοπικών εικόνων, κερδίζοντας, με τον τρόπο αυτό, χρόνο προετοιμασίας, αλλά και ακρίβεια των αποτελεσμάτων από την ταξινόμησή τους.
- > Ο χρόνος λήψης μεταξύ των σκηνών κάλυψης της περιοχής μελέτης (στην περίπτωση που αυτή θα καλυφθεί από περισσότερες της μιας εικόνες) πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός.
- > Οι εικόνες πρέπει να είναι πολυφασματικές, για πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα στην ταξινόμηση.
- > Η αγορά εικόνων να καλύπτεται από τον διαθέσιμο προϋπολογισμό.

### 2.1.2. Επιλογή της κατάλληλης πηγής τηλεπισκοπικών δεδομένων

Στο πλαίσιο του έργου και λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω κριτήρια, επιλέχθηκε ο δορυφόρος SPOT-5 ως βασική πηγή τηλεπισκοπικών δεδομένων, ο οποίος, παρότι διαθέτει τα ίδια γενικά γνωρίσματα με τους προηγούμενους δορυφόρους SPOT (SPOT 1 έως 4), παρουσιάζει ορισμένες σημαντικές εξελίξεις και υπερτερεί ως προς τα ακόλουθα:

1. Κυκλική πολική τροχιά σύγχρονη με τον ήλιο.
2. Κάλυψη 60 x 60 km.
3. Ικανότητα της πλευρικής και πλάγιας κάλυψης (+/- 27 $\Gamma$  σχετικά με την κατακόρυφο), των φασματικών ζωνών B1 (πράσινο: 0.50-0.59  $\mu\text{m}$ ), B2 (κόκκινο: 0.61-0.68  $\mu\text{m}$ ), B3 (εγγύς υπέρυθρο: 0.79-0.89  $\mu\text{m}$ ), SWIR (1.58  $\mu$  1.75  $\mu\text{m}$ ) και πανχρωματικό (0.49- 0.69  $\mu\text{m}$ ).
4. Ανάλυση 10 m στο πολυφασματικό, 5 m στο πανχρωματικό, και 2.5 m μέσω δειγματοληψίας με την αποκαλούμενη διαδικασία «Supermode».
5. Διαθέτει στερεοσκοπικό όργανο υψηλής ανάλυσης για στερεοσκοπία κατά μήκος της δορυφορικής διαδρομής (επιτρέπει τη δημιουργία βελτιστοποιημένου Digital Elevation Model - DEM ).
6. Ακρίβεια της θέσης: ακριβέστερη από 50 m, χωρίς τη χρήση των σημείων επίγειου ελέγχου (GCPs).
7. Δυνατότητα παραγωγής εικόνων πλάτους 120 km.
8. Συνολική μνήμη 90 Gbits χωρίς μαγνητικές ταινίες: ικανότητα διαχείρισης μέχρι 550 σκηνών ανά ημέρα.

## 2.2

## Προμήθεια και προετοιμασία δορυφορικών δεδομένων

### 2.2.1. Προμήθεια δορυφορικών εικόνων

Οι εικόνες, οι οποίες λήφθηκαν κατά τη διάρκεια των ετών 2004 - 2007, καθώς και τα τεχνικά γνωρίσματά τους δίνονται στον Πίνακα 2.1. που ακολουθεί.

**Πίνακας 2.1.** Τεχνικά χαρακτηριστικά των επτά ζευγών δορυφορικών εικόνων της λεκάνης του Στρυμόνα.

Ζεύγος	Σκηνή	Δορυφόρος	Ανιχνευτής	Ανάλυση	Ημερομηνία λήψης	Ώρα λήψης
1	1	SPOT 4	HRVIR 2	10 m	23 Απριλίου 2004	09:44:54
1	2	SPOT 4	HRVIR 1	10 m	29 Απριλίου 2004	09:29:25
2	3	SPOT 4	HRVIR 1	10 m	25 Μαΐου 2004	09:29:34
2	4	SPOT 4	HRVIR 2	10 m	14 Ιουνίου 2004	09:45:09
3	5	SPOT 5	HRG 2	10 m	14 Ιουλίου 2004	09:41:40
3	6	SPOT 5	HRG 2	10 m	25 Αυγούστου 2004	09:34:04
4	7	SPOT 5	HRG 2	10 m	22 Ιουνίου 2005	09:43:44
4	8	SPOT 4	HRVIR 2	10 m	9 Ιουλίου 2005	09:46:14
5	9	SPOT 5	HRG 2	10 m	7 Ιουλίου 2006	09:34:14
5	10	SPOT 5	HRG 2	10 m	17 Ιουνίου 2006	09:18:50
6	11	SPOT 5	HRG 2	10 m	29 Απριλίου 2007	09:40:25
6	12	SPOT 5	HRG 2	10 m	20 Απριλίου 2007	09:13:36
7	13	SPOT 4	HRG 2	10 m	11 Ιουνίου 2007	09:44:29
7	14	SPOT 4	HRG 2	10 m	1 Ιουνίου 2007	09:36:53

Κάθε ζεύγος αποτελείται από δυο εικόνες: μία για το βόρειο τμήμα της περιοχής και μία για το νότιο. Όλες οι εικόνες λήφθηκαν προεπεξεργασμένες σε επίπεδο 1A από τη Γαλλική εταιρεία SPOT Image France. Κατά συνέπεια, υπέστησαν μια ελάχιστη ραδιομετρική διόρθωση, με την εφαρμογή ενός γραμμικού προτύπου, ώστε να αντισταθμιστούν τα σφάλματα και οι συστηματικές αποκλίσεις των οργάνων, τα οποία προκαλούνται από τις διαφορές στην ευαισθησία των στοιχειωδών ανιχνευτών του οργάνου παραγωγής των εικόνων.

### 2.2.2. Προετοιμασία τηλεπισκοπικών δεδομένων

Όλες οι παραπάνω εικόνες SPOT γαιοαναφέρθηκαν στο ελληνικό γεωδακτικό σύστημα αναφοράς EGSA'87, με χρήση του λογισμικού ERDAS IMAGINE (Έκδοση 8.4.). Για τη γαιοαναφορά, χρησιμοποιήθηκαν σημεία αναφοράς από τοπογραφικούς χάρτες κλίμακας 1:50.000 της Ελληνικής Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού. Μία πρώτου βαθμού πολυωνυμική συνάρτηση χρησιμοποιήθηκε για τους μετασχηματισμούς, λόγω της καταλληλότητας αυτής της προσέγγισης σε σχετικά επίπεδες περιοχές, όπως συμβαίνει στη λεκάνη του Στρυμόνα. Η διγραμμική (bilinear) παρεμβολή επιλέχθηκε για resampling των εικόνων, λόγω της υψηλότερης χωρικής ακρίβειας που παρέχει. Δείγμα του αποτελέσματος της παραπάνω επεξεργασίας παρουσιάζεται στις Εικόνες 2.1. και 2.2. του Παραρτήματος.

### 2.2.3. Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε

Εκτός από τις δορυφορικές εικόνες, χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος εξοπλισμός:

- > Συγκρότημα ηλεκτρονικού υπολογιστή με Pentium/2.8, 1,5GB RAM, συνολική χωρητικότητα δίσκων 300GB και λειτουργικό σύστημα Windows XP
- > ArcGis 9,0 λογισμικό GIS.
- > ArcPad V.6.0.1.
- > Erdas Imagine 8,4.
- > ArcView 3,2 με Image Analysis Extention.
- > Λογισμικό εφαρμογών γραφείου Office 2003 της Microsoft.
- > Recon Trimble υποφορητός υπολογιστής.
- > Σύστημα GPS Pertec.
- > 4MP ψηφιακή φωτογραφική μηχανή (Olympus 770).
- > Κασετόφωνο.

## Συλλογή φασματικών υπογραφών 2.3

### 2.3.1. Επισκέψεις στο πεδίο και συλλογή φασματικών υπογραφών

Οι επισκέψεις στο πεδίο για συλλογή φασματικών υπογραφών από κάθε καλλιέργεια πραγματοποιούνταν κυρίως κατά τη διάρκεια των πρώτων εβδομάδων του καλοκαιριού. Εκτός από ολόήμερες εξορμήσεις, οι οποίες γίνονταν αποκλειστικά για συλλογή φασματικών υπογραφών, πραγματοποιούνταν και αρκετές «μικρές εξορμήσεις», σε συνδυασμό με άλλες εργασίες που γίνονταν στο πλαίσιο εκπόνησης του έργου για τη συλλογή επιπλέον στοιχείων σχετικών με την έκταση και κατανομή των καλλιεργειών. Συνολικά συλλέχθηκαν περίπου 120 - 150 υπογραφές, από διαφορετικά δείγματα καλλιεργειών και για κάθε έτος. Η θέση όλων των υπογραφών καταγράφηκε χρησιμοποιώντας το σύστημα GPS, σε συνδυασμό με το λογισμικό ArcPad. Συλλέχθηκε, επίσης, πλήρες αρχείο tracklog από το GPS για κάθε εξόρμηση και με χρονικό βήμα 10 δευτερολέπτων (Παράρτημα, Εικόνα 2.3.). Επίσης, με τη χρήση κασετόφωνου, καταγράφηκαν λεπτομερείς περιγραφές των υπογραφών που συλλέγονταν.

Επιπλέον, λήφθηκε ένας μεγάλος αριθμός φωτογραφιών κατά τη διάρκεια κάθε επίσκεψης ως πρόσθετη πληροφορία για τις φασματικές υπογραφές των καλλιεργειών. Ο Πίνακας 2.2. αποτελεί δείγμα των υπογραφών που συλλέχθηκαν σε μια εξόρμηση συλλογής φασματικών υπογραφών κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2006 για κάθε καλλιέργεια.

**Πίνακας 2.2.** Αριθμός δειγμάτων ανά καλλιέργεια από μια εξόρμηση το 2006.

Καλλιέργεια	Αριθμός δειγμάτων
Αραβόσιτος	27
Καπνός	8
Βαμβάκι	31
Μηδική	17
Ρύζι	7
Λεύκες	6
Ζαχαρότευτλα	18
Σίτος	5
Ντομάτες	3
Ελαιώνες	5
Καρυδιές	2
Αμυγδαλιές	5

### 2.3.2. Συλλογή και προετοιμασία βοηθητικών δεδομένων

Οι δορυφορικές εικόνες και οι φασματικές υπογραφές δεν είναι αρκετές για μια επιτυχή ταξινόμηση της εικόνας. Υπάρχει πάντοτε η ανάγκη για ορισμένα επιπλέον βοηθητικά στοιχεία, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως γενικό υπόβαθρο ή για ορισμένες εξειδικευμένες διαδικασίες κατά τη διάρκεια της συλλογής των φασματικών υπογραφών, της προετοιμασίας των δορυφορικών εικόνων και της διαδικασίας της ταξινόμησης. Μια λεπτομερής περιγραφή των βοηθητικών αυτών στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στο έργο παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.3.

**Πίνακας 2.3.** Βοηθητικά δεδομένα για επιτυχή ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων

Δεδομένα	Πηγή	Προετοιμασία	Χρήση
Τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000	Ελληνική Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού	Σάρωση 16 χαρτών σε 300dpi Γαιοαναφορά Σύνθεση ενοποιημένου υποβάθρου της περιοχής μελέτης	Γενικό υπόβαθρο Χάρτης προσανατολισμού Ψηφιοποίηση βοηθητικών στοιχείων (χωριά, ρεύματα κ.λπ.)
Ψηφιακό ομοίωμα ανάγλυφου (DEM)	EKBY	Παρεμβολή υδρολογικών και τοπογραφικών στοιχείων	Διόρθωση Γενικό Υπόβαθρο Ορθογαιοαναφορά
Corine Landcover	Αρχείο EKBY		Πρόσθετες βασικές πληροφορίες

### 2.4.1. Βήματα που ακολουθήθηκαν

- > **Ψηφιοποίηση λεπτομερέστερων ορίων της περιοχής μελέτης.** Εξαίρεση περιοχών χωρίς καλλιέργειες, οι οποίες θα μπορούσαν να αλλοιώσουν τα αποτελέσματα της διαδικασίας ταξινόμησης και εισαγωγή περιοχών με καλλιέργειες, οι οποίες αποκλείστηκαν κατά τη διάρκεια της προκαταρκτικής οριοθέτησης της περιοχής μελέτης.
- > **Εξαίρεση κατοικημένων και μη καλλιεργούμενων περιοχών.** Εξαίρεση των αστικών περιοχών και των περιοχών χωρίς καλλιέργειες.
- > **Εξαίρεση περιοχών που καλύπτονται από νερό και νεφοσκεπών περιοχών.** Εξαίρεση των περιοχών που καλύπτονται από τα σύννεφα και τις σκιές τους, καθώς και των περιοχών που καλύπτονται με νερό, όπως η λίμνη Κερκίνη και ο Στρυμόνας.
- > **Εξαίρεση ορυζώνων.** Οι ορυζώνες μπορούν εύκολα να οριοθετηθούν (Παράρτημα, Εικόνα 2.4.), χρησιμοποιώντας μια απλή, μη επιβλεπόμενη, ταξινόμηση ή με άμεση ψηφιοποίηση των ορίων τους από τη δορυφορική εικόνα, όπου οι εκτάσεις τους, όταν είναι κατακλυσμένοι με νερό, είναι εμφανείς.
- > **Επιβλεπόμενη ταξινόμηση.** Οι υπόλοιπες καλλιέργειες εντοπίστηκαν με τη χρήση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

### 2.4.2. Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Η διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

1. Επιλογή της κατηγορίας που πρόκειται να εξαιρεθεί πρώτη (εντοπίζεται ευκολότερα από τις υπόλοιπες), με βάση τις διαθέσιμες φασματικές υπογραφές και με μερικές δοκιμές ταξινόμησης.
2. Εκτέλεση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, βασισμένης στις φασματικές υπογραφές της συγκεκριμένης καλλιέργειας.
3. Αξιολόγηση της ακρίβειας της προηγούμενης ταξινόμησης.
4. Διορθώσεις και ρυθμίσεις των υπογραφών και της θέσης τους.
5. Επανάληψη από το βήμα 2, έως ότου επιτευχθεί η αξιολόγηση με τη μεγαλύτερη ακρίβεια.
6. Παραγωγή του διανυσματικού αρχείου των πολυγώνων της καλλιέργειας που εντοπίστηκαν.
7. Αφαίρεση από τη δορυφορική εικόνα των εικονοστοιχείων τα οποία αντιστοιχούν στην καλλιέργεια που εντοπίστηκε.
8. Επανάληψη των προηγούμενων βημάτων (1 - 7) στα υπόλοιπα εικονοστοιχεία της εικόνας, για την αναγνώριση και των υπόλοιπων καλλιεργειών.
9. Μετά από την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας, τα εικονοστοιχεία που απομένουν, δεν αντιπροσωπεύουν καμία από τις καλλιέργειες για τις οποίες συλλέχθηκαν φασματικές υπογραφές.

Τα αποτελέσματα (σύνθεση και χωρική κατανομή των καλλιεργειών), για κάθε έτος, παράχθηκαν σε τρεις μορφές:

- > Ως **συγκεντρωτική πληροφορία**, σε μορφή πίνακα, με τις καλλιέργειες, την έκταση που καλύπτουν και την αντίστοιχη αξιολόγηση της ακρίβειας ταξινόμησης (Πίνακας 2.4.).
- > Ως **αρχεία GIS**, με την ακριβή χωρική αναφορά για κάθε καλλιέργεια.
- > Ως **χάρτης χωρικής κατανομής καλλιεργειών**, (Παράρτημα, Εικόνα 2.5. α, β, γ).

**Πίνακας 2.4.** Χωρική κατανομή των καλλιεργειών στη λεκάνη του Στρυμόνα το έτος 2006.

A/A	Καλλιέργεια	Έκταση (ha)	Αξιολόγηση της ακρίβειας ταξινόμησης (%)
1	Αραβόσιτος	31.796	93
2	Καπνός	8.58	70
3	Βαμβάκι	35.439	68
4	Μηδική	7.702	77
5	Ρύζι	4.228	100
6	Λεύκες	6.575	96
7	Ζαχαρότευτλα	1.427	76
8	Ντομάτες	2.488	55
9	Ελαιώνες	2.853	65
10	Αμυγδαλιές	10.366	60

Τα κυριότερα συμπεράσματα από την εφαρμογή των φασματικών υπογραφών στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, οι δυσκολίες που προέκυψαν, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο αντιμετωπίστηκαν παρατίθενται στη συνέχεια.

Όσον αφορά στον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε GPS με δυνατότητα παραγωγής αρχείων ημερολογίου διαδρομής (tracklog) και από ένα κασετόφωνο εγγραφής προφορικών περιγραφών κατά τη διάρκεια των επισκέψεων στο πεδίο, αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματικός στη διαδικασία καταγραφής, αξιολόγησης και μεταφοράς των υπογραφών από το πεδίο στον Η/Υ. Το πρόβλημα που προέκυψε ήταν ότι, για ορισμένες καλλιέργειες δεν ήταν δυνατό να συλλεχθούν αρκετές φασματικές υπογραφές, ώστε η ταξινόμησή τους να είναι αποτελεσματική (με υψηλό δείκτη ακρίβειας). Αυτό συνέβη στις περιπτώσεις των καλλιεργειών οι οποίες δεν εμφανίζονταν συχνά και ήταν δύσκολο να εντοπιστούν. Τέτοιες, ήταν οι περιπτώσεις της καρδιάς, της πατάτας, των λαχανικών και των ελαιώνων. Το πρόβλημα γινόταν οξύτερο όταν τα αντίστοιχα αγροτεμάχια από τα οποία συλλέγονταν οι υπογραφές είχαν μικρή έκταση. Λύση στο πρόβλημα θα μπορούσε να είναι η σχολαστική αναζήτηση των συγκεκριμένων καλλιεργειών κατά την συλλογή των υπογραφών, με αντίστοιχες βέβαια επιπτώσεις στον απαιτούμενο χρόνο για την υλοποίηση της δράσης. Σε αντίστοιχες περιπτώσεις, είναι ίσως προτιμότερο οι καλλιέργειες αυτές να αποκλείονται εντελώς από τη διαδικασία της ταξινόμησης, δεδομένης της περιορισμένης έκτασης που καλύπτουν και, κατ' επέκταση, του μικρού ρόλου τους στο υδατικό ισοζύγιο ολόκληρης της λεκάνης.

Ένα σημαντικό πρόβλημα που εντοπίστηκε, το οποίο βέβαια δεν σχετίζεται με τη χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία, αλλά με τα δορυφορικά δεδομένα, είναι ότι ο συνδυασμός δυο σκηνών (π.χ. βόρειο και νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης) για την παραγωγή μιας εικόνας για ολόκληρη την περιοχή, είναι πρακτικά αδύνατος.

Ο κύριος λόγος είναι ότι οι δυο σκηνές λαμβάνονται, συνήθως, με μια χρονική υστέρηση λίγων ημερών, σε μια περίοδο γρήγορης αύξησης των καλλιεργούμενων φυτών. Κατά συνέπεια, έχουν αρκετά διαφορετικές τιμές εικονοστοιχείου για τις ίδιες καλλιέργειες, γεγονός το οποίο δεν επιτρέπει τη δημιουργία ενός μόνο και αξιόπιστου μωσαϊκού των δυο σκηνών. Μια λύση στο πρόβλημα θα ήταν, κατά την παραγγελία των δορυφορικών εικόνων, να προβλέπεται και η μέγιστη επιθυμητή χρονική υστέρηση μεταξύ δυο σκηνών (π.χ. αυτή να μην υπερβαίνει τις 3 ημέρες). Αυτό βέβαια δεν είναι πάντα δυνατό και μπορεί να επηρεαστεί από τις διαθέσιμες επιλογές προγραμματισμού του δορυφόρου, της κάλυψης των νεφών, και του προμηθευτή της εικόνας (Leica Geosystems, Φασματική Ανάλυση 2002, Erdas).

Προβλήματα, επίσης, προέκυψαν και στον διαχωρισμό ορισμένων καλλιεργειών, όπως μεταξύ του καπνού, του βαμβακιού και των ζαχαρότευτλων. Ουσιαστική λύση στο πρόβλημα θα μπορούσε να δώσει η ύπαρξη και δεύτερου επιπέδου δορυφορικών εικόνων, με χρονική διαφορά της τάξης των 30 έως 40 ημερών, όπου, μέσω της διαδικασίας ανίχνευσης αλλαγής, θα ήταν δυνατή η αξιοποίηση των πρόσθετων αυτών επιπέδων πληροφοριών και η επίτευξη καλύτερου διαχωρισμού των υπό διερεύνηση κλάσεων. Η προσέγγιση αυτή επιχειρήθηκε για τις εικόνες του έτους 2006. Δυστυχώς όμως, λόγω του υψηλού ποσοστού νεφοκάλυψης που παρατηρήθηκε την περίοδο ενδιαφέροντος, δεν ήταν εφικτή η απόκτηση και αξιοποίηση και ενός δεύτερου ζεύγους εικόνων.

Η καλλιέργεια της μηδικής αποτελεί μια πολύ ειδική περίπτωση ως προς την αναγνώρισή της με τηλεπισκοπικές μεθόδους, επειδή δεν έχει σταθερή ή σχεδόν σταθερή τιμή εικονοστοιχείου στην ίδια περιοχή και στην ίδια χρονική στιγμή. Αυτό συμβαίνει επειδή είναι δυνατόν (και πολύ συνηθισμένο), την ίδια χρονική στιγμή, κάποια αγροτεμάχια με μηδική να έχουν θεριστεί (οπότε η ανάκλαση εικονοστοιχείου είναι παρόμοια με αυτή του γυμνού εδάφους), ενώ σε κάποια άλλα το φυτό να είναι σε πλήρη ή μερική ανάπτυξη.

Προβλήματα, επίσης, διαχωρισμού, είναι δυνατό να προκύψουν και μεταξύ των θερισμένων σιταροχώραφων, των ακαλλιεργητων περιοχών και των αγροτεμαχίων με πρόσφατα συγκομισμένη μηδική. Αυτό συμβαίνει επειδή οι συγκεκριμένοι τύποι εδαφοκάλυψης έχουν παρόμοιες φασματικές υπογραφές. Και σε αυτή την περίπτωση, ως μόνη και πρακτική λύση φαίνεται να είναι η χρήση δυο ή περισσότερων επιπέδων δορυφορικών εικόνων με εφαρμογή της διαχρονικής ανίχνευσης αλλαγών, όπως περιγράφηκε προηγουμένως. (Leica Geosystems 2002, Erdas Imagine Tour Guide και Leica Geosystems 2002, Erdas Imagine Field Guide ).

Τέλος, από μεθοδολογική άποψη, είναι σκόπιμο να απαντηθούν και να διευκρινισθούν από τον μελλοντικό ερευνητή (προτού ξεκινήσει τη διαδικασία ταξινόμησης σε αντίστοιχα έργα) τα ακόλουθα ερωτήματα:

- > Είναι απαραίτητη η γνώση της χωρικής κατανομής όλων των καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης;
- > Εάν όχι, ποιες από τις καλλιέργειες μπορούν να εξαιρεθούν από την ταξινόμηση;
- > Δίνεται η δυνατότητα διαχωρισμού της περιοχής μελέτης σε ζώνες, ανάλογα με την επιδιωκόμενη ακρίβεια ταξινόμησης ανά καλλιέργεια;

Θετικές απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα, θα διευκόλυναν, σε μεγάλο βαθμό, τη διαδικασία της ταξινόμησης, ενώ θα βελτίωναν πολύ και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.



---

## 2<sup>ου</sup> Βιβλιογραφία Κεφαλαίου

Leica Geosystems 2002. Erdas Imagine Tour Guide. GIS and mapping division. Atlanta Georgia USA. 706p.

Leica Geosystems 2002. Erdas Imagine Field Guide. GIS and mapping division. Atlanta Georgia USA. 686p.

Leica Geosystems 2002. Erdas Spectral Analysis. GIS and mapping division. Atlanta Georgia USA. 234p.

Chalkidis, I., D. Papadimos, Ch. Mertzianis. 2004. Water quality and hydrological regime monitoring network. Greek Biotope/Wetland Centre (EKBY). Thermi, Greece. 21p.

Hatziordanou, Eleni, D. Papadimos. 2004. SHYLOC Implementation in Strymonas Basin - Volume 1. Greek Biotope/Wetland Centre (EKBY). Thermi, Greece. 52p.

## Εφαρμογή του λογισμικού SHYLOC στη λεκάνη του ποταμού Στρυμόνα

### Εισαγωγή

Για την αποτελεσματική εγκατάσταση και παραμετροποίηση του υδρολογικού ομοιώματος που αναπτύσσεται στη λεκάνη του Στρυμόνα, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός ορισμένων παραμέτρων του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής.

Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι να εξεταστεί η δυνατότητα εφαρμογής τηλεπισκοπικών μεθόδων για την εκτίμηση της στάθμης του νερού σε ορισμένες θέσεις του αρδευτικού δικτύου της λεκάνης του ποταμού Στρυμόνα. Πιο συγκεκριμένα, διαχρονικές δορυφορικές εικόνες που καλύπτουν την ευρύτερη περιοχή της λεκάνης, χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του πλάτους του νερού των τάφρων, στις θέσεις όπου υπάρχουν εγκατεστημένοι σταθμηγράφοι. Τα πλάτη των τάφρων που υπολογίστηκαν από την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων, συσχετίστηκαν με τις καταγραφές των σταθμηγράφων, κατά την ίδια χρονική στιγμή με τη λήψη των δορυφορικών εικόνων.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων και τον υπολογισμό του πλάτους του νερού, είναι το SHYLOC. Η σύνθεση των δορυφορικών δεδομένων με τα δεδομένα του υδρογραφικού δικτύου και η εφαρμογή κατάλληλων αλγορίθμων στο SHYLOC οδήγησε στην εκτίμηση του πλάτους και του εμβαδού του νερού σε συγκεκριμένες διατομές του αρδευτικού δικτύου της λεκάνης του Στρυμόνα.

Από τις γραμμικές συσχετίσεις των εκτιμώμενων πλατών με τις μετρούμενες στάθμες, εξετάστηκε η καταλληλότητα διαφόρων μεθόδων στον υπολογισμό των τιμών της στάθμης του νερού σε οποιαδήποτε θέση της τάφρου, με σκοπό την εισαγωγή των τιμών αυτών στο λογισμικό υδρολογικής προσομοίωσης για την παραμετροποίηση του υδρολογικού ομοιώματος.

## 3.1 Μέθοδος

Η μέθοδος περιλάμβανε την εγκατάσταση συστήματος παρακολούθησης ποσοτικών παραμέτρων σε συγκεκριμένες διατομές του αρδευτικού δικτύου της λεκάνης, τη λήψη και επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων, την εφαρμογή αλγορίθμων υπολογισμού του πλάτους του νερού των τάφρων στο SHYLOC, την εκτίμηση της στάθμης του νερού των τάφρων, τη συσχέτιση των εκτιμώμενων τιμών της στάθμης με τις μετρούμενες τιμές της στάθμης, καθώς και τη συσχέτιση των εκτιμώμενων τιμών του πλάτους του νερού με τις μετρούμενες τιμές της στάθμης.

### 3.1.1. Εγκατάσταση συστήματος παρακολούθησης ποσοτικών παραμέτρων

Για την αποτελεσματική διαχείριση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και την παραμετροποίηση του συστήματος προσομοίωσης του ποταμού Στρυμόνα, εγκαταστάθηκε στην περιοχή σύστημα παρακολούθησης ποσοτικών παραμέτρων (Χαλκίδης κ.ά. 2004), το οποίο αποτελείται από 12 σταθμηγράφους. Οι σταθμηγράφοι παρέχουν συνεχώς δεδομένα στάθμης νερού για 12 διατομές του αρδευτικού δικτύου της λεκάνης του ποταμού Στρυμόνα (Παράρτημα, Εικόνα 3.1.).

### 3.1.2. Λήψη και επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων

Η επιλογή των κατάλληλων δορυφορικών εικόνων βασίστηκε στη χωρική τους ανάλυση, στη δυνατότητα κάλυψης ολόκληρης της περιοχής μελέτης και στην ικανότητα διάκρισης των υδάτινων επιφανειών από τις εδαφικές. Ο δορυφόρος που ικανοποιούσε περισσότερο τις παραπάνω ανάγκες είναι ο Γαλλικός δορυφόρος SPOT (Satellite Pour l' Observation de la Terre), ο οποίος και επιλέχθηκε για τη λήψη των εικόνων. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα του δορυφόρου SPOT είναι η δυνατότητα προγραμματισμού λήψης εικόνων κατά παραγγελία. Κατά αυτόν τον τρόπο, λήφθηκαν σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους, 14 συνολικά πολυφασματικές εικόνες SPOT που καλύπτουν ολόκληρη την περιοχή μελέτης (Πίνακας 3.1. και Εικόνα 3.2. του Παραρτήματος). Η λήψη πραγματοποιήθηκε την άνοιξη και το καλοκαίρι των ετών 2004, 2005, 2006 και 2007, προκειμένου να εξασφαλιστεί η καθαρότητα των εικόνων και να αποφευχθεί η παρουσία σύννεφων και πάγου σε αυτές. Συγκεκριμένα, αγοράστηκαν 7 σετ εικόνων, καθένα από τα οποία περιλαμβάνει δυο σκηνές που καλύπτουν το βορειοανατολικό και το νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης.

Οι δορυφορικές εικόνες ήταν ήδη διορθωμένες ραδιομετρικά (επίπεδο επεξεργασίας: 1A). Οι γεωμετρικές διορθώσεις που εφαρμόστηκαν στις εικόνες περιλάμβαναν τη γεωαναφορά τους, ως προς το διεθνές γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς συντεταγμένων WGS 84 (World Geodetic System 1984).

**Πίνακας 3.1.** Τεχνικά χαρακτηριστικά και ακριβείς ημερομηνίες και ώρες λήψης των δορυφορικών εικόνων.

Ζεύγος	Σκηνή	Δορυφόρος	Ανιχνευτής	Ανάλυση	Ημερομηνία λήψης	Ώρα λήψης
1	1	SPOT 4	HRVIR 2	10 m	23 Απριλίου 2004	09:44:54
1	2	SPOT 4	HRVIR 1	10 m	29 Απριλίου 2004	09:29:25
2	3	SPOT 4	HRVIR 1	10 m	25 Μαΐου 2004	09:29:34
2	4	SPOT 4	HRVIR 2	10 m	14 Ιουνίου 2004	09:45:09
3	5	SPOT 5	HRG 2	10 m	14 Ιουλίου 2004	09:41:40
3	6	SPOT 5	HRG 2	10 m	25 Αυγούστου 2004	09:34:04
4	7	SPOT 5	HRG 2	10 m	22 Ιουνίου 2005	09:43:44
4	8	SPOT 4	HRVIR 2	10 m	9 Ιουλίου 2005	09:46:14
5	9	SPOT 5	HRG 2	10 m	17 Ιουνίου 2006	09:18:50
5	10	SPOT 5	HRG 2	10 m	7 Ιουλίου 2006	09:34:14
6	11	SPOT 5	HRG 2	10 m	20 Απριλίου 2007	09:13:36
6	12	SPOT 5	HRG 2	10 m	29 Απριλίου 2007	09:40:25
7	13	SPOT 4	HRVIR 2	10 m	1 Ιουνίου 2007	09:36:53
7	14	SPOT 4	HRVIR 1	10 m	11 Ιουνίου 2007	09:44:29

### 3.1.3. Εφαρμογή αλγορίθμων υπολογισμού του πλάτους του νερού των διατομών στο SHYLOC

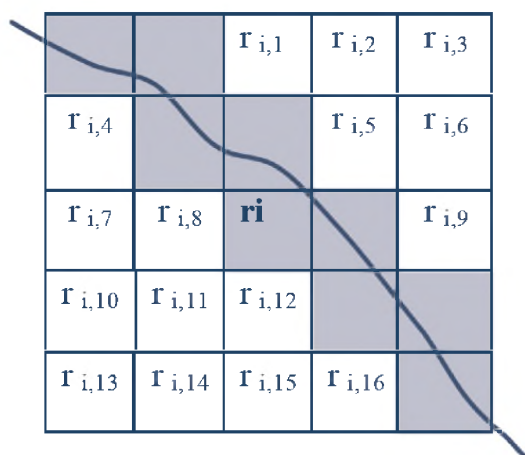
Για την εφαρμογή των αλγορίθμων υπολογισμού του πλάτους του νερού των διατομών στο SHYLOC, χρησιμοποιήθηκαν οι πολυφασματικές εικόνες SPOT των ετών 2004, 2005, 2006 και 2007 (σε αρχεία τύπου bitmap), το διανυσματικό αρχείο που προέκυψε από την ψηφιοποίηση του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης (σε αρχείο τύπου shapefile), καθώς και τα διανυσματικά αρχεία που οριοθετούν τις διατομές των τάφρων όπου εγκαταστάθηκαν σταθμογράφοι (σε αρχεία τύπου DXF) (Παράρτημα, Εικόνα 3.3.).

Από τις πολυφασματικές εικόνες SPOT, χρησιμοποιήθηκε μόνο το τέταρτο φασματικό κανάλι (Short Wave Infrared), λόγω της ικανότητάς του να διακρίνει τις υδάτινες από τις εδαφικές επιφάνειες, εξαιτίας της πολύ διαφορετικής ανάκλασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εμφανίζει το νερό από το έδαφος σε αυτή τη φασματική ζώνη.

Η τιμή αναφοράς της ανάκλασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του καθαρού νερού (pure water reference value,  $W$ ) ήταν σταθερή ανά εικόνα. Αντίθετα, η τιμή αναφοράς της ανάκλασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του εδάφους (land reference value,  $L_i$ ), υπολογίστηκε από το λογισμικό για κάθε εικόνα και κάθε μια από τις διατομές ξεχωριστά, χρησιμοποιώντας 8 μεθόδους υπολογισμού:

1. moving average 5x5
2. moving average 3x3
3. fixed average inside boundary
4. maximum average inside boundary
5. fixed average in 1 nearest pixel
6. maximum average in 1 nearest pixel
7. fixed average in 2 nearest pixels
8. maximum average in 2 nearest pixels

Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκαν και οι 8 μέθοδοι υπολογισμού της τιμής αναφοράς του εδάφους ήταν για να εξεταστεί η καταλληλότητα της εφαρμογής κάθε μεθόδου στις συσχετίσεις των τιμών της στάθμης που προέκυψαν από το SHYLOC με τις μετρούμενες. Δεδομένων αυτών των τιμών αναφοράς, ο αλγόριθμος του SHYLOC εφαρμόστηκε για την αναγνώριση των εικονοστοιχείων των δορυφορικών εικόνων, τα οποία φέρουν νερό (ditch carrying pixels) και για την εξαγωγή των στοιχείων του πλάτους του νερού μέσω του υπολογισμού του δείκτη DI (Ditch Index). Ο δείκτης DI υπολογίζεται στο SHYLOC με βάση την επί τοις εκατό περιεκτικότητα σε νερό του κάθε εικονοστοιχείου. Η υπέρθεση του γεωγραφικού αρχείου του υδρογραφικού δικτύου στη δορυφορική εικόνα χρησιμοποιείται για την επιλογή των εικονοστοιχείων που περιέχουν νερό (Σχήμα 3.1.).



