

Πρωτόκολλα αντιμετώπισης επεισοδίων τοξικών κυανοβακτηριακών ανθίσεων

CLIMPACT
ΕΘΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΤΙΣ
ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ

ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ»

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΝΑΝΟΕΠΙΣΤΗΜΗΣ & ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΩΤΟ-ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι η συχνότερη εμφάνιση τοξικών κυανοβακτηριακών ανθίσεων σε επιφανειακά νερά, η οποία σχετίζεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και την μεταβολή των υδρολογικών συνθηκών. Η συνεπακόλουθη έκλυση κυανοτοξινών έχει ως συνέπεια την υποβάθμιση των υδάτινων πόρων και αποτελεί σημαντικό κίνδυνο τόσο για το περιβάλλον όσο και για τα ζώα και τον άνθρωπο. Επί του παρόντος, οι τοξικές κυανοβακτηριακές ανθήσεις αποτελούν την σημαντικότερη απειλή για την ποιότητα των γλυκών υδάτων, την δημόσια υγεία και τα υδάτινα οικοσυστήματα [1]. Στο πλαίσιο της Δράσης 2.1: Δεδομένα από υδάτινα (θαλάσσια και χερσαία) οικοσυστήματα σχετιζόμενα με την κλιματική αλλαγή, αναπτύχθηκαν πρωτόκολλα για την αντιμετώπιση επεισοδίων τοξικών κυανοβακτηριακών ανθίσεων με στόχο την προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος από τον κίνδυνο των κυανοτοξινών.

Τοξικές κυανοβακτηριακές ανθήσεις

Τα κυανοβακτήρια είναι φωτοσυνθετικοί προκαρυωτικοί μικροοργανισμοί που υπάρχουν σε ποικίλα περιβάλλοντα, τόσο υδάτινα όσο και χερσαία, αλλά και σε ακραίες οικολογικές συνθήκες από ψυχρές πολικές περιοχές μέχρι ερήμους και θερμοπηγές σε όλο τον κόσμο, όπως και ως συμβιωτικοί με άλλους οργανισμούς [2-4]. Η φωτοσυνθετική δραστηριότητα των κυανοβακτηρίων, μέσω της οποίας παράγεται οξυγόνο, θεωρείται ότι άλλαξε την ατμόσφαιρα της γης στην Πρωτοζωική Εποχή πριν από περίπου 2,4 δισεκατομμύρια χρόνια [5].

Τα κυανοβακτήρια απαντώνται σε ποικίλα υδάτινα οικοσυστήματα, όπως λίμνες και ποτάμια αλλά και σε υφάλμυρα και αλμυρά νερά, όπως θάλασσες και ωκεανοί. Κάτω από ευνοϊκές συνθήκες, τα κυανοβακτήρια πολλαπλασιάζονται εκθετικά με συνέπεια την δημιουργία κυανοβακτηριακών ανθίσεων. Οι έντονες κυανοβακτηριακές ανθήσεις (blooms) παρουσιάζονται ως στρώμα κυανοβακτηρίων στην επιφάνεια του νερού (scum / biofilm) με αποτέλεσμα τον χρωματισμό της επιφάνειας του νερού συνήθως πράσινου (Εικόνα 1), σπανιότερα καφέ-κίτρινου ή και κόκκινου χρώματος ανάλογα με το είδος του κυανοβακτηρίου ή ως επικάλυψη στα βράχια και τα φυτά (mats) [6].



Εικόνα 1: Επεισόδιο κυανοβακτηριακής άνθισης στην Λίμνη Παμβώτιδα, Ιωάννινα – Ελλάδα, Σεπτέμβριος 2014

Συνέπεια των κυανοβακτηριακών ανθίσεων είναι η αύξηση της θολότητα των επιφανειακών νερών, εμποδίζοντας το φως να διεισδύσει μέσα στην υδάτινη στήλη και συνεπώς την ανάπτυξη των άλλων υδρόβιων ειδών [7]. Κατά την κατάρρευση της κυανοβακτηριακής άνθισης παρατηρείται εξάντληση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό που μπορεί να προκαλέσει υποξία και ανοξία με αποτέλεσμα το θάνατο των ψαριών και των βενθικών ασπόνδυλων [8].

Σημαντικότερο πρόβλημα των ανθίσεων αποτελούν οι μεταβολίτες που παράγουν τα κυανοβακτήρια. Τα κυανοβακτήρια παράγουν ουσίες οσμής και γεύσης (taste & odour compounds, T&Os), όπως η γεωσμίνη και η 2-μεθυλισοβορνεόλη, με συνέπεια να παρατηρείται έντονη και δυσάρεστη μυρωδιά στην λίμνη κατά τα επεισόδια κυανοβακτηριακών ανθίσεων και να υποβαθμίζεται η ποιότητα του νερού [9]. Κυρίως όμως, οι κυανοβακτηριακές ανθίσεις μπορεί να είναι επιβλαβείς (τοξικές κυανοβακτηριακές ανθίσεις, harmful algal blooms, HABs) για τους υπόλοιπους οργανισμούς καθώς υπάρχει αυξημένη πιθανότητα ελευθέρωσης τοξινών, γνωστών ως κυανοτοξίνες. Είναι γνωστές πολλές περιπτώσεις που έχουν προκληθεί δηλητηριάσεις ζώων αλλά και ανθρώπων από τις κυανοτοξίνες [10].

