

## ΤΑΣΕΙΣ ΤΡΟΦΙΣΜΟΥ, ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΣΤΗ ΛΙΜΝΗ ΤΡΙΧΩΝΙΔΑ, ΔΥΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ

Η. Μπερταχάς\*, Γ. Φώτης\*\* & Θ. Κουσουρής \*

\*Εθνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών, Ινστιτούτο Εσωτερικών Υδάτων, Αγ. Κοσμάς, 16604 Ελληνικό, Αθήνα

\*\*Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Κτηνιατρικής, Εργαστήριο Ιχθυολογίας, ΤΘ 395,54006

### ABSTRACT

I. Bertahas, G. Fotis & T. Koussouris: Trophic Status Evaluation, Pollution Sources and Pollution Loads in Trichonis Lake, Western Greece.

Trichonis Lake, a lake in western Greece, accepts wastes from various anthropogenic activities, especially from intensive agricultural practices, urban sewages, stock grazing land and small industries. Trophic status evaluation was made based on international standards and practices modified to meet the peculiarities of the lake. According to open and close OECD classification system, which is based on the mean concentration of total P, mean and maximum concentration of chlorophyll-a and the water transparency, the trophic status of the lake is between oligotrophic and mesotrophic with the trend to move toward mesotrophic conditions. The limiting factor for the lake water is phosphorus.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Η λίμνη της Τριχωνίδας είναι μία μεγάλη και βαθιά λίμνη. Η επιφανεία της είναι 98.6 Km<sup>2</sup>, το μέγιστο βάθος της 57 μ, το μέσο βάθος της είναι περίπου 29 μέτρα ο όγκος της 2868X10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> και η ανάπτυξη της ακτογραμμής της είναι ομαλή (Koussouris et.al., 1990).

Η λεκάνη απορροής της ευρύτερης περιοχής της λίμνης βρίσκεται από κλιματική άποψη στην εύκρατη μεσογειακή ζώνη και χαρακτηρίζεται από βροχοπτώσεις κατά την εαρινή, φθινοπωρινή και χειμερινή περίοδο, ενώ το θέρος είναι ξηρό.

Ανθρωπογενείς δραστηριότητες και φυσικές πηγές προσφοράς θρεπτικών συστατικών στη λεκάνη απορροής της λίμνης φορτίζουν το σύστημα ετησίως με σημαντικές ποσότητες αζώτου και φωσφόρου που φαίνεται ότι προς το παρόν δεν έχουν άμεση επίπτωση στην ποιότητα του νερού της λίμνης (Κουσουρής, 1993).

Σε αυτή την παρουσίαση το γενικότερο πρόβλημα του ευτροφισμού της λίμνης προσεγγίζεται με τη βοήθεια της διεθνούς εμπειρίας προσαρμοσμένης στις ιδιαιτερότητες της λίμνης και της γενικότερης λεκάνης απορροής της.

### ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την εκτίμηση της τροφικής κατάστασης της λίμνης ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία. Εμβαδομετρήθηκε η λεκάνη απορροής της λίμνης από χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού και του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών. Ακολούθησε επιτόπια επισκόπηση της περιοχής και έγινε καταγραφή των χρήσεων της γης και των πηγών ρύπανσης από παραγωγικές δραστηριότητες. Στοιχεία για τις ποσότητες και τη χρήση των χρησιμοποιούμενων λιπασμάτων ως και την κτηνοτροφική δραστηριότητα συλλέχθηκαν από τις αρμόδιες υπηρεσίες των Νομαρχιών και των γειτονικών προς τη λίμνη κοινοτήτων. Μετεωρολογικά στοιχεία συλλέχθηκαν από την Μετεωρολογική Υπηρεσία και τον Καπνικό Μετεωρολογικό Σταθμό του Αγρινίου.