**Σχήμα 3.1.** Σχηματική αναπαράσταση εικονοστοιχείων που φέρουν νερό (με γαλάζιο χρώμα) και που διασχίζονται από το γεωγραφικό αρχείο του υδρογραφικού δικτύου (συνεχής, μπλε γραμμή).

Η επί τοις εκατό περιεκτικότητα σε νερό του κάθε εικονοστοιχείου παρουσιάζεται και στην οθόνη του λογισμικού, με κατάλληλο χρωματισμό των εικονοστοιχείων που περιέχονται στην οριοθετημένη περιοχή γύρω από τον κάθε σταθμηγράφο (Παράρτημα, Εικόνα 3.4.). Όσο πιο σκούρα απόχρωση του μπλε εμφανίζει ένα εικονοστοιχείο στην οθόνη, τόσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητά του σε νερό. Τα πορτοκαλί εικονοστοιχεία αντιστοιχούν σε μηδενική περιεκτικότητα νερού (Παράρτημα, Εικόνα 3.3.).

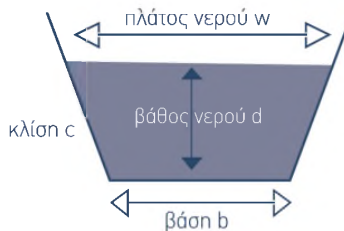
Στη συνέχεια, το λογισμικό υπολογίζει το συνολικό μήκος της τάφρου που περιλαμβάνεται σε μια ορισμένη περιοχή γύρω από κάθε σταθμηγράφο. Τότε, το πλάτος του νερού της τάφρου (σε μέτρα) υπολογίζεται διαιρώντας το εμβαδόν της υδάτινης επιφάνειας όλων των εικονοστοιχείων που περιλαμβάνονται στην οριοθετημένη περιοχή γύρω από κάθε σταθμηγράφο, με το μήκος της τάφρου.

### 3.1.4. Εφαρμογή αλγορίθμων υπολογισμού του πλάτους του νερού των διατομών στο SHYLOC

Η στάθμη του νερού των διατομών εκτιμήθηκε από τις τιμές του πλάτους του νερού που υπολογίστηκαν από το SHYLOC, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι περισσότεροι σταθμηγράφοι είναι εγκατεστημένοι σε τάφρους που έχουν τραπεζοειδές σχήμα και ότι οι κλίσεις και το μήκος της βάσης τους σε μέτρα είναι γνωστά (Πίνακας 3.2.). Το Σχήμα 3.2. παρουσιάζει μια τάφρο τραπεζοειδούς διατομής που είναι υποθετικά γεμάτη με νερό και της οποίας η κλίση, η μικρή βάση και η μεγάλη βάση (πλάτος νερού που εκτιμάται από το SHYLOC) είναι γνωστά.

**Πίνακας 3.2.** Κλίσεις των πλευρικών τοιχωμάτων και διαστάσεις της κάτω βάσης των τραπεζοειδών συμπαγών τάφρων όπου είναι εγκατεστημένοι οι σταθμηγράφοι 2 έως 7.

Αριθμός σταθμηγράφου	Κλίση (c)	Βάση (b)
2	1	1.5
3	1.49	0.6
4	1.55	0.6
5	1.5	2
6	2	23.6
7	1.53	4.8



**Σχήμα 3.2.** Σχηματική αναπαράσταση τάφρου τραπεζοειδούς διατομής.

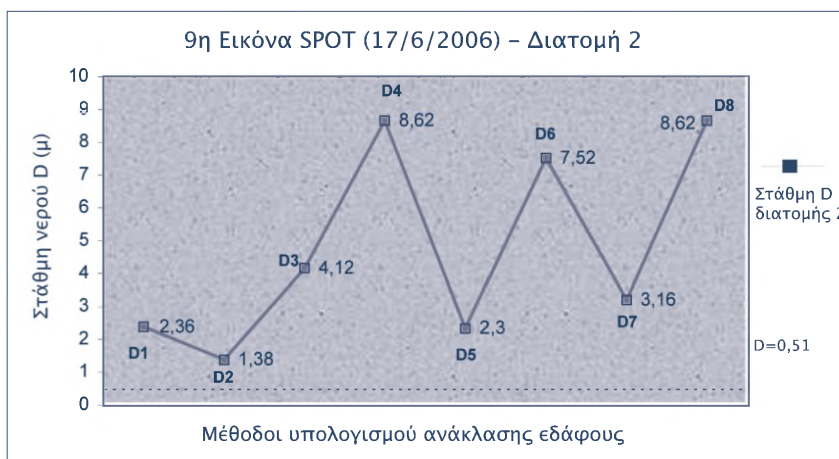
Οι σταθμηγράφοι 2, 3, 4, 5, 6 και 7 είναι εγκατεστημένοι σε τραπεζοειδούς σχήματος συμπαγείς τάφρους, με γνωστή γεωμετρία (κλίση και βάσεις). Έτσι, τα πλάτη του νερού που προέκυψαν από την εφαρμογή του SHYLOC σε αυτές τις τάφρους, μπόρεσαν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της στάθμης του νερού των διατομών. Αντίθετα, οι σταθμηγράφοι 9, 10, 11 και 12 είναι εγκατεστημένοι σε χωμάτινες τάφρους που δεν διαθέτουν σταθερές διατομές. Έτσι, η εφαρμογή του SHYLOC σε αυτές τις τάφρους δεν χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της στάθμης του νερού των διατομών. Επίσης, το SHYLOC δεν εφαρμόστηκε καθόλου στις τάφρους όπου είναι εγκατεστημένοι οι σταθμηγράφοι 1 και 8, καθώς ο σταθμηγράφος 1 είναι εγκατεστημένος σε ορθογώνια τάφρο, ενώ ο σταθμηγράφος 8 δεν ανιχνεύτηκε από τους δορυφόρους.

### 3.1.5. Συσχέτιση των εκτιμώμενων τιμών του πλάτους και της στάθμης του νερού με τις μετρούμενες τιμές της στάθμης

Οι τιμές της στάθμης του νερού που προέκυψαν από το SHYLOC συσχετίστηκαν με τις μετρούμενες τιμές της στάθμης. Αυτό συντέλεσε στη σύγκριση της αποτελεσματικότητας της κάθε μεθόδου υπολογισμού της τιμής ανάκλασης του εδάφους. Στη συνέχεια, τα πλάτη του νερού που υπολογίστηκαν από το SHYLOC συσχετίστηκαν με τις τιμές της στάθμης που μετρήθηκαν από τους σταθμηγράφους.

## 3.2 Αποτελέσματα

Οι συσχετίσεις των τιμών της στάθμης του νερού που προέκυψαν από το SHYLOC με τις τιμές της στάθμης που μετρήθηκαν από τους σταθμηγράφους δεν ακολουθούν κάποια κανονικότητα. Οι αποκλίσεις των τιμών είναι ανεξάρτητες από τη μέθοδο υπολογισμού της ανάκλασης του εδάφους. Για παράδειγμα, το Σχήμα 3.3. απεικονίζει την απόκλιση των τιμών της στάθμης της διατομής 2 που προέκυψαν από το SHYLOC με τις 8 μεθόδους υπολογισμού της τιμής ανάκλασης του εδάφους, με την τιμή της στάθμης που μετρήθηκε από τον σταθμηγράφο. Η επάνω εικόνα αφορά στην ημερομηνία λήψης της 9ης εικόνας SPOT (17 Ιουνίου 2006), ενώ η κάτω εικόνα στην ημερομηνία λήψης της 7ης εικόνας SPOT (22 Ιουνίου 2005).





**Σχήμα 3.3.** Οι τιμές της στάθμης της διατομής 2 που προέκυψαν από το SHYLOC με 8 μεθόδους υπολογισμού της ανάκλασης του εδάφους. Η διάστικτη μπλε γραμμή συμβολίζει τη στάθμη που μετρήθηκε κατά την ημερομηνία λήψης της 9ης (επάνω) και 7ης (κάτω) εικόνας SPOT.

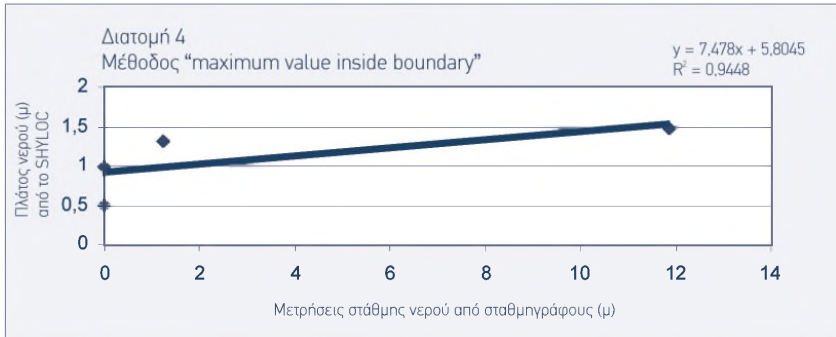
Οι μέθοδοι υπολογισμού της ανάκλασης του εδάφους που έδωσαν μεγαλύτερες αποκλίσεις μεταξύ της στάθμης του νερού που εκτιμήθηκε από το SHYLOC και της μετρούμενης ήταν η maximum value inside boundary, η maximum value in 1 nearest pixel και η maximum value in 2 nearest pixels. Περισσότερο αποτελεσματικές αποδείχθηκαν οι μέθοδοι moving average 3x3 window και fixed average in 1 nearest pixel. Παρόλα αυτά, σε μερικές περιπτώσεις (π.χ. διατομές 3 και 6) καμία από τις μεθόδους υπολογισμού εδάφους δεν αποδείχθηκε αποτελεσματική. Σε μερικές, μάλιστα, η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε (moving average 3x3 window) έδωσε αρνητική τιμή στάθμης. Ο Πίνακας 3.3., παρουσιάζει τις μεθόδους υπολογισμού της ανάκλασης του εδάφους που βρέθηκαν να είναι οι πλέον κατάλληλες για τον υπολογισμό των τιμών της στάθμης του νερού για τις διατομές 2 έως 7, από την εφαρμογή του SHYLOC στην 9η εικόνα SPOT. Το σύμβολο \* χρησιμοποιείται για να επισημάνει τις πιο κατάλληλες μεθόδους, ενώ τα κενά κελιά, τις μεθόδους που δεν έδωσαν ικανοποιητικές συσχετίσεις.

**Πίνακας 3.3.** Αποτελεσματικότητα μεθόδων υπολογισμού της ανάκλασης του εδάφους για τον υπολογισμό της στάθμης του νερού στις διατομές 2 έως 7, από την εφαρμογή του SHYLOC στην 9η εικόνα SPOT.

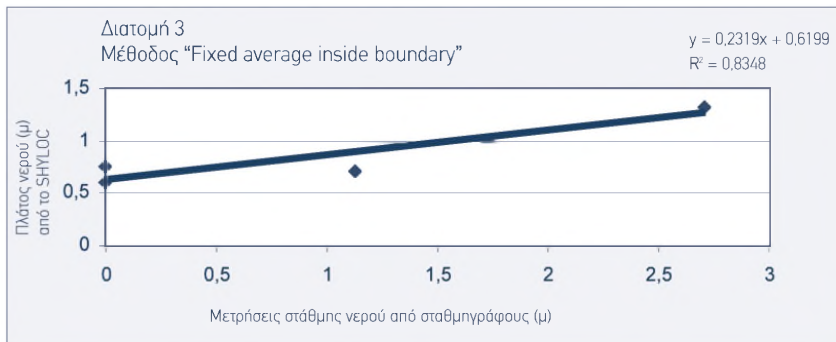
9η ΕΙΚΟΝΑ SPOT								
Διατομή	Μέθοδοι υπολογισμού ανάκλασης εδάφους							
	Moving average 5x5 window	Moving average 3x3 window	Fixed average inside boundary	Maximum value inside boundary	Fixed average in 1 nearest pixel	Maximum value in 1 nearest pixel	Fixed average in 2 nearest pixels	Maximum value in 2 nearest pixels
2		*						
3								
4		*						
5	*		*		*			
6								
7		*			*			



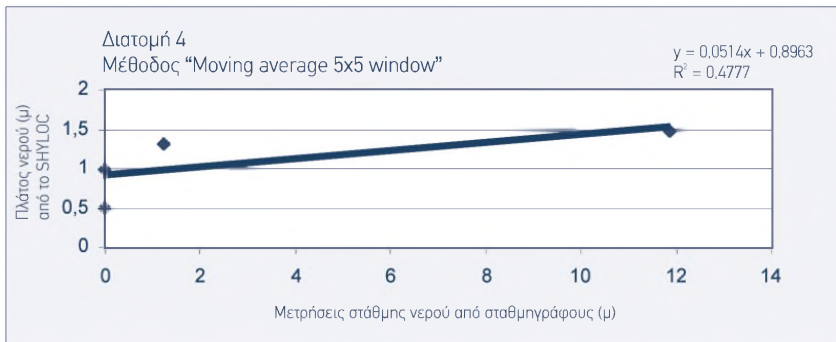
Οι γραμμικές συσχετίσεις μεταξύ των τιμών του πλάτους του νερού που προέκυψε από το SHYLOC και της μετρούμενης στάθμης ήταν μέτριες για τις περισσότερες από τις διατομές. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι, οι μέθοδοι που έδωσαν τις καλύτερες συσχετίσεις ήταν διαφορετικές για κάθε διατομή. Τα Σχήματα 3.4. έως 3.9. δείχνουν τις καλύτερες γραμμικές συσχετίσεις που προέκυψαν από την εφαρμογή του SHYLOC στις εικόνες 1, 2, 5 και 7 του SPOT για τις διατομές 2, 3, 4, 5, 6 και 7.



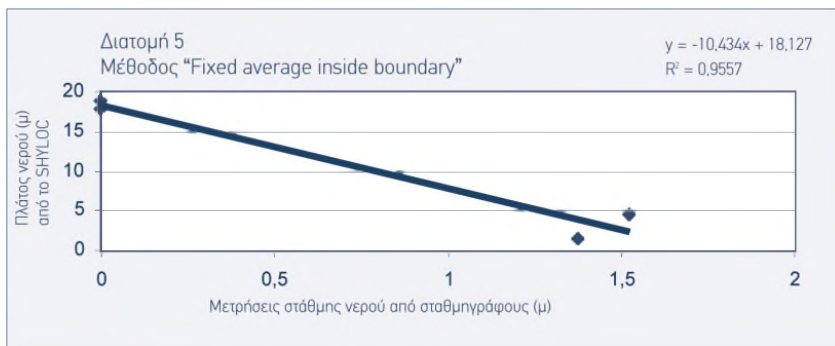
**Σχήμα 3.4.** Στενότερη γραμμική συσχέτιση που προέκυψε από την εφαρμογή του SHYLOC στις εικόνες 1, 2, 5 και 7 του SPOT για τη διατομή 2.



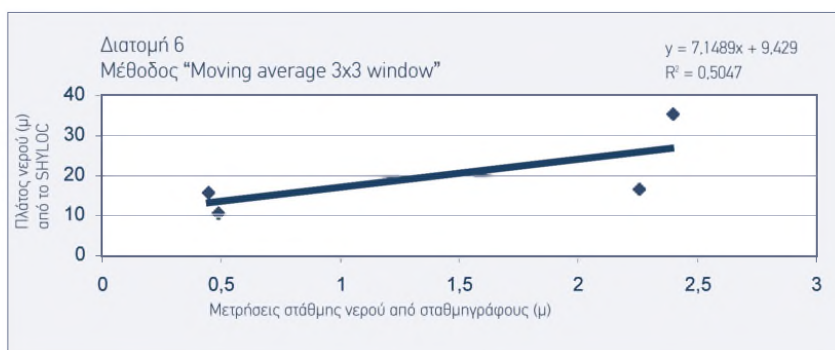
**Σχήμα 3.5.** Στενότερη γραμμική συσχέτιση που προέκυψε από την εφαρμογή του SHYLOC στις εικόνες 1, 2, 5 και 7 του SPOT για τη διατομή 3.



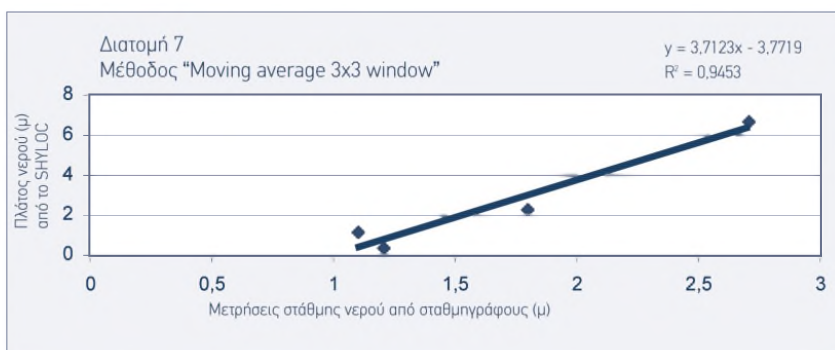
**Σχήμα 3.6.** Στενότερη γραμμική συσχέτιση που προέκυψε από την εφαρμογή του SHYLOC στις εικόνες 1, 2, 5 και 7 του SPOT για τη διατομή 4.



**Σχήμα 3.7.** Στενότερη γραμμική συσχέτιση που προέκυψε από την εφαρμογή του SHYLOC στις εικόνες 1, 2, 5 και 7 του SPOT για τη διατομή 5.



**Σχήμα 3.8.** Στενότερη γραμμική συσχέτιση που προέκυψε από την εφαρμογή του SHYLOC στις εικόνες 1, 2, 5 και 7 του SPOT για τη διατομή 6.



**Σχήμα 3.9.** Στενότερη γραμμική συσχέτιση που προέκυψε από την εφαρμογή του SHYLOC στις εικόνες 1, 2, 5 και 7 του SPOT για τη διατομή 7.

### 3.3 Συμπεράσματα

Εφαρμόστηκαν διάφορες μέθοδοι υπολογισμού της τιμής ανάκλασης του εδάφους, ώστε να επιλεγεί η πιο κατάλληλη για την εξαγωγή των πιο ικανοποιητικών γραμμικών συσχετίσεων. Παρόλα αυτά, καμία μέθοδος δεν αξιολογήθηκε ως η πλέον κατάλληλη, αφού οι περισσότερες παρήγαγαν αδύναμες γραμμικές συσχετίσεις.

Αυτό πιθανότατα συνδέεται με το είδος των εικονοστοιχείων που περιβάλλουν τους σταθμηγράφους και αντιστοιχούν στη γύρω βλάστηση. Η πυκνή βλάστηση που επικρατεί στην περιοχή ενδέχεται να καταλαμβάνει τμήμα της τάφρου και να οδήγησε σε εσφαλμένο υπολογισμό του δείκτη DI από το SHYLOC. Επιπλέον, κάποια φυλλαβόλα δέντρα, όπως για παράδειγμα οι λεύκες που, σε ορισμένες περιπτώσεις, καλύπτουν τμήματα της τάφρου, ενδέχεται να απέτρεψαν την ανίχνευση του νερού από το SHYLOC. Έτσι, τα αποτελέσματα της περιεκτικότητας των εικονοστοιχείων των τάφρων σε νερό και του πλάτους του νερού, σε αρκετές περιπτώσεις δεν ήταν ρεαλιστικά. Το κύριο μειονέκτημα του SHYLOC είναι ότι δεν παρέχει κάποιο εργαλείο, ώστε να προλαμβάνονται και να αντιμετωπίζονται τα παραπάνω προβλήματα.

Ένα ακόμη σημαντικό μειονέκτημα της εφαρμογής του SHYLOC είναι ότι τα αποτελέσματά της επηρεάζονται από την ακρίβεια της ψηφιοποίησης του υδρογραφικού δικτύου. Αυτό, σε πολλές περιπτώσεις, οδήγησε σε εσφαλμένη εκτίμηση των εικονοστοιχείων που έφεραν νερό. Το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού αποδείχθηκε αδύναμο να αντιμετωπίσει τέτοιου είδους σφάλματα. Δεδομένης της απουσίας αυτοματοποιημένης μεθόδου διόρθωσης ανάλογων περιπτώσεων, η διαδικασία διόρθωσης των σφαλμάτων αυτών πραγματοποιήθηκε σε κάθε εικονοστοιχείο ξεχωριστά και ήταν ιδιαίτερα χρονοβόρα.

Δεδομένου, επίσης, ότι η κάλυψη κάποιων σταθμηγράφων από τις δορυφορικές εικόνες δεν παρείχε ικανοποιητικό αριθμό διαχρονικών δεδομένων, οι γραμμικές συσχετίσεις δεν ήταν αξιόπιστες. Για παράδειγμα, επειδή η κάθε εικόνα κάλυπτε, είτε το ΒΔ, είτε το ΝΑ τμήμα της λεκάνης, κάποιοι σταθμηγράφοι εντοπίστηκαν μόνο σε 6 από τις 14 εικόνες, ενώ κάποιο άλλοι σε 10 λόγω της αλληλεπικάλυψης της ΒΔ με τη ΝΑ εικόνα. Οι αδυναμίες του λογισμικού θα μπορούσαν να ελαχιστοποιηθούν στην ιδανική περίπτωση που το SHYLOC θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε μεγαλύτερο αριθμό δορυφορικών εικόνων, ώστε να ικανοποιείται η εξαγωγή πολλαπλών διαχρονικών δεδομένων για κάθε τάφρο. Κατά συνέπεια, τα αποτελέσματα της παρούσας εφαρμογής του SHYLOC δεν δύναται να χρησιμοποιηθούν για την παραμετροποίηση του υδρολογικού ομοιώματος.

Chalkidis, I., D. Papadimos and Ch. Mertzianis. 2004. Water quality and hydrological regime monitoring network. Greek Biotope/Wetland Centre (EKBY), Thermi, Greece. 21p.

Khudhairy Al D.H.A, V. Hoffmann and C. Leemhuis. 2001. SHYLOC user manual, EUR 19745 EN, European Commission.

Khudhairy Al, C. Leemhuis, V. Hoffmann & I.M. Shepherd, J.R. Thompson, H. Gavin & D. Gasca Tucker, G. Zalidis & G. Bilas, H. Refstrup Sørensen & A. Refsgaard, D. Papadimos and A. Argentieri. 2001. SHYLOC final report, EUR 19755 EN, European Commission.

Shepherd, I., G. Wilkinson and J. Thompson. 2000. Monitoring surface water storage in the north Kent marshes using Landsat TM images. International Journal of Remote Sensing. 21: 1843 - 1865.

## Ανάπτυξη προτύπου συστήματος μέτρησης της παροχής νερού στον Στρυμόνα

### Εισαγωγή

Σκοπός της δράσης «Ανάπτυξη προτύπου συστήματος μέτρησης παροχής νερού στις εκβολές του Στρυμόνα» ήταν η σχεδίαση, ανάπτυξη και εγκατάσταση ενός καινοτόμου αυτόματου συστήματος συνεχούς μέτρησης της παροχής του ποταμού Στρυμόνα.

Η αναγκαιότητα εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος προέκυψε, κυρίως, από την παντελή σχεδόν απουσία υποδομών μέτρησης της παροχής του ποταμού στη λεκάνη του, μετά τη λίμνη Κερκίνη. Ανάντη της Κερκίνης, η παροχή του ποταμού μετράται με μιλίσκο, σε θέση αμέσως μετά από την είσοδό του στην Ελλάδα. Στη θέση αυτή, βρίσκεται μόνιμα τοποθετημένο αιωρούμενο συρματόσχοινο, αναρτημένο σε δυο ισχυρούς μεταλλικούς δοκούς, οι οποίοι βρίσκονται πακτωμένοι στις όχθες του ποταμού, εκατέρωθεν της κοίτης του. Η τάνυσή του είναι συνεχής και επιτυγχάνεται μέσω κυβόλιθου από σκυρόδεμα, βάρους μερικών μετρικών τόνων. Πάνω στο συρματόσχοινο, αναρτάται, κάθε φορά που πρόκειται να πραγματοποιηθούν μετρήσεις, μιλίσκος μεγάλων διαστάσεων και βάρους.

Η φέρουσα υποδομή του μιλίσκου δεν ήταν δυνατό να κατασκευαστεί σε θέση κοντά στην εκβολή του Στρυμόνα, λόγω της ασταθούς φύσης του υπεδάφους, η οποία δεν μπορεί να εξασφαλίσει την τάνυση του συρματόσχοινου. Εκτός από τις παραπάνω δυσκολίες, η υιοθέτηση της συγκεκριμένης μεθόδου δεν θα έδινε συνεχείς μετρήσεις της παροχής, ενώ θα απαιτούσε και την παρουσία ανθρώπινου προσωπικού κατά τη διενέργεια των μετρήσεων.

Στην προσπάθεια επίλυσης των παραπάνω προβλημάτων, επινοήθηκε και σχεδιάστηκε από την αρχή ένα καινοτόμο σύστημα συνεχούς μέτρησης της παροχής και αποστολής των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, ενεργειακά αυτόνομο. Το σύστημα είναι καινοτόμο, διότι συνδυάζει τεχνολογίες αιχμής στους τομείς της μέτρησης της χωρικής κατανομής της ταχύτητας και του βάθους του νερού εντός ποταμού, της ψηφιακής επεξεργασίας σημάτων, της μηχανικής κίνησης, των τηλεπικοινωνιών και τηλεελέγχου, καθώς και τεχνολογία λογισμικού πραγματικού χρόνου.

Το έργο ανατέθηκε από το ΕΚΒΥ, στον Τομέα Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής της Γεωπονικής Σχολής του ΑΠΘ, υπό την επιστημονική ευθύνη του Επίκουρου καθηγητή κ. Σταύρου Βουγιούκα.

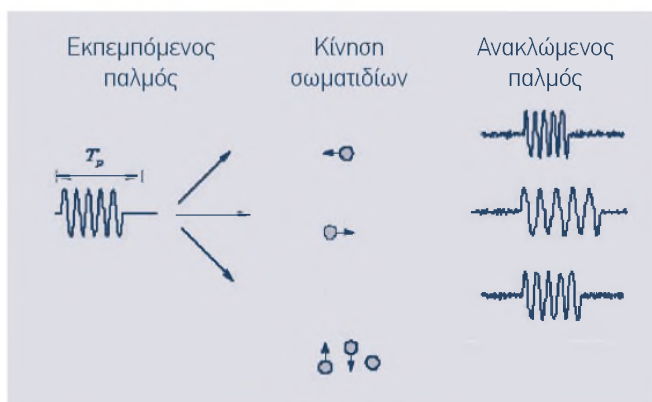
## Υφιστάμενη τεχνολογία μέτρησης υδραυλικών παραμέτρων της κίνησης του νερού σε φυσικούς ανοιχτούς αγωγούς

Από τη διεξαγωγή εκτενούς βιβλιογραφικής έρευνας σε έντυπες και ηλεκτρονικές πηγές, εντοπίστηκαν οι κυριότερες τεχνολογίες μέτρησης ταχύτητας ροής και κατανομής βάθους νερού, καθώς και οι επικρατέστεροι μέθοδοι υπολογισμού της παροχής σε διατομή ανοιχτού φυσικού αγωγού.

### 4.1.1. Τεχνολογία μέτρησης της ταχύτητας ροής του νερού σε διατομή φυσικού ανοιχτού αγωγού

> **Οπτικοί αισθητήρες.** Η μέθοδος απαιτεί διασπορά κατάλληλων ουσιών/σωματιδίων (tracers), τα οποία είναι ευδιάκριτα στην επιφάνεια του νερού. Η ταχύτητα των σωματιδίων μετριέται μέσω ψηφιακής κάμερας και ειδικών αλγορίθμων επεξεργασίας διαδοχικών εικόνων (Particle Image Velocimetry-PIV). Η τεχνολογία αυτή περιορίζεται σε μέτρηση επιφανειακής ταχύτητας, ενώ βρίσκεται ακόμη σε ερευνητικό στάδιο.

> **Ακουστικοί αισθητήρες.** Στη συγκεκριμένη μέθοδο, ένας υπερηχητικός μετατροπέας (transducer), ο οποίος βρίσκεται μέσα στο νερό, παράγει ένα σύντομο παλμό γνωστής συχνότητας, ο οποίος διαδίδεται κατά μήκος της ακουστικής δέσμης. Ο εξερχόμενος παλμός ανακλάται προς όλες τις κατευθύνσεις από τα σωματίδια που αιωρούνται στο νερό. Ένα μέρος από την ανακλώμενη ενέργεια επιστρέφει πίσω, κατά μήκος της δέσμης διάδοσης του παλμού στον μετατροπέα. Το σήμα που επιστρέφει έχει υποστεί μετατόπιση συχνότητας ανάλογη της ταχύτητας των σωματιδίων που προκαλούν την ανάκλαση (Σχήμα 4.1.). Αυτή η αλλαγή συχνότητας (μετατόπιση Doppler) είναι ανάλογη προς την προβολή της ταχύτητας του νερού επάνω στον άξονα διάδοσης της ακουστικής δέσμης.



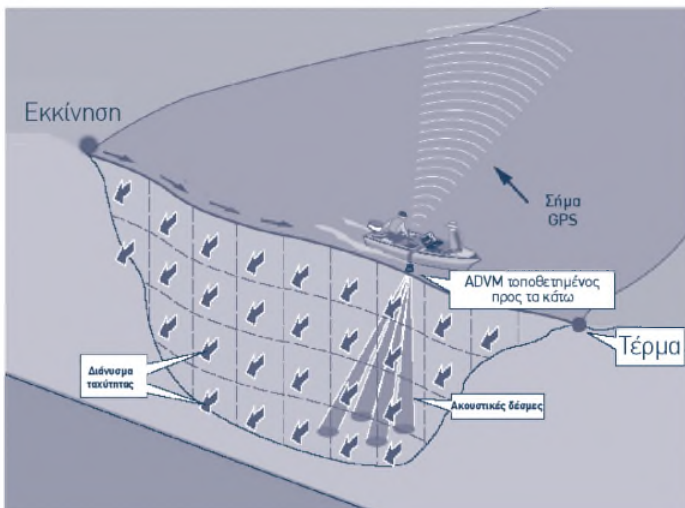
Σχήμα 4.1. Απεικόνιση φαινομένου Doppler.

Επιπλέον της μεταβολής συχνότητας, μετράται και ο χρόνος που «ταξιδεύει» το σήμα. Για σημειακή μέτρηση σε επιθυμητή απόσταση, το σύστημα επεξεργάζεται μόνο το σήμα που επιστρέφει σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, η οποία αντιστοιχεί στην απόσταση αυτή. Φυσικά, ο όρος «σημειακή» είναι καταχρηστικός, μια και αυτό που επιστρέφει ο αισθητήρας είναι η μέση ταχύτητα ενός μικρού όγκου νερού.

Εάν γίνει επεξεργασία των επιστρεφόμενων σημάτων εντός ενός χρονικού παραθύρου, είναι δυνατός ο υπολογισμός της κατανομής (προφίλ), της ταχύτητας κατά μήκος της διαδρομής του σήματος (Acoustic Doppler Current Profiler - ADCP). Προκειμένου να μετρηθεί η συνιστώσα της ταχύτητας του νερού κάθετα στη δέσμη χρησιμοποιούνται στην πράξη δυο δέσμες υπό μικρή γωνία μεταξύ τους. Ανάλογα με τον αριθμό υπερηχητικών δεσμών που χρησιμοποιούνται, είναι δυνατός ο υπολογισμός του τρισδιάστατου, ή δυσδιάστατου διανύσματος ταχύτητας (Παράρτημα, Φωτογραφία 4.1.).

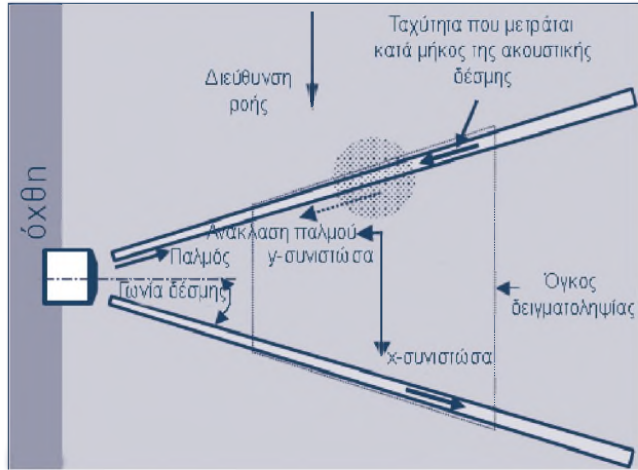
Οι τυπικές συχνότητες σήματος κυμαίνονται από 300 έως 1200 KHz, ενώ το σφάλμα είναι της τάξης του  $\pm 0,5\%$ . Είναι δυνατή η μέτρηση ταχυτήτων από 0 έως  $\pm 6$  m/s με διακριτική ανάλυση μέτρησης 0,1 cm/s. Η ελάχιστη και μέγιστη απόσταση μέτρησης εξαρτάται από το μήκος κύματος της δέσμης και κυμαίνεται από 1 m για την ελάχιστη (υψηλής συχνότητας αισθητήρας) έως και 300 m για τη μέγιστη (χαμηλής συχνότητας αισθητήρας).

> **Αισθητήρες ADCP κάθετης δέσμης.** Η μέτρηση γίνεται από σκάφος επιφανείας και μετρείται η κατανομή της ταχύτητας από την επιφάνεια έως τον πυθμένα (Σχήμα 4.2.). Εάν το σκάφος διασχίσει τον ποταμό, είναι δυνατή η μέτρηση της κατανομής της ταχύτητας σε μία ολόκληρη διατομή του ποταμού. Η ταυτόχρονη χρήση GPS καθιστά δυνατό τον υπολογισμό παροχής, αμέσως μετά την ολοκλήρωση της μέτρησης. Παρόμοιος αισθητήρας μπορεί να τοποθετηθεί μόνιμα σε σταθερή θέση στον βυθό, έτσι ώστε να μετράει την κατακόρυφη κατανομή ταχύτητας.