Τα είδη των κυανοβακτηρίων που σχηματίζουν συνήθως τοξικές κυανοβακτηριακές ανθίσεις στις ελληνικές λίμνες είναι τα *Microcystis*, *Dolichospermum* (παλαιότερη ονομασία *Anabaena*), *Aphanizomenon*, *Planktothrix* (*Oscillatoria*) και το *Raphidiopsis raciborskii* (*Cylindrospermopsis raciborskii*) [11].

Κλιματική αλλαγή και τοξικές κυανοβακτηριακές ανθίσεις

Η αυξανόμενη συχνότητα σχηματισμού τοξικών κυανοβακτηριακών ανθίσεων τα τελευταία χρόνια έχει συσχετιστεί με την κλιματική αλλαγή [12, 13] και υπάρχει μεγάλη ανησυχία ότι θα υπάρξει περαιτέρω αύξηση τους τα επόμενα χρόνια [14, 15].

Η κλιματική αλλαγή, σύμφωνα με τα υπάρχοντα δεδομένα, επηρεάζει αρκετούς περιβαλλοντικούς παράγοντες που σχετίζονται με τον σχηματισμό των τοξικών κυανοβακτηριακών ανθίσεων. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες που επικρατούν τον χειμώνα ευνοούν τα κυανοβακτήρια να είναι φωτοσυνθετικά ενεργά όλο τον χρόνο. Παράλληλα, οι υψηλές θερμοκρασίες ευνοούν την σταθερή θερμική στρωμάτωση του νερού, μειώνοντας την κάθετη ανάμιξη της υδάτινης στήλης με συνέπεια τα κυανοβακτήρια να επιπλέουν πιο εύκολα στην επιφάνεια. Παράλληλα, η αυξημένη μεταβλητότητα του καιρού μπορεί να οδηγήσει σε πιο έντονες καταιγίδες και βροχοπτώσεις, με αποτέλεσμα να εισέρχονται περισσότερα θρεπτικά συστατικά στα υδάτινα σώματα, αλλά και σε παρατεταμένη ξηρασία με συνέπεια για μεγάλα χρονικά διαστήματα το νερό να μην ανανεώνεται. Σε κάθε περίπτωση, από τις ακραίες καιρικές συνθήκες δημιουργούνται παράγοντες που ευνοούν την δημιουργία κυανοβακτηριακών ανθίσεων [14, 16]. Επίσης, η αύξηση της θερμοκρασίας σε συνδυασμό με την αύξηση των θρεπτικών συστατικών που εισέρχονται στα υδάτινα συστήματα και τις υδροδυναμικές συνθήκες (μειωμένη ανανέωση των νερών) ευνοούν το σχηματισμό πυκνών, με μεγάλη έκταση και χρονική διάρκεια τοξικών κυανοβακτηριακών ανθίσεων [17].

Ένας επιπλέον παράγοντας που ευνοεί τις κυανοβακτηριακές ανθίσεις είναι τα αυξημένα επίπεδα συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα καθώς έχει ως αποτέλεσμα την εισροή του CO₂ στα επιφανειακά νερά τροφοδοτώντας τις

κυανοβακτηριακές ανθίσεις που βρίσκονται σε έλλειψη ανόργανου άνθρακα, με συνέπεια τα επεισόδια να διαρκούν μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα ή/και να έχουν μεγαλύτερη έκταση [14, 18].

Μια από τις αναμενόμενες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι και η πρόκληση σημαντικών αλλαγών στην δομή της τροφικής αλυσίδας, κάτι που πιθανά θα ευνοήσει περαιτέρω την επικράτηση των τοξικών κυανοβακτηριακών ειδών στα επιφανειακά νερά [14, 19].

Δεδομένα από πολυετείς μελέτες δείχνουν επίσης ότι τα επίπεδα συγκέντρωσης των κυανοτοξινών στα υδάτινα συστήματα έχουν αυξητική τάση, γεγονός που μπορεί να σχετιστεί με την κλιματική αλλαγή [20]. Τα αποτελέσματα μελέτης που πραγματοποιήθηκε σε ηπειρωτική κλίμακα στην Ευρώπη υποδεικνύουν ότι η θερμοκρασία μέσω έμμεσων και άμεσων επιδράσεων είναι ο κύριος παράγοντας της κατανομής και της ποσόστωσης των κυανοτοξινών στα επιφανειακά νερά [21]. Μελέτες δείχνουν ότι η παραγωγή κυανοτοξινών σχετίζεται θετικά με τον ρυθμό ανάπτυξης των κυανοβακτηριακών κυττάρων [22, 23], κάτι που σημαίνει ότι μπορεί να γίνεται μεγαλύτερη παραγωγή τοξινών ανά κυανοβακτηριακό κύτταρο όταν ευνοούνται οι συνθήκες ανάπτυξης τους. Μια σειρά από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία [23], η ένταση του φωτός [24, 25], οι συγκεντρώσεις φώσφορου, αζώτου και η αναλογία ολικού αζώτου προς ολικό φώσφορο (TN : TP) [26], ο σίδηρος [27] και η παρουσία άλλων ανταγωνιστικών ειδών φυτοπλαγκτού [28] έχει βρεθεί ότι επηρεάζουν την έκφραση των γονιδίων που σχετίζονται με την βιοσύνθεση των μικροκυστινών, της πιο διαδεδομένης κατηγορίας των κυανοτοξινών. Σημαντικό ρόλο στη παραγωγή των κυανοτοξινών έχουν και οι συνεργιστικές αλληλεπιδράσεις, ειδικότερα του ευτροφισμού και της θερμοκρασίας [29].