Απορροές προερχόμενες από συμβατικές και εντατικές καλλιέργειες, αστικές περιοχές, βοσκοτόπια, δασικές εκτάσεις, καθώς και από βιοτεχνικές και άλλες δραστηριότητες, εμπλουτίζουν τη λίμνη με N & P σε ποσότητες ανάλογες των εκτάσεων του πληθυσμιακού, παραγωγικού και άλλου δυναμικού από τις οποίες προέρχονται, όπως επίσης και από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που μεταφέρουν φορτία αζώτου και φωσφόρου εμπλουτίζοντας τη λίμνη σε ποσότητες που είναι ανάλογα της επιφανείας της (Vollenweider, 1975). Οι χρησιμοποιούμενοι κατά τους υπολογισμούς συντελεστές εξαγωγής για το άζωτο και το φώσφορο καθώς και οι μειωτικοί συντελεστές (εξ' αιτίας της απόστασης, της διήθησης, της κατεύθυνσης κλπ) προέρχονται από τη διεθνή εμπειρία (Rast & Lee, 1983), αλλά και τις ιδιαιτερότητες της περιοχής της Τριχωνίδας.

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

#### Τροφική Κατάσταση της Λίμνης.

Η εκτίμηση του ετήσιου φόρτου της λίμνης σε θρεπτικά συστατικά αζώτου και φωσφόρου από φυσικές πηγές και

ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 1 είναι βασισμένη στους συντελεστές εξαγωγής των θρεπτικών όπως επίσης και τους μειωτικούς συντελεστές. Όπως φαίνεται συνολικά ένας σημαντικός φόρτος 251422 Kg N και 20400 Kg P επιβαρύνει τη λίμνη της Τριχωνίδας.

Από μετρήσεις, επίσης των φυσικοχημικών παραμέτρων στην υδάτινη στήλη της λίμνης η ενδεικτική θέση της λίμνης σύμφωνα με τις διεθνείς κλίμακες ευτροφίας (OECD, 1982 Wetzel, 1983), έχει ως εξής:

α) Σύμφωνα με το “κλειστό” σύστημα κατάταξης των λιμνών (OECD 1982) η θέση της Τριχωνίδας για μεν τη μέση συγκέντρωση του ολικού P = 16.82 mg/m<sup>3</sup>, είναι μεσότροφη, ως προς τη μέση και μέγιστη συγκέντρωση της χλωροφύλλης -α που είναι 2.31 mg/m<sup>3</sup> και 4.25 mg/m<sup>3</sup> αντίστοιχα, η λίμνη είναι ολιγότροφη. Η μέση διαφάνεια του δίσκου Secchi = 9.95 m, κατατάσσει τη λίμνη σε ολιγοτροφικό επίπεδο, ενώ η ελάχιστη τιμή του δίσκου Secchi = 8.50 m, την κατατάσσει σε υπερολιγοτροφικό επίπεδο.

β) Σύμφωνα με το “ανοικτό” σύστημα ταξινόμησης (OECD, 1982) η τροφική κατάσταση της Τριχωνίδας για μεν την μέγιστη τιμή του ολικού P είναι ολιγομεσοτροφική, ως προς τη μέση και μέγιστη συγκέντρωση της χλωροφύλλης -α είναι ολιγοτροφική, ενώ ως προς μέση διαφάνεια του δίσκου Secchi είναι ολιγοτροφική.

γ) Με βάση τις προαναφερθείσες τιμές για τον ολικό P, τη μέση ετήσια τιμή της χλωροφύλλης-α και την προσέγγιση των πιθανοτήτων, όπως υιοθετείται από τα διαγράμματα (OECD, 1982) και παραθέτονται στην εικόνα 1 η τροφική κατάσταση της λίμνης Τριχωνίδας θεωρείται ότι είναι :

-Ως προς τη μέση ετήσια συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου κατά, 39% ολιγοτροφική, 54% μεσοτροφική, 6% ευτροφική και 1% υπέρ-ολιγοτροφική.

-Ως προς τη μέση ετήσια συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α, κατά 50% ολιγοτροφική, 41% μεσοτροφική, 2% ευτροφική και 7% υπέρ-ολιγοτροφική.

Επομένως η λίμνη Τριχωνίδα από πλευράς τροφικής κατάστασης ανήκει κατά 39-50% στην ολιγοτροφική και κατά 41-54%. στη μεσοτροφική. Δηλαδή μπορούμε να πούμε με αρκετές πιθανότητες, ότι η λίμνη βροίσκεται ως επί το πλείστον σε ένα ενδιάμεσο επίπεδο ευτροφισμού μεταξύ ολιγοτροφικής και μεσοτροφικής κατάστασης.