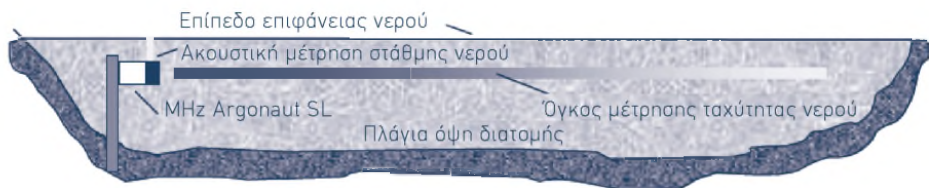
**Σχήμα 4.2.** Μέτρηση της κατανομής ταχύτητας του νερού από την επιφάνεια έως τον πυθμένα με σκάφος επιφανείας.

> **Αισθητήρες ADCP οριζόντιας δέσμης.** Ο αισθητήρας τοποθετείται μόνιμα στην όχθη της κοίτης και με δυο δέσμες μετράει την οριζόντια κατανομή ταχύτητας σε συγκεκριμένο βάθος (Σχήμα 4.3). Στην πραγματικότητα, κάθε δέσμη μετράει τη συνιστώσα της ταχύτητας κατά μήκος της δέσμης. Επειδή, όμως, οι δέσμες είναι υπό γωνία, είναι δυνατός ο υπολογισμός της δυοδιάστατης ταχύτητας.



**Σχήμα 4.3.** Σκαρίφημα ακουστικού αισθητήρα ADCP οριζόντιας τοποθέτησης δέσμης σε μόνιμη θέση σε κοίτη ρέματος.

Στο Σχήμα 4.4., φαίνεται η οριζόντια δέσμη που εκπέμπει ο αισθητήρας. Στην πραγματικότητα η δέσμη είναι ένας στέρεος κώνος με πολύ μικρό άνοιγμα γωνίας (τυπικές τιμές 1-3 μοίρες).



**Σχήμα 4.4.** Οριζόντια εκπεμπόμενη δέσμη ακουστικού αισθητήρα ADCP.

Ακόμη και η μικρή αυτή γωνία έχει ως αποτέλεσμα, τα κελιά που βρίσκονται μακριά από την κεφαλή εκπομπής να είναι μεγαλύτερα από εκείνα που βρίσκονται κοντά της. Για παράδειγμα, με γωνία κώνου 1,5 μοίρες, στα 40 m απόσταση, το αντίστοιχο κελί έχει ύψος 1 m και η ταχύτητα που μετρά ο αισθητήρας είναι η μέση ταχύτητα του κελιού.



#### 4.1.2. Τεχνολογία μέτρησης του βάθους ροής του νερού σε διατομή φυσικού ανοιχτού αγωγού

> **Υπερηχητικοί αισθητήρες.** Η μέτρηση του βάθους στηρίζεται στη μέτρηση του χρονικού διαστήματος μεταξύ της αποστολής ενός υπερηχητικού παλμού από την επιφάνεια του νερού κατακόρυφα στον πυθμένα και της λήψης της αντανάκλασης του παλμού. Η μέθοδος μετράει το βάθος σε ένα σημείο και, συνεπώς, απαιτεί σάρωση του ποταμού, προκειμένου να μετρήσει τη συνολική διατομή. Η τεχνολογία των αισθητήρων αυτών (Παράρτημα, Φωτογραφία 4.2.) είναι αναπτυγμένη, ενώ το κόστος τους δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό. Η διακριτική τους ανάλυση είναι της τάξης του 1 cm ή μικρότερη, ενώ η ακρίβεια τουλάχιστον 0,5 %.

> **Μικροκυματικοί αισθητήρες.** Στη συγκεκριμένη μέθοδο μέτρησης του βάθους, ένα σύστημα κινητού Radar φέρει πομπό ευρείας δέσμης, ο οποίος εκπέμπει και συλλέγει σήματα σχετικά χαμηλής συχνότητας, της τάξης των 100 MHz. Η ταχύτητα διάδοσης ενός ηλεκτρομαγνητικού παλμού εξαρτάται από την διηλεκτρική σταθερά του μέσου στο οποίο διαδίδεται. Στον πυθμένα, το ηλεκτρομαγνητικό κύμα περνάει από το νερό στο έδαφος, όπου και διεισδύει ελαφρώς (Ground Penetrating Radar - GPR). Τα δυο διαφορετικά υλικά σχηματίζουν ένα οριακό στρώμα, η απόσταση του οποίου μπορεί να εντοπιστεί μέσω κατάλληλης επεξεργασίας σήματος. Το παραπάνω Radar δημιουργεί υψηλής ανάλυσης κατατομή του πυθμένα, μετρώντας τον χρόνο ενός ηλεκτρομαγνητικού παλμού μεταξύ του πομπού, του ανακλαστικού ορίου και του δέκτη. Η μέθοδος βρίσκεται ακόμη σε πειραματικό στάδιο, ενώ το κόστος της είναι, προς το παρόν, απαγορευτικό.

#### 4.1.3. Μέθοδοι υπολογισμού της παροχής σε διατομή φυσικού ανοιχτού αγωγού

Ανάλογα με τις δυνατότητες μέτρησης της ταχύτητας και του βάθους ροής του νερού, στην κοίτη ενός φυσικού ανοιχτού αγωγού χρησιμοποιούνται ποικίλοι τρόποι υπολογισμού της παροχής:

**Υπολογισμός της παροχής με χρήση της εξίσωσης συνέχειας.** Στην περίπτωση αυτή, η ολική παροχή του ρεύματος υπολογίζεται με την εξίσωση συνέχειας (Παπαμιχαήλ 2001):

$$Q = \sum_{i=1}^n \bar{v}_i A_i = \sum_{i=1}^n \bar{v}_i \frac{y_{i-1} + y_i}{2} b_i \quad (4.1)$$

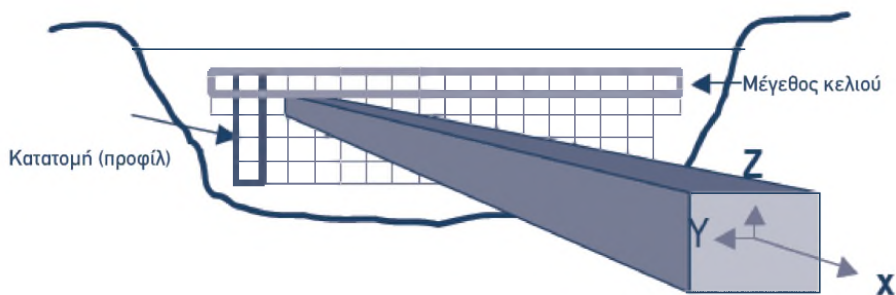
όπου: Q είναι η ολική παροχή σε m<sup>3</sup>/sec,  $\bar{v}_i$  είναι η μέση ταχύτητα ροής σε m/sec σε κάθε διατομή i, που έχει πλάτος  $b_i$  και βάρη ροής  $y_{i-1}$  και  $y_i$  στα άκρα της σε m.

Η μέση ταχύτητα ροής εκτιμάται από σημειακή μέτρηση με μιλίσκο, σε κατάλληλα σημεία της υδάτινης διατομής. Ο επικρατέστερος, σήμερα, τρόπος είναι αυτός με τον οποίο υπολογίζεται η μέση ταχύτητα ως το ημίθροισμα των ταχυτήτων που μετρώνται σε βάρη που αντιστοιχούν στο 0,2 και 0,8 του ολικού, ενώ, ταυτόχρονα, προσδιορίζεται και το πλάτος της διατομής στην οποία αντιστοιχεί η υπολογιζόμενη ταχύτητα. Ακολουθεί σε συχνότητα η μέτρηση της ταχύτητας στο 0,6 του ολικού βάθους. Η παροχή που υπολογίζεται με αυτούς τους δυο τρόπους, εφόσον οι μετρήσεις γίνουν με την απαιτούμενη προσοχή, παρουσιάζουν μέσο σφάλμα μέτρησης που δεν ξεπερνά το ± 5 %.

### Υπολογισμός της παροχής από μετρήσεις προερχόμενες από αισθητήρες ADCP

Θεωρητικά, ο ακριβής υπολογισμός της παροχής νερού  $Q$  ( $m^3/s$ ), απαιτεί γνώση της γεωμετρίας μίας διατομής επιφάνειας  $A$  ( $m^2$ ) του ποταμού και συνεχή κατανομή σε ολόκληρη την επιφάνεια της διατομής της συνιστώσας της ταχύτητας του νερού  $V_x(y,z)$  ( $m/s$ ), που είναι κάθετη στη διατομή. Η συνεχής κατανομή μπορεί να προσεγγισθεί μέσω δειγματοληψίας σε πεπερασμένο αριθμό σημείων, τα οποία δημιουργούν έναν «κάναβο» (Σχήμα 4.5.). Στην ιδανική περίπτωση, ο κάναβος αυτός είναι ομοιόμορφος, καλύπτει όλη τη διατομή και στο κελί  $(i,j)$ , η ταχύτητα  $V_{ij}$  που μετράται είναι η μέση ταχύτητα του κελιού. Εάν το εμβαδόν του κελιού  $(i,j)$  είναι  $A_{ij}$ , τότε η εκτίμηση της συνολικής παροχής δίνεται από την εξίσωση:

$$Q = \sum_i \sum_j V_{ij} A_{ij} \quad (4.2)$$



**Σχήμα 4.5.** Κάναβος υπολογισμού της παροχής από μετρήσεις της ταχύτητας ροής, προερχόμενες από αισθητήρα ADCP.

Ο υπολογισμός της παροχής, βάσει μέτρησης της κατανεμημένης ταχύτητας, είναι εφικτός με αισθητήρες ADCP κάθετης δέσμης με μεγάλη ακρίβεια (Morlock 1996, Simpson 2001, Mueller 2003).

Όταν δεν είναι εφικτή η κατανεμημένη σε κάναβο μέτρηση της ταχύτητας, τότε αυτή μετράται σε μία μόνο γραμμή του κάναβου και, στη συνέχεια, ο υπολογισμός της παροχής γίνεται με χρήση της μεθόδου «index velocity method» (Rantz et. al. 1982, Sloat and Gain 1995). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, από τις μετρήσεις ταχύτητας στα κελιά μιας μόνο γραμμής του κάναβου, υπολογίζεται μία μέση ταχύτητα  $\bar{V}_{ADCP}$  και από αυτή υπολογίζεται μία μέση ταχύτητα  $\bar{V}_A$  για ολόκληρη τη διατομή  $A$ , μέσω της σχέσης:

$$\bar{V}_A = f(\bar{V}_{ADCP}, H) \quad (4.3)$$

όπου  $H$  είναι η στάθμη του νερού.

Η σχέση 4.3 υπολογίζεται με τον εξής τρόπο: ταυτόχρονα της μέτρησης με τον αισθητήρα ADCP, γίνεται μέτρηση-εκτίμηση της στάθμης  $H$  και της πραγματικής παροχής  $Q$  με άλλες μεθόδους (π.χ. συσχέτιση στάθμης - διατομής - παροχής, μέτρηση με ADCP κάθετης δέσμης). Η παροχή  $Q$  ισούται με  $Q = A\bar{V}_A$  και, διαιρώντας την παροχή με τη διατομή, υπολογίζεται η μέση ταχύτητα διατομής. Έτσι, λαμβάνοντας και τις δυο ταχύτητες  $\bar{V}_A, \bar{V}_{ADCP}$  και εκτελώντας τις μετρήσεις αυτές για διαφορετικές στάθμες και παροχές βρίσκουμε τη σχέση που τις συνδέει (regression analysis). Η σχέση αυτή μπορεί να είναι γραμμική ή πιο περίπλοκη, ειδικά σε περιπτώσεις ποταμών με ευρέως κυμαινόμενη στάθμη, τυρβώδη ροή και επιστροφές νερού (backflow).

**Υπολογισμός της παροχής με τη χρήση καμπυλών στάθμης - παροχής.** Εάν δεν υπάρχει δυνατότητα μέτρησης της ταχύτητας ροής, ο υπολογισμός της παροχής σε μια διατομή ποταμού, γίνεται μέσω της μέτρησης της στάθμης του νερού και της χρήσης της σχέσης που συνδέει την παροχή με τη στάθμη στην εν λόγω διατομή (Παπαμιχαήλ 2001). Η μέτρηση της στάθμης με σταθμήμετρα ή σταθμηγράφους είναι μια σχετικά απλή διαδικασία. Στη συνέχεια, απαιτείται ο καθορισμός της σχέσης η οποία θα δίνει την παροχή από τη μετρούμενη στάθμη του ποταμού. Η σχέση είναι δυνατό να προκύψει από τις καμπύλες στάθμης-παροχής. Ο βαθμός απλότητας της σχέσης αυτής εξαρτάται από το **τμήμα ελέγχου ή διατομή ελέγχου (control)** του ποταμού. Με τον όρο αυτό, ονομάζουμε μια διακεκριμένη διατομή του ποταμού ή ένα τμήμα της διαδρομής του, στην περιοχή μέτρησης της στάθμης, που χαρακτηρίζεται από ένα ορισμένο συνδυασμό σχήματος, κλίσης, διατομής και τραχύτητας. Μπορεί να είναι **μόνιμο**, όταν οι προηγούμενες παράμετροι είναι σταθερές, **ή μη μόνιμο**. Όταν στο τμήμα ελέγχου: α) υπάρχουν σταθερές συνθήκες ροής και β) δεν δημιουργείται υπερύψωση της στάθμης, λόγω στένωσης της κοίτης κατάντη ή συμβολής του θεωρουμένου τμήματος του ποταμού με άλλο υδατόρρευμα κατάντη του σταθμού μετρήσεων, η παροχή εξαρτάται μόνο από τη στάθμη και η σχέση στάθμης - παροχής είναι απλή και μονοσήμαντη. Όταν όμως οι προηγούμενες δυο συνθήκες δεν εξασφαλίζονται, η παροχή εξαρτάται και από την κλίση της γραμμής ενέργειας που αποτελεί μια επιπλέον μεταβλητή. Έτσι, για την ίδια ένδειξη του σταθμήμετρου υπάρχουν δυο διαφορετικές παροχές  $Q_1$  και  $Q_2$ . Η παροχή  $Q_1$  αντιστοιχεί σε κανονικές συνθήκες ροής, ενώ η παροχή  $Q_2$  σε συνθήκες υπερύψωσης της στάθμης, εξαιτίας κάποιου εμποδίου κατάντη του σημείου μέτρησης της στάθμης  $A$ .

Αν και η πρώτη εντύπωση είναι ότι, απλή, μονοσήμαντη σχέση στάθμης - παροχής δεν μπορεί να υπάρχει στην πραγματικότητα, με κατάλληλη εκλογή του υδρομετρικού σταθμού και του τμήματος ελέγχου, τα σφάλματα κατά τον υπολογισμό της παροχής από μια απλή σχέση στάθμης - παροχής είναι τόσο μικρά που μπορούν να αγνοούνται.

Όταν η κλίση της γραμμής ενέργειας στην περιοχή του υδρομετρικού σταθμού είναι πάντοτε η ίδια για την ίδια στάθμη, τότε η σχέση στάθμης - παροχής προσδιορίζεται πειραματικά με μετρήσεις της στάθμης και της παροχής στον υδρομετρικό σταθμό και είναι συνθήτως εκθετική. Η καμπύλη στάθμης - παροχής μπορεί να παρουσιάζει πολυπλοκότερο σχήμα, όταν η διατομή είναι σύνθετη και όταν υπάρχει μεταβολή του τμήματος ελέγχου μεταξύ χαμηλών και υψηλών παροχών. Ακόμη και σε μια προσδιορισμένη σχέση στάθμης - παροχής, κάτω από συνθήκες μόνιμης διατομής ελέγχου, επιβάλλεται να γίνονται περιοδικές μετρήσεις και επαληθεύσεις της καμπύλης, λόγω δυνατών προσχώσεων ή διαβρώσεων της διατομής. Είναι αυτονόητο ότι η διαδικασία αυτή πρέπει να επαναλαμβάνεται πολύ περισσότερο κάτω από συνθήκες μη μόνιμης διατομής ελέγχου.

Η εκθετική σχέση που περιγράφει την καμπύλη στάθμης - παροχής είναι της μορφής:

$$Q = aH^b \quad (4.4)$$

όπου:  $Q$  = παροχή σε  $m^3/sec$  που αντιστοιχεί σε στάθμη  $H$ ,  $H$  = ύψος της στάθμης σε  $m$  και  $a$ ,  $b$  είναι σταθερές.

Στην περίπτωση που η παροχή δεν είναι μηδενική, όταν  $H = 0$ , η προηγούμενη σχέση πρέπει να συμπεριλάβει και τον όρο  $H_0$  που αντιστοιχεί στο ύψος στάθμης, όπου η παροχή είναι μηδενική, οπότε παίρνει τη μορφή:

$$Q = a(H - H_0)^b \quad (4.5)$$

Ο υπολογισμός του  $H_0$  μπορεί να γίνει με δοκιμές. Σχεδιάζεται, δηλαδή, σε λογαριθμικό χαρτί η διαφορά  $H-H_0$ , σε σχέση με την παροχή  $Q$ . Η τιμή του  $H_0$ , που δίνει ευθεία γραμμή είναι η επιθυμητή τιμή.

Από τα ζεύγη τιμών ( $Q,H$ ) και γνωρίζοντας το  $H_0$ , υπολογίζονται οι σταθερές  $a$  και  $b$ , με μεθόδους βέλτιστης προσαρμογής (best fitting analysis). Τέτοια είναι η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων, καθώς, επίσης, και μέθοδοι μη γραμμικών ελαχίστων τετραγώνων, λόγω μη γραμμικότητας της εξίσωσης (4.4).

## Επιλογή της θέσης εγκατάστασης του προτύπου συστήματος μέτρησης παροχής στον Στρυμόνα

4.2

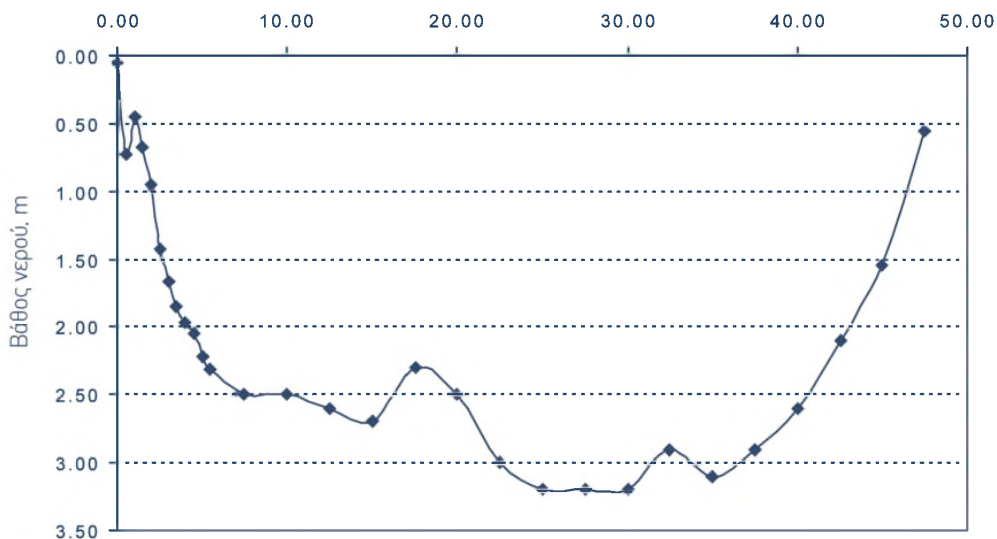
Τα κριτήρια για την επιλογή της θέσης εγκατάστασης του προτύπου συστήματος μέτρησης παροχής στον Στρυμόνα ήταν τα ακόλουθα:

- α) η θέση να βρίσκεται, κατά το δυνατό, πλησίον της εκβολής του ποταμού, ώστε η μετρούμενη παροχή να είναι αντιπροσωπευτική ολόκληρης της λεκάνης απορροής,
- β) η ροή του νερού να μην επηρεάζεται από την είσοδο του θαλασσινού νερού, αλλοιώνοντας με τον τρόπο αυτό τις μετρήσεις,
- γ) η κοίτη του ποταμού να είναι, κατά το δυνατόν, ομοιόμορφη κατά μήκος της διατομής μέτρησης της παροχής και
- δ) οι ταχύτητες ροής του νερού να είναι σχετικά μικρές, ώστε να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα καταστροφής των οργάνων μέτρησης.

Με βάση τα παραπάνω, η θέση εγκατάστασης του προτύπου συστήματος μέτρησης της παροχής (Longitude:484983, Latitude:4518336-EGSA87), υποδείχθηκε από τη Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων Σερρών (ΔΕΒ Σερρών) και βρίσκεται πλησίον του οικίσκου του Αντλιοστασίου Εμπλουτισμού του Δήμου Ορφανού (Παράρτημα, Φωτογραφία 4.3.). Πριν από την οριστική επιλογή της θέσης, διερευνήθηκαν τρεις ακόμη εναλλακτικές θέσεις. Η πρώτη βρισκόταν στην καινούργια γέφυρα του Στρυμόνα, κοντά στη θάλασσα (Παράρτημα, Φωτογραφία 4.4.α), όπου η υφιστάμενη δομική και ηλεκτρολογική υποδομή ευνοούσαν την τοποθέτηση του συστήματος. Ωστόσο, σύμφωνα με παλαιότερες μετρήσεις της ΔΕΒ Σερρών, η ροή του νερού στη θέση αυτή φαίνεται ότι επηρεάζεται ιδιαίτερα από την είσοδο του θαλασσινού νερού, με αποτέλεσμα οι υδρολογικές συνθήκες να μην προσφέρονται για ακριβείς μετρήσεις. Η δεύτερη θέση που διερευνήθηκε βρισκόταν στην παλαιά γέφυρα του Στρυμόνα (Παράρτημα, Φωτογραφία 4.4.β).

Η συγκεκριμένη θέση απορρίφθηκε, εξαιτίας της μη ευνοϊκής διαμόρφωσης της όχθης του ποταμού, της ύπαρξης μικρών νησίδων στην κοίτη του, καθώς και της ύπαρξης των δοκών στήριξης της γέφυρας, οι οποίες παραμορφώνουν τη φυσική ροή του ποταμού. Η τρίτη, τέλος, εναλλακτική θέση βρισκόταν στις εγκαταστάσεις ενός υφιστάμενου αντλιοστασίου, περίπου 500 m κατάντη της οριστικής θέσης εγκατάστασης του πρότυπου (Παράρτημα, Φωτογραφίες 4.5.α και β.). Στη θέση αυτή, παρότι υπήρχε δομική και ηλεκτρολογική υποδομή, το βάθος του νερού κατά μήκος της διατομής του ποταμού ήταν ιδιαίτερα μικρό (έως και το ένα τρίτο περίπου του συνολικού μήκους της διατομής), γεγονός το οποίο θα καθιστούσε τις μετρήσεις με ADCP προβληματικές.

Η κατατομή της διατομής της κοίτης του ποταμού στην οριστική θέση εγκατάστασης του πρότυπου δίνεται στο Σχήμα 4.6. Το πλάτος του ποταμού στη θέση αυτή είναι 47 m, ενώ το μέγιστο βάθος του νερού μπορεί να φτάσει τα 3,2 m.



**Σχήμα 4.6.** Διατομή της κοίτης του Στρυμόνα στη θέση εγκατάστασης του πρότυπου συστήματος μέτρησης της παροχής.

## 4.3 Επιλογή τεχνολογιών μετρήσεων

Η ταυτόχρονη μέτρηση της κατανομής της ταχύτητας και του βάθους της ροής του νερού και, στη συνέχεια, ο υπολογισμός της παροχής, είναι δυνατό να επιτευχθεί με μεγάλη ακρίβεια, με τη χρήση αισθητήρων ADCP κάθετης δέσμης. Παρόλα αυτά, οι σκοποί του έργου απαιτούν τη μόνιμη εγκατάσταση ενός συστήματος μέτρησης της παροχής του ποταμού, το οποίο θα διενεργεί μετρήσεις σε συνεχή βάση, χωρίς να είναι απαραίτητη η ανθρώπινη παρουσία. Συνεπώς, η επιλογή της σάρωσης του ποταμού με σκάφος, το οποίο θα μεταφέρει αισθητήρα ADCP κάθετης δέσμης, δεν κρίθηκε επιλέξιμη.

Μία λύση θα ήταν η μόνιμη τοποθέτηση ενός αισθητήρα ADCP στην όχθη του ποταμού, και, στη συνέχεια, ο υπολογισμός της παροχής να γίνεται με χρήση της μεθόδου «index velocity method». Το πρόβλημα της προσέγγισης αυτής είναι ότι η μέση ταχύτητα  $\bar{V}_{ADCP}$  που υπολογίζεται σε ένα μόνο βάθος δεν μπορεί να δώσει ικανοποιητική εκτίμηση της μέσης ταχύτητας ολόκληρης της διατομής  $V_A$ . Σε αυτή την περίπτωση, το σφάλμα στην εκτίμηση της παροχής μπορεί να είναι της τάξης του 10 % (Morlock et. al 2002).

Η λύση που τελικά υιοθετήθηκε, αφορούσε τη χρήση ενός αισθητήρα ADCP οριζόντιας δέσμης, ο οποίος, ωστόσο, μπορεί να κινηθεί αυτόματα, χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, σε διαφορετικά βάθη, ώστε να δημιουργεί έναν δυοδιάστατο κάναβο κελιών, εντός των οποίων θα μετράται η ταχύτητα. Οι μετρήσεις ταχύτητας μπορούν να γίνονται αυτόματα, σε καθημερινή βάση, ή όσο συχνά επιτρέπουν οι περιορισμοί στη διαθέσιμη ενέργεια του συστήματος. Κατάλληλο λογισμικό χρησιμοποιεί τις μετρήσεις από όλα τα βάθη, προκειμένου να υπολογίσει με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια την πραγματική παροχή του νερού. Επιπλέον, η αποτύπωση του πυθμένα της κώτης κατά μήκος της διατομής μέτρησης της ταχύτητας μπορεί να γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα, ή όποτε υπάρχει ένδειξη αλλαγής της γεωμετρίας του, με αυτόματη επιφανειακή σάρωση του ποταμού, χρησιμοποιώντας υπερηχητικό βυθόμετρο.

## Περιγραφή του προτύπου συστήματος μέτρησης παροχής

## 4.4

Το πρότυπο σύστημα μέτρησης παροχής αποτελείται από τρεις επιμέρους οντότητες:

- A) Μόνιμα τοποθετημένο σε συγκεκριμένη θέση, υποβρύχιο μηχανικό σύστημα μέτρησης της κατανεμημένης ταχύτητας του νερού, σε μία διατομή του ποταμού.
- B) Αυτόματο σύστημα μέτρησης του βάθους του ποταμού σε ολόκληρη τη διατομή του, στην ίδια θέση μέτρησης με το σύστημα A.
- Γ) Σύστημα υπολογισμού της παροχής του ποταμού, βασισμένο στις μετρήσεις από τα συστήματα A και B και σε ένα επιστημονικά αποδεκτό μοντέλο.

### 4.4.1. Σύστημα A - Μέτρηση της κατανεμημένης ταχύτητας ροής του νερού

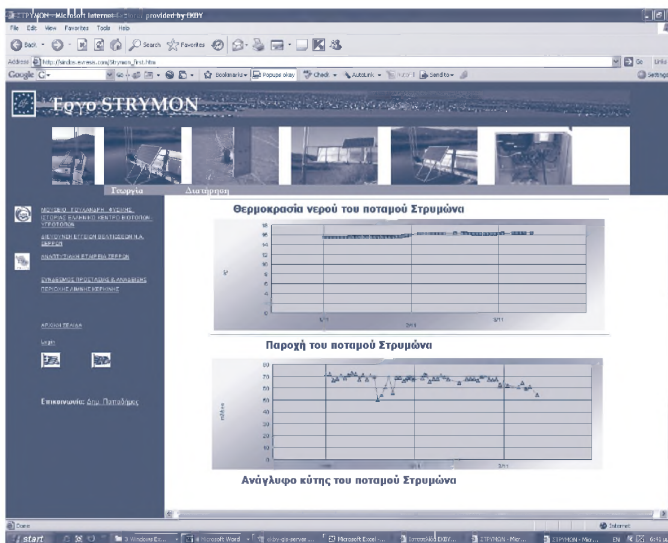
Το σύστημα βασίζεται στη χρήση ενός αισθητήρα ADCP με δυο οριζόντιες δέσμες σημάτων (Παράρτημα, Φωτογραφία 4.6.). Ο αισθητήρας βρίσκεται τοποθετημένος σε μία κατακόρυφη δοκό, μόνιμως κάτω από την επιφάνεια του νερού και μπορεί να κινηθεί σε διαφορετικά βάθη (κατά μήκος της δοκού), μέσω ενός συστήματος κίνησης ελεγχόμενου από μικροϋπολογιστή με το κατάλληλο λογισμικό (Παράρτημα, Φωτογραφία 4.7.). Οι μετρήσεις ταχύτητας και στάθμης λαμβάνονται αυτόματα τουλάχιστον μία φορά ημερησίως (ή και πιο συχνά, εάν είναι επιθυμητό και εφόσον υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια), ενώ παρέχεται η δυνατότητα κατά βούληση κινήσεων και μετρήσεων, είτε από τοπικό χειριστή, είτε μέσω τηλε-ελέγχου (εφόσον υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια). Οι μετρήσεις μεταδίδονται στον Η/Υ του συστήματος υπολογισμού παροχής (σύστημα Γ), μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας GSM. Το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου της κίνησης, μετάδοσης των μετρήσεων και διαχείρισης της ενέργειας βρίσκεται ασφαλώς τοποθετημένο σε κιβώτιο ειδικών προδιαγραφών ασφάλειας. Η ενέργεια για τη λειτουργία του συστήματος παρέχεται από ένα ηλιακό πάνελ (Παράρτημα, Φωτογραφία 4.8.) συγκεκριμένης ισχύος, το οποίο έχει τοποθετηθεί στην οροφή του κιβωτίου με τρόπο ώστε να μην είναι ορατό και εύκολα προσπελάσιμο. Στην περίπτωση που ο ποταμός είναι παγωμένος, η οποιαδήποτε κίνηση του αισθητήρα ακυρώνεται αυτόματα από το σύστημα για λόγους ασφάλειας.

#### 4.4.2. Σύστημα Β - Μέτρηση της κατανομής του βάθους νερού

Το σύστημα βυθόμετρησης βασίζεται στη μηχανική επιφανειακή σάρωση του ποταμού κατά μήκος της διατομής μέτρησης της ταχύτητας της ροής από ένα αυτογραφικό βυθόμετρο. Το βυθόμετρο βρίσκεται τοποθετημένο σε μία μικρή, ελαφριά και πλωτή κατασκευή («σκάφος»), η οποία είναι σε θέση να διατρέχει εγκάρσια την κοίτη του ποταμού με τη βοήθεια συρματόσχοιου. Η κίνηση στο συρματόσχοινο παράγεται μέσω τροχαλίας (Παράρτημα, Φωτογραφία 4.9.). Οι μετρήσεις αποθηκεύονται σε φορητό σύστημα ψηφιακής καταγραφής, από το οποίο, μέσω σειριακής θύρας επικοινωνίας, είναι δυνατή η ανάκτηση των δεδομένων. Το σύστημα βυθόμετρησης βρίσκεται εγκατεστημένο μόνιμα στην όχθη του ποταμού, ενώ ο αισθητήρας βυθόμετρησης και το καταγραφικό είναι φορητά για λόγους ασφαλείας. Η βυθόμετρηση μπορεί να πραγματοποιηθεί από έναν μόνο χειριστή.

#### 4.4.3. Σύστημα Γ - Υπολογισμός παροχής

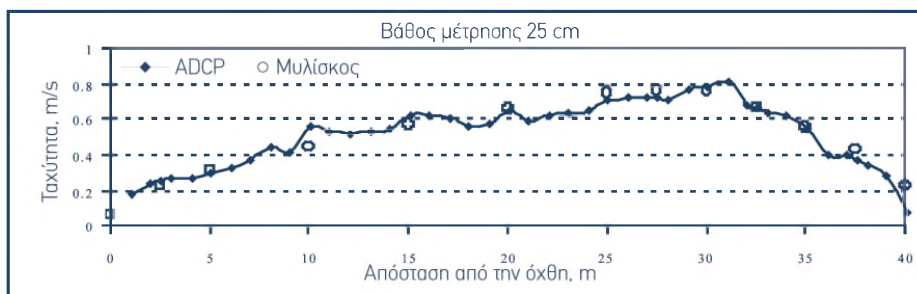
Το σύστημα υπολογισμού παροχής αποτελείται από έναν Η/Υ εφοδιασμένο με ασύρματο modem (GSM) και κατάλληλο λογισμικό επικοινωνίας, επεξεργασίας και αρχειοθέτησης δεδομένων, το οποίο εκτελείται σε παραθυρικό περιβάλλον. Ο Η/Υ λαμβάνει καθημερινά τα δεδομένα ταχύτητας αυτόματα, μέσω του δικτύου GSM από το σύστημα μέτρησης ταχύτητας (Σύστημα Α). Επίσης, λαμβάνει, από το καταγραφικό του συστήματος βυθόμετρησης, το προφίλ βάθους του ποταμού στη συγκεκριμένη θέση μέτρησης των ταχυτήτων, κάθε φορά που νέες μετρήσεις είναι διαθέσιμες. Στη συνέχεια, χρησιμοποιεί τα δεδομένα βάθους και ταχυτήτων, προκειμένου να υπολογίσει την παροχή νερού του ποταμού. Το λογισμικό χρησιμοποιεί την ίδια κατατομή βάθους, έως ότου του δοθεί μία καινούργια κατατομή. Όλα τα δεδομένα αποθηκεύονται σε αρχεία για περαιτέρω χρήση και ανάλυση. Εκτός από τα παραπάνω, η υπολογιζόμενη παροχή του Στρυμόνα διατίθεται σε πραγματικό χρόνο στο διαδίκτυο (Εικόνα 4.1.).