Επομένως, οι πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής περιλαμβάνουν μηχανισμούς που μπορεί να είναι ευνοϊκοί για τον σχηματισμό έντονων τοξικών κυανοβακτηριακών ανθίσεων. Με βάση τις υπάρχουσες μελέτες στην διεθνή βιβλιογραφία, οι σημαντικότεροι παράγοντες που ευνοούν τον σχηματισμό τοξικών κυανοβακτηριακών ανθίσεων είναι η θερμοκρασία του νερού (38,5%), τα θρεπτικά συστατικά – ενώσεις φωσφόρου & αζώτου (30,5%) και οι μετεωρολογικές συνθήκες (12%) [30], παράγοντες που σχετίζονται άμεσα με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Μια περαιτέρω ανησυχία στα σενάρια κλιματικής αλλαγής είναι η πιθανή μείωση του διαθέσιμου νερού σε λίμνες και ταμειυτήρες λόγω μειωμένων βροχοπτώσεων. Η λειψυδρία σε συνδυασμό με τα αυξανόμενα επεισόδια τοξικών κυανοβακτηριακών θα αποτελούσαν σημαντικές προκλήσεις για τη διαχείριση των υδάτινων σωμάτων γενικά και ειδικότερα των υδάτινων πόρων για την παροχή ασφαλούς πόσιμου νερού.

Κυανοτοξίνες

Τα κυανοβακτήρια παράγουν ένα ευρύ φάσμα δευτερογενών μεταβολιτών που είναι τοξίνες, ευρέως γνωστές ως κυανοτοξίνες. Οι κυανοτοξίνες μπορεί να είναι δεσμευμένες στη μεμβράνη εντός των κυανοβακτηριακών κυττάρων (ενδοκυττάρια) ή να εμφανίζονται ελεύθερες στο νερό (εξωκυττάρια). Το μεγαλύτερο ποσοστό των κυανοτοξινών ελευθερώνεται στο νερό όταν τα κύτταρα γερνούν και πεθαίνουν, διαρρέοντας παθητικά το κυτταρικό τους περιεχόμενο. Ωστόσο, ενεργή απελευθέρωση κυανοτοξινών μπορεί επίσης να συμβεί από νεαρά, αναπτυσσόμενα κύτταρα [31].

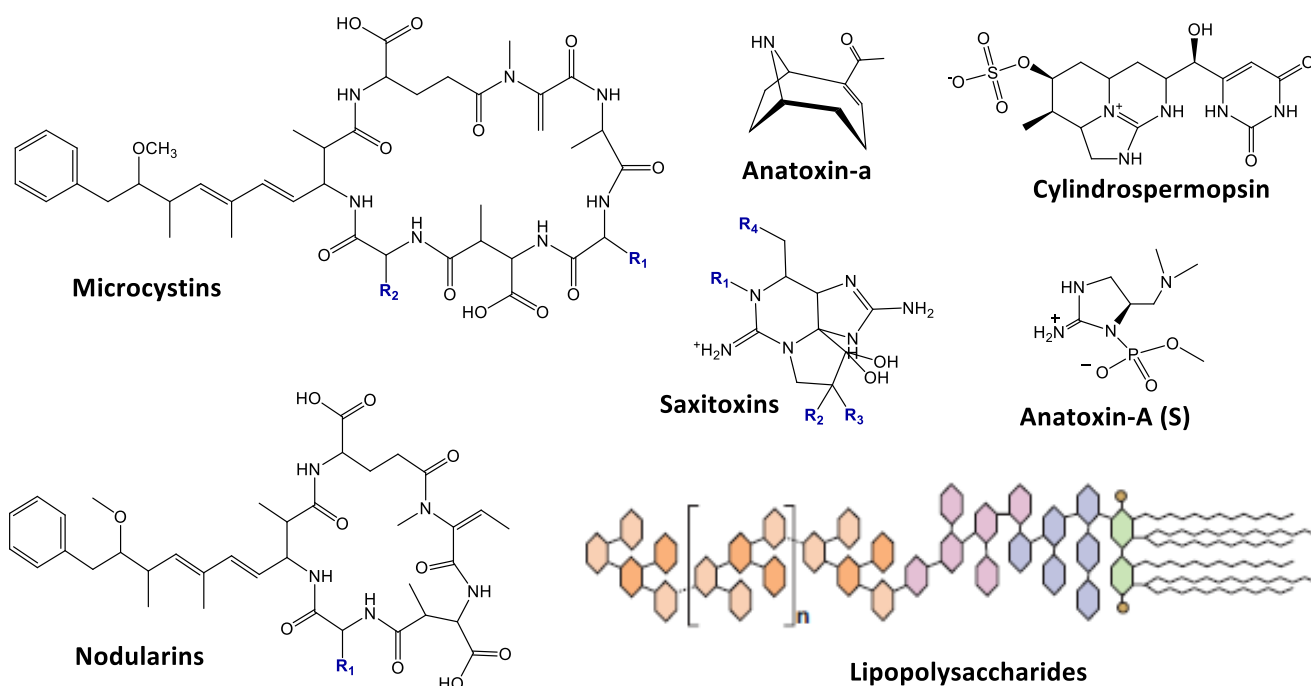
Οι κυανοτοξίνες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν βάση της χημικής τους δομής σε κυκλικά πεπτίδια, αλκαλοειδή, διαμινοξέα και λιποπολυσακχαρίτες (LPS). Στον Πίνακα 1 συνοψίζονται οι κατηγορίες των κυανοτοξινών που συναντώνται σε χερσαία υδάτινα σώματα, τα κυανοβακτήρια που τις παράγουν και η τοξική τους δράση και στο Σχήμα 1 παρατίθενται οι χημικές δομές τους. Οι κατηγορίες των κυανοτοξινών που είναι γνωστές σήμερα πιθανότατα δεν καλύπτουν όλο το εύρος των τοξινών που παράγουν τα κυανοβακτήρια καθώς από δοκιμές τοξικότητας προκύπτει ότι υπάρχουν και τοξικές ενώσεις που δεν συμπεριλαμβάνονται στις γνωστές κυανοτοξίνες [32].