*Πίνακας 1. Εκτίμηση του ετήσιου φόρτου της λίμνης Τριχωνίδας με θρεπτικά ουσιατικά άζωτου και φωσφόρου από φυσικές πηγές και ανθρωπογενείς δραστηριότητες.*

Πηγές Προσφοράς	Εκταση Km <sup>2</sup>	Αριθμός Κατοίκων ή Ζώων	Συντελεστής εξαγωγής θρεπτικών συστατικών		Μειωτικός συντελεστής θρεπτικών συστατικών.		Συνολικός εφοδιασμός θρεπτικών συστατικών tn	
			tn/Km <sup>2</sup> ή tn**	ή Kg/άτομο*	N	P	N	P
<b>ΦΥΣΙΚΕΣ</b>								
1. Δασικ. Εκτ.	37.3	-	0.3	0.01	-	-	11.19	0.373
2. Βοσκοτόπια	130.4	-	0.4	0.02	-	-	52.16	2.608
3. Ατμ. Κατακρ.	98.6	-	0.1	0.025	-	-	9.86	2.465
Σύνολο							73.21	5.446
<b>ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ</b>								
4. Καλ. Συμβ.	25.2	-	0.5	0.05	0.2	0.08	2.52	0.100
5. Καλ. Εντατ.	57.1	-	0.8	0.08	0.2	0.08	9.136	0.365
6. Αποβλ. Οικ. πλ.	-	23000	5.47*	1.09*	0.4	0.2	50.324	2.507
7. Αποβλ. Οικ. Μακ.	-	5340	5.47*	1.09*	0.2	0.05	5.842	0.292
8. Βοσκ. Ζώα Πλ.	-	53200	9 *	2 *	0.2	0.08	95.760	8.521
9. Βοσκ. Ζώα Μακ	-	14000	9 *	2*	0.08	0.05	10.080	0.560
10. Αποβλ. Ελαιοτ.	-	-	6.5 **	3.15**	0.2	0.05	1.300	0.157
11. Αποβλ. Πεστρ.	-	-	3.25**	0.025**	-	-	3.250	0.225
Σύνολο							178.212	14.954

Συνολικός εφοδιασμός με άζωτο 251422 Kg και με φώσφορο 20400 Kg.

### Εκτίμηση της τροφικής κατάστασης της λίμνης με εξισώσεις.

Σήμερα, η εκτίμηση της τροφικής κατάστασης μιας λίμνης (με τις προϋποθέσεις ότι, το σύστημα είναι πλήρως αναμιγμένο, ο ρυθμός ιζηματοποίησης μιας ουσίας είναι αναλογικός με τις ποσότητες της ουσίας που βρίσκονται στη λίμνη, η συγκέντρωση μιας ουσίας στη εκροή είναι ίση με τη συγκέντρωσή της στη λίμνη και ότι δεν υπάρχει εποχιακή διακύμανση στο ρυθμό φόρτισης των θρεπτικών συστατικών), μπορεί να γίνει και με τη βοήθεια των πιο κάτω σχέσεων (Dillon & Rigler, 1974, & Vollenweider, 1975):

$$P_i = P_c \times Q / (1-R) \quad (1)$$

$$\text{ή} \quad L_p = Z \times P_c / T (1-R) \quad (2)$$

όπου είναι,  $P_i$ , η ετήσια εισροή ολικού φωσφόρου στη λίμνη σε g/y,

$P_c$ , η μέση ετήσια συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου στη λίμνη σε mg/l,