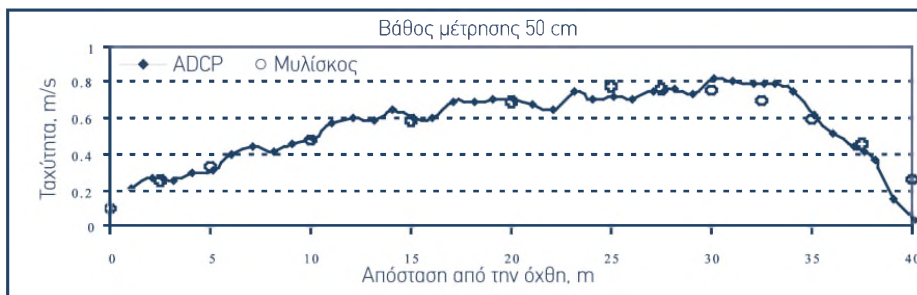
Εικόνα 4.1. Μετάδοση της υπολογιζόμενης παροχής του Στρυμόνα σε πραγματικό χρόνο στο διαδίκτυο.

#### 4.4.4. Αποτελέσματα μετρήσεων

Οι πειραματικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια εγκατάστασης του προτύπου, έδειξαν πολύ ικανοποιητική συμφωνία μεταξύ των μετρήσεων του προτύπου και του μιλίσκου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε διαφορετικά βάθη φαίνονται στα Σχήματα 4.7. έως 4.9. που ακολουθούν. Στο Σχήμα 4.10., δίνονται οι διαφορές (ως ποσοστό επί τις εκατό) στις μετρημένες ταχύτητες της ροής του νερού, όπως αυτές προέκυψαν από τις δυο μεθόδους.

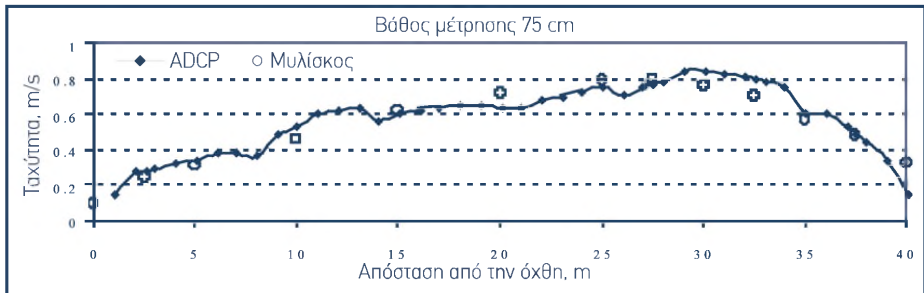


**Σχήμα 4.7.** Μετρήσεις της ταχύτητας ροής του νερού στον Στρυμόνα σε βάθος 25 cm, με τον αισθητήρα ADCP και με μιλίσκο.

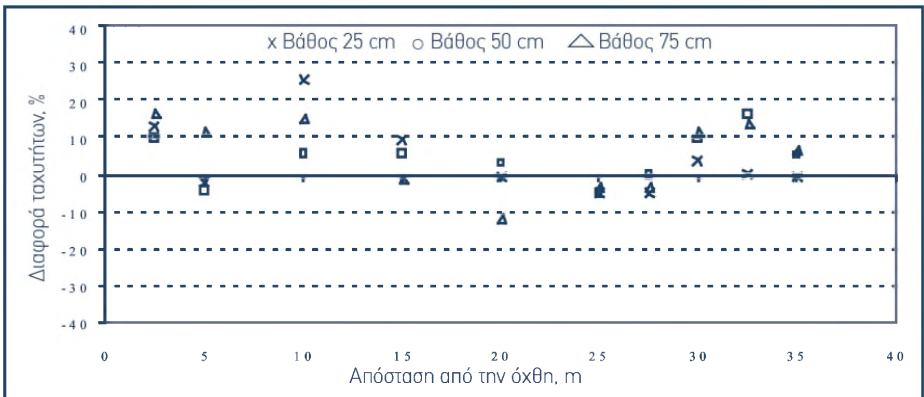


**Σχήμα 4.8.** Μετρήσεις της ταχύτητας ροής του νερού στον Στρυμόνα σε βάθος 50 cm, με τον αισθητήρα ADCP και με μιλίσκο.





**Σχήμα 4.9.** Μετρήσεις της ταχύτητας ροής του νερού στον Στριμόνα σε βάθος 75 cm, με τον αισθητήρα ADCP και με μυλίσκο.



**Σχήμα 4.10.** Διαφορά ταχυτήτων ροής του νερού στον Στριμόνα, εκφρασμένη επί τις εκατό, όπως αυτές προέκυψαν από μετρήσεις με αισθητήρα ADCP και μυλίσκο.

Παπαμιχαήλ, Δ.Μ. 2001. Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων, Εκδόσεις Γιακούδη - Παπούλη. Θεσσαλονίκη. 394 σελ.

Alsdorf, D. E., and D. P Lettenmaier 2003. Tracking fresh water from space, *Science*, 301: 1491 - 1494.

Alsdorf, D. E., D. P Lettenmaier, C. Vörösmarty, and the NASA Surface Water Working Group. 2003. The need for global, satellite-based observations of terrestrial surface waters, *Eos, Trans. AGU*, 84, 269: 275 - 276.

Costa, J. E., K. R. Spicer, R. T. Cheng, F P Haeni, N. B. Melcher, E. M. Thurman, W. J. Plant, and W. C. Keller. 2000. Measuring stream discharge by no contact methods: A proof - of - concept experiment, *Geophys. Res. Lett.*, 27(4): 553 - 556.

Morlock, S.E. 1996. Evaluation of acoustic Doppler current profiler measurements of river discharge, *Water - Resour. Investig. Rep.* 95 - 4218, U.S. Geol. Survey, Washington, D.C. 37p.

Morlock, S.E., Nguyen, H.T. and Ross, J.H.. 2002. Feasibility of acoustic Doppler velocity meters for the production of discharge records from U.S. Geological Survey Streamflow - Gaging Stations. U.S. GEOLOGICAL SURVEY Water-Resources Investigations Report 01 - 4157.

Mueller, D. S. 2003. Field Evaluation Of Boat - Mounted acoustic Doppler instruments used to measure stream flow, *Proc. IEEE Seventh Working Conference on Current Measurement Technology*, March 2003, San Diego, Calif: 30 - 34.

Rantz,S.E. et. al. 1982. Measurement and computation of stream flow: v.1: Measurement of stage and discharge, p. 174 - 175, and Computation of discharge: U.S. Geological Survey Water - Supply Paper 2175: 631.

Simpson, M. 2001. Discharge measurements using a broad-bank Acoustic Doppler Current Profiler, U.S. Geol. Survey, Washington, D.C. Open-File Rep. 1 - 01: 123.

Vörösmarty, C.J., C. Bririckett, L. Dingman, D. P Lettenmaier, Y. Kim, E. Rodriguez, and G. D. Emmitt. 1999. NASA Post - 2002 Land Surface Hydrology Mission Component for Surface Water Monitoring: HYDRA - SAT Hydrological Altimetry Satellite, A report from the NASA Post - 2002 Land Surface Hydrology Planning Workshop, 12 - 14 April, Irvine, Calif.

Sloat, J.V., Gain, W.S. 1995. Application of acoustic velocity meters for gauging discharge of three low - velocity tidal streams in the St. Johns River Basin, Northeast Florida: U. S. Geological Survey Water - Resources Investigation Report 95 - 4230: 26

## Βέλτιστα σχέδια αναδιάρθρωσης των αγροοικοσυστημάτων στη λεκάνη του Στρυμόνα

### Εισαγωγή

Η γεωργία στην περιοχή της λεκάνης του ποταμού Στρυμόνα χαρακτηρίζεται από την επικράτηση περιορισμένου σχετικά αριθμού κλάδων παραγωγής. Πρόκειται για τις παραδοσιακές στην περιοχή καλλιέργειες βαμβακιού, αραβοσίτου, μηδικής, καπνού, ρυζιού, τεύτλων, ποτιστικού σιταριού και βιομηχανικής ντομάτας, οι οποίες καταλαμβάνουν το 95 % περίπου της συνολικής έκτασης των αρδευτικών δικτύων της περιοχής. Η διάρθρωση αυτή των κλάδων στην περιοχή οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην ασκηθείσα πολιτική. Η πρόσφατη αναμόρφωση της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (ΚΑΠ), με τους Κανονισμούς 1782/2003 και 864/2004, προβλέπει τη μερική αποδέσμευση των επιδοτήσεων από τις περισσότερες καλλιέργειες και την καθιέρωση συστήματος άμεσων ενισχύσεων, με βάση τις συνδεδεμένες με τους κλάδους παραγωγής επιδοτήσεις που έλαβε κάθε εκμετάλλευση για την τριετία 2000 - 2002.

Η εφαρμογή της νέας πολιτικής έχει ως αποτέλεσμα την ουσιαστική μεταβολή των σχέσεων ανταγωνιστικότητας μεταξύ των κλάδων παραγωγής, οι οποίες είχαν καθορίσει σε πολύ μεγάλο βαθμό τη διάρθρωση των κλάδων στην περιοχή. Οι νέες συνθήκες που διαμορφώνονται υπαγορεύουν την ανάγκη ενσωμάτωσής τους στα παραγωγικά πρότυπα και επιτρέπουν προβλέψεις για τη νέα διάρθρωση των κλάδων της περιοχής. Είναι προφανές ότι η νέα αυτή διάρθρωση συνεπάγεται μεταβολές στα μεγέθη του τομέα, στα εισοδήματα των απασχολούμενων και στις συνολικές απαιτήσεις του τομέα σε παραγωγικούς συντελεστές.

Η επικράτηση των προαναφερθέντων κλάδων είναι αποτέλεσμα μιας μακρόχρονης διαδικασίας προσαρμογής της παραγωγικής κατεύθυνσης στην περιοχή. Αυτό σημαίνει ότι οι καλλιέργειες αυτές προσιδιάζουν στις εδαφοκλιματικές συνθήκες της λεκάνης του Στρυμόνα, αλλά και ότι έχουν δημιουργηθεί οι απαραίτητες υποδομές, σε μικρό ή μεγαλύτερο βαθμό. Επίσης, έχουν επικρατήσει γεωργικές πρακτικές, οι οποίες δεν είναι εύκολο να μεταβληθούν βραχυπρόθεσμα. Οι επικρατούσες γεωργικές πρακτικές συνθέτουν μια εντατική γεωργία, με χρήση αρδευτικού νερού, λιπασμάτων, γεωργικών φαρμάκων και άλλων εισροών. Η γεωργία στην κοιλάδα του ποταμού Στρυμόνα αποτελεί έναν από τους βασικούς παράγοντες πίεσης του τοπικού οικοσυστήματος.

Η μεταβολή του σχεδίου καλλιέργειας της περιοχής θα έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή του επιπέδου χρήσης εισροών. Αλλαγές στη χρήση εισροών μπορεί να προέρχονται από την υποκατάσταση των υφιστάμενων καλλιεργειών από άλλες, διαφορετικών απαιτήσεων σε αρδευτικό νερό, λιπάσματα και γεωργικά φάρμακα, ή από τη μεταβολή των γεωργικών πρακτικών στις υφιστάμενες καλλιέργειες, ή και από τη διατήρηση των ίδιων γεωργικών πρακτικών, με την αναδιάρθρωση των υφιστάμενων κλάδων παραγωγής. Σε κάθε περίπτωση, άμεση συνέπεια μιας μεταβολής του επιπέδου χρήσης των εισροών είναι η μετάβαση σε διαφορετικό επίπεδο πίεσης στο οικοσύστημα, ιδιαίτερα στους υδατικούς πόρους της περιοχής.

Σε Μεσογειακές χώρες, όπως η Ελλάδα, όπου επικρατούν διάφορες παραγωγικές κατευθύνσεις και σχετικά μεγάλος αριθμός κλάδων παραγωγής, είναι ενδιαφέρουσα η διερεύνηση των δυνατοτήτων επίτευξης περιβαλλοντικών βελτιώσεων, μόνο με μεταβολή της διάρθρωσης των κλάδων παραγωγής. Μια τέτοια διερεύνηση υπαγορεύεται από το θεσμικό πλαίσιο που διέπει τη διαχείριση των υδατικών πόρων (Οδηγία 60/2000, κανονισμοί για την προστασία σπάνιων ειδών πουλιών, περιοχές του Δικτύου ΦΥΣΗ 2000 κ.λπ.).

Η διαχείριση των υδατικών πόρων σε επίπεδο υδρογεωλογικής λεκάνης, στο πλαίσιο της Οδηγίας 60/2000, προϋποθέτει τη διερεύνηση των δυνατοτήτων μείωσης των πιέσεων που ασκούνται στους υδατικούς πόρους, κυρίως από την άσκηση της γεωργίας. Αντίστοιχα, στο πλαίσιο του έργου LIFE STRYMON, διερευνώνται οι δυνατότητες μείωσης της κατανάλωσης νερού, αλλά και οι δυνατότητες μείωσης των αγροχημικών εισροών της γεωργίας, όπως επιδιώκεται από την περιβαλλοντική διάσταση της αγροτικής πολιτικής. Η μείωση των εισροών αυτών (υδατικών και αγροχημικών) συνεπάγεται αντίστοιχη μείωση των γεωργικών εισοδημάτων. Έτσι, η διερεύνηση των δυνατοτήτων μείωσης των απαιτούμενων υδατικών πόρων και των αγροχημικών στην υδρογεωλογική λεκάνη του Στρυμόνα διαμορφώνεται σε πρόβλημα πολλαπλών και αντικρουόμενων αντικειμενικών κριτηρίων.

Στο πλαίσιο του έργου LIFE STRYMON, διαμορφώνεται και επιλύεται το παραπάνω πρόβλημα για την υδρογεωλογική λεκάνη του Στρυμόνα. Πρόκειται για γραμμικό πρόβλημα επιλογής συνδυασμού κλάδων παραγωγής και υφιστάμενων συντελεστών, με την επίλυση του οποίου, σε πρώτη φάση, επιλέγονται οι άριστοι συνδυασμοί των συντελεστών για κάθε έναν αντικειμενικό σκοπό ξεχωριστά, ενώ, σε δεύτερη φάση, επιλέγονται εφικτές συμβιβαστικές λύσεις για τους αντικρουόμενους αντικειμενικούς σκοπούς. Στην τελική φάση της επίλυσης, με την εφαρμογή compromise programming, επιλέγονται δυο συνδυασμοί που περικλείουν τις άριστες εφικτές επιλογές συνδυασμών.

Η θεωρία της επίλυσης του παραπάνω προβλήματος αναπτύσσεται στο Κεφάλαιο 5.1., ενώ στο Κεφάλαιο 5.2. γίνεται εκτίμηση των επιπτώσεων στο ακαθάριστο κέρδος και, κατά συνέπεια, στο γεωργικό εισόδημα, όταν μεταβάλλεται η διάρθρωση των καλλιεργειών στην περιοχή, ενώ διατηρούνται οι γεωργικές πρακτικές.

Στο Κεφάλαιο 5.3., εκτιμάται το εύρος κατά το οποίο είναι δυνατόν να μειωθεί η χρησιμοποιούμενη ποσότητα αρδευτικού νερού, η εφαρμοζόμενη ποσότητα αζώτου και η αξία των χρησιμοποιούμενων γεωργικών φαρμάκων, με την αναδιάρθρωση των κύριων υφιστάμενων κλάδων παραγωγής και των ίδιων γεωργικών πρακτικών. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται βασίζονται στην εφαρμογή της μεθόδου προγραμματισμού πολλαπλών στόχων.

Ακολούθως, στο Κεφάλαιο 5.4. παρουσιάζονται εναλλακτικά σχέδια καλλιέργειας για ολόκληρη την περιοχή, τα οποία καταρτίζονται με εφαρμογή της μεθόδου προγραμματισμού πολλαπλών στόχων. Με καθένα από τα σχέδια καλλιέργειας επιτυγχάνεται μεταβολή του ακαθάριστου κέρδους, της χρησιμοποιούμενης ποσότητας αρδευτικού νερού, της εφαρμοζόμενης ποσότητας αζώτου και της αξίας των χρησιμοποιούμενων αγροχημικών σε διαφορετικό βαθμό.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 5.5. επιχειρείται μια σύντομη ανάλυση των εμπλεκόμενων κοινωνικών ομάδων και ο σχεδιασμός των συμμετοχικών διαδικασιών για τη διαχείριση των υδατικών πόρων στη λεκάνη του ποταμού Στρυμόνα, ενώ τα τελικά συμπεράσματα παραθέτονται στο Κεφάλαιο 5.6.

## 5.1 Μεθοδολογικό πλαίσιο εκπόνησης διαχειριστικών σχεδίων

Για την ανάλυση της εκπόνησης των διαχειριστικών σχεδίων στη λεκάνη του Στρυμόνα, αξιοποιούνται δεδομένα των δράσεων του έργου LIFE STRYMON. Συγκεκριμένα, αξιοποιούνται τα περιγραφικά δεδομένα για τα βασικά μεγέθη της γεωργίας της περιοχής (αριθμός αρδευτικών δικτύων, καλλιεργούμενες εκτάσεις, αρδευόμενες εκτάσεις κ.ά.) και τα τεχνικοοικονομικά δεδομένα, τα οποία υπολογίστηκαν από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν με πρωτογενή έρευνα. Οι τεχνικοοικονομικοί δείκτες αποτελούν απαραίτητες εισροές για την εκπόνηση υποδειγμάτων προσομοίωσης των γεωργικών πρακτικών στην υδρολογική λεκάνη του Στρυμόνα. Μάλιστα, η τριετής διάρκεια της έρευνας εξασφάλισε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα που συγκρατεί ενδεχόμενες παρεκκλίσεις από τις συνήθεις γεωργικές πρακτικές, λόγω δυσμενών καιρικών συνθηκών ή άλλων εξωγενών παραγόντων.

Η προσομοίωση των γεωργικών πρακτικών στην περιοχή βασίζεται στην εκπόνηση ενός υποδείγματος μαθηματικού προγραμματισμού. Δομικές μονάδες του υποδείγματος αποτελούν τα 12 από τα 13 αρδευτικά δίκτυα της περιοχής, καθώς αντικειμενικοί λόγοι δεν επέτρεψαν τη συλλογή αξιόπιστων πρωτογενών δεδομένων από εκμεταλλεύσεις του αρδευτικού δικτύου Αγ. Ιωάννη.

Το υπόδειγμα είναι γραμμικό στην αρχική του μορφή και περιλαμβάνει:

- > **Αντικειμενική συνάρτηση.** Η αντικειμενική συνάρτηση περιλαμβάνει τα μεγέθη που καθορίζουν, σε κάθε περίπτωση, τους όρους ανταγωνιστικότητας των κλάδων και αποτελούν κριτήριο σύγκρισης μεταξύ τους, με σκοπό τον προσδιορισμό του συνδυασμού των διαθέσιμων συντελεστών παραγωγής που τη μεγιστοποιεί. Έτσι, για το συγκεκριμένο πρόβλημα, διαμορφώνονται τέσσερις αντικειμενικές συναρτήσεις, οι οποίες έχουν τη μορφή:

$$\sum_{j=1}^M c_j x_j = Z$$

όπου  $c_j$  είναι το κατά περίπτωση κριτήριο σύγκρισης του κλάδου  $j$  (έκτασης  $x_j$  στρεμμάτων), προκειμένου για  $M$  κλάδους παραγωγής, ενώ το  $Z$  είναι το μέγεθος που μεγιστοποιείται ή ελαχιστοποιείται. Η πρώτη αντικειμενική συνάρτηση αφορά στο ακαθάριστο κέρδος, του οποίου επιδιώκεται η μεγιστοποίηση, ενώ οι υπόλοιπες τρεις αφορούν στην εφαρμοζόμενη ποσότητα αζώτου, την αξία των χρησιμοποιούμενων γεωργικών φαρμάκων (ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα, μυκητοκτόνα, φυτορρυθμιστικές ουσίες) και στην ποσότητα του χρησιμοποιούμενου αρδευτικού νερού, των οποίων, αντίστοιχα, επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση. Σημειώνεται ότι, στο ακαθάριστο κέρδος δεν συνυπολογίζονται οι εισοδηματικές ενισχύσεις σε κλάδους παραγωγής, ούτε η ενιαία ανά εκμετάλλευση ενίσχυση.

- > **Μεταβλητές.** Τις κύριες μεταβλητές του υποδείγματος αποτελούν οι κλάδοι παραγωγής που καταλαμβάνουν τις εκτάσεις κάθε αρδευτικού δικτύου. Η επίλυση του προβλήματος παρέχει την έκταση κάθε κλάδου σε κάθε ένα αρδευτικό δίκτυο.

- > **Πίνακας των περιορισμών.** Με τον πίνακα των περιορισμών προσομοιώνονται οι τεχνικές συνθήκες σε κάθε δίκτυο. Η μαθηματική έκφραση των περιορισμών ελαχίστου είναι της μορφής:

$$\sum_{j=1}^M a_{ij} \cdot x_j \leq A_i$$

ενώ των περιορισμών μέγιστου

$$\sum_{j=1}^M a_{ij} \cdot x_j \geq A_i$$

όπου  $a_{ij}$  είναι οι απαιτήσεις του κλάδου  $j$  στον συντελεστή παραγωγής  $i$ , του οποίου η διαθέσιμη ποσότητα είναι  $A_i$ .

Ο πίνακας περιορισμών διακρίνεται σε 12 μέρη, ένα για κάθε δίκτυο, με περιορισμούς:

- Εδάφους. Πρόκειται για τη μέγιστη διαθέσιμη έκταση σε κάθε αρδευτικό δίκτυο, τη μέγιστη διαθέσιμη αρδευόμενη έκταση σε κάθε αρδευτικό δίκτυο, περιορισμούς ελαχίστου για τους κλάδους παραγωγής που υπόκεινται σε θεσμικούς ή εδαφοκλιματικούς περιορισμούς ή περιορισμούς αμειψισποράς και περιορισμούς μέγιστου για καλλιέργειες που δεν ανταγωνίζονται άλλες.
  - Εργασίας. Πρόκειται για τις απαιτήσεις των κλάδων παραγωγής σε ανθρώπινη εργασία, κατά μήνα.
  - Κεφαλαίου.
- > **Τεχνικοοικονομικοί συντελεστές.** Οι τεχνικοοικονομικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται στο υπόδειγμα αφορούν στην απόδοση των κλάδων παραγωγής, στην εμπορική τιμή των προϊόντων, στις απαιτήσεις των κλάδων σε ανθρώπινη εργασία, στην καταβαλλόμενη αμοιβή για μισθωμένη μηχανική εργασία, στην αξία των καυσίμων για τα ιδιόκτητα μηχανήματα, στην αξία των σπόρων, στην αξία των λιπασμάτων και στην ποσότητα αζώτου που εφαρμόζεται, στην αξία των γεωργικών φαρμάκων (εντομοκτόνα, μυκητοκτόνα, ζιζανιοκτόνα, φυτορρυθμιστικές ουσίες), στην απαιτούμενη ποσότητα αρδευτικού νερού, στα καταβαλλόμενα στους ΤΟΕΒ αρδευτικά τέλη, καθώς και στις δαπάνες που σχετίζονται με την άρδευση (καύσιμα, ηλεκτρισμός κ.ά.).
- > **Γραμμικός προγραμματισμός.** Η μέθοδος του γραμμικού προγραμματισμού αποτελεί μέθοδο αριστοποίησης, με την οποία επιδιώκεται η επίτευξη ενός αντικειμενικού σκοπού (αντικειμενικής συνάρτησης), όταν υπάρχουν διάφοροι εναλλακτικοί τρόποι επίτευξής του, υπό μια ομάδα περιορισμών. Η επίτευξη του αντικειμενικού σκοπού αφορά στη μεγιστοποίηση ή στην ελαχιστοποίηση ενός μεγέθους.

Η αλγεβρική έκφραση του προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού είναι η ακόλουθη:

$$\max (\min) \sum_{j=1}^M c_j x_j = Z \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^M a_{ij} x_j \leq A_i \quad (2)$$

$$x_j \geq 0 \quad (3)$$

όπου:

$x_j$  είναι ο αριθμός των φυσικών μονάδων (στρεμμάτων) του κλάδου παραγωγής  $j$ ,  $c_j$  είναι η τιμή του μεγέθους της αντικειμενικής συνάρτησης που συνεισφέρει ο κλάδος παραγωγής  $j$  στο σύνολο,  $Z$  είναι η μέγιστη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης,  $a_{ij}$  αντιπροσωπεύει τις απαιτήσεις μιας φυσικής μονάδας (στρέμματος) του κλάδου παραγωγής  $j$  στον συντελεστή παραγωγής  $i$ , του οποίου η μέγιστη διαθέσιμη ποσότητα είναι  $A$ .

Η ανάλυση ακολουθεί τη μέθοδο του προγραμματισμού πολλαπλών στόχων, η οποία περιγράφεται από τον Cohon (1978). Παραδείγματα εφαρμογής αποτελούν οι εργασίες των Romero and Rehman (1989), Psychoudakis et al. (2002) και Piech and Rehman (1993). Πρόκειται για μέθοδο με την οποία επιδιώκεται ο προσδιορισμός των σχεδίων καλλιέργειας που επιτυγχάνει τον συμβιβασμό των τεσσάρων αντικρουόμενων στόχων: τη μεγιστοποίηση του οικονομικού αποτελέσματος (ακαθάριστο κέρδος), την ελαχιστοποίηση της ποσότητας αζώτου, την ελαχιστοποίηση της αξίας των γεωργικών φαρμάκων και την ελαχιστοποίηση του αρδευτικού νερού. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο αλγόριθμος εφαρμογής της μεθόδου, σύμφωνα με τον Cohon:

1. Κατασκευάζεται ο πίνακας άριστων λύσεων (pay-off matrix). Η κατασκευή του πίνακα άριστων λύσεων προκύπτει από την επίλυση των προβλημάτων ελαχιστοποίησης της ποσότητας αζώτου, της αξίας των γεωργικών φαρμάκων και της ποσότητας του αρδευτικού νερού και μεγιστοποίησης του ακαθάριστου κέρδους. Σχηματίζονται, έτσι, τέσσερα προβλήματα αριστοποίησης, με αντικειμενική συνάρτηση το κάθε πρόβλημα και τον ίδιο πίνακα περιορισμών, όπως περιγράφηκαν παραπάνω. Τα προαναφερθέντα μεγέθη των κλάδων παραγωγής διαφοροποιούνται μεταξύ αρδευτικών δικτύων, ώστε να σχηματίζεται μια ομάδα (block) περιορισμών για τους κλάδους κάθε αρδευτικού δικτύου και να διασφαλίζεται η απουσία ανταγωνισμού μεταξύ καλλιέργειών σε διαφορετικά δίκτυα. Μετά την επίλυση καθενός από τα προβλήματα αριστοποίησης, υπολογίζεται η αξία των υπόλοιπων τριών αντικειμενικών συναρτήσεων, με βάση το άριστο σχέδιο παραγωγής που εκτιμάται. Στην προκειμένη περίπτωση, οι τέσσερις λύσεις και οι αντίστοιχες τιμές των αντικειμενικών συναρτήσεων πινακοποιούνται, σχηματίζοντας έναν  $4 \times 4$  πίνακα, με γραμμές τους τίτλους των λύσεων και στήλες τις αντικειμενικές συναρτήσεις. Είναι προφανές ότι τα στοιχεία της διαγώνιου του συγκεκριμένου πίνακα (πίνακας άριστων λύσεων) αποτελούν την ιδανική λύση, η οποία, ωστόσο, είναι ανέφικτη.

2. Συντάσσεται το υπόδειγμα προγραμματισμού πολλαπλών στόχων, όπου αντικειμενική συνάρτηση είναι μία (οποιαδήποτε) από τις τέσσερις προαναφερθείσες συναρτήσεις, με πίνακα περιορισμών ίδιο με τα προηγούμενα προβλήματα αριστοποίησης, όπου οι υπόλοιπες τρεις αντικειμενικές συναρτήσεις τίθενται ως περιορισμοί.
3. Από τον πίνακα άριστων λύσεων, υπολογίζεται το εύρος μεταβολής κάθε μιας από τις τρεις αντικειμενικές συναρτήσεις που τίθενται ως περιορισμοί μεταξύ των τεσσάρων λύσεων. Πρόκειται για τη διαφορά μεταξύ της ελάχιστης και της μέγιστης τιμής τους. Στη συνέχεια, επιλύεται τρεις φορές το πρόβλημα που προκύπτει στο βήμα (2). Κάθε φορά, μεταβάλλεται η μία από τις τρεις αντικειμενικές συναρτήσεις που τίθενται ως περιορισμοί, στο εύρος που υπολογίστηκε από τον πίνακα άριστων λύσεων. Με τον τρόπο αυτό, εκτιμάται μια σειρά άριστων λύσεων, στις οποίες διαφοροποιείται η τιμή των τεσσάρων αντικειμενικών σκοπών.

Το επόμενο βήμα είναι η εκτίμηση άριστων λύσεων που συμβιβάζουν τους αντικρουόμενους αντικειμενικούς σκοπούς. Η εκτίμηση αυτή βασίζεται στη μέθοδο προγραμματισμού πολλαπλών στόχων. Γεωμετρικά, μια τέτοια άριστη λύση είναι αυτή που απέχει την ελάχιστη απόσταση από την ιδανική (που καθορίζεται από τη διαγώνιο του πίνακα άριστων λύσεων). Ανάλογα με τις διαστάσεις του συστήματος συντεταγμένων που θα επιλεγεί, μεταβάλλεται και ο τύπος καθορισμού του προβλήματος αριστοποίησης. Αποδεικνύεται, όμως, ότι όλες οι συμβιβαστικές λύσεις περιλαμβάνονται μεταξύ των λύσεων για μια (1) και άπειρες διαστάσεις. Οι δυο αυτές λύσεις συμβολίζονται με  $L_1$  και  $L_\infty$ .

Με την επίλυση του προβλήματος, καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός των ανταποδοτικών αξιών (trade-offs) μεταξύ των κριτηρίων επιλογής των κλάδων στο πλαίσιο της ανάλυσης. Σύμφωνα με τους Romero and Rehman (1978), οι ανταποδοτικές αξίες μεταξύ δυο κριτηρίων εκφράζουν την ποσότητα του ενός κριτηρίου που πρέπει να θυσιάσει, ώστε να επιτευχθεί αύξηση του άλλου κριτηρίου κατά μία μονάδα.

Τα αποτελέσματα των διαδοχικών φάσεων της επίλυσης του προβλήματος προγραμματισμού πολλαπλών στόχων παρουσιάζονται στα τρία παραδοτέα του Υποέργου 3 με τίτλο:

- > Εκτίμηση του κόστους ευκαιρίας από τη μείωση της χρήσης του νερού και των αγροχημικών από τη γεωργία στη λεκάνη του Στρυμόνα.
- > Αξιολόγηση της δυνατότητας μείωσης της χρήσης νερού και αγροχημικών από την εφαρμογή αγροπεριβαλλοντικών μέτρων στη λεκάνη του Στρυμόνα.
- > Εκπόνηση βέλτιστων διαχειριστικών σχεδίων της φυτικής παραγωγής στη λεκάνη του Στρυμόνα.



## 5.2

# Αποτελέσματα εκτίμησης του κόστους ευκαιρίας από τη μείωση της χρήσης του νερού και των αγροχημικών από τη γεωργία στη λεκάνη του Στρυμόνα

### Πίνακας άριστων λύσεων

Στον Πίνακα 5.1. παρουσιάζεται ο πίνακας άριστων λύσεων. Πρόκειται για τα αποτελέσματα εφαρμογής μαθηματικού προγραμματισμού, με τον ίδιο πίνακα περιορισμών εδάφους, εργασίας και μεταβλητού κεφαλαίου και διαφορετική κάθε φορά αντικειμενική συνάρτηση. Για κάθε λύση, παρουσιάζονται τόσο η άριστη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης που τίθεται, όσο και οι τιμές των άλλων αντικειμενικών συναρτήσεων. Τα στοιχεία της διαγωνίου του Πίνακα 5.1. (που είναι ένας 4x4 πίνακας) αποτελούν την ιδανική, ανέφικτη ωστόσο, λύση για την περιοχή, με την οποία μεγιστοποιείται το ακαθάριστο κέρδος και ελαχιστοποιούνται η χρησιμοποιούμενη ποσότητα αζώτου, η αξία των γεωργικών φαρμάκων και η ποσότητα του αρδευτικού νερού. Έτσι, το μέγιστο ακαθάριστο κέρδος είναι 67,58 εκ.€ (117,99 €/στρ.), η ελάχιστη ποσότητα αζώτου 4,05 εκ. μονάδες (7,07 Kg.N/στρ.), η ελάχιστη αξία γεωργικών φαρμάκων 5,18 εκ.€ (9,04 €/στρ.) και η ελάχιστη ποσότητα νερού 374,3 εκ. m<sup>3</sup> (653,37 m<sup>3</sup>/στρ.). Η λύση 1, όπου μεγιστοποιείται το ακαθάριστο κέρδος, αντιπροσωπεύει τον συνδυασμό των συντελεστών της παραγωγής που θα επικρατήσει στην περιοχή με την εφαρμογή της νέας ΚΑΠ και είναι συγκρίσιμη με τον υφιστάμενο συνδυασμό των συντελεστών.

Από τον Πίνακα 5.1. φαίνεται η ουσιαστική επίδραση της μείωσης των εισροών στο επιτυχανόμενο ακαθάριστο κέρδος, στο σύνολο της περιοχής. Έτσι, στη λύση 2, όπου ελαχιστοποιείται η ποσότητα αζώτου, το ακαθάριστο κέρδος διαμορφώνεται στα 47,32 εκ.€, από 67,58 εκ.€ (μείωση 20,26 εκ.€ ή 30,0 %). Στη λύση 3, η ελαχιστοποίηση της αξίας των χρησιμοποιούμενων γεωργικών φαρμάκων συνεπάγεται τη μείωση του ακαθάριστου κέρδους από 67,58 εκ.€ σε 38,20 εκ.€ (μείωση 29,38 εκ.€ ή 43,5 %). Ακόμα μεγαλύτερη είναι η μείωση του επιτυχανόμενου οικονομικού αποτελέσματος στην περίπτωση της λύσης 4, όπου η ελαχιστοποίηση του χρησιμοποιούμενου αρδευτικού νερού επιφέρει μείωση του ακαθάριστου κέρδους από 67,58 εκ.€ σε 33,77 εκ.€ (μείωση 33,81 % ή 50,0 %).