Πίνακας 1: Κατηγορίες κυανοτοξινών σε χερσαία υδάτινα σώματα, κυανοβακτήρια που τις παράγουν και τοξική δράση

Κυανοτοξίνες	Κατηγορία / δομή	Γένη κυανοβακτηρίων που τις παράγουν ^[33]	Τοξική δράση
Microcystins (MCs)	Κυκλικά επταπεπτίδια	<i>Microcystis, Anabaena, Nostoc, Planktothrix, Phormidium, Oscillatoria, Radiocystis, Gloeotrichia, Anabaenopsis, Rivularia, Tolypothrix, Halalosiphon, Plectonema</i>	Ηπατοτοξικές, ευνοούν την δημιουργία όγκων – ογκογένεση, αναστολείς της ευκαρυωτικής πρωτεϊνικής φωσφατάσης PP1 & PP2A και της φωσφοπρωτεϊνικής φωσφατάσης PPP4 & PPP5
Nodularins (NODs)	Κυκλικά πενταπεπτίδια	<i>Nodularia spumigena, Nostoc (συμβιωτικό)</i>	Ίδια δράση με microcystins και επιπρόσθετα καρκινογενείς
Cylindrospermopsins (CYNs)	Τρικυκλικά αλκαλοειδή γουανιδίνης	<i>Cylindrospermopsis, Umezakia, Anabaena, Oscillatoria, Raphidiopsis, Aphanizomenon</i>	Τοξικότητα σε πολλαπλά όργανα, νευροτοξικές, γεντοξικές, αναστολείς σύνθεσης πρωτεϊνών
Anatoxin-a (ATX)	Δικυκλικά αλκαλοειδή	<i>Anabaena, Phormidium, Aphanizomenon</i>	Νευροτοξική, δεσμεύεται ανταγωνιστικά στους υποδοχείς ακετυλοχολίνης
Guanitoxin (Anatoxin-a(S))	Φωσφορυλιωμένη κυκλική N-υδροξυγουανίνη	<i>Anabaena</i>	Νευροτοξική, αναστολέας της εστεράσης της ακετυλοχολίνης
Saxitoxins (STXs ή PSPs)	Αλκαλοειδή	<i>Aphanizomenon, Anabaena, Lyngbya, Cylindrospermopsis, Planktothrix</i>	Νευροτοξικές, εμποδίζουν του διαύλου νατρίου
Lipopolysaccharides (LPS)	Λιποπολυσακχαρίτες	Τα περισσότερα γένη	Φλεγμονώδη, προαγωγή της έκκρισης κυτοκίνης

Από τις κυανοτοξίνες, οι Microcystins (MCs) είναι οι πιο διαδεδομένη και συχνά συναντώμενη κατηγορία κυανοτοξινών σε επιφανειακά νερά σε όλο τον κόσμο [34]. Οι MCs είναι κυκλικά επταπεπτίδια, κυρίως με ηπατοτοξική δράση και έχουν καταγραφεί μέχρι σήμερα περισσότερες από 300 ομοειδής ενώσεις [35]. Η MC-LR να είναι από τις πιο τοξικές MCs και αποτελεί την πιο διαδεδομένη και καλά μελετημένη δομή κυανοτοξίνης [36].

Οι NODs είναι κυκλικά πενταπεπτίδια, έχουν παρόμοια δομή και δράση με τις MCs και συχνά κατατάσσονται στην ίδια κατηγορία κυανοτοξινών. Οι NODs απαντώνται περισσότερο σε αλμυρά και υφάλμυρα νερά, με πιο διαδεδομένη την Nodularin-R [34].



Σχήμα 1. Χημικές δομές των κυανοτοξινών που απαντώνται σε χερσαία υδάτινα σώματα

Η Cylindrospermopsin (CYN) είναι κυκλικό αλκαλοειδές της γουανιδίνης που παράγεται κυρίως από το *Cylindrospermopsis raciborskii* [4] και είναι γνωστά 4 ανάλογα της, η deoxycylindrospermopsin [37], η 7-epi-cylindrospermopsin [38], η 7-deoxydesulfo-CYN και η 7-deoxydesulfo-12-acetyl-CYN [39]. Η CYN είναι τοξική κυρίως για το ήπαρ (ηπατοτοξίνη) αλλά και για τα νεφρά, τη σπλήνα, το θύμο αδένα και την καρδιά. Επίσης, είναι γενετοξική και αναστολέας της πρωτεϊνικής σύνθεσης.