$Q$ , η ετήσια επιφανειακή εκροή υδάτων από τη λίμνη σε  $m^3$ ,

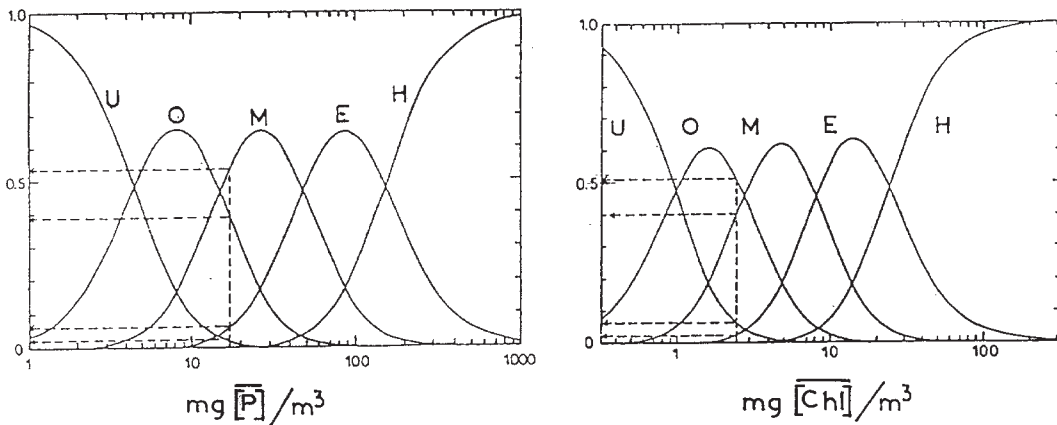
$R$ , ο συντελεστής κατακράτησης του φωσφόρου στα ιζήματα,

$L_p$ , το επιφανειακό φορτίο του φωσφόρου σε  $g/m^2y$ ,

$Z$ , το μέσο βάθος της λίμνης σε m,

$T$ , ο χρόνος παραμονής των υδάτων στη λίμνη σε έτη.

Για την εκτίμηση της τροφικής κατάστασης της λίμνης Τριγωνίδα, εφαρμόστηκαν οι πιο πάνω διεθνώς παραδεκτές συναρτήσεις (1 & 2), με το φώσφορο ως περιοριστικό παράγοντα στην περιοχή, και με την παραδεκτή συνθήκη, ότι στη λίμνη εξασφαλίζεται συνθήκη πλήρους ανάμιξης των υδάτων, τουλάχιστον κατά δύο μακρόχρονες περιόδους κάθε έτος (εαρινή περίοδος και φθινοπωρινή-χειμερινή περίοδος).



Εικόνα 1. Η θέση της τροφικής κατάστασης της λίμνης Τριγωνίδα, με βάση τις καμπύλες κατανομής πιθανοτήτων για τις τροφικές κατηγορίες των λιμνών.

Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι ένα ποσοστό του εισερχόμενου κάθε έτος φορτίου φωσφόρου στη λίμνη, που κατακρατείται στα ιζήματα της και εκφράζεται από το συντελεστή κατακράτησης  $R$  που μπορεί να υπολογισθεί από την σχέση του Kirchner & Dillon (1975):

$$R = 0.426 \exp(-0.271 \times q) + 0.574 \exp(-0.00949 \times q) \quad (3)$$

Από τη σχέση αυτή το  $R$  υπολογίζεται σε 0.74. Δηλαδή, σύμφωνα με την σχέση (3) το 74% του εισερχόμενου φορτίου φωσφόρου κατακρατείται στα ιζήματα της λίμνης.

Σύμφωνα, με τις πιο πάνω σχέσεις (1 & 2), που θεωρούν τη λίμνη, ομογενή, πλήρως αναμιγμένη και υπό σταθερές συνθήκες,

- η ετήσια εισροή (φορτίο) ολικού φωσφόρου προ τη λίμνη θα είναι

$$P_i = 0.0168 \text{ mg/l} \times 315 \times 10^3 \text{ m}^3 / (1-0.74) \quad (4)$$

$$\text{ή } P_i = 20353 \text{ kg/y.}$$

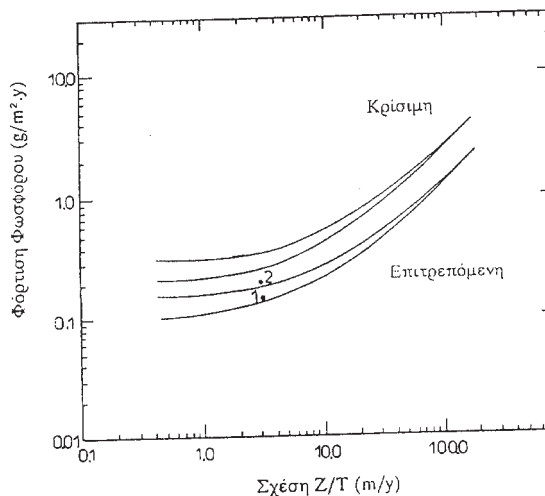
- και η ετήσια επιφανειακή φόρτιση του φωσφόρου θα είναι