Με βάση τον πίνακα άριστων λύσεων, είναι δυνατό να υπολογιστούν οι ανταποδοτικές αξίες (trade-offs), μεταξύ του ακαθάριστου κέρδους και των τριών εισροών. Έτσι, η τιμή της ανταποδοτικής αξίας μεταξύ του ακαθάριστου κέρδους και του αρδευτικού νερού είναι 4,58 €/10 m<sup>3</sup>, που δείχνει ότι η μείωση της κατανάλωσης νερού κατά 10 m<sup>3</sup> οδηγεί σε μείωση του ακαθάριστου κέρδους κατά 4,58 €. Με αντίστοιχο τρόπο, ερμηνεύονται και οι τιμές των ανταποδοτικών αξιών μεταξύ του ακαθάριστου κέρδους και της ποσότητας αζώτου και του ακαθάριστου κέρδους και της αξίας γεωργικών φαρμάκων, που είναι 10,39 €/Kg.N και 3,90 €/€ αντίστοιχα. Είναι προφανές ότι η μείωση των συντελεστών περιορίζει το ακαθάριστο κέρδος, σε διαφορετικό, όμως, βαθμό.

**Πίνακας 5.1.** Πίνακας άριστων λύσεων (Pay-off matrix).

Λύσεις	Ακ. κέρδος (εκ.€)	Λιπάσματα (εκ. μον. N)	Γεωργικά φάρμακα (εκ.€)	Νερό (10 εκ. κ.μ.)
<b>1. Ακαθάριστο κέρδος</b>	<b>67,58</b>	6,00	12,72	44,80
<b>2. Ποσότητα αζώτου</b>	47,32	<b>4,05</b>	12,21	43,17
<b>3. Αξία γεωργικών φαρμάκων</b>	38,20	10,87	<b>5,18</b>	43,07
<b>4. Ποσότητα αρδευτικού νερού</b>	33,77	13,02	10,64	<b>37,43</b>

### Προγραμματισμός πολλαπλών στόχων

Στον Πίνακα 5.2. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής προγραμματισμού πολλαπλών στόχων, όπου στην αντικειμενική συνάρτηση τίθεται το ακαθάριστο κέρδος των κλάδων παραγωγής και ο πίνακας περιορισμών εδάφους, εργασίας και μεταβλητού κεφαλαίου είναι ο ίδιος με αυτόν του πίνακα γραμμικού προγραμματισμού. Επιπλέον, οι υπόλοιπες τρεις αντικειμενικές συναρτήσεις τίθενται ως περιορισμοί. Ακολουθούν 3 εφαρμογές της μεθόδου, σε κάθε μία από τις οποίες αλλάζει διαφορετικός μεταβαλλόμενος συντελεστής. Την πρώτη φορά μεταβάλλεται η χρησιμοποιούμενη ποσότητα αζώτου, τη δεύτερη η αξία των χρησιμοποιούμενων γεωργικών φαρμάκων και την τρίτη η χρησιμοποιούμενη ποσότητα νερού. Το εύρος μεταβολής κάθε συντελεστή καθορίζεται από τις τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα άριστων λύσεων. Πρόκειται για τη διαφορά μεταξύ της ελάχιστης τιμής (που αποτελεί στοιχείο της διαγωνίου) και της μέγιστης τιμής. Έτσι, η χρησιμοποιούμενη ποσότητα λιπασμάτων μειώνεται από 13,02 εκ.Kg.N (22,73 Kg.N/στρ.) σε 4,05 εκ.Kg.N (7,07 Kg.N/στρ.) –μεταβολή κατά 8,97 εκ.Kg.N ή 68,9 %, η αξία των γεωργικών φαρμάκων μειώνεται από 12,72 εκ.€ (22,20 €/στρ.) σε 5,18 εκ.€ (9,04 €/στρ.) –μεταβολή κατά 7,54 εκ.€ ή 59,3 % και η ποσότητα του νερού μειώνεται από 448,00 εκ.μ<sup>3</sup> (782,18 μ<sup>3</sup>/στρ.) σε 374,40 εκ.μ<sup>3</sup> (653,37 μ<sup>3</sup>/στρ.) –μεταβολή κατά 73,6 εκ.μ<sup>3</sup> ή 16,4 %.

Από την εφαρμογή του προγραμματισμού πολλαπλών στόχων προκύπτουν συνολικά 144 λύσεις, ορισμένες από τις οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2. Είναι προφανές πως κάθε λύση αποτελεί διαφορετικό συνδυασμό των κλάδων παραγωγής, που αξιοποιούν σε διαφορετικό βαθμό τους διαθέσιμους συντελεστές παραγωγής.

**Πίνακας 5.2.** Πίνακας άριστων λύσεων (Pay-off matrix).

A/A Λύσης	Ακ. κέρδος (εκ.€)	Νερό (10 εκ. m <sup>3</sup> )	Λιπάσματα (εκ. Kg. N)	Γεωργικά φάρμακα (εκ.€)
1	33,77	10,64	374,25	13,02
10	42,50	12,72	376,79	8,25
20	47,54	12,72	382,97	7,27
30	49,04	6,06	401,10	9,20
40	50,79	12,72	389,46	7,03
50	53,60	6,85	405,19	8,46
60	55,43	12,72	401,02	6,84
70	56,78	11,35	403,59	4,32
80	58,36	12,72	410,39	6,61
90	61,21	12,49	401,70	4,66
100	63,10	12,72	405,14	4,84
110	64,68	12,72	432,82	6,01
120	66,04	12,72	413,50	5,15
130	67,00	12,72	417,96	5,32
144	67,58	12,72	448,04	6,00

Από τον Πίνακα 5.2. προκύπτουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

1. Τα όρια μεταβολής των εισροών (νερό, άζωτο, γεωργικά φάρμακα), αλλά και του ακαθάριστου κέρδους είναι αυτά που καθορίζονται στον πίνακα άριστων λύσεων.
2. Το ακαθάριστο κέρδος μεταβάλλεται μεταξύ 67,58 εκ.€ (117,99 €/στρ.) και 33,77 εκ.€ (58,95 €/στρ.), δηλαδή κατά 33,81 εκ.€. Πρόκειται για υποδιπλασιασμό του μεγέθους που οφείλεται στη μείωση της διαθεσιμότητας συντελεστών παραγωγής και ιδιαίτερα του νερού, η ποσότητα του οποίου ελαχιστοποιείται στη λύση 1, όπου το ακαθάριστο κέρδος παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή του και μεγιστοποιείται στη λύση 144, όταν μεγιστοποιείται και το ακαθάριστο κέρδος.
3. Ο ρυθμός μεταβολής του ακαθάριστου κέρδους μεταξύ διαδοχικών λύσεων δεν παραμένει σταθερός, αλλά παρατηρείται μια σχετικά γρήγορη αύξηση του μεγέθους, για διαδοχικές αυξήσεις του εκάστοτε μεταβαλλόμενου συντελεστή, σε χαμηλά επίπεδα αυτού που μετατρέπεται σε βραδύτερη αύξησή του σε υψηλότερα επίπεδα χρήσης του συντελεστή.
4. Ορισμένες από τις λύσεις του Πίνακα 5.2. είναι σχεδόν παρόμοιες, όσον αφορά στο οικονομικό αποτέλεσμα και στη χρήση των συντελεστών παραγωγής. Αντίθετα, σε ορισμένες περιπτώσεις, διαφορετικοί συνδυασμοί των συντελεστών παραγωγής έχουν ως αποτέλεσμα ελάχιστες διαφορές στο επιτυγχανόμενο ακαθάριστο κέρδος.

5. Η χρήση λιπασμάτων είναι ιδιαίτερα αυξημένη, προκειμένου για χαμηλά επίπεδα χρήσης νερού. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην επιλογή καλλιεργειών με χαμηλές απαιτήσεις σε αρδευτικό νερό, που, όμως, είναι ιδιαίτερα απαιτητικές σε άζωτο.
6. Το επίπεδο χρήσης γεωργικών φαρμάκων είναι το μέγιστο δυνατό σε 70 από τις 144 λύσεις (12,72 εκ.€). Στις περιπτώσεις αυτές, το ακαθάριστο κέρδος κινείται μεταξύ 42,50 εκ.€ και 67,58 εκ.€.

### Συμβιβαστικός προγραμματισμός (Compromise programming)

Ο σχετικά μεγάλος αριθμός των λύσεων που προκύπτουν και οι μικρές διαφορές μεταξύ ορισμένων από αυτές, σύμφωνα με την παρατήρηση 4, έχουν ως αποτέλεσμα την παροχή μεγάλου σχετικά όγκου πληροφοριών, οι οποίες, ενδεχομένως, δεν είναι αξιοποιήσιμες. Για τον λόγο αυτό, επιλέγονται ορισμένες από τις 144 αρχικές λύσεις. Η επιλογή έγινε με μια τεχνική «φιλτραρίσματος» που περιγράφεται από τους Romero et al. (1987). Η τεχνική προβλέπει την επιλογή των λύσεων εκείνων στις οποίες η τιμή μιας οποιασδήποτε από τις αντικειμενικές συναρτήσεις διαφέρει ουσιαστικά από τις τιμές της στις υπόλοιπες λύσεις. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, το κριτήριο είναι το ακαθάριστο κέρδος και το επίπεδο μεταβολής του, που καταδεικνύει μια ενδιαφέρουσα μεταβολή, τίθεται σε 4 %. Οι επιλεγμένες αυτές λύσεις δεν παρατίθενται στο παρόν.

Στον Πίνακα 5.3. παρατίθενται οι λύσεις του συμβιβαστικού προγραμματισμού L1 και L $\infty$ , που περιλαμβάνουν τις άριστες συμβιβαστικές λύσεις. Τα όρια αυτά είναι 39,97 εκ.€ (69,77 €/στρ.) και 56,72 εκ.€ (99,00 €/στρ.) για το ακαθάριστο κέρδος, για επίπεδα χρήσης νερού, λιπασμάτων και γεωργικών φαρμάκων 422,5 εκ.μ<sup>3</sup> - 434,4 εκ.μ<sup>3</sup> (737,60 μ<sup>3</sup>/στρ. - 758,40 μ<sup>3</sup>/στρ.), 5,29 εκ.Κg.N - 5,76 εκ.Κg.N (9,24 Κg.N/στρ. - 10,06 Κg.N./στρ.), 9,35 εκ.€ - 11,33 εκ.€ (16,32 €/στρ. - 19,78 €/στρ.) αντίστοιχα.

**Πίνακας 5.3.** Πίνακας άριστων λύσεων (Pay-off matrix).

A/A λύσης	Ακ. κέρδος (εκ.€)	Νερό (10 εκ. m <sup>3</sup> )	Λιπάσματα (εκ. Kg. N)	Γεωργικά φάρμακα (εκ.€)
L1	56,72	42,25	5,76	9,35
L $\infty$	39,97	43,45	5,29	11,33

## 5.3 Αποτελέσματα αξιολόγησης της δυνατότητας μείωσης της χρήσης νερού και αγροχημικών από την εφαρμογή αγροπεριβαλλοντικών μέτρων στη λεκάνη του Στρυμόνα

Στην παρούσα έκθεση, παρουσιάζεται μια σειρά εφικτών συνδυασμών των αντικρουόμενων αντικειμενικών σκοπών, για το σύνολο της υδρογεωλογικής λεκάνης, μέσω των οποίων φαίνονται και οι δυνατότητες μείωσής τους. Από τα προαναφερθέντα αποτελέσματα προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Σε κάθε διαχειριστικό σχέδιο, η χρησιμοποιούμενη ποσότητα νερού, η εφαρμοζόμενη ποσότητα αζώτου και η αξία των χρησιμοποιούμενων γεωργικών φαρμάκων μεταβάλλονται σε εύρος που αντικατοπτρίζει τις δυνατότητες μείωσης του επιπέδου χρήσης τους.
2. Στον Πίνακα 5.4. παρουσιάζονται, συγκεντρωτικά, τα αποτελέσματα της ανάλυσης, τα οποία δείχνουν τις δυνατότητες μείωσης των εισροών αρδευτικού νερού, αζώτου και γεωργικών φαρμάκων, ως την ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των τιμών των αντίστοιχων αντικειμενικών συναρτήσεων μεταξύ των λύσεων, όπου αυτές μεγιστοποιούνται και ελαχιστοποιούνται.
3. Όλα τα σχέδια παραγωγής αποτελούν εφικτές λύσεις του κάθε προβλήματος βελτιστοποίησης. Δηλαδή, σε κάθε περίπτωση οι διαθέσιμοι συντελεστές παραγωγής αξιοποιούνται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μεγιστοποιείται ή να ελαχιστοποιείται η τιθέμενη αντικειμενική συνάρτηση. Η επιλογή του καλύτερου, ή των καλύτερων από αυτά τα σχέδια, συναρτάται άμεσα με τις επιδιώξεις των εμπλεκόμενων κοινωνικών ομάδων της περιοχής.

**Πίνακας 5.4.** Δυνατότητες μείωσης των εισροών αζώτου, γεωργικών φαρμάκων και νερού στην υδρογεωλογική λεκάνη του ποταμού Στρυμόνα.

Αρδευτικά δίκτυα Εισροές	Ποσότητες εισροών και ακαθάριστο κέρδος <sup>1</sup>		
	Μέγιστη	Ελάχιστη	Μεταβολή %
<b>Σύνολο</b>	<b>67,58<sup>1</sup></b>	<b>33,77</b>	<b>-50,0</b>
1. Λιπάσματα (εκ. Kg.N)	13,02	4,05	-68,9
2. Φάρμακα (εκ. €)	12,72	5,18	-59,3
3. Νερό (10 εκ. κ.μ.)	44,80	37,43	-16,5
<b>ΓΟΕΒ Πεδιάδας Σερρών</b>	5,06	1,89	-62,6
1. Λιπάσματα (εκ. Kg.N)	1,17	0,39	-66,7
2. Φάρμακα (εκ. €)	1,15	0,48	-58,3
3. Νερό (10 εκ. κ.μ.)	3,49	2,90	-16,9

Αρδευτικά δίκτυα Εισροές	Ποσότητες εισροών και ακαθάριστο κέρδος <sup>1</sup>		
	Μέγιστη	Ελάχιστη	Μεταβολή %
<b>ΤΟΕΒ Ηράκλειας</b>	6,70	3,57	-46,7
1. Λιπάσματα (εκ.Κg.N)	1,47	0,43	-70,7
2. Φάρμακα (εκ.€)	2,17	0,55	-74,7
3. Νερό (10 εκ. κ.μ.)	5,92	4,74	-19,9
<b>ΤΟΕΒ Προβατά</b>	17,68	9,44	-46,6
1. Λιπάσματα (εκ.Κg.N)	3,20	0,98	-69,4
2. Φάρμακα (εκ.€)	2,75	1,42	-48,4
3. Νερό (10 εκ. κ.μ.)	12,70	11,03	-13,1
<b>ΤΟΕΒ Σιδηροκάστρου</b>	9,09	3,05	-66,4
1. Λιπάσματα (εκ.Κg.N)	1,56	0,51	-67,3
2. Φάρμακα (εκ.€)	1,52	0,84	-44,7
3. Νερό (10 εκ. κ.μ.)	5,37	4,43	-17,5
<b>ΤΟΕΒ Νιγρίτας</b>	8,25	3,44	-58,3
1. Λιπάσματα (εκ.Κg.N)	1,58	0,57	-63,9
2. Φάρμακα (εκ.€)	2,13	0,80	-62,4
3. Νερό (10 εκ. κ.μ.)	4,56	3,52	-22,8
<b>ΤΟΕΒ Δήμητρας</b>	4,67	1,97	-57,8
1. Λιπάσματα (εκ.Κg.N)	0,83	0,26	-68,7
2. Φάρμακα (εκ.€)	1,64	0,29	-82,3
3. Νερό (10 εκ. κ.μ.)	2,78	2,09	-24,8
<b>ΤΟΕΒ Δημητριτσίου</b>	4,94	2,07	-58,1
1. Λιπάσματα (εκ.Κg.N)	1,07	0,26	-75,7
2. Φάρμακα (εκ.€)	1,61	0,28	-82,6
3. Νερό (10 εκ. κ.μ.)	3,31	2,61	-21,1
<b>ΤΟΕΒ Δυτικής Διώρυγας</b>	5,82	2,53	-56,5
1. Λιπάσματα (εκ.Κg.N)	1,31	0,28	-78,6
2. Φάρμακα (εκ.€)	1,21	0,50	-58,7
3. Νερό (10 εκ. κ.μ.)	3,76	3,15	-16,2

Αρδευτικά δίκτυα Εισροές	Ποσότητες εισροών και ακαθάριστο κέρδος <sup>1</sup>		
	Μέγιστη	Ελάχιστη	Μεταβολή %
<b>ΤΟΕΒ Νέου Σκοπού</b>	1,39	0,77	-44,6
1. Λιπάσματα (εκ.Κg.N)	0,25	0,05	-80,0
2. Φάρμακα (εκ.€)	0,24	0,10	-58,3
3. Νερό (10 εκ. κ.μ.)	0,82	0,68	-17,1
<b>ΤΟΕΒ Νεοχωρίου</b>	0,41	0,22	-46,3
1. Λιπάσματα (εκ.Κg.N)	0,07	0,01	-85,7
2. Φάρμακα (εκ.€)	0,06	0,02	-66,7
3. Νερό (10 εκ. κ.μ.)	0,22	0,17	-22,7
<b>ΤΟΕΒ Ψυχικού - Πεθελινού</b>	3,16	1,98	-37,3
1. Λιπάσματα (εκ.Κg.N)	0,54	0,31	-42,6
2. Φάρμακα (εκ.€)	0,59	0,23	-61,0
3. Νερό (10 εκ. κ.μ.)	2,21	1,87	-15,4
<b>ΤΟΕΒ Πετριτσίου</b>	0,42	0,23	-45,2
1. Λιπάσματα (εκ.Κg.N)	0,05	0,03	-40,0
2. Φάρμακα (εκ.€)	0,08	0,02	-75,0
3. Νερό (10 εκ. κ.μ.)	0,28	0,23	-17,9

Οι αριθμοί δίπλα στα ονόματα των αρδευτικών δικτύων αντιπροσωπεύουν το ακαθάριστο κέρδος (σε εκ.€) και τις μεταβολές του.

## 5.4 Αποτελέσματα εκπόνησης βέλτιστων διαχειριστικών σχεδίων της φυτικής παραγωγής στη λεκάνη του Στρυμόνα

Στον Πίνακα 5.5. παρουσιάζεται η σύνθεση των καλλιεργειών που αντιστοιχεί σε κάθε σειρά του πίνακα άριστων λύσεων. Είναι προφανές, ότι κάθε ένα από τα σχέδια καλλιέργειας συνεπάγεται διαφορετικό ακαθάριστο κέρδος και διαφορετικά επίπεδα χρήσης εισροών. Οι εκτάσεις που καταλαμβάνει κάθε καλλιέργεια διαφοροποιούνται ουσιαστικά μεταξύ των λύσεων και η επιλογή της άριστης λύσης απαιτεί την εξέταση του επιτυγχανόμενου ακαθάριστου κέρδους και του επιπέδου χρήσης νερού, αζώτου και αγροχημικών, αλλά και των απόψεων των γεωργών της περιοχής, ώστε οι καλλιέργειες και οι συνδυασμοί τους να αξιολογηθούν με βάση την αποδοχή τους και άλλα κοινωνικά κριτήρια.

**Πίνακας 5.5.** Άριστα σχέδια καλλιέργειας για τις λύσεις του πίνακα άριστων λύσεων.

Λύσεις	Εκτάσεις κλάδων παραγωγής (χιλ.στρ.)								
	Βαμβάκι	Μηδική	Αραβόσιτος	Ρύζι	Τεύτλα	Καπνός	Βιομηχανική ντομάτα	Σιτάρι (ξ)	Σιτάρι (η)
<b>Ακαθάριστο Κέρδος</b>	189,8	142,2	31,0	17,1	125,4	6,4	56,9	4,0	-
<b>Ποσότητα αζώτου</b>	400,5	117,9	-	20,2	2,2	21,0	-	4,0	7,1
<b>Αξία γεωργικών φαρμάκων</b>	-	142,2	352,7	17,1	-	0,3	-	4,0	56,5
<b>Ποσότητα αρδευτικού νερού</b>	0,2	-	416,4	17,1	-	21,3	56,9	4,0	56,9

Η πρώτη σειρά του Πίνακα 5.5. αντιπροσωπεύει τον συνδυασμό των κλάδων παραγωγής που μεγιστοποιεί το ακαθάριστο κέρδος, χωρίς περιορισμούς στους αναφερόμενους συντελεστές και με τιμές που διαμορφώνει η εφαρμογή της νέας ΚΑΠ. Πρόκειται για συνδυασμό αναφοράς, με τον οποίο συγκρίνονται οι συνδυασμοί μειωμένης χρήσης λιπασμάτων, γεωργικών φαρμάκων και αρδευτικού νερού. Το ακαθάριστο κέρδος ανέρχεται σε 117,99 €/στρ. και είναι το υψηλότερο που μπορεί να επιτευχθεί με τους περιορισμούς που τίθενται. Στον συνδυασμό αυτό, οι καλλιέργειες βαμβακιού, μηδικής και τεύτλων καταλαμβάνουν το 80 % περίπου της συνολικής έκτασης και προσδιορίζουν την παραγωγική κατεύθυνση στην περιοχή.

Η δεύτερη σειρά αντιπροσωπεύει τον συνδυασμό των καλλιεργειών με την ελάχιστη κατανάλωση λιπασμάτων (7,07 Kg.N/στρ.) και μέσο ακαθάριστο κέρδος 82,61 €/στρ. Όπως προκύπτει από τη σύγκριση με τον συνδυασμό που μεγιστοποιεί το ακαθάριστο κέρδος, η μείωση των λιπασμάτων προκύπτει από τη μείωση, κυρίως, της έκτασης της τευτλοκαλλιέργειας και της έκτασης της καλλιέργειας της βιομηχανικής ντομάτας. Σημειώνεται ότι, όταν περιορίζεται ένας συντελεστής, αυξάνεται η συμμετοχή στον συνδυασμό των καλλιεργειών του κλάδου που δίνει μεγαλύτερο ακαθάριστο κέρδος, ανά μονάδα περιορισμένου συντελεστή.

Η τρίτη σειρά αντιπροσωπεύει τον συνδυασμό των καλλιεργειών με την ελάχιστη χρήση γεωργικών φαρμάκων (9,04 €/στρ.) και με μέσο ακαθάριστο κέρδος 66,70 €/στρ. Η σύγκριση με τον συνδυασμό μεγιστοποίησης του ακαθάριστου κέρδους (πρώτη σειρά) δείχνει ότι η μείωση της χρήσης γεωργικών φαρμάκων μπορεί να επιτευχθεί, κυρίως, με την υποκατάσταση της βαμβάκοκαλλιέργειας και της τευτλοκαλλιέργειας από την καλλιέργεια καλαμποκιού, ενώ στη μείωση της χρήσης γεωργικών φαρμάκων συμβάλλει η συμμετοχή κατά 10 % περίπου της καλλιέργειας σιταριού στα αρδευτικά δίκτυα.



Ο συνδυασμός των καλλιιεργειών με την ελάχιστη κατανάλωση αρδευτικού νερού (4η σειρά του πίνακα), που υπολογίζεται σε 653,5 m<sup>3</sup>/στρ. και με ακαθάριστο κέρδος 58,83 €/στρ., περιλαμβάνει καλλιέργειες που αποδίδουν το υψηλότερο ακαθάριστο κέρδος ανά m<sup>3</sup> αρδευτικού νερού. Πρόκειται για τις καλλιέργειες αραβοσίτου (73 % περίπου της συνολικής έκτασης), βιομηχανικής ντομάτας (10 % περίπου της έκτασης) και σίτου (10 % περίπου της έκτασης) στα αρδευτικά δίκτυα.

Στον Πίνακα 5.6. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του προγραμματισμού πολλαπλών στόχων, όπου στην αντικειμενική συνάρτηση τίθεται το ακαθάριστο κέρδος των κλάδων παραγωγής και ο πίνακας περιορισμών εδάφους, εργασίας και μεταβλητού κεφαλαίου είναι ο ίδιος με αυτόν του πίνακα γραμμικού προγραμματισμού. Επιπλέον, οι υπόλοιπες τρεις αντικειμενικές συναρτήσεις τίθενται ως περιορισμοί. Σε κάθε μία από τις τρεις εφαρμογές του παραμετρικού προγραμματισμού αλλάζει ο μεταβαλλόμενος συντελεστής, ο οποίος, την πρώτη φορά είναι η χρησιμοποιούμενη ποσότητα αζώτου, τη δεύτερη η αξία των χρησιμοποιούμενων αγροχημικών και την τρίτη η χρησιμοποιούμενη ποσότητα νερού. Το εύρος μεταβολής κάθε συντελεστή καθορίζεται από τις τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα άριστων λύσεων. Πρόκειται για τη διαφορά μεταξύ της ελάχιστης τιμής (που αποτελεί στοιχείο της διαγωνίου) και της μέγιστης τιμής.

Με την επίλυση του υποδείγματος προγραμματισμού πολλαπλών στόχων, προκύπτουν συνολικά 144 λύσεις, ορισμένα από τα σχέδια καλλιέργειας των οποίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6. Οι λύσεις ιεραρχούνται με κριτήριο το ακαθάριστο κέρδος.

**Πίνακας 5.6.** Αποτελέσματα εφαρμογής παραμετρικού προγραμματισμού.

Α/Α Λύσης	Εκτάσεις κλάδων παραγωγής (χιλ.στρ.)								
	Βαμβάκι	Μηδική	Αραβόσιτος	Ρύζι	Τεύτλα	Καπνός	Βιομηχανική ντομάτα	Σιτάρι (ξ)	Σιτάρι (η)
1	0,2	-	416,4	17,1	-	21,3	56,9	4,0	56,9
10	263,2	-	153,4	17,1	-	21,3	56,9	4,0	56,9
20	300,9	15,7	99,8	17,1	0,2	21,3	56,9	4,0	56,9
30	89,4	142,2	249,5	17,1	2,7	0,3	14,1	4,0	53,5
40	283,0	33,6	84,3	17,1	16,0	21,3	56,9	4,0	56,9
50	131,1	142,2	210,1	17,1	15,0	0,3	19,1	4,0	33,9
60	268,0	60,4	73,3	17,1	31,1	18,9	56,9	4,0	43,1
70	374,1	139,5	-	17,1	2,2	12,8	23,2	4,0	-
80	258,7	82,4	59,2	17,1	43,0	16,6	56,9	4,0	34,9
90	328,5	139,5	-	17,1	20,7	12,8	50,2	4,0	-
100	303,1	39,5	-	17,1	46,1	12,8	50,2	4,0	-
110	185,0	142,2	36,3	17,1	85,6	17,1	56,9	4,0	28,7
120	257,4	139,5	-	17,1	95,8	7,4	51,7	4,0	-
130	236,8	142,2	-	17,1	116,0	4,8	52,0	4,0	-
144	189,8	142,2	31,0	17,1	125,4	6,4	56,9	4,0	-

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 5.6. προκύπτουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

1. Ο αραβόσιτος και το βαμβάκι αποτελούν ανταγωνιστικές καλλιέργειες, γεγονός που αποτυπώνεται στα περισσότερα σχέδια καλλιέργειας. Μείωση της μιας καλλιέργειας, συνεπάγεται μερική υποκατάσταση από την άλλη. Η έκταση που καταλαμβάνει η βαμβακοκαλλιέργεια κυμαίνεται μεταξύ 0 και 400,5 χιλ.στρ., ενώ η έκταση της καλλιέργειας αραβόσιτου κυμαίνεται μεταξύ 0 και 360,1 χιλ.στρ. Το άθροισμα των εκτάσεων των δυο καλλιεργειών κινείται μεταξύ 220,4 χιλ.στρ. και 416,6 χιλ.στρ., δηλαδή μεταξύ 38,5 % και 72,7 % της συνολικής έκτασης, γεγονός που καταδεικνύει πως πρόκειται για τις δυο σημαντικότερες καλλιέργειες της περιοχής. Η παρατήρηση αυτή δείχνει ότι οι δυο καλλιέργειες αποτελούν βασικές καλλιέργειες της περιοχής και γενικά του Στρυμόνα και ότι ο κατάλληλος συνδυασμός τους μπορεί να συμβάλει στη μείωση, τόσο των αγροχημικών εισροών, όσο και της κατανάλωσης νερού για αρδεύσεις.
2. Η έκταση της μηδικής μεταβάλλεται μεταξύ 0 και 142,2 χιλ.στρ. που αντιστοιχούν στο 25 % περίπου της συνολικά καλλιεργούμενης έκτασης στην περιοχή. Πρόκειται για κλάδο που ευννοείται από τις μεταβολές στην ασκούμενη αγροτική πολιτική. Λόγω του υψηλού ακαθάριστου κέρδους της και των χαμηλών απαιτήσεών της σε αγροχημικά και άζωτο, επιλέγεται μία σχετικά μεγάλη έκταση στις περισσότερες λύσεις, ενώ η έκτασή της περιορίζεται, όταν αντικειμενικό σκοπός είναι η μείωση του αρδευτικού νερού, λόγω του ότι αποτελεί αρκετά υδροβόρα καλλιέργεια.
3. Η καλλιέργεια ρυζιού αποτελεί παραδοσιακή καλλιέργεια για εκτάσεις του ΤΟΕΒ Προβατά. Η συνολική της έκταση είναι, είτε 17,1 χιλ.στρ. (σε 131 λύσεις), είτε 21,2 χιλ.στρ. (στις υπόλοιπες 13). Η σταθερότητα αυτή οφείλεται στο ότι αξιοποιεί εδάφη, όπου δεν ανταγωνίζεται άλλους κλάδους.
4. Η τευτοκαλλιέργεια αποτελεί ακόμα έναν κλάδο, η ανταγωνιστικότητα του οποίου επηρεάζεται από τις ρυθμίσεις της νέας ΚΑΠ. Παρόλα αυτά, είναι καλλιέργεια με σχετικά υψηλό ακαθάριστο κέρδος. Η έκτασή της κυμαίνεται μεταξύ 0 και 125,4 χιλ.στρ., που αποτελεί το 22 % περίπου της συνολικής έκτασης.
5. Η βιομηχανική ντομάτα επιλέγεται σε 138 σχέδια καλλιέργειας και, μάλιστα, σε σχετικά μεγάλη έκταση, που κυμαίνεται μεταξύ 3,0 χιλ.στρ. και 56,9 χιλ.στρ. (10 % της καλλιεργούμενης στην περιοχή έκτασης).
6. Η καπνοκαλλιέργεια αποτελεί παραδοσιακό κλάδο για την περιοχή, ιδιαίτερα στους ΤΟΕΒ Δημητρίτσου και Νιγρίτας. Με τις ρυθμίσεις της νέας ΚΑΠ και την αποσύνδεση των επιδοτήσεων από την παραγόμενη ποσότητα, η ανταγωνιστικότητα του κλάδου έχει μειωθεί σημαντικά, ενώ και οι απαιτήσεις του σε αγροχημικά είναι ιδιαίτερα αυξημένες. Η έκταση, λοιπόν, που καταλαμβάνει η καλλιέργεια είναι μεταξύ 0,3 χιλ.στρ. και 21,3 χιλ.στρ.
7. Το ξηρικό σιτάρι καταλαμβάνει εκτάσεις 4,0 χιλ.στρ. περίπου, σε ξηρικές και οριακές περιοχές των αρδευτικών δικτύων. Αντίθετα, το ποτιστικό σιτάρι είναι γνωστός για την περιοχή κλάδος, που επιτυγχάνει αρκετά υψηλές αποδόσεις και έχει χαμηλές απαιτήσεις σε εισροές. Η αποσύνδεση των επιδοτήσεων από την παραγωγή περιόρισε σημαντικά την ανταγωνιστικότητα του σιταριού, που, όμως, εξακολουθεί να έχει προοπτικές, όταν καλλιεργείται σε αρδευόμενα εδάφη. Οι εκτάσεις που καταλαμβάνει κυμαίνονται μεταξύ 0 και 56,9 χιλ.στρ.

## Συμβιβαστικός προγραμματισμός

Από τις 144 αρχικές λύσεις του προβλήματος, επιλέγονται οι 25, με βάση τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου των Romero et al. (1987). Στον Πίνακα 5.7. παρατίθενται οι λύσεις L1 και L $\infty$ , που καθορίζουν τα όρια εντός των οποίων οι τιμές των αντικειμενικών συναρτήσεων αποτελούν συμβιβαστικές λύσεις. Στο σχέδιο καλλιέργειας της λύσης L1 κυριαρχεί το βαμβάκι (273,5 χιλ.στρ.) και ακολουθούν η μηδική (124,7 χιλ.στρ.), το ποτιστικό σιτάρι (56,9 χιλ.στρ.) και η βιομηχανική ντομάτα (51,3 χιλ.στρ.), ενώ σε μικρότερες εκτάσεις καλλιεργούνται το καλαμπόκι, το ρύζι και ο καπνός. Στη λύση L $\infty$ , η βαμβακοκαλλιέργεια επεκτείνεται σε 435,6 χιλ.στρ. και ακολουθούν η μηδική (36,6 χιλ.στρ.), το ρύζι (34,2 χιλ.στρ.), το ποτιστικό σιτάρι (29,0 χιλ.στρ.), ο αραβόσιτος (23,1 χιλ.στρ.), η βιομηχανική ντομάτα (6,1 χιλ.στρ.) και ο καπνός (4,1 χιλ.στρ.).

**Πίνακας 5.7.** Λύσεις του συμβιβαστικού προγραμματισμού, L1 και L $\infty$ .

A/A Λύσης	Εκτάσεις κλάδων παραγωγής (χιλ.στρ.)								
	Βαμβάκι	Μηδική	Αραβόσιτος	Ρύζι	Τεύτλα	Καπνός	Βιομηχανική ντομάτα	Σιτάρι (ξ)	Σιτάρι (η)
L1	273,5	124,7	44,9	17,1	-	0,3	51,3	4,0	56,9
L $\infty$	435,6	36,6	23,1	34,2	-	4,1	6,1	4,0	29,0

Στον Πίνακα 5.8. παρουσιάζονται, συγκεντρωτικά, τα αποτελέσματα της ανάλυσης, τα οποία δείχνουν το μέγιστο κόστος ευκαιρίας από τη μείωση χρήσης εισροών. Το κόστος ευκαιρίας εκφράζεται ως το ποσοστό μείωσης του ακαθάριστου κέρδους, μεταξύ των ακραίων λύσεων, όπου το οικονομικό αποτέλεσμα ελαχιστοποιείται και μεγιστοποιείται.