Η Anatoxin-a (ATX) είναι μια μικρή αλκαλοειδής δικυκλική δευτεροταγής αμίνη και αποτελεί την πρώτη κυανοτοξίνη της οποίας προσδιορίστηκε πλήρως η δομή το 1977 [40]. Η ATX είναι νευροτοξική καθώς είναι ανταγωνιστής της ακετυλοχολίνης στους νικοτινικούς υποδοχείς των νευρομυϊκών συνδέσεων και του κεντρικού νευρικού συστήματος [34].

Η Anatoxin-a(S), είναι ένας μεθυλοφωσφορικός εστέρας της N-υδροξυγουανιδίνης, έχει παρόμοια δομή με τα καρβαμικά και οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα και είναι αναστολέας της ακετυλοχολινεστεράσης (AChE) στο περιφερικό νευρικό σύστημα [34].

Οι Saxitoxins (STXs) είναι φυσικά αλκαλοειδή, γνωστά και ως παραλυτικά δηλητήρια οστρακοειδών (paralytic shellfish poisons, PSPs) και ομαδοποιούνται σε καρβαμικά (STX, neoSTX και Gonyautoxins (GTX) 1-4), σουλφαμικά (GTX 5-6, C1-4) και δεκαρβαμοϋλοτοξίνες (dcSTX dcneoSTX, dcGTX1-4) με βάση την υποκατάσταση στην θέση R₄ (Σχήμα 1). Οι STXs μπορούν να προκαλέσουν στον άνθρωπο ένα σύνδρομο γνωστό ως παραλυτική δηλητηρίαση από οστρακοειδή (PSP) με τα συμπτώματα ποικίλλουν από ένα ελαφρύ μυρμηγκιασμα ή μούδιασμα έως πλήρη αναπνευστική παράλυση, ανάλογα με την δομή της τοξίνης. Δρουν μπλοκάροντας τα κανάλια Na⁺ στα νευρωνικά κύτταρα και τα κανάλια Ca²⁺ και K⁺ στα

καρδιακά κύτταρα, κάτι που εμποδίζει τη διάδοση της ηλεκτρικής μετάδοσης μέσα στα περιφερικά νεύρα και στους σκελετικούς ή καρδιακούς μύες [34].

Οι λιποπολυσακχαρίτες (LPS) αποτελούν μέρος της εξωτερικής μεμβράνης των περισσότερων αρνητικών κατά Gram προκαρυωτικών, συμπεριλαμβανομένων των κυανοβακτηρίων. Η βασική χημική δομή των LPS είναι παρόμοια στους περισσότερους οργανισμούς και αποτελείται από τέσσερα ομοιοπολικά συνδεδεμένα τμήματα: ένα επιφανειακό πολυμερές υδατάνθρακα (αλυσίδα O-πολυσακχαρίτη), ένα κεντρικό ολιγοσακχαρίτη με μια εσωτερική και εξωτερική περιοχή, και ένα ακυλιωμένο γλυκολιπίδιο (λιπίδιο A). Ο αριθμός των καλά χαρακτηρισμένων LPS από κυανοβακτήρια είναι πολύ περιορισμένος. Οι κυανοβακτηριακοί LPS είναι μια συγκεκριμένη κατηγορία LPS και έχουν συσχετιστεί με αλλεργίες, δερματικά εξανθήματα, πυρετό, γαστρεντερικές και αναπνευστικές παθήσεις. Ωστόσο, υπάρχουν περιορισμένες μελέτες σχετικά με τις πραγματικές επιπτώσεις των κυανοβακτηριακών LPS στην ανθρώπινη υγεία [41].

Τρόποι έκθεσης στις κυανοτοξίνες

Οι άνθρωποι αλλά και τα ζώα μπορεί να εκτεθούν στον κίνδυνο των κυανοτοξινών μέσω της στοματικής, της δερματικής και της αναπνευστικής οδού. Στον Πίνακα 2 συνοψίζονται οι οδοί, τα μέσα και οι τρόποι έκθεσης στις κυανοβακτηριακές ανθήσεις και στις κυανοτοξίνες.

Πίνακας 2: Οδοί, μέσα και τρόποι έκθεσης στον κίνδυνο των κυανοβακτηριακών ανθίσεων και των κυανοτοξινών [42, 43].

Οδός έκθεσης	Μέσω έκθεσης	Τρόπος έκθεσης
Στοματική οδός	Νερό Τροφή Συμπληρώματα διατροφής	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Κατάποση ποσότητας νερού κατά την διάρκεια δραστηριοτήτων στο νερό όπως κολύμβηση και κωπηλασία. ➤ Κατανάλωση ανεπεξέργαστου ή ανεπαρκώς επεξεργασμένου νερού λίμνης. ➤ Κατανάλωση ψαριών και άλλων οργανισμών από λίμνες με τοξικές κυανοβακτηριακές ανθήσεις. ➤ Κατανάλωση λαχανικών που ποτίζονται μέσω ψεκασμού με νερό που περιέχει κυανοτοξίνες. ➤ Λήψη συμπληρωμάτων διατροφής από κυανοβακτήρια που περιέχουν κυανοτοξίνες, όπως η Σπιρουλίνα.
Δερματική οδός	Νερό	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Επαφή του δέρματος και του βλεννογόνου με τοξικές κυανοβακτηριακές ανθήσεις και κυανοτοξίνες κατά την διάρκεια εργασίας (π.χ. αλιεία) ή δραστηριοτήτων αναψυχής στο νερό (π.χ. κολύμβηση, κωπηλασία). ➤ Μπάνιο με ακατέργαστο ή ανεπαρκώς επεξεργασμένο νερό λίμνης.
Αναπνευστική οδός	Νερό, Αερολύματα Κυανοβακτηριακή σκόνη	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Εισπνοή αερολυμάτων με κυανοτοξίνες κατά την διάρκεια των δραστηριοτήτων αναψυχής στη λίμνη, του μπάνιου ή της εργασίας. ➤ Εισπνοή σωματιδίων σκόνης από λυοφιλοποιημένη κυανοβακτηριακή μάζα από τον αέρα.