$$L_p = 29.08 \text{ m} \times 0.0168 \text{ mg/l} / 9.1 \text{ y} (1-0.74) \quad (5)$$

$$\text{ή } L_p = 0.2064 \text{ g/m}^2\text{y.}$$

Επομένως, η συνολική επιφάνεια της λίμνης Τριχωνίδας ( $98.6 \text{ km}^2$ ) δέχεται ετησία φόρτιση φωσφόρου της τάξης  $0.2064 \text{ g/m}^2\text{y}$  ή  $20353 \text{ kg}$ . Από αυτό το φορτίο φωσφόρου που εισέρχεται στη λίμνη κάθε έτος, εκτιμάται ότι, μόνο τα  $3664 \text{ kg}$  απομακρύνονται από το σύστημα της λίμνης, κυρίως μέσω της επιφανειακής της απορροής, ενώ τα υπόλοιπα  $16689 \text{ kg}$  περίπου, κατακρατούνται στα ιζήματα της.

Στην Εικόνα 2 παρατίθεται η σημερινή θέση (2) στην οποία βρίσκεται η λίμνη Τριχωνίδα από την άποψη της φορτίσής της με φώσφορο, σύμφωνα με τη διαγραμματική σχέση, όπως έχει αποδοθεί από τον Vollenweider (1976) και που ισχύει για την πλειονότητα των λιμνών σε Ευρώπη και Αμερική. Έτσι, η λίμνη τοποθετείται μεταξύ επιτρεπόμενου και κρίσιμου φορτίου, ενώ σύμφωνα με παλαιότερες μετρήσεις (1) (Koussouris et. al., 1990) βρίσκεται πλησιέστερα στο επιτρεπόμενο.



**Εικόνα 2.** Η θέση της λίμνης Τριχωνίδας σύμφωνα με τη σχέση του Volleweider (1975) στη λίμνη Τριχωνίδα, ως προς την κρίσιμη επιτρεπόμενη φόρτιση φωσφόρου.  $Z$  = μέσο βάθος λίμνης,  $T$  = χρόνος παραμονής των υδάτων στη λίμνη. (Θέση 1 = προηγούμενη μελέτη από Koussouris et. al., (1990), Θέση 2 = σημερινή κατάσταση).

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- DILLON, P. J. & H. F. RIGLER, (1974). A test of a simple nutrient budget model predicting the phosphorus concentrations in lake water. *J. Fish Res. Board Canada*, 31: 1771-78.
- KIRCHNER, W. B. & J. P. DILLON, (1975). An empirical method of estimating the retention of phosphorus in lakes. *Water Resources Research* 11, 1: 182-3.
- ΚΟΥΣΟΥΡΗΣ, Θ., (1993). Συμβολή στη μελέτη της επίδρασης των γεωργικοκτηνοτροφικών και άλλων δραστηριοτήτων στην τροφική κατάσταση της λίμνης Τριχωνίδας και των δυνατοτήτων ιχθυοτροφικής της αξιοποίησης της. PhD, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Γεωτεχνικών Επιστημών 116 σελ.
- ΚΟΥΣΟΥΡΗΣ, Τ., G. FOTIS, A. ΔΙΑΠΟΥΛΗΣ, I. ΒΕΡΤΑΧΑΣ, (1990). Water quality evaluation in lakes of Greece. In: *Watershed 89, The future of water quality*. Eds., D. Wheeler, L. Richardson, & J. Bridges. *Advances in Water Pollution Control, IAWRPC, Vol II*.
- O.E.C.D., (1982). *Eutrofication of waters. Monitoring, assessment and control*. Organization for the Economic Cooperation and Development, Paris.
- RAST, W. & G. F. LEE (1983). Nutrient loading estimates for lakes. *J. of Environmental Engineering*, 109, 2, 502-517.
- VOLLENWEIDER, R. A., (1975). Input - output models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrology*, 37: 53-84.
- WETZEL, R. G., (1983). *Limnology*, CBS College Publ., USA, 848 pp.