Όλα τα σχέδια παραγωγής αποτελούν άριστες λύσεις του κάθε προβλήματος βελτιστοποίησης. Σε κάθε περίπτωση, δηλαδή, οι διαθέσιμοι συντελεστές παραγωγής αξιοποιούνται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μεγιστοποιείται ή να ελαχιστοποιείται η τιθέμενη αντικειμενική συνάρτηση. Η επιλογή του καλύτερου, ή των καλύτερων, από τα σχέδια αυτά συναρτάται άμεσα με τις επιδιώξεις των εμπλεκόμενων κοινωνικών ομάδων της περιοχής. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων αυτών σε συναντήσεις με τους μετόχους και η καταγραφή των απόψεων των ομάδων αυτών μπορεί να ιεραρχήσει τις επιδιώξεις τους, οι οποίες αποτελούν και το κύριο κριτήριο επιλογής των λύσεων εκείνων που θα περιορίσουν τις πιέσεις της γεωργικής δραστηριότητας στο τοπικό οικοσύστημα, με τον ελάχιστο δυνατό αντίκτυπο στα εισοδήματα από τη γεωργία, ενώ θα συγκεντρώνουν και την αποδοχή των γεωργών της περιοχής.

**Πίνακας 5.8.** Λύσεις του συμβιβαστικού προγραμματισμού, L1 και L $\infty$ .

Αρδευτικά δίκτυα	Ακαθάριστο κέρδος (εκ.€)		
	Μέγιστο	Ελάχιστο	Μεταβολή %
<b>Σύνολο</b>	67,58	33,77	-50,0
<b>ΓΟΕΒ Πεδιάδας Σερρών</b>	5,06	1,89	-62,6
<b>ΤΟΕΒ Ηράκλειας</b>	6,70	3,57	-46,7
<b>ΤΟΕΒ Προβατά</b>	17,68	9,44	-46,6
<b>ΤΟΕΒ Σιδηροκάστρου</b>	9,09	3,05	-66,4
<b>ΤΟΕΒ Νιγρίτας</b>	8,25	3,44	-58,3
<b>ΤΟΕΒ Δήμητρας</b>	4,67	1,97	-57,8
<b>ΤΟΕΒ Δημητριτσίου</b>	4,94	2,07	-58,1
<b>ΤΟΕΒ Δυτικής Διώρυγας</b>	5,82	2,53	-56,5
<b>ΤΟΕΒ Νέου Σκοπού</b>	1,39	0,77	-44,6
<b>ΤΟΕΒ Νεοχωρίου</b>	0,41	0,22	-46,3
<b>ΤΟΕΒ Ψυχικού - Πεθελινού</b>	3,16	1,98	-37,3
<b>ΤΟΕΒ Πετριτσίου</b>	0,42	0,23	-45,2

## Ανάλυση των εμπλεκόμενων κοινωνικών ομάδων και σχεδιασμός συμμετοχικών διαδικασιών για τη διαχείριση των υδατικών πόρων στη λεκάνη του ποταμού Στρυμόνα

5.5

Οι συμμετοχικές διαδικασίες σε θέματα διαχείρισης περιβάλλοντος αναδεικνύονται σε ουσιαστικό δικαίωμα του πολίτη και υποχρέωση του κράτους, στο πλαίσιο της ευρωπαϊκής νομοθεσίας. Συχνά, ωστόσο, ταυτίζονται, λανθασμένα, μόνο με την πληροφόρηση, η οποία αποτελεί το πρώτο βήμα για την έναρξη των συμμετοχικών διαδικασιών. Οι συμμετοχικές διαδικασίες δεν εξαντλούνται στην πληροφόρηση και δεν αποσκοπούν στην εξασφάλιση συναίνεσης σε ήδη αποφασισμένα μέτρα διαχείρισης. Αντίθετα, αποσκοπούν, στον συν-σχεδιασμό και στη συν-διαχείριση μιας περιοχής ή ενός φυσικού αγαθού, όπως το νερό.

Ως συμμετοχή νοείται η διαδικασία που επιτρέπει στις εμπλεκόμενες κοινωνικές ομάδες να επηρεάσουν, τόσο τα μέτρα των διαχειριστικών σχεδίων, όσο και τη διαδικασία εφαρμογής τους. Αποτελεί, δηλαδή, ένα μέσο υποστήριξης της λήψης αποφάσεων, προάγει την ενημέρωση και την ευαισθητοποίηση σε περιβαλλοντικά ζητήματα και βοηθά στην αύξηση του επιπέδου αποδοχής και δέσμευσης των κοινωνικών ομάδων έναντι συγκεκριμένων διαχειριστικών μέτρων και σχεδίων. Το επίπεδο της επίδρασης είναι αυτό που καθορίζει τον τύπο της συμμετοχής.

Το πρώτο επίπεδο πραγματικής συμμετοχής είναι η **διαβούλευση**. Οι αρμόδιες αρχές διαβουλεύονται με ποικίλες κοινωνικές ομάδες, προκειμένου να αποτυπώσουν τις ειδικές γνώσεις, τις απόψεις και τις προσδοκίες τους, ώστε, στη συνέχεια, να τις χρησιμοποιήσουν για να προτείνουν μέτρα. Αναφορές και τεχνικά κείμενα, παρουσιάζονται στις κοινωνικές ομάδες, με σκοπό την έκφραση γνώμης. Η διαδικασία δεν αφορά τον συν-σχεδιασμό και δεν δεσμεύει τις αρμόδιες αρχές να λάβουν υπόψη τους τις όποιες απόψεις ή προσδοκίες.

Το υψηλότερο επίπεδο αφορά στην **ενεργό συμμετοχή**, δηλαδή τον συν-σχεδιασμό και τη συν-εφαρμογή. Οι εμπλεκόμενες κοινωνικές ομάδες μετέχουν ενεργά στη διαδικασία του σχεδιασμού, συζητούν τα ζητήματα και συμβάλλουν στην εξεύρεση λύσεων.

Ακόμη υψηλότερα επίπεδα συμμετοχής θεωρούνται η **κοινή διαδικασία λήψης απόφασης** και η **αυτοδιάθεση**. Ως κοινή διαδικασία λήψης απόφασης των εμπλεκόμενων κοινωνικών ομάδων νοείται, όχι μόνο η συνεισφορά στον σχεδιασμό, αλλά και η συνυπευθυνότητα για το αποτέλεσμα. Με την αυτοδιάθεση, μέρος της διαχείρισης των υδατικών πόρων παραδίδεται στις ίδιες εμπλεκόμενες κοινωνικές ομάδες, π.χ. μέσω της δημιουργίας ενώσεων χρηστών.

Ορισμένα από τα οφέλη που προκύπτουν από την υιοθέτηση των συμμετοχικών διαδικασιών δίνονται ακολούθως:

- > Αξιοποιούνται πλήρως οι γνώσεις και η πείρα της τοπικής κοινωνίας για την περιοχή, τα γνωρίσματά της, αλλά και για τα προβλήματα και τους τρόπους επίλυσής τους.
- > Εξασφαλίζεται η υιοθέτηση και βιωσιμότητα των μέτρων διαχείρισης, εξοικονομούνται οι πόροι που μπορεί να ξοδεύονταν αλόγιστα, εξαιτίας της μη εφαρμογής τους.
- > Διασφαλίζεται η διαφάνεια και γίνεται περισσότερο δημιουργική η διαδικασία λήψης αποφάσεων.
- > Ελαχιστοποιούνται ή αποφεύγονται οι ενδεχόμενες συγκρούσεις μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών, αφού τα επίμαχα θέματα έχουν εντοπισθεί και συζητηθεί εξ αρχής.
- > Εξασφαλίζεται η συνέχεια και η συνέπεια στο έργο της διαχείρισης, αφού η τοπική κοινωνία αποδέχεται και αναλαμβάνει να τηρήσει μια στρατηγική διαχείρισης.
- > Εξασφαλίζεται η σχέση αμοιβαίας εμπιστοσύνης μεταξύ ειδικών και τοπικού πληθυσμού, εφόσον από κοινού καταθέτουν τη γνώση τους, σχεδιάζουν και υλοποιούν.
- > Εμπλουτίζονται οι γνώσεις των τοπικών πληθυσμών και των λοιπών εμπλεκόμενων κοινωνικών ομάδων, σχετικά με τους τοπικούς πόρους, τα προβλήματα και τις δυνατότητες αυτών.
- > Δημιουργούνται και ενδυναμώνονται τοπικοί σύνδεσμοι και φορείς.
- > Αυτοσυντηρείται η τοπική κοινωνία και ωριμάζει, καθώς καλλιεργείται η πρωτοβουλία.
- > Προωθούνται οι έννοιες της ανάπτυξης, της ισότητας, της δημοκρατίας.

Ορισμένες δυσκολίες που προκύπτουν από την υιοθέτηση των συμμετοχικών διαδικασιών είναι:

- > Οι συμμετοχικές διαδικασίες απαιτούν χρόνο, οικονομικούς και ανθρώπινους πόρους και, πολλές φορές, αργούν να φέρουν αποτελέσματα. Ενδέχεται, επίσης, να μην είναι διαθέσιμοι οι απαραίτητοι πόροι.
- > Η καθυστέρηση που επιφέρουν οι συμμετοχικές διαδικασίες στην εφαρμογή των μέτρων μπορεί να θέσει σε δοκιμασία την υπομονή των υπευθύνων διαχείρισης, του προσωπικού, αλλά και του τοπικού πληθυσμού.

- > Ο επείγον χαρακτήρας κάποιων περιβαλλοντικών ζητημάτων ενδέχεται να επιβάλλει άμεσα μέτρα και να αποθαρρύνει την εφαρμογή συμμετοχικών διαδικασιών.
- > Οι συμμετοχικές διαδικασίες απαιτούν συντονισμό από ειδικούς και σαφείς στόχους, προκειμένου να αποφευχθούν χαοτικές συναντήσεις, καθώς και απώλεια ελέγχου της πρωτοβουλίας.

Η Οδηγία 60/2000 αφιερώνει το Άρθρο 14 στην πληροφόρηση του κοινού και τις διαβουλεύσεις. Τα κράτη μέλη θα πρέπει να ενθαρρύνουν την ενεργό συμμετοχή όλων των ενδιαφερόμενων μερών στην υλοποίηση της Οδηγίας, ιδίως στην εκπόνηση, αναθεώρηση και ενημέρωση των σχεδίων διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού. Το Άρθρο 14 θέτει το αναλυτικό πλαίσιο της πληροφόρησης και των διαβουλεύσεων και πρόσθετες αναφορές γίνονται στα Εδάφια 14 και 46, καθώς και στο Παράρτημα VII.

Στο πλαίσιο του έργου LIFE STRYMON, πραγματοποιήθηκε εμπειρική έρευνα, με σκοπό τη διερεύνηση των απόψεων και των προσδοκιών των άμεσα, ή έμμεσα, εμπλεκόμενων κοινωνικών ομάδων, σε ότι αφορά τα προβλήματα και τις αναγκαίες λύσεις για μία σειφορική διαχείριση των νερών του ποταμού, προς όφελος της τοπικής οικονομίας, αλλά και της προστασίας και ανάδειξης του πλούσιου φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής.

Για την αναγνώριση και την ανάλυση των εμπλεκόμενων κοινωνικών ομάδων, συλλέχθηκαν στοιχεία, μέσω ερωτηματολογίου και ημιδομημένων συνεντεύξεων, τα οποία υπέστησαν επεξεργασία και ανάλυση, ώστε να αποτελέσουν τη βάση σχεδιασμού των συμμετοχικών διαδικασιών και οργάνωσης των διαβουλεύσεων. Η εμπειρική έρευνα πραγματοποιήθηκε την περίοδο Απριλίου - Μαΐου 2004, σε διάφορες περιοχές του Νομού Σερρών, καθώς και σε επιλεγμένες περιοχές εκτός των ορίων του νομού (π.χ. σε περιφερειακό και εθνικό επίπεδο).

Η ιδιαιτερότητα της έρευνας (έρευνα σε εκπροσώπους φορέων) οδήγησε την ομάδα μελέτης στην επιλογή μιας σύνθετης μεθόδου, η οποία θα απέδιδε ορθότερα και εγκυρότερα τις απόψεις και θέσεις των ερωτώμενων. Η ομάδα μελέτης έθεσε ως βασικούς σκοπούς, αφενός την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης και των προβλημάτων στη διαχείριση των υδάτων του ποταμού Στρυμόνα και αφετέρου, τη διερεύνηση των απόψεων, αλλά και των προσδοκιών των εκπροσώπων φορέων και υπηρεσιών, οι οποίοι συνδέονται με τη διαχείριση.

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε ήταν σύνθετη και στηρίχθηκε, αφενός στην ανάλυση των γνωρισμάτων των εμπλεκόμενων κοινωνικών ομάδων (Stakeholder analysis) και αφετέρου, στην έρευνα σε πληροφορητές - «κλειδιά» (Key - Informants research). Αρχικά, συλλέχθηκαν στοιχεία σχετικά με το θέμα, από αρμόδιους φορείς και υπηρεσίες, στη συνέχεια εντοπίστηκαν, με τη χρήση ποικίλων κριτηρίων, οι εμπλεκόμενες κοινωνικές ομάδες και αποτυπώθηκε ο ρόλος τους στη διαχείριση των υδάτων του ποταμού Στρυμόνα. Συντάχθηκε δομημένο ερωτηματολόγιο για τη διεξαγωγή της εμπειρικής έρευνας, η οποία πραγματοποιήθηκε με τη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου και την πραγματοποίηση προσωπικών συνεντεύξεων με τις εμπλεκόμενες κοινωνικές ομάδες (εκπρόσωποι ΤΟΕΒ, ΓΟΕΒ, ΔΕΒ, εκπρόσωποι ΟΤΑ, στελέχη υπηρεσιών, αναπτυξιακών συνδέσμων και φορέων κ.λπ.) και καταγράφηκαν οι απόψεις, οι θέσεις και οι προτάσεις των ερωτηθέντων για το ζήτημα της διαχείρισης των υδάτων του Στρυμόνα.

Η εμπειρική έρευνα στους φορείς, όπως προαναφέρθηκε, διενεργήθηκε με ερωτηματολόγιο (με ερωτήσεις κλειστού τύπου) και, παράλληλα, με συνέντευξη, όπου ο ερωτώμενος μπορούσε ελεύθερα να παρουσιάσει τις θέσεις του για τα προβλήματα, αλλά και τις προτάσεις του. Με αυτόν τον τρόπο, έγινε προσπάθεια να αναδειχθούν οι ιδιαιτερότητες και τα κυριότερα προβλήματα της υφιστάμενης κατάστασης, αλλά και να καταγραφούν οι ιδιαίτερες θέσεις και πιθανές διαφορές ή διαφωνίες των εκπροσώπων των φορέων που ερωτήθηκαν στο πλαίσιο της έρευνας.

Ειδικότερα όσον αφορά στην ανάλυση των εμπλεκόμενων κοινωνικών ομάδων, εξετάσθηκαν δυο πεδία πιθανής ανάδειξης διαφορετικών απόψεων και θέσεων. Το ένα αφορούσε στην επαγγελματική και θεσμική προέλευση των μετόχων και το δεύτερο στη γεωγραφική προέλευση, ανεξάρτητα από την ιδιότητά τους. Με βάση την επαγγελματική και θεσμική προέλευση των μετόχων, διακρίθηκαν οι ακόλουθες ομάδες: λήπτες απόφασης και διαχειριστές νερού (π.χ. ΔΕΒ, ΓΟΕΒ, ΤΟΕΒ), χρήστες νερού (γεωργοί, αλιείς, κτηνοτρόφοι, παροχείς υπηρεσιών τουρισμού, ΟΤΑ κ.ά.), εκπρόσωποι αναπτυξιακών εταιριών, συλλόγων, στελέχη υπηρεσιών κ.ά. Σχετικά με τους χρήστες των υδάτων του Στρυμόνα και, ειδικότερα, για τον κύριο χρήστη που είναι η γεωργία, επιλέχθηκε η εκπροσώπησή του, μέσω των συλλογικών της οργάνων (π.χ. ενώσεις αγροτών) από τους ΟΤΑ (οι οποίοι εκφράζουν την τοπική, κατεχοχή αγροτική κοινωνία), αλλά και από μεμονωμένους αγρότες.

Με βάση τη γεωγραφική τους προέλευση, οι εμπλεκόμενες κοινωνικές ομάδες διακρίθηκαν σε τρεις βασικές κατηγορίες: σε αυτούς που βρίσκονται ανάντη της λίμνης Κερκίνης, σε αυτούς που βρίσκονται στην παραλίμνια περιοχή και σε αυτούς που βρίσκονται κατόντη της λίμνης Κερκίνης. Εκτός από τις παραπάνω τρεις, βασικές κατηγορίες, προσδιορίσθηκαν και εμπλεκόμενες κοινωνικές ομάδες, σε επίπεδο νομού, περιφέρειας και εθνικό.

Το βασικό συμπέρασμα που προέκυψε από την ανάλυση είναι ότι, στις απόψεις και θέσεις που εκφράζονται από τις εμπλεκόμενες κοινωνικές ομάδες, μικρής σημασίας είναι οι διαφορές που προκύπτουν από την επαγγελματική και θεσμική προέλευση, ενώ, αντίθετα, η γεωγραφική προέλευση αποτελεί παράγοντα διαφοροποίησης των θέσεων και απόψεων.

Τα κύρια αποτελέσματα που προέκυψαν από την εμπειρική έρευνα συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- > Η συντριπτική πλειονότητα των ερωτηθέντων εκτιμά ότι η συμβολή των νερών του ποταμού Στρυμόνα είναι μεγάλη και επιβεβαιώνει ότι αυτό αποτελεί κοινή θέση της τοπικής κοινωνίας.
- > Ιεραρχικά, ως περισσότερο ωφελημένες από τον ποταμό Στρυμόνα αναφέρονται οι περιοχές ανάντη της Κερκίνης, οι περιοχές κατόντη της Κερκίνης και η παράκτια ζώνη του Στρυμόνα (ίδιος αριθμός απαντήσεων) και, τέλος, οι παραλίμνιες περιοχές.
- > Οι τομείς που, κατά σειρά, ευνοούνται από την ύπαρξη του Στρυμόνα είναι: α) η γεωργία, β) το φυσικό περιβάλλον και ο τουρισμός (ίδια σημασία) γ) η κτηνοτροφία και η αλιεία. Λιγότερο ευνοημένοι τομείς είναι το κυνήγι και η ποιότητα ζωής. Στην ανάντη περιοχή και πέριξ της λίμνης, η γεωργία, το φυσικό οικοσύστημα και ο τουρισμός έχουν μεγαλύτερη σημασία, ενώ κατόντη της λίμνης, η γεωργία είναι ο τομέας που απέχει μακράν από τους υπόλοιπους. Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει το χαμηλό ενδιαφέρον για την ποιότητα ζωής, σε όλες τις περιοχές. Η οικονομική ευημερία, όπως προκύπτει από την αύξηση του εισοδήματος μέσω της γεωργίας και του τουρισμού, καθώς και η διατήρηση ενός υγιούς οικοσυστήματος, δεν συνδέεται άμεσα από τους ερωτηθέντες με την ποιότητα της ίδιας τους, της ζωής.

- > Οι τομείς που συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, κατά σειρά προτεραιότητας, είναι: α) η άρδευση (με σημαντική διαφορά από τους υπόλοιπους), β) η αντιπλημμυρική προστασία και γ) η προστασία του περιβάλλοντος, ενώ, με λίγες αναφορές, ακολουθούν ο τουρισμός, η αλιεία κ.ά.
- > Κριτική στάση καταγράφεται ως προς τον τρόπο που ασκείται η διαχείριση του νερού στην περιοχή σήμερα. Οι κοινωνικές ομάδες που διαφωνούν με τον τρόπο άσκησης της διαχείρισης των νερών του Στρυμόνα είναι οι χρήστες, αλλά και οι διαχειριστές του νερού. Αναλόγως με το επίπεδο ευθύνης που φέρουν, είτε συμφωνούν με τον τρόπο άσκησης (γιατί αυτοί τον καθορίζουν), είτε κρατούν μια ουδέτερη στάση (γιατί αυτοί καλούνται να τον εφαρμόσουν).
- > Μεταξύ των χρηστών του νερού εκτιμάται ότι οι διαφωνίες είναι μικρές μεταξύ άσκησης παραγωγικών δραστηριοτήτων και αναγκών διατήρησης των οικοσυστημάτων. Διαφωνίες μεταξύ των χρηστών που ασκούν παραγωγικές δραστηριότητες (γεωργία, αλιεία, τουρισμός) είναι από ελάχιστες έως ανύπαρκτες και αφορούν, κυρίως, στον τουρισμό. Διαφωνίες σε μέτριο βαθμό προκύπτουν μεταξύ της γεωγραφικής θέσης των χρηστών (π.χ. θεωρείται ότι λαμβάνονται υπόψη περισσότερο οι ανάγκες της παραλίμνιας περιοχής και λιγότερο της κατάντη περιοχής).
- > Σχεδόν το σύνολο των ερωτηθέντων εκτιμά ότι δεν υπάρχουν συγκροτημένες απόψεις και θέσεις μεταξύ των κοινωνικο-επαγγελματικών ομάδων για τη διαχείριση του νερού. Επίσης, δηλώνει ότι δεν έχει κληθεί, σχεδόν ποτέ, με έναν δομημένο τρόπο, να αποτυπώσει τις ανάγκες του και να εκφράσει τις απόψεις του για τη διαχείριση των υδάτων, καθώς επίσης, δεν έχει λάβει με ολοκληρωμένο τρόπο την πληροφορία για τον τρόπο άσκησης της διαχείρισης. Αναδεικνύεται, παράλληλα, τόσο η συναινετική διάθεση των ερωτηθέντων, όσο και ένας συμβατικός βαθμός ωριμότητας ως προς τις πιθανές λύσεις.



## 5.6 Συμπεράσματα για την κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης

Η κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης γίνεται με την εφαρμογή προγραμματισμού πολλαπλών στόχων και στηρίζεται στην επιδίωξη διατήρησης των επικρατούντων κλάδων παραγωγής στην περιοχή και στη διερεύνηση των δυνατοτήτων αναδιάρθρωσής τους, χωρίς τη μεταβολή των γεωργικών πρακτικών, όπως αυτές καταγράφηκαν. Εκτός από τα αναμενόμενα συμπεράσματα, όπως για παράδειγμα ότι η υποκατάσταση των υδροβόρων καλλιεργειών από άλλες με χαμηλότερες απαιτήσεις συμβάλλει στην εξοικονόμηση νερού, από τα αποτελέσματα της ανάλυσης προκύπτουν και τα ακόλουθα:

1. Κάθε σχέδιο καλλιέργειας συνεπάγεται μεταβολές στο οικονομικό αποτέλεσμα και στη χρήση συντελεστών παραγωγής.
2. Η επέκταση της βαμβακοκαλλιέργειας σε βάρος της έκτασης της καλλιέργειας αραβοσίτου, που αποτελούν και τις κύριες καλλιέργειες στην περιοχή, επιφέρει τη μείωση των χρησιμοποιούμενων λιπασμάτων.
3. Η υποκατάσταση καλλιεργειών απαιτητικών σε γεωργικά φάρμακα (π.χ. βιομηχανική ντομάτα) από άλλες, όπως το ποτιστικό σιτάρι, οδηγεί στη μείωση ανεπιθύμητων φυτοπροστατευτικών εισροών, όπως τα εντομοκτόνα και τα μυκητοκτόνα.
4. Κάθε μείωση των ποσοτήτων των εισροών έχει διαφορετική μειωτική επίδραση στο επιτυγχανόμενο οικονομικό αποτέλεσμα (ακαθάριστο κέρδος).
5. Η μείωση του οικονομικού αποτελέσματος αντικατοπτρίζει το κόστος ευκαιρίας της μείωσης των εισροών που αποτελούν παράγοντες πίεσης στο τοπικό οικοσύστημα και, κυρίως, στους υδατικούς πόρους της περιοχής.
6. Η μεμονωμένη επίδραση κάθε συντελεστή παραγωγής στο ακαθάριστο κέρδος δεν ακολουθεί μια σταθερή μειωτική τάση. Αντίθετα, το οικονομικό αποτέλεσμα, συχνά, μειώνεται ακόμα και σε περιπτώσεις όπου μειώνεται η χρήση δυο ή και ενός μόνο συντελεστή παραγωγής.
7. Η μείωση των εισροών μπορεί να προκαλέσει μείωση του ακαθάριστου κέρδους μέχρι και 50 %.
8. Οι δυνατότητες μείωσης των λιπασμάτων ανέρχονται σε 69,0 %, της αξίας των φυτοφαρμάκων σε 59,0 % και του αρδευτικού νερού σε 16,5 % περίπου. Όπως φαίνεται, το αρδευτικό νερό είναι ο πιο ανελαστικός συντελεστής παραγωγής, γεγονός που τον καθιστά ιδιαίτερα σημαντικό στην παραγωγική διαδικασία. Η διαχείρισή του αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες στη διαδικασία λήψης απόφασης για τη διαχείριση της γεωργίας της περιοχής.

Cohon, J.L. 1978. Multiobjective Programming and Planning. New York Academic Press.

Piech, B. and Rehman, T. 1993. Application of Multiple Criteria Decision Making Methods to Farm Planning: A Case Study. *Agricultural Systems*, 41: 305 - 319.

Psychoudakis, A., Aggelopoulos, S. and Dimitriadou, E. 2002. Agricultural Land Use in an Environmentally Sensitive Area: An Assessment of an Environmental Policy Measure. *Journal of Environmental Planning and Management*, 45(4): 481 - 491.

Romero, C. and Rehman, T. 1989. Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decisions. Elsevier.

## Υδρολογικό ομοίωμα της λεκάνης του Στρυμόνα

### Εισαγωγή

Τα συστήματα υδρολογικής προσομοίωσης διαδραματίζουν, πλέον, ενεργό ρόλο στη λήψη αποφάσεων σχετικών με τη διαχείριση των υδάτων και των χρήσεων γης σε επίπεδο λεκάνης απορροής.

Σήμερα έχει αναπτυχθεί και εφαρμόζεται ένας μεγάλος αριθμός τέτοιων συστημάτων, τα οποία, στην πλειονότητά τους, είναι ενιαία ή αδρομερή και έχουν ως κύριο χαρακτηριστικό τους το ότι δεν λαμβάνουν υπόψη τη μεταβλητότητα, στον χώρο, των διαφόρων παραμέτρων που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς των φυσικών υδρολογικών διεργασιών. Επιπλέον, οι περισσότερες παράμετροι που χρησιμοποιούν δεν έχουν άμεση φυσική ερμηνεία, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να εκτιμηθούν εύκολα από άμεσα μετρούμενα υδρολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Για τον λόγο αυτό, εφαρμόζονται, συνήθως, σε λεκάνες με επαρκές δίκτυο παρακολούθησης των ποσοτικών παραμέτρων του υδατικού τους ισοζυγίου (π.χ. παροχών, στάθμης επιφανειακών και υπόγειων υδάτων), ώστε να καθίσταται δυνατή η ρύθμισή τους, καθώς και σε λεκάνες με περιορισμένες επεμβάσεις (π.χ. χωρίς εκτροπές ποταμών, εκτεταμένα στραγγιστικά δίκτυα), στα υδρολογικά τους χαρακτηριστικά.

Τα παραπάνω μειονεκτήματα και οι περιορισμοί, έχουν, ήδη, στρέψει, τόσο την έρευνα, όσο και τους χρήστες προς τα κατανεμημένα, φυσικής βάσης συστήματα υδρολογικής προσομοίωσης.

Στο πλαίσιο του παρόντος έργου χρησιμοποιήθηκε ένα από τα πλέον σύγχρονα κατανεμημένα υδρολογικά συστήματα προσομοίωσης, φυσικής βάσης, το MIKE SHE/MIKE 11, με σκοπό την προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου στη λεκάνη του Στρυμόνα, της υφιστάμενης διαχείρισης του αρδευτικού νερού, καθώς και την ποσοτικοποίηση των πιέσεων που ασκούνται στους υδάτινους πόρους και τα οικοσυστήματά τους.

## Επιλογή της πηγής στοιχείων τηλεπισκόπησης

# 6.1

Τα κύρια επιφανειακά υδάτινα σώματα στο ελληνικό τμήμα της λεκάνης του Στρυμόνα (6.472 km<sup>2</sup>) είναι ο ομώνυμος ποταμός και η τεχνητή λίμνη Κερκίνη.

Νομοθετικά, η ανώτατη στάθμη πλημμυρών στην Κερκίνη έχει καθοριστεί στα +37,00 m από την επιφάνεια της θάλασσας (πρακτικά, όμως, θεωρούνται τα +36,00), ενώ η κατώτατη στάθμη στα 32,00 m. Όσον αφορά στην αποθήκευση νερού για άρδευση, η ανώτατη στάθμη καθορίστηκε στα 35,70 m και η κατώτατη στα 31,70 m.

Ο μεγαλύτερος χρήστης νερού στη λεκάνη είναι η αρδευόμενη γεωργία. Από το ένα εκατομμύριο περίπου στρέμματα καλλιεργούμενης γης, αρδεύονται τα 845.000 στρέμματα, εκ των οποίων, τα 545.000 στρέμματα (64.5 %) αρδεύονται με νερό προερχόμενο από τον Στρυμόνα και την Κερκίνη. Η άρδευση των εκτάσεων αυτών επιτυγχάνεται μέσω δώδεκα συλλογικών αρδευτικών δικτύων (Κεφάλαιο 1). Στη λεκάνη αρδεύονται ακόμη 300.000 στρέμματα από υδατορεύματα, πηγές και υπόγεια ύδατα.

Από τα μέσα Σεπτεμβρίου έως και τον Απρίλιο κάθε έτους, το σύνολο της παροχής του Στρυμόνα καταλήγει στην Κερκίνη και από εκεί στον Στρυμονικό κόλπο. Η στάθμη του νερού στην Κερκίνη είναι ελεγχόμενη, όπως και η εξερχόμενη από αυτήν παροχή, δεδομένης της μικρής παροχεταιυτικότητας του Στρυμόνα κατάντη της λίμνης (μικρότερη από 200 m<sup>3</sup>/sec κατά θέσεις).

Από τον Μάιο έως και τα μέσα Σεπτεμβρίου, 11 χιλιόμετρα μετά την είσοδο του Στρυμόνα στην Ελλάδα, μέρος της παροχής του εκτρέπεται, μέσω της υδροληψίας Υ1, στις αρδευτικές διώρυγες Δυτική, Κεντρική, Ανατολική και ΖΚ, για την κάλυψη των αναγκών του Δικτύου Δυτικής Διώρυγας, του 1ου Αρδευτικού Δικτύου και του 3ου Αρδευτικού Δικτύου Σερρών (Κεφάλαιο 1, Σχήματα 1.1. και 1.2.).

Άμεσα από την Κερκίνη (μέσω των υδροληψιών Υ2 και Υ3) καλύπτονται οι αρδευτικές ανάγκες τριών ακόμη αρδευτικών δικτύων. Μέσω της υδροληψίας Υ2, το 2ο Αρδευτικό Δίκτυο και μέσω της υδροληψίας Υ3, το Δίκτυο Δημητρητσίου και το 4ο Αρδευτικό Δίκτυο Σερρών.

Κατά την αρδευτική περίοδο, δεν υπάρχουν εκροές από το φράγμα της Κερκίνης στον Στρυμόνα, παρά μόνο σε περιπτώσεις εισόδου πλημμυρικών παροχών από τη Βουλγαρία. Στις περιπτώσεις αυτές, απελευθερώνεται από το φράγμα ποσότητα νερού ικανή να διατηρήσει τη στάθμη της λίμνης εντός των επιτρεπόμενων ορίων.

Η στραγγιστική τάφος Μπέλιτσα, παραλαμβάνει την απορροή των ανατολικών ορεινών υπολεκανών, καθώς και τα στραγγίδια όλων των αρδευόμενων εκτάσεων, οι οποίες εκτείνονται εκατέρωθεν αυτής (Κεφάλαιο 1, Σχήμα 1.3.). Ταυτόχρονα, τροφοδοτεί με νερό τα αρδευτικά δίκτυα Νεωχωρίου, Νέου Σκοπού, Πεθελινού και τμήμα των δικτύων του ΓΟΕΒ Σερρών (Κεφάλαιο 1, Σχήμα 1.2.).

Οι περίσσειες νερού της Μπέλιτσας καταλήγουν στον Στρυμόνα, ο οποίος παραλαμβάνει και τις απορροές των δυτικών ορεινών υπολεκανών, μέσω των χειμάρρων τους. Μετά τη συμβολή του με την Μπέλιτσα, ο Στρυμόνας τροφοδοτεί με νερό τμήμα των αρδευτικών δικτύων του ΓΟΕΒ Σερρών (Κεφάλαιο 1).

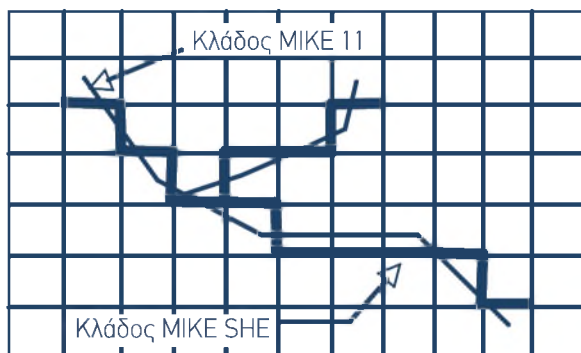
Λίγο πριν την έξοδό του στη θάλασσα, ο Στρυμόνας δέχεται την παροχή του ποταμού Αγγίτη, από τις καλοκαιρινές απορροές του οποίου αρδεύεται τμήμα του 5ου Αρδευτικού Δικτύου Σερρών (Κεφάλαιο 1).

## 6.2 Μεθοδολογική προσέγγιση

Για την ανάπτυξη του υδρολογικού ομοιώματος της λεκάνης του Στρυμόνα, επιλέχθηκε το ολοκληρωμένο σύστημα προσομοίωσης MIKE SHE/MIKE 11.