Γενικά η έκθεση σε κίνδυνο λόγω της παρουσίας των κυανοτοξινών στο νερό μπορεί να γίνει μέσω δερματικής επαφής, εισπνοής αερολυμάτων, κατάποσης ποσότητας νερού κατά την κολύμβηση καθώς και μέσω της κατανάλωσης πόσιμου νερού και τροφίμων όπως ψάρια και συμπληρώματα διατροφής (π.χ. Σπιρουλίνα).

Ένας λιγότερο πιθανός αλλά ιδιαίτερα υψηλός κίνδυνος για συγκεκριμένους υποπληθυσμούς είναι η έκθεση σε κυανοτοξίνες κατά την διάρκεια αιμοκάθαρσης. Στην περίπτωση που τα κέντρα αιμοκάθαρσης δεν λαμβάνουν τις κατάλληλες προφυλάξεις και το υγρό αιμοκάθαρσης είναι μολυσμένο με κυανοτοξίνες, μπορεί να αποτελέσει μεγάλο κίνδυνο για τους ασθενείς που υποβάλλονται σε νεφρική αιμοκάθαρση, καθώς οι κυανοτοξίνες από μεγάλο όγκο νερού (>100 L ανά θεραπεία) εισέρχονται άμεσα στην κυκλοφορία του αίματος μέσω της ενδοφλέβιας οδού [43].

Κανονισμοί, οδηγίες & νομοθετικά όρια

Οι τοξικές κυανοβακτηριακές ανθίσεις και οι κυανοτοξίνες αναγνωρίστηκαν ευρύτερα ως πιθανός κίνδυνος για τη δημόσια υγεία κατά τη δεκαετία του 1990. Το 1998 ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (World Health Organization, WHO) δημοσίευσε για πρώτη φορά το προσωρινό όριο του 1 μg/L για την κυανοτοξίνη MC-LR στο πόσιμο νερό [44]. Τα περισσότερα όρια που έχουν θεσπιστεί ανά τον κόσμο αφορούν την κατηγορία των MCs, καθώς είναι η πιο διαδεδομένη και η περισσότερο μελετημένη κατηγορία κυανοτοξινών. Ωστόσο, δεν έχουν θεσπιστεί όρια και οδηγίες για ένα ευρύ φάσμα κυανοτοξινών λόγω ανεπαρκών τοξικολογικών δεδομένων.

Τοξικολογικά δεδομένα για την Anatoxin-a(S), γνωστή πλέον ως Guanitoxin, δεν υπάρχουν διαθέσιμα για να υπολογιστεί η οξεία τοξικότητά της ενώ δεν υπάρχουν δεδομένα σχετικά με την χρόνια έκθεση στην τοξίνη. Για το λόγω αυτό δεν μπορεί να υπολογιστεί κάποιο όριο για την προστασία από την έκθεση στην Guanitoxin. Μόνο η Νέα Ζηλανδία έχει θεσπίσει το προσωρινό όριο του 1 μg/L Guanitoxin στο πόσιμο νερό [43].

Επίσης, δεν υπάρχουν διαθέσιμα όρια για τους κυανοβακτηριακούς LPS. Με βάση την τρέχουσα γνώση, μετά από αρκετές δεκαετίες έρευνας, οι κυανοβακτηριακοί LPS δεν είναι πιθανό να αποτελούν κίνδυνο για την υγεία όπως άλλες κυανοτοξίνες σαν τις MCs και την CYN λαμβάνοντας υπόψη τους πιθανούς τρόπους έκθεσης [45].

Στον Πίνακα 3 συνοψίζονται τα όρια που έχουν θεσπιστεί για την προστασία από την έκθεση σε κυανοτοξίνες κατά την διάρκεια δραστηριοτήτων αναψυχής (recreational activities) στο νερό και στον Πίνακα 4 τα όρια για την προστασία από την έκθεση σε κυανοτοξίνες κατά την κατανάλωση πόσιμου νερού.

Πίνακας 3: Σύνοψη όριων που έχουν θεσπιστεί ανά τον κόσμο για την προστασία από την έκθεση σε κυανοτοξίνες στο νερό κατά την διάρκεια δραστηριοτήτων αναψυχής

Οργανισμός / Χώρα	Κυανοτοξίνη	Όριο	Παρατήρηση	Αναφορά
WHO	MC-LR	24 µg/L	Προσωρινό όριο	[43]
	CYN	6 µg/L	Προσωρινό όριο	
	ATX	60 µg/L	Τιμή αναφοράς	
	STX	30 µg/L		
US EPA	MCs	8 µg/L	Προτεινόμενο όριο	[46]
	CYN	15 µg/L	Προτεινόμενο όριο	
Καναδάς	MCs	10 µg/L		[47]
Νέα Ζηλανδία	MCs	12 µg/L		[48]
Αυστραλία	MCs	10 µg/L		[49]
Γαλλία	MCs	25 µg/L		[34]
Γερμανία	MCs	10 µg/L		
Ουγγαρία	MC-LR	20 µg/L		
Ολλανδία	MCs	20 µg/L		
Ιταλία	MCs	20 µg/L		[50]
Illinois	MCs	10 µg/L	Επίπεδο επιτήρησης Κλείσιμο λίμνης	[34, 51]
Indiana	MCs	4 µg/L		
		20 µg/L		
	CYN	5 µg/L		
Iowa	MCs	20 µg/L	Επίπεδο επιτήρησης Κλείσιμο λίμνης	
Kansas	MCs	4 µg/L		
		20 µg/L		
Massachusetts	MCs	14 µg/L	Επίπεδο επιτήρησης Κλείσιμο λίμνης	
Nebraska	MCs	20 µg/L		
Ohio	MCs	6 µg/L	Επίπεδο επιτήρησης Κλείσιμο λίμνης	
		20 µg/L		
	CYN	5 µg/L	Επίπεδο επιτήρησης Κλείσιμο λίμνης	
		20 µg/L		
	ATX	80 µg/L	Επίπεδο επιτήρησης Κλείσιμο λίμνης	
		300 µg/L		
	STX	0.8	Επίπεδο επιτήρησης Κλείσιμο λίμνης	
		3.0		
Oregon	MCs	10 µg/L	Επίπεδο επιτήρησης Κλείσιμο λίμνης	
	CYN	6 µg/L		
	ATX	20 µg/L		
Oklahoma	MCs	20 µg/L		
Rhode Island	MCs	14 µg/L		
Texas	MCs	20 µg/L		
Vermont	MCs	6 µg/L		
Virginia	MCs	6 µg/L		
Washington	MCs	6 µg/L		
	CYN	4,5 µg/L		
	ATX	75 µg/L		
	STX	75 µg/L		

Πίνακας 4: Σύνοψη όριων που έχουν θεσπιστεί για την προστασία από την έκθεση σε κυανοτοξίνες κατά την κατανάλωση πόσιμου νερού

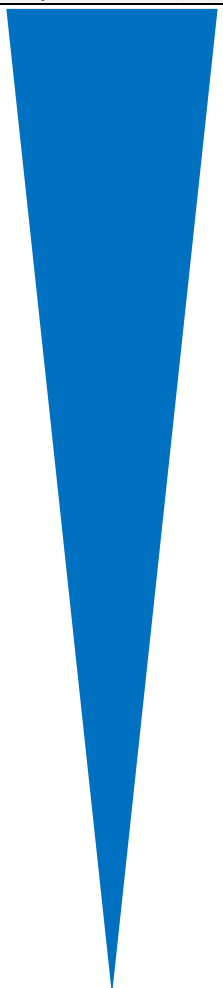
Οργανισμός / Χώρα	Κυανοτοξίνη	Όριο	Παρατήρηση	Αναφορά
WHO	MC-LR	1 µg/L	Μακροχρόνια κατανάλωση Βραχυπρόθεσμη κατανάλωση Μακροχρόνια κατανάλωση Βραχυπρόθεσμη κατανάλωση	[43]
	CYN	0,7 µg/L		
	ATX	30 µg/L		
	STX	3 µg/L		
US EPA	MCs	1,6 µg/L	Για παιδιά και ενήλικες Για βρέφη και νήπια Για παιδιά και ενήλικες Για βρέφη και νήπια	[52]
	CYN	0,3 µg/L		
		3,0 µg/L		
		0,7 µg/L		
Νέα Ζηλανδία	MCs	1 µg/L		[53]
	NOD	1 µg/L		
	CYN	1 µg/L		
	ATX	6 µg/L		
	STX	1 µg/L		
	Guanitoxin	1 µg/L		
Ευρωπαϊκή ένωση Αυστραλία	MC-LR	1 µg/L	Νομοθετικό όριο	[54]
	MCs	1,3 µg/L		
	CYN	1 µg/L		
	STX	3 µg/L		
Καναδάς	MCs	1,5 µg/L		[56]
Κίνα	MC-LR	1 µg/L		
Ιαπωνία	MC-LR	1 µg/L		
Κορέα	MC-LR	1 µg/L		
Βραζιλία	MCs	1 µg/L		[17]
	CYN	15 µg/L		
	STX	3 µg/L		
Νότια Αφρική	MC-LR	0,8 µg/L		
Αργεντινή	MCs	1 µg/L		
Σιγκαπούρη	MCs	1 µg/L		
Ουρουγουάη	MCs	1 µg/L	Μακροχρόνια κατανάλωση Βραχυπρόθεσμη κατανάλωση (90 μέρες)	
	MCs	10 µg/L		
Florida	MCs	1 µg/L		
Minnesota	MCs	0.1 µg/L		
Ohio	MCs	0.3 µg/L	Για παιδιά κάτω των 6 ετών και για ευπαθείς ομάδες Για παιδιά άνω των 6 ετών και ενήλικες Για παιδιά κάτω των 6 ετών και για ευπαθείς ομάδες Για παιδιά άνω των 6 ετών και ενήλικες	[34, 51]
	MCs	1.6 µg/L		
	CYN	0.7 µg/L		
	CYN	3.0 µg/L		
	ATX	20 µg/L		
	STX	0.2 µg/L		

Oregon	MCs	1 µg/L	
	CYN	1 µg/L	
	ATX	3 µg/L	
	STX	1 µg/L	

Συχνότητα παρακολούθησης για την προστασία από τις κυανοτοξίνες

Η συχνότητα με την οποία πρέπει να γίνεται η παρακολούθηση μίας λίμνης ή ενός ταμειυτήρα για την αποφυγή έκθεσης στον κίνδυνο των κυανοτοξινών εξαρτάται από τον τρόπο και την συχνότητα χρήσης του (Πίνακας 5). Άλλοι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την συχνότητα παρακολούθησης είναι η βαθμίδα τροφισμού του υδάτινου συστήματος και η ύπαρξη ιστορικού σχηματισμού κυανοβακτηριακών ανθίσεων.