Το MIKE SHE (DHI 1993, Refsgard and Storm 1995), με κινητήρια δύναμη τη βροχόπτωση, προσομοιώνει τις κύριες υδρολογικές διεργασίες που πραγματοποιούνται σε μια λεκάνη απορροής. Η χωρική μεταβλητότητα των παραμέτρων εισόδου και εξόδου του συστήματος, επιτυγχάνεται κατά την οριζόντια διάσταση με τη διακριτοποίηση της λεκάνης σε κελιά, μέσω ενός ορθογώνιου πλέγματος. Μέσα σε κάθε κελί, η μεταβλητότητα, κατά την κατακόρυφο, των διαφόρων παραμέτρων επιτυγχάνεται με τον καθορισμό ζωνών μεταβλητού βάθους, με ομοιόμορφα χαρακτηριστικά.

Το MIKE 11 (Havno et al., 1995) προσομοιώνει τη μονοδιάστατη ροή του νερού σε επιφανειακά υδάτινα μέσα (π.χ. ποταμούς, λίμνες, διώρυγες). Η σύνδεσή του (των κλάδων που υπεισέρχονται στο ομοίωμα) με το MIKE SHE επιτυγχάνεται όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.1.



**Σχήμα 6.1.** Σύνδεση MIKE 11 στο περιβάλλον του MIKE SHE.

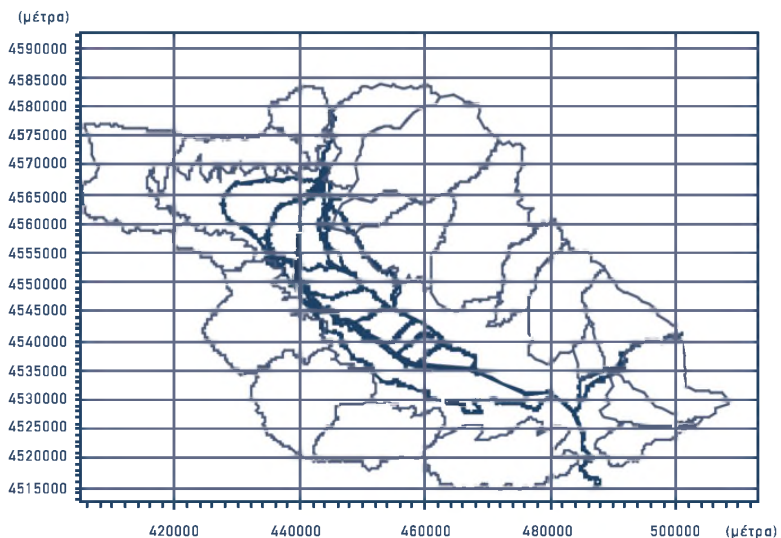
Τα δυο συστήματα λειτουργούν ταυτόχρονα (το MIKE SHE καλεί το MIKE 11), ανταλλάσσοντας πληροφορίες (ποσότητες νερού) στο τέλος κάθε χρονικού βήματος. Κατά τον τρόπο αυτό, είναι δυνατή η προσομοίωση, τόσο της αλληλεπίδρασης, όσο και της συνδυασμένης χρήσης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, μέσα στην ίδια εφαρμογή (λεκάνη απορροής).

Ειδικότερα, οι διεργασίες οι οποίες προσομοιώνονται με τη χρήση του παραπάνω συστήματος στη λεκάνη του Στρυμόνα είναι:

- > Επιφανειακή απορροή.
- > Εξατμισοδιαπνοή.
- > Άρδευση.
- > Διήθηση και αποθήκευση του νερού στην ακόρεστη ζώνη.
- > Βαθιά διήθηση στην κορεσμένη ζώνη και επαναπλήρωση των υπόγειων υδάτων.
- > Κίνηση του νερού στα επιφανειακά υδάτινα μέσα (ποταμοί, λίμνες, κανάλια).
- > Υδραυλική επικοινωνία μεταξύ της κορεσμένης ζώνης και των επιφανειακών υδάτινων μέσων (π.χ. ποταμοί, λίμνες).
- > Στράγγιση.
- > Κίνηση και αποθήκευση του νερού στους υπόγειους υδροφορείς, μεταβολή του πιεζομετρικού φορτίου.

Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την ανάπτυξη του υδρολογικού ομοιώματος ολόκληρης της υδρολογικής λεκάνης του Στρυμόνα, λαμβάνει υπόψη την ένταση των χρήσεων και τη χωρική τους κατανομή μέσα σε αυτή.

Στις ορεινές υπολεκάνες, όπου οι χρήσεις νερού είναι περιορισμένες, χρησιμοποιείται ένας σχετικά απλός αλγόριθμος του MIKE 11, το NAM, ο οποίος προσομοιώνει τη σχέση βροχής-απορροής. Για τον σκοπό αυτό, οριοθετήθηκαν όλες οι ορεινές υπολεκάνες, ώστε να είναι δυνατή η προσομοίωση της επιφανειακής απορροής σε κάθε μία ξεχωριστά. Αντίθετα, στο πεδινό τμήμα, ψηφιοποιήθηκαν και εισάχθηκαν όλα τα κύρια επιφανειακά υδάτινα σώματα (ο Στρυμόνας, η Κερκίνη, ο Αγγίτης, οι κύριες αρδευτικές διώρυγες και στραγγιστικές τάφροι), μέσα στα οποία η μονοδιάστατη κίνηση του νερού προσομοιώνεται από το MIKE 11 (Εικόνα 6.1. και Κεφάλαιο 1, Σχήμα 1.1.).



**Εικόνα 6.1.** Οριοθέτηση ορεινών υπολεκάνων και εισαγωγή των κύριων επιφανειακών υδάτινων σωμάτων στο πεδινό τμήμα της λεκάνης του Στρυμόνα.

## 6.3 Το υδρολογικό ομοίωμα

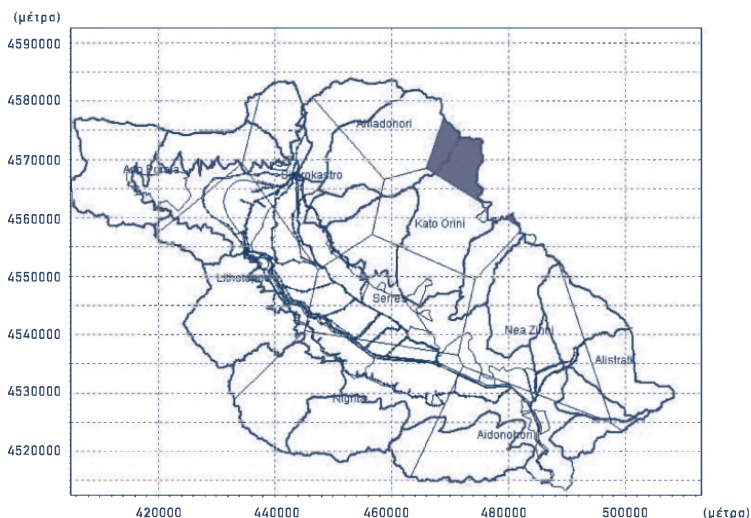
### 6.3.1. Ανάπτυξη του συστήματος MIKE SHE

Το MIKE SHE αναπτύχθηκε στο πεδινό τμήμα της λεκάνης (υψόμετρο μικρότερο από 100 m) και περιλαμβάνει, τόσο την κορεσμένη, όσο και την ακόρεστη ζώνη.

Επιπλέον, η μεταβλητότητα στον χώρο των διαφόρων παραμέτρων εισόδου και εξόδου του ομοιώματος επιτεύχθηκε με τη διακριτοποίηση του πεδινού τμήματος σε κελιά διαστάσεων 400x400 m, τα οποία αντιπροσωπεύουν έκταση ίση με 160 στρέμματα. Το μέγεθος αυτό κρίθηκε αρκετά ικανοποιητικό διότι, α) είναι κατά πολύ μικρότερο, συγκρινόμενο με τη συνολική έκταση της λεκάνης, επιτρέποντας την εξαγωγή συμπερασμάτων σε υποπεριοχές της όπως είναι τα αρδευτικά δίκτυα, β) καθιστά εφικτή την ενσωμάτωση στο MIKE SHE των κυριότερων αρδευτικών και στραγγιστικών τάφρων στη φυσική τους γεωγραφική θέση και γ) διατηρεί τον απαιτούμενο υπολογιστικό χρόνο για την εκτέλεση της εφαρμογής, σε ανεκτά επίπεδα (03:02 hrs).

**Ψηφιακό ομοίωμα ανάγλυφου.** Το ψηφιακό ομοίωμα του ανάγλυφου της περιοχής προσομοίωσης, κατασκευάστηκε από την ψηφιοποίηση ισοϋψών καμπυλών, υψομετρικών σημείων, καθώς και του υδρογραφικού και στραγγιστικού δικτύου της περιοχής, από χάρτες κλίμακας 1:50.000 και 1:20.000.

**Βροχόπτωση.** Χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης από 11 βροχομετρικούς σταθμούς (Κεφάλαιο 1). Για την χωρική κατανομή της βροχόπτωσης στη λεκάνη, εφαρμόστηκε η μέθοδος Thiessen, με την οποία η περιοχή μελέτης διακριτοποιήθηκε σε 11 πολύγωνα ομοιόμορφης βροχόπτωσης (Εικόνα 6.2.).



**Εικόνα 6.2.** Χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων στη λεκάνη του Στρυμόνα.

**Βλάστηση.** Η περιοχή της λεκάνης που προσομοιώνεται με το MIKE SHE (πεδινό τμήμα) καλύπτεται στη συντριπτική της πλειοψηφία από καλλιεργούμενες εκτάσεις. Για τον λόγο αυτό, εισήχθηκε στο ομοίωμα, χωρικά κατανεμημένη, η σύνθεση των καλλιεργειών, όπως αναγνωρίστηκε από την ανάλυση δορυφορικών εικόνων της περιοχής (Κεφάλαιο 2). Επιπλέον, για κάθε καλλιέργεια, δόθηκε η χρονική κατανομή: α) των βλαστικών της σταδίων ανάπτυξης, β) της ανάπτυξης του βάρους του ριζικού της συστήματος και γ) του δείκτη φυλλικής επιφάνειας.

**Αδιαπέρατες επιφάνειες.** Οι αδιαπέρατες επιφάνειες εισάγονται στο σύστημα προσομοίωσης, για την ακριβέστερη εκτίμηση της επιφανειακής απορροής. Ως αδιαπέρατες θεωρήθηκαν οι κατοικημένες περιοχές (όλοι οι οικισμοί στη λεκάνη), για τις οποίες εκλήφθηκε ενιαίος συντελεστής απορροής, ίσος με 75 %.

**Περιοχές άρδευσης.** Στο MIKE SHE, ως «Περιοχή άρδευσης» ορίζεται η αρδευόμενη έκταση, η οποία καλύπτει τις ανάγκες της σε νερό από μια συγκεκριμένη πηγή νερού π.χ. υπόγεια νερά, λίμνη, ποταμός, εξωτερική πηγή. Στο παρόν ομοίωμα, καθορίστηκαν 12 «Περιοχές Άρδευσης». Τα όρια των 11 περιοχών, συμπίπτουν με τα αντίστοιχα όρια των αρδευτικών δικτύων των 11 Τοπικών Οργανισμών Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ). Η 12η περιοχή περιλαμβάνει όλες τις εκτάσεις οι οποίες αρδεύονται από υπόγεια νερά (Κεφάλαιο 1).

**Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς.** Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή, στο σύστημα MIKE SHE, υπολογίζεται με βάση τη μέθοδο των Kristensen και Jensen (1975), στην οποία η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς απαιτείται ως δεδομένο εισόδου. Τιμές για την τελευταία, υπολογίστηκαν με βάση την τροποποιημένη μέθοδο των Blaney Criddle (Παπαζαφειρίου 1984), η οποία, σύμφωνα με παρατηρήσεις της ΔΕΒ Σερρών, δίνει τα πλέον αξιόπιστα αποτελέσματα για την περιοχή.

**Επιφανειακή απορροή.** Δημιουργείται στις περιπτώσεις όπου η ένταση της βροχής είναι μεγαλύτερη από τη διηθητικότητα του εδάφους. Στη συνέχεια διοδεύεται προς τα χαμηλότερα σημεία της λεκάνης, έως ότου παραληφθεί από την πλησιέστερη στραγγιστική τάφρο, η οποία έχει εισαχθεί στο ομοίωμα. Απαραίτητα δεδομένα για τον υπολογισμό και τη διόδυσή της είναι, το αρχικό βάθος νερού στην επιφάνεια της λεκάνης, ο συντελεστής κατακράτησης νερού και ο συντελεστής Manning N. Το αρχικό βάθος νερού στην επιφάνεια του εδάφους θεωρήθηκε ίσο με μηδέν σε όλη την έκταση της λεκάνης, εκτός από την περιοχή που κατακλύζεται από τη λίμνη, όπου το βάθος νερού δόθηκε χωρικά κατανεμημένο. Οι τιμές των δύο επόμενων παραμέτρων, λήφθηκαν ίσες με 1 mm και N=10 αντίστοιχα.

**Ακόρεστη ζώνη.** Για την προσομοίωση της μεταβολής της υγρασίας στην ακόρεστη ζώνη, επιλέχθηκε η μέθοδος Richards (Danish Hydraulic Institute (DHI) Software 2003), η οποία επιλύεται σε κάθε κελί του ομοιώματος. Τα εδάφη της περιοχής θεωρήθηκε ότι, στο σύνολό τους, είναι ιλυοπηλώδη, ενώ τιμές των απαιτούμενων παραμέτρων για την επίλυση της εξίσωσης Richards λήφθηκαν από τον Αντωνόπουλο (1999).

**Αρδεύσεις.** Η άρδευση κάθε καλλιέργειας (εκτός του ρυζιού), επιλέχθηκε να πραγματοποιείται αυτόματα, από τη στιγμή που η υγρασία στην ακόρεστη ζώνη μειώνεται στο 20 % της ωφέλιμης υδατοϊκανότητας. Στην περίπτωση των ρυζιών, η άρδευση διαρκεί από τον Μάιο έως τον Ιούλιο και εφαρμόζεται με τρόπο, ώστε να υπάρχει συνεχής κατάκλιση των καλλιεργειών βάθους έως 10 mm. Το δεύτερο δεκαήμερο του Μαΐου η άρδυσή τους διακόπτεται για ένα διάστημα δέκα περίπου ημερών, για την εφαρμογή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων.



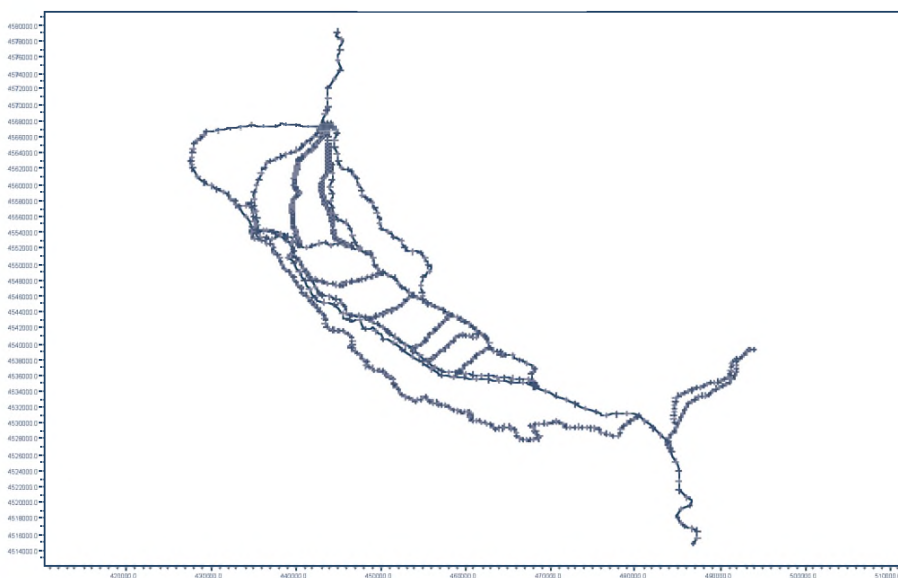
**Στράγγιση.** Το βάθος στράγγισης λήφθηκε ίσο με 1,5 m για ολόκληρο το πεδινό τμήμα της λεκάνης. Διαφοροποίηση υπήρξε μόνο στην ταχύτητα στράγγισης, η οποία λήφθηκε μεγαλύτερη στις περιοχές όπου εκτείνονται τα στραγγιστικά δίκτυα. Οι ποσότητες νερού που απομακρύνονται με τη στράγγιση διοχετεύονται στην πλησιέστερη στραγγιστική τάφρο κάθε αρδευτικού δικτύου, η οποία έχει εισαχθεί στο ομοίωμα.

**Κορεσμένη ζώνη.** Για την προσομοίωση της κίνησης του νερού στην κορεσμένη ζώνη, θεωρήθηκε ότι στη λεκάνη υπάρχει ένας φρεάτιος υδροφορέας, με ομοιόμορφη κατανομή των υδραυλικών του παραμέτρων. Το βάθος του υδροφορέα λήφθηκε ίσο με 100 m από την επιφάνεια το εδάφους. Η υπόγεια στάθμη, κατά την έναρξη της προσομοίωσης, θεωρήθηκε ότι βρίσκονταν σε βάθος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ η υδραυλική αγωγιμότητα, τόσο κατά την οριζόντια, όσο και κατά την κατακόρυφο συνιστώσα της, εκλήφθηκε ίση με  $1 \times 10^{-6}$  m/sec.

### 6.3.2. Ανάπτυξη του συστήματος MIKE 11

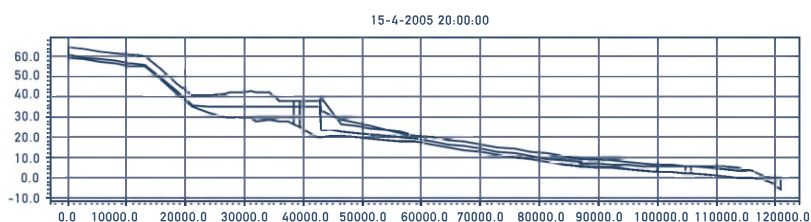
Το MIKE 11 αναπτύχθηκε σε ολόκληρη την υδρολογική λεκάνη του Στρυμόνα. Στις ορεινές υπολεκάνες, χρησιμοποιείται ο σχετικά απλός αλγόριθμος NAM, ο οποίος προσομοιώνει τη σχέση βροχής - απορροής, ενώ στο πεδινό τμήμα της λεκάνης χρησιμοποιείται στο σύνολο των δυνατοτήτων του συστήματος.

Συγκεκριμένα, περιλήφθηκαν ο Στρυμόνας, η Κερκίνη, το τμήμα του Αγγίτη εντός της λεκάνης, καθώς και οι κύριες αρδευτικές διώρυγες και στραγγιστικές τάφροι (Εικόνα 6.3.).



**Εικόνα 6.3.** Το δίκτυο επιφανειακών υδάτων της λεκάνης του Στρυμόνα, το οποίο περιλήφθηκε στο σύστημα προσομοίωσης MIKE 11.

Όλοι οι κλάδοι που περιλήφθηκαν στο MIKE 11, προέκυψαν από το ψηφιακό ομοίωμα του ανάγλυφου της λεκάνης, το οποίο χρησιμοποιείται από το MIKE SHE (Εικόνα 6.4.). Αυτό σημαίνει ότι το σχήμα, η θέση και η κλίση των κλάδων διασφαλίζουν την πλήρη υδραυλική επικοινωνία μεταξύ MIKE SHE και MIKE 11.



**Εικόνα 6.4.** Κατά μήκος τομή του Στρυμόνα και της Κερκίνης, όπως περιλήφθηκε στο σύστημα προσομοίωσης MIKE 11.

Η γεωμετρία κάθε κλάδου περιγράφεται με βάση αντιπροσωπευτικές διατομές, στοιχεία για τις οποίες λήφθηκαν από βιβλιογραφικές αναφορές ή από επισκέψεις πεδίου.

Ως οριακή συνθήκη στην είσοδο του Στρυμόνα εκλήφθηκε η εισερχόμενη παροχή από τη Βουλγαρία, ενώ στην έξοδό του, το βάθος νερού, όπως αυτό διαμορφώνεται στην κοίτη του από το απόλυτο υψόμετρο της θάλασσα (=0 m). Επίσης, η επιφανειακή απορροή, όπως αυτή υπολογίζεται για κάθε ορεινή υπολεκάνη, εισέρχεται ως πλευρική εισροή στους κλάδους του Στρυμόνα και της Μπέλιτσας, στα σημεία όπου εκβάλουν στην πραγματικότητα τα ορεινά υδατορεύματα.

Για την προσομοίωση της διαχείρισης του αρδευτικού στη λεκάνη, περιλήφθηκαν στο σύστημα MIKE 11 οι ακόλουθες υδραυλικές κατασκευές:

- > Υπερχειλιστής επί του Στρυμόνα, λίγο ανάντη της θέσης όπου βρίσκεται η Υδροληψία Y1.
- > Κατασκευή ελέγχου ροής στην έξοδο της Κερκίνης, για την προσομοίωση της λειτουργίας του φράγματος.
- > Δυο κατασκευές ελέγχου ροής στην Κερκίνη για την προσομοίωση των υδροληψιών Y2 και Y3.
- > Διάφορες κατασκευές ελέγχου για την προσομοίωση των υδροληψιών των διαφόρων αρδευτικών δικτύων από τις κύριες διώρυγες μεταφοράς νερού.

## 6.4 Ρύθμιση του υδρολογικού ομοιώματος

Η περίοδος ρύθμισης του υδρολογικού ομοιώματος της λεκάνης του Στρυμόνα περιλαμβάνει το χρονικό διάστημα των ετών 2004 - 2005, ενώ για την επαλήθευσή του επιλέχθηκε το έτος 2006.

Παράμετροι ρύθμισης του ομοιώματος αποτέλεσαν α) η οριζόντια υδραυλική αγωγιμότητα του φρεάτιου υδροφορέα, β) ο συντελεστής διαρροής κατά μήκος των κλάδων του ΜΙΚΕ 11, γ) ο συντελεστής ταχύτητας στράγγισης των γεωργικών εδαφών και δ) η περιεχόμενη υγρασία στον κορεσμό και στο σημείο μόνιμης μάρανσης για τον τύπο του εδάφους που επιλέχθηκε.

Η ρύθμιση του ομοιώματος πραγματοποιήθηκε με βάση τις παρατηρούμενες τιμές α) της διακύμανσης της στάθμης της Κερκίνης, β) της παροχής κατά μήκος της στραγγιστικής τάφρου Μπέλιτσα, γ) της παροχής στην έξοδο του Στρυμόνα, καθώς και δ) βάσει των τιμών της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών στη λεκάνη του Στρυμόνα, όπως αυτές εκτιμώνται από τη ΔΕΒ Σερρών για τη διανομή του νερού στα αρδευτικά δίκτυα.

## 6.5 Αποτελέσματα

Στα Σχήματα 6.2. έως 6.5. παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενες και οι παρατηρούμενες τιμές της στάθμης της Κερκίνης, καθώς και της παροχής στη Μπέλιτσα και στην έξοδο του Στρυμόνα. Από τα σχήματα αυτά, προκύπτει ότι η συσχέτιση ανάμεσα στις παρατηρούμενες και υπολογιζόμενες τιμές των παραπάνω παραμέτρων είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική.

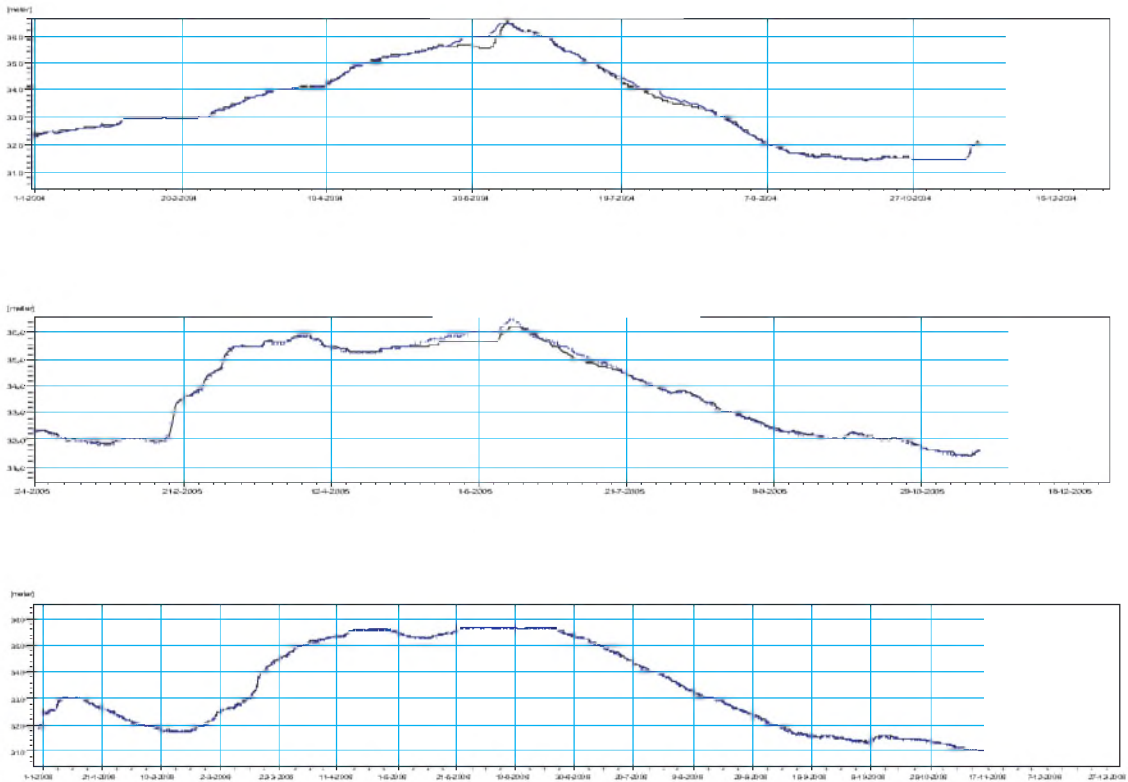
Το ομοίωμα προσομοιώνει με μεγάλη ακρίβεια τη λειτουργία της λίμνης (πλευρικές εισροές και εκροές, απώλειες λόγω βαθιάς διήθησης, απολήψεις νερού για άρδευση, εκροές από το φράγμα). Εξίσου ικανοποιητική είναι και η προσομοίωση των αρδεύσεων και της στράγγισης των γεωργικών εκτάσεων, καθώς, επίσης, και της σχέσης βροχής - απορροής στις ορεινές υπολεκάνες, όπως τουλάχιστον αυτό φαίνεται από τις τιμές της παροχής στη Μπέλιτσα.

Οι μειωμένες τιμές της παροχής στη Μπέλιτσα, όπως αυτές υπολογίζονται από το ομοίωμα μετά το τέλος Ιουλίου, οφείλονται στη μειωμένη παροχή στράγγισης, λόγω της διακοπής της άρδευσης των ρυζιών. Γίνεται έτσι αντιληπτό ότι, στην πράξη, η παροχή η οποία προορίζονταν για την άρδευση των ρυζιών, συνεχίζει να διοχετεύεται στα δίκτυα και μετά το τέλος των αρδεύσεών τους, οπότε και καταλήγει στην Μπέλιτσα, διατηρώντας την παροχή της σε υψηλά επίπεδα.

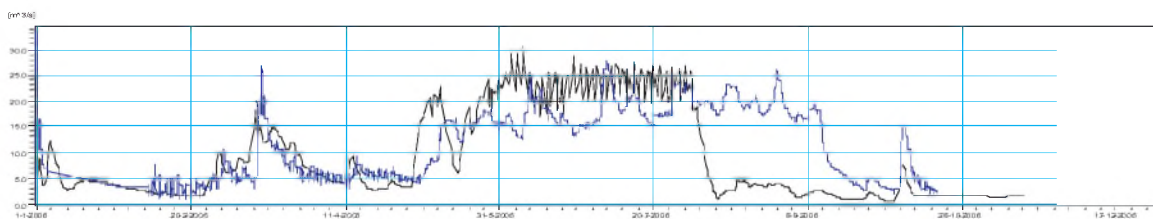
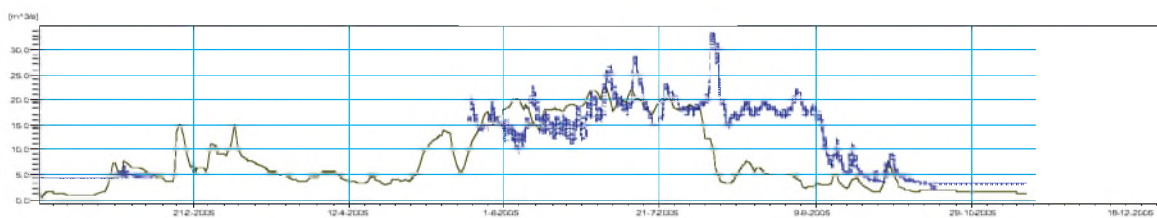
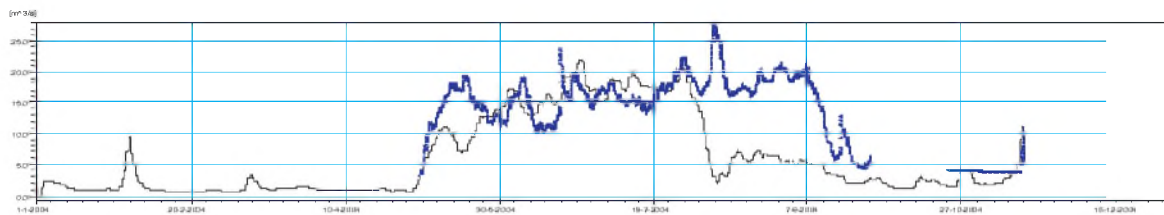
Στο Σχήμα 6.6. δίνονται οι εισροές στη λεκάνη από τον Στρυμόνα και τον Αγγίτη και οι εκροές στην έξοδο του Στρυμόνα για τα έτη 2004 έως 2006.

Η ικανοποιητική ρύθμιση του ομοιώματος, η οποία επιτεύχθηκε, επιτρέπει την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με τις πιέσεις που ασκούνται στους υδατικούς πόρους της λεκάνης και στα οικοσυστήματά της.

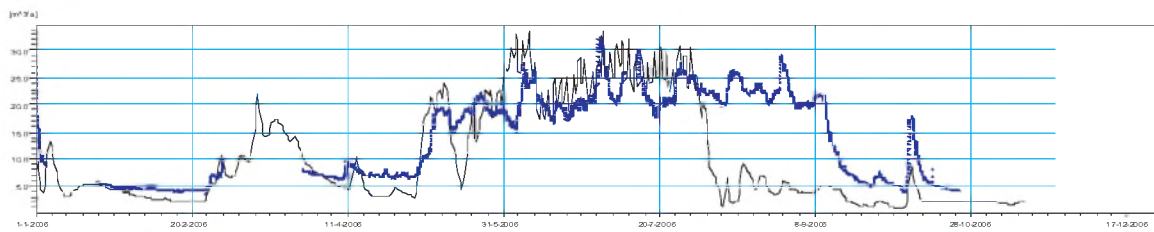
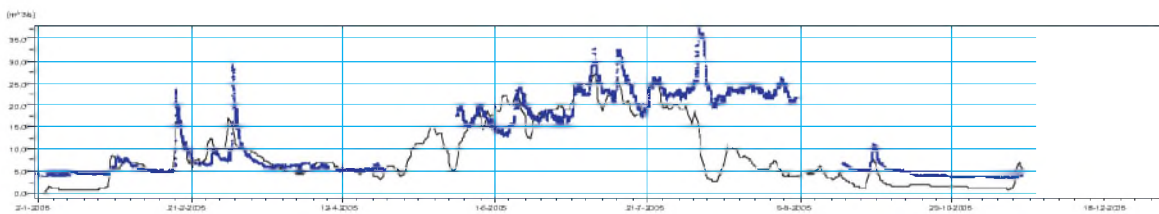
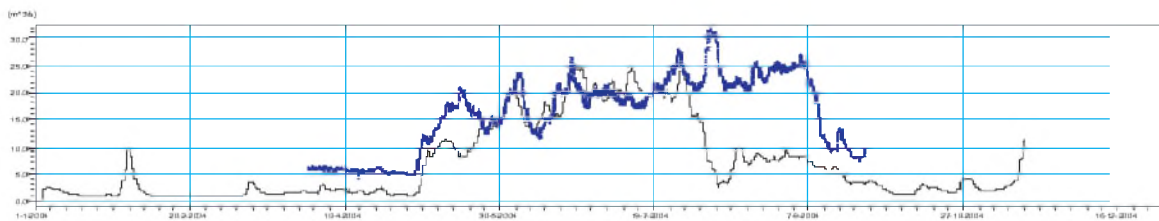
Στα Σχήματα 6.7. έως 6.9. δίνονται οι εισροές και οι εκροές νερού στις αρδευτικές διώρυγες που τροφοδοτούνται από τις απολήψεις νερού από τον Στρυμόνα (υδροληψία Υ1) και την Κερκίνη (υδροληψίες Υ2 και Υ3). Από τα σχήματα γίνεται αντιληπτό ότι οι αποδοτικότητες των αρδευτικών δικτύων είναι ιδιαίτερα μικρές, με τις εισερχόμενες ποσότητες να υπερβαίνουν κατά πολύ τις απαιτούμενες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την άσκηση σοβαρών πιέσεων στο οικοσύστημα της Κερκίνης, λόγω του αυξημένου όγκου νερού, ο οποίος αποθηκεύεται σε αυτήν, με επακόλουθο τη διατήρηση της στάθμης της σε υψηλά επίπεδα για μεγάλο χρονικό διάστημα και την υποβάθμιση των οικοσυστημάτων της.



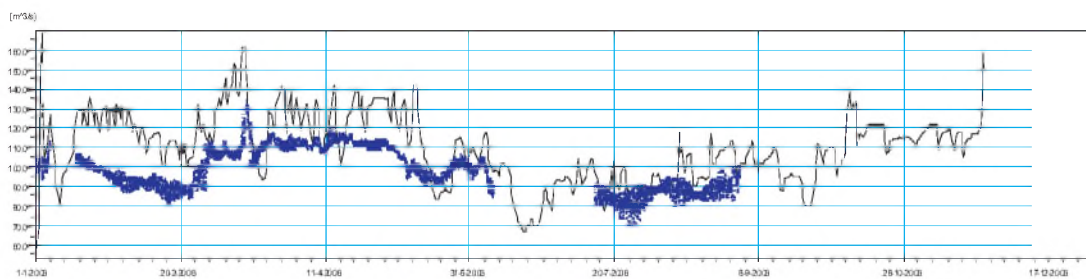
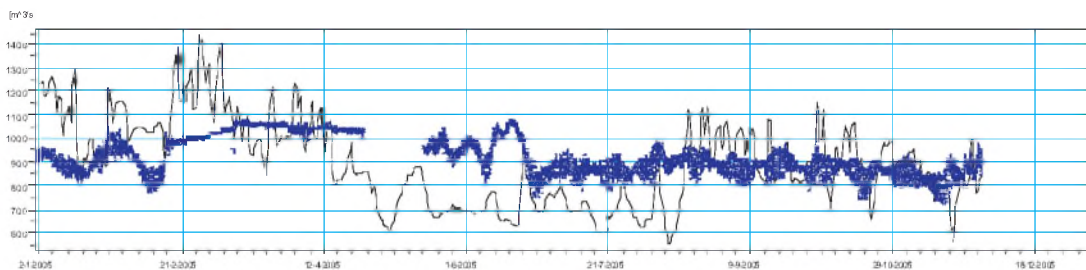
**Σχήμα 6.2.** Υπολογιζόμενη και παρατηρούμενη στάθμη νερού (διάστικτη γραμμή), στη λίμνη Κερκίνη για τα έτη 2004 - 2006.



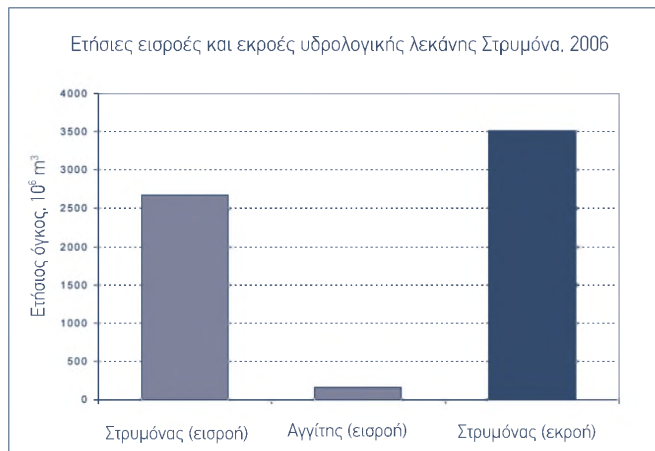
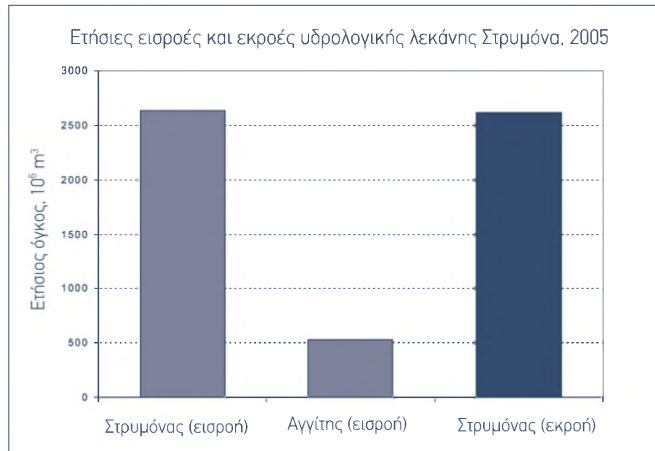
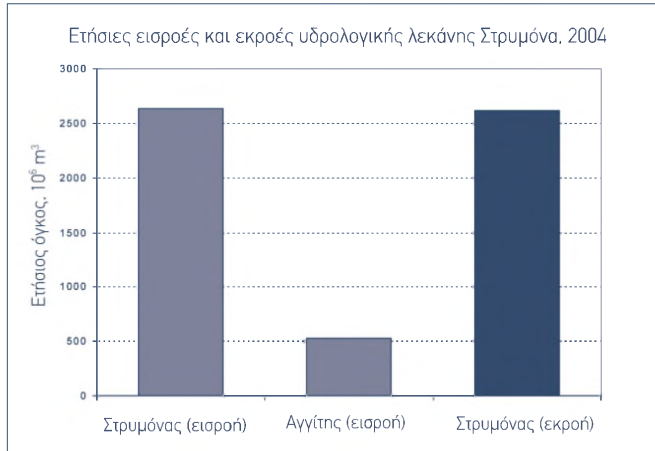
**Σχήμα 6.3.** Υπολογιζόμενη και παρατηρούμενη παροχή (διάστικτη γραμμή), στην τάφρο της Μπέλιτσας στη γέφυρα Μητρούσιου για τα έτη 2004 - 2006.



**Σχήμα 6.4.** Υπολογιζόμενη και παρατηρούμενη παροχή (διάστικτη γραμμή), στην τάφρο της Μπέλιτσας στη Γεφύρα Σκουτάρεως για τα έτη 2004 - 2006.

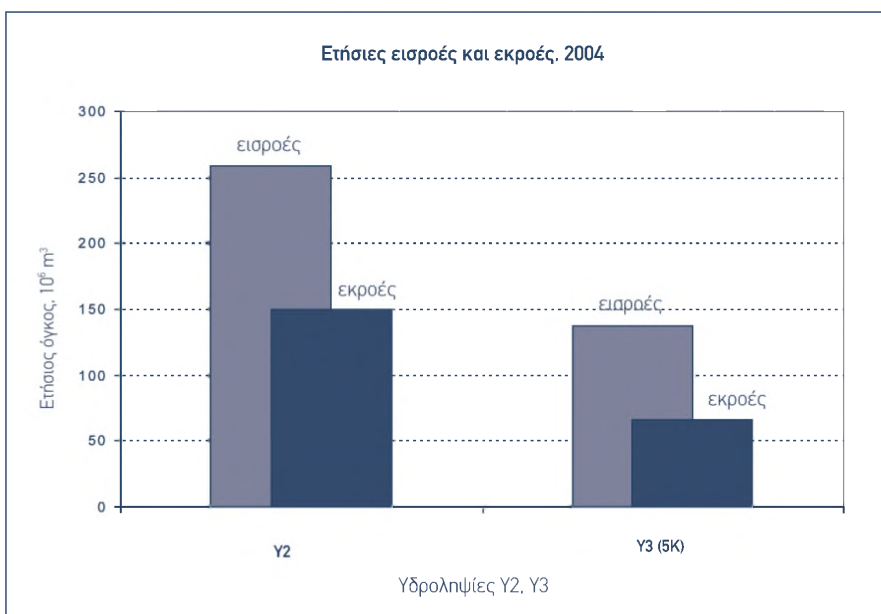
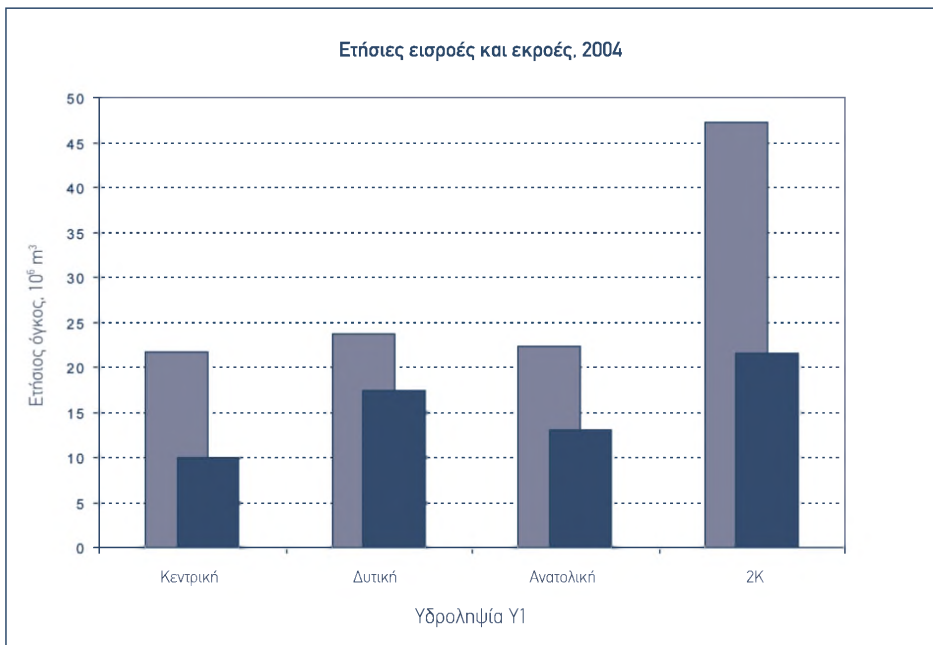


**Σχήμα 6.5.** Υπολογιζόμενη και παρατηρούμενη παροχή (διάστικτη γραμμή), στη θέση εγκατάστασης του πρότυπου (έξοδος λεκάνης) για τα έτη 2005 και 2006.

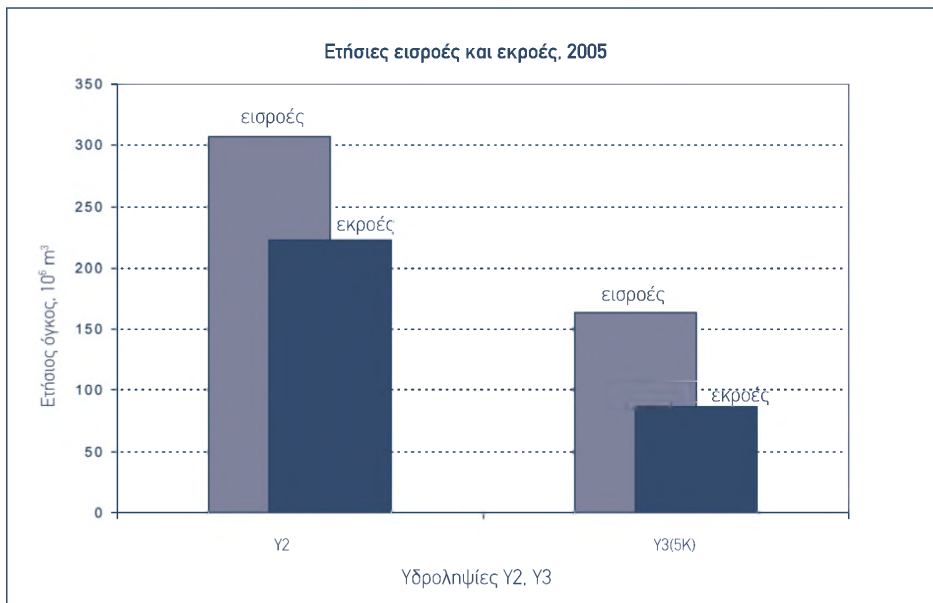
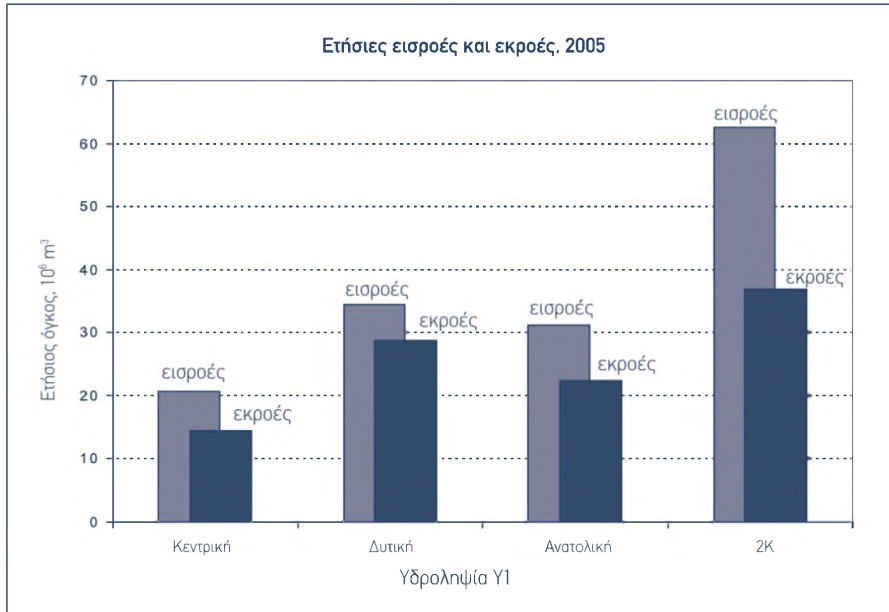


**Σχήμα 6.6.** Ετήσιες εισροές και εκροές στη λεκάνη του Στρυμόνα κατά τα έτη 2004 - 2006.

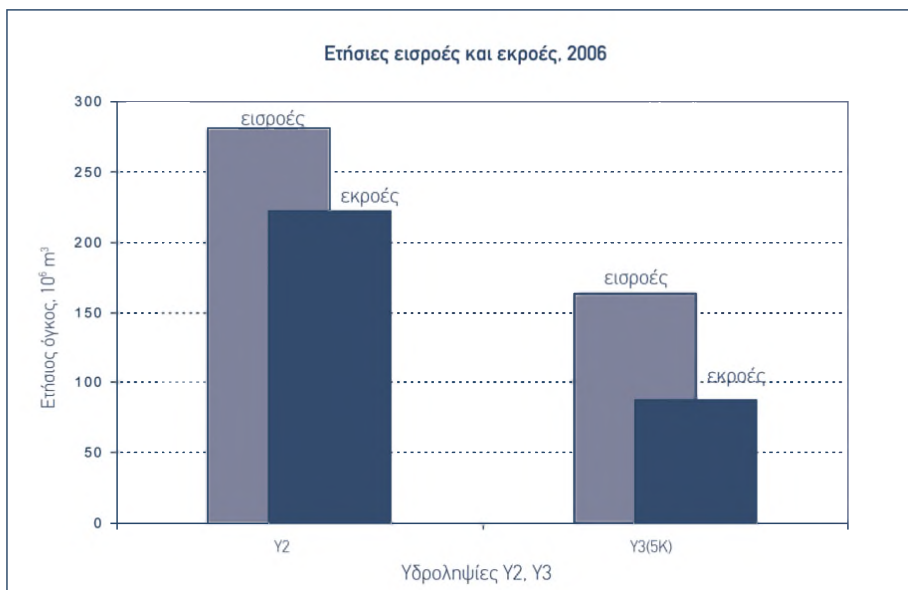
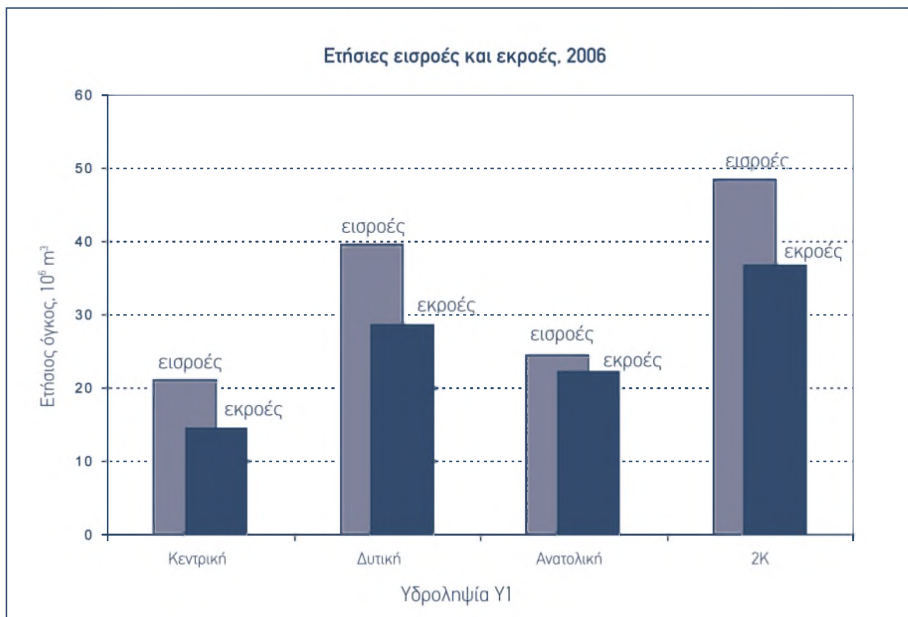




**Σχήμα 6.7.** Εισερχόμενοι και εξερχόμενοι όγκοι νερού από τα αρδευτικά δίκτυα που εξυπηρετούνται από τις υδροληψίες Y1, Y2 και Y3, κατά το έτος 2004.



**Σχήμα 6.8.** Εισερχόμενοι και εξερχόμενοι όγκοι νερού από τα αρδευτικά δίκτυα που εξυπηρετούνται από τις υδροληψίες Υ1, Υ2 και Υ3, κατά το έτος 2005.



**Σχήμα 6.9.** Εισερχόμενοι και εξερχόμενοι όγκοι νερού από τα αρδευτικά δίκτυα που εξυπηρετούνται από τις υδροληψίες Y1, Y2 και Y3, κατά το έτος 2006.

Στο πλαίσιο του παρόντος έργου, αναπτύχθηκε το υδρολογικό ομοίωμα της λεκάνης του Στρυμόνα, χρησιμοποιώντας το σύστημα υδρολογικής προσομοίωσης MIKE SHE/MIKE 11. Με το σύστημα αυτό, πέραν των φυσικών χαρακτηριστικών της λεκάνης, του υδρογραφικού της δικτύου και των κλιματικών παραμέτρων, κατέστη δυνατόν να εισαχθούν στο ομοίωμα και χαρακτηριστικά που αφορούν στην υφιστάμενη διαχείριση των αγροοικοσυστημάτων, των αρδεύσεων και της στράγγισης. Η σύνθεση και η χωρική κατανομή των καλλιεργειών, τα βλαστικά τους στάδια και οι μέθοδοι άρδευσης, οι αρδευτικές διώρυγες και οι στραγγιστικοί τάφροι, καθώς και οι απολήψιμες ποσότητες νερού από τον Στρυμόνα, την Κερκίνη και τους υπόγειους υδροφορείς, όπως και οι ποσότητες νερού που διοχετεύονται στα αρδευτικά δίκτυα, εισάχθηκαν, χωρικά και χρονικά κατανεμημένα, στο σύστημα και προσομοιώθηκε η υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης.

Οι αυξημένες δυνατότητες του MIKE SHE/MIKE 11, το καθιστούν ένα δυναμικό εργαλείο για την προστασία και διαχείριση των υδάτων σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Συγκεκριμένα, εκτιμήθηκαν οι αρδευτικές ανάγκες, χωρικά και χρονικά κατανεμημένες, στη λεκάνη του Στρυμόνα, σε συνδυασμό με τις απολήψιμες ποσότητες νερού από κάθε αρδευτικό δίκτυο και η αποδοτικότητα των αρδευτικών δικτύων, χρονικά κατανεμημένη στη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου. Η πληροφορία αυτή είναι ιδιαίτερης σημασίας, για την εξοικονόμηση νερού υπό τις υφιστάμενες συνθήκες, ενώ μπορεί να συμβάλλει στον καθορισμό ποσοτικών στόχων, ως προς τη βελτίωση της αποδοτικότητας των αρδευτικών δικτύων.

Ιδιαίτερο πλεονέκτημα του συστήματος αποτελεί η δυνατότητα προσομοίωσης της άντλησης νερού από τους υπόγειους υδροφορείς για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών. Κατά αυτόν τον τρόπο, πέραν της εκτίμησης των πιέσεων που ασκούνται στα υπόγεια ύδατα, δίνεται η δυνατότητα διερεύνησης της συνδυασμένης χρήσης επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, αυξάνοντας την αποδοτικότητα της χρήσης του αρδευτικού νερού σε μία λεκάνη απορροής.

Εκτός από τον χώρο της διαχείρισης του αρδευτικού νερού, το MIKE SHE/MIKE 11 μπορεί να αποτελέσει ισχυρό εργαλείο διαχείρισης των υδάτινων οικοσυστημάτων, μέσω της εκτίμησης της υδροπεριόδου τους, υπό διαφορετικές συνθήκες διαχείρισης των υδάτων στη λεκάνη απορροής τους. Στο υδρολογικό ομοίωμα της λεκάνης του Στρυμόνα, η προσομοίωση της στάθμης της Κερκίνης ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητική, επιτρέποντας τη διερεύνηση της χωρικής και χρονικής κατανομής του βάθους του νερού μέσα στη λίμνη. Η πληροφορία αυτή, σε συνδυασμό με τη γνώση της επιθυμητής υδροπεριόδου των ενδαιτημάτων, επιτρέπει την αναγνώριση και ποσοτικοποίηση των πιέσεων που ασκούνται σε αυτά από την υφιστάμενη διαχείριση της στάθμης της λίμνης.

Τέλος, ως ιδιαίτερα θετικό χαρακτηριστικό του συστήματος θα πρέπει να αναφερθεί και το πλήθος των επιλογών που προσφέρει στον χρήστη, όσον αφορά στον τρόπο παρουσίασης των αποτελεσμάτων (ισοζύγια σε επίπεδο λεκάνης απορροής ή υποπεριοχές αυτής, χάρτες με την χωρική και χρονική κατανομή ή χρονοσειρές αυτής σε ένα συγκεκριμένο σημείο των προς διερεύνηση παραμέτρων). Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατή η πλήρης ανάλυση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων, η συνεργασία μεταξύ επιστημόνων από διαφορετικούς χώρους, καθώς και η μεταφορά ακριβούς πληροφορίας, σε απλουστευμένη μορφή, στους αρμόδιους φορείς λήψης αποφάσεων.

## 6<sup>ου</sup> Βιβλιογραφία Κεφαλαίου

Αντωνόπουλος Β. 1999. Υδρολογία της Ακόρεστης Ζώνης του Εδάφους. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. 264 σελ.

Παπαζαφειρίου Ζ.Γ. 1984. Αρχές και πρακτική των Αρδεύσεων. 1η έκδοση. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη. 484 σελ.

Danish Hydraulic Institute (DHI) Software. 2003. MIKE SHE User Guide. 316p.

DHI, 1993. Technical Reference Manual - Water Movement Module - Release 1.0, Danish Hydraulic Institute.

Refsgaard, J.C. and B. Storm. 1995. MIKE SHE. In: Computer Models of Watershed Hydrology, V.P Singh, (Ed.). Water Resources Publications, Colorado, USA: 809 - 846.

Havno, K., Madsen M.N. and J. Dorge. 1995. MIKE 11 - a generalize driver modeling package. In: Sighn, V.P, (Ed), Computer Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publications Englewood, USA: 733 - 782.

Kristensen, K.J.and S.E. Jensen. 1975. A model for estimating actual evapotranspiration from potential evapotranspiration. Nordic Hydrology 6: 170 - 188.

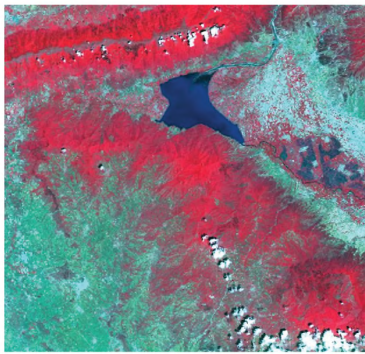
# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## Εικονογραφικό Υλικό Τεχνικής Έκδοσης

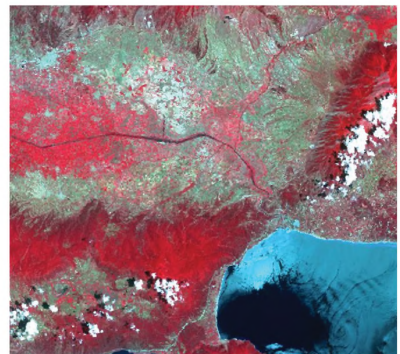
ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2<sup>ο</sup>

Ανάλυση και ερμηνεία δορυφορικών εικόνων για την αναγνώριση των καλλιεργειών στη λεκάνη του Στρυμόνα



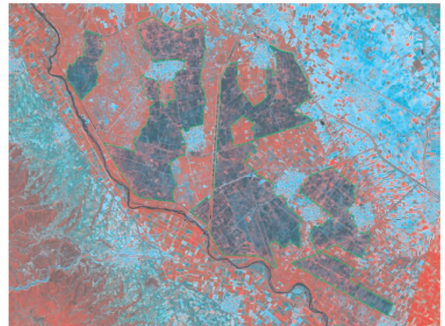
**Εικόνα 2.1.**  
Η Σκηνή 7 (22 Ιουνίου 2005) της βορειοδυτικής πλευράς της λεκάνης του Στρυμόνα, γαιοαναφερμένη σε ΕΓΣΑ87.



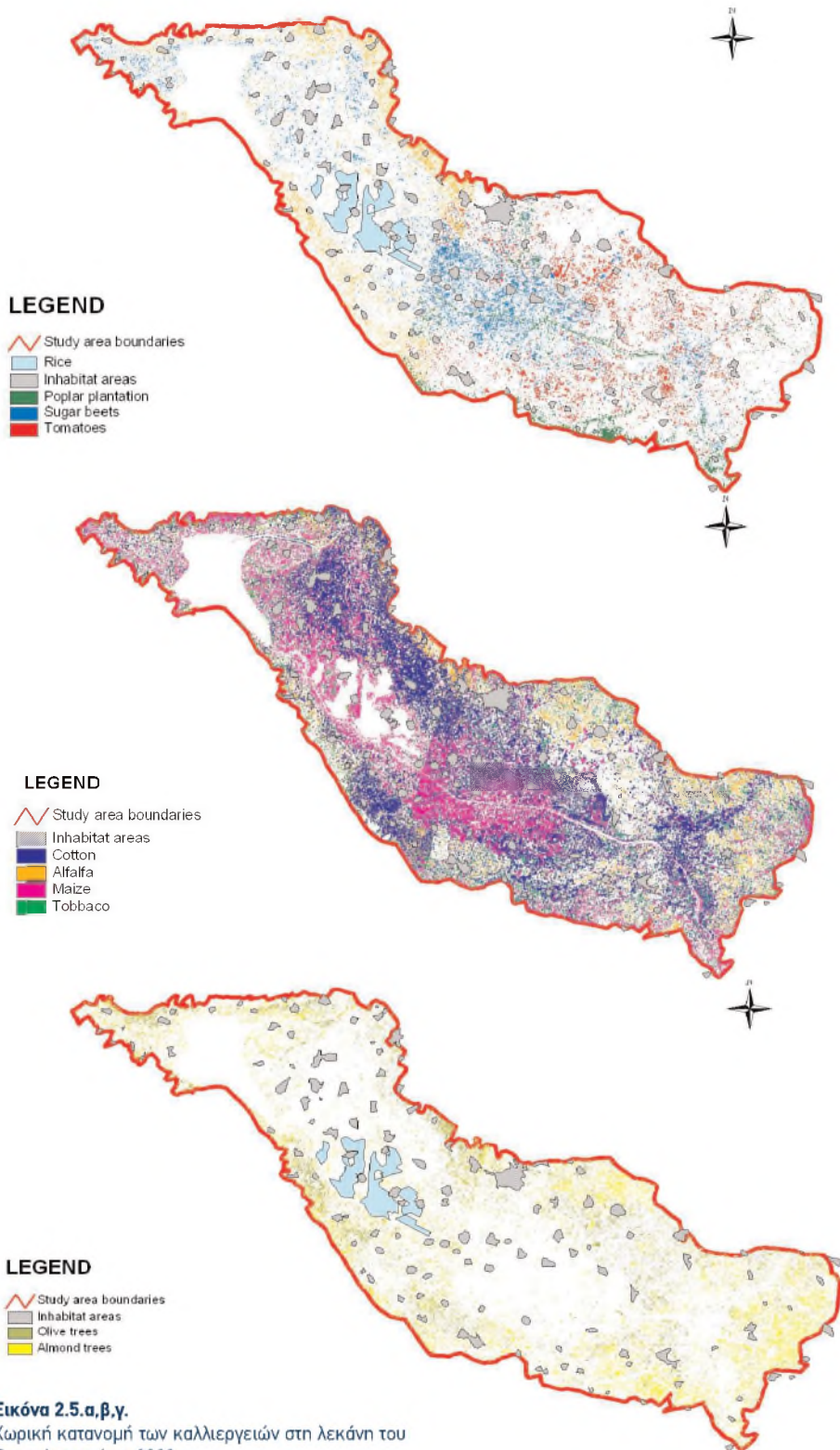
**Εικόνα 2.2.**  
Η Σκηνή 8 (9 Ιουλίου 2005) της νοτιοανατολικής πλευράς της λεκάνης του Στρυμόνα, γαιοαναφερμένη σε ΕΓΣΑ87.



**Εικόνα 2.3.**  
Λεπτομέρεια της αποτύπωσης των σημείων του tracklog ανά 10 sec. Σε περιοχές με αραιότερα σημεία, η λήψη δορυφόρων από το GPS δεν ήταν ικανοποιητική για ακριβή καθορισμό θέσης.



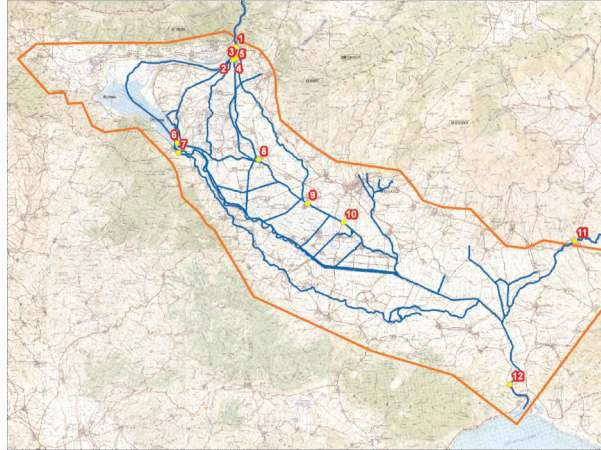
**Εικόνα 2.4.**  
Οριοθέτηση ορυζώνων (περιοχές με μαύρο χρώμα).



**Εικόνα 2.5.α,β,γ.**

Χωρική κατανομή των καλλιεργειών στη λεκάνη του Στριμόνα το έτος 2006.

## Εφαρμογή του λογισμικού SHYLOC στη λεκάνη του ποταμού Στρυμόνα

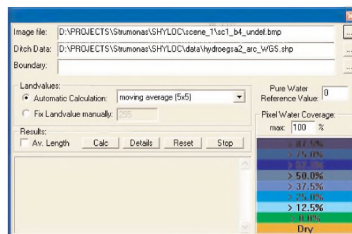


**Εικόνα 3.1.**

Σύστημα παρακολούθησης ποσοτικών παραμέτρων (Χαλκίδης κ.ά. 2004), στη λεκάνη του Στρυμόνα.

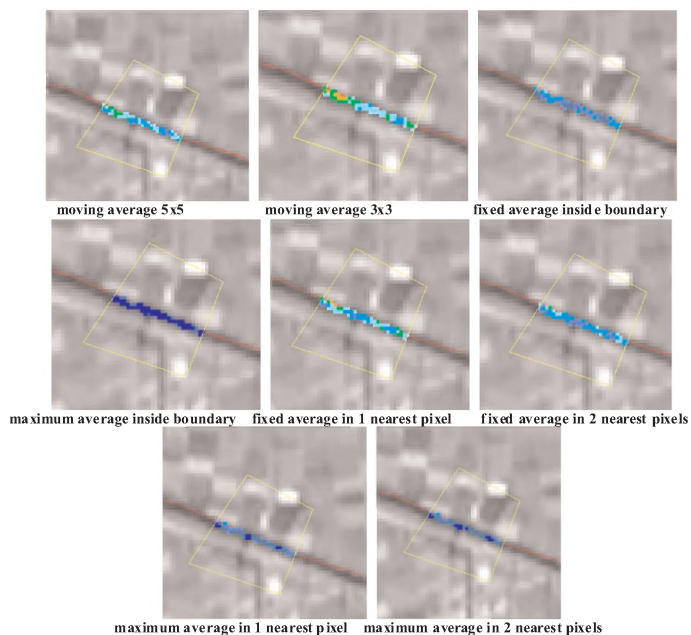


**Εικόνα 3.2.** Το 5ο σετ εικόνων SPOT. Η εικόνα αριστερά λήφθηκε στις 17 Ιουνίου 2006 και η εικόνα δεξιά στις 7 Ιουλίου 2006.



**Εικόνα 3.3.** Εισαγωγή δεδομένων από το παράθυρο διαλόγου Calculation bar του SHYLOC και η χρωματική παλέτα που χρησιμοποιεί ο δείκτης DI για να παραστήσει την επί τοις εκατό περιεκτικότητα των εικονοστοιχείων σε νερό.



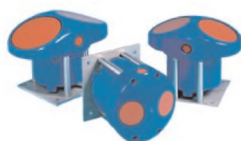


**Εικόνα 3.4.** Οπτική παρουσίαση του δείκτη DI κατά την εφαρμογή του SHYLOC στη διατομή 10, χρησιμοποιώντας τις 8 διαφορετικές μεθόδους υπολογισμού της τιμής ανάκλασης του εδάφους. (10η εικόνα SPOT - 7 Ιουλίου 2006).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### 4<sup>ο</sup>

## Εφαρμογή του λογισμικού SHYLOC στη λεκάνη του ποταμού Στρυμόνα



**Φωτογραφία 4.1.** Αισθητήρες ADCP: α) με 3 δέσμες υπερηχητικών σημάτων και β) με 2 δέσμες υπερηχητικών σημάτων.



**Φωτογραφία 4.2.** Υπερηχητικός αισθητήρας μέτρησης του βάθους νερού.



**Φωτογραφία 4.3.** Θέση εγκατάστασης του πρότυπου σταθμού μέτρησης παροχής.



α)



β)

**Φωτογραφία 4.4.** Εναλλακτικές θέσεις εγκατάστασης του πρότυπου συστήματος μέτρησης παροχής: α) καινούργια γέφυρα του Στρυμόνα. β) παλαιά γέφυρα του Στρυμόνα.



α)



β)

**Φωτογραφία 4.5.** Εναλλακτική θέση εγκατάστασης του πρότυπου συστήματος μέτρησης παροχής, περίπου 500 μέτρα κατάντη της τελικής του θέσης: α) αντλιοστάσιο. β) άποψη της κοίτης του Στρυμόνα στην εν λόγω θέση.



**Φωτογραφία 4.6.** Αισθητήρας ADCP με 2 δέσμες υπερηχητικών σημάτων.

**Φωτογραφία 4.7.** Υδραυλικό σύστημα κατακόρυφης κίνησης του αισθητήρα υπερήχων για τη μέτρηση της ταχύτητας ροής του νερού στον Στρυμόνα.



**Φωτογραφία 4.8.** Ηλιακό πάνελ παροχής ενέργειας για τη λειτουργία του πρότυπου συστήματος μέτρησης της παροχής στον Στρυμόνα.



**Φωτογραφία 4.9.** Σύστημα κίνησης του βυθόμετρου κατά μήκος της διατομής μέτρησης της ταχύτητας ροής του νερού στον Στρυμόνα.