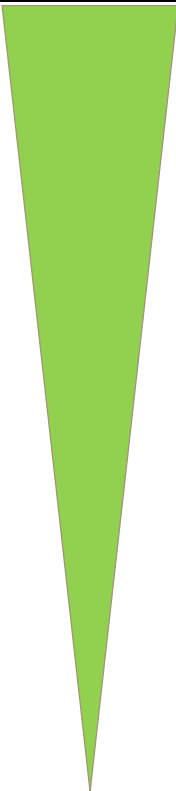
Πίνακας 5: Προτεινόμενη συχνότητα παρακολούθησης μίας λίμνης ανάλογα με τον τρόπο και την συχνότητα της χρήσης της για δραστηριότητες αναψυχής [43].

Συχνότητα παρακολούθησης	Τρόπος και συχνότητα χρήσης της λίμνης	
	Σχεδόν καθημερινή έκθεση κατά την περίοδο των κυανοβακτηριακών ανθίσεων (π.χ. παραλίμνιες εξοχικές κατοικίες και κάμπινγκ ή χώροι εργασίας).	Λίμνες με δραστηριότητες αναψυχής που χρησιμοποιούνται από μεγάλο αριθμό ατόμων. Έκθεση λόγω επαγγέλματος σε αερολύματα πιθανά για μεγάλο αριθμό εργαζομένων ή/και τακτικά για αρκετές εβδομάδες.
	Λίμνες όπου γίνονται θαλάσσια σπορ με μεγάλη πιθανότητα να μπει το κεφάλι κάτω από το νερό και/ή να γίνει κατάποση του νερού. Λίμνες με κολυμβητικές ακτές όπου υπάρχουν βατήρες, εξέδρες, προβλήτες, νεροτσουλήθρες ή άλλες δραστηριότητες που ενδέχεται να αυξήσουν την πιθανότητα κατάποσης νερού.	
	Σημεία λίμνης που χρησιμοποιούνται μόνο από μικρό αριθμό ατόμων και μόνο περιστασιακά, όχι συστηματικά. Έκθεση λόγω επαγγέλματος μόνο περιστασιακά, κατά διαστήματα ή/και για μικρό αριθμό εργαζομένων.	
	Οι πολίτες που χρησιμοποιούν ή/και οι εργαζόμενοι που απασχολούνται στην λίμνη είναι ενημερωμένοι σχετικά με τις κυανοβακτηριακές ανθήσεις και γνωρίζουν ότι πρέπει να τις αποφεύγουν ή πώς να προφυλαχθούν.	Οι πολίτες που χρησιμοποιούν ή/και οι εργαζόμενοι που απασχολούνται στην λίμνη είναι πρόθυμοι να συμμετέχουν σε πρωτοβουλίες για να βοηθήσουν στην επιτήρηση της π.χ. οπτική παρατήρηση για την ύπαρξη κυανοβακτηριακή άνθισης, έλεγχος της θολότητας της λίμνης, ενημέρωση της αρμόδιας αρχής για την ενεργοποίηση της παρακολούθησης.

Οι εκτίμηση του κινδύνου από τα κυανοβακτήρια και κατ' επέκταση από τις κυανοτοξίνες κατά την διάρκεια δραστηριοτήτων αναψυχής στο νερό προβλέπεται και από την Ευρωπαϊκή οδηγία για την διαχείριση της ποιότητας των υδάτων κολύμβησης [57]. Σύμφωνα με την οδηγία πρέπει όταν α) από την ταυτότητα των υδάτων κολύμβησης, συνάγεται η δυνατότητα ανάπτυξης κυανοβακτηρίων, να πραγματοποιείται κατάλληλη παρακολούθηση προκειμένου να εντοπίζονται εγκαίρως οι κίνδυνοι για την υγεία και β) όταν εμφανίζεται ανάπτυξη κυανοβακτηρίων και έχει εντοπισθεί ή τεκμαίρεται κίνδυνος για την υγεία να λαμβάνονται αμέσως κατάλληλα διαχειριστικά μέτρα προκειμένου να προληφθεί η έκθεση, συμπεριλαμβανομένης της ενημέρωσης του κοινού [57].

Η εκτίμηση της πιθανότητας σχηματισμού κυανοβακτηριακής άνθισης σε ένα υδάτινο σώμα είναι μια περαιτέρω σημαντική βάση για την συχνότητα παρακολούθησης του. Η πιθανότητα σχηματισμού κυανοβακτηριακής άνθισης εξαρτάται συνήθως από ορισμένες βασικές συνθήκες, όπως η συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου, η θολότητα, το ρυθμό ανανέωσης του νερού και επιπλέον για τις λίμνες η θερμική στρωματοποίηση (Πίνακας 6).

Πίνακας 6: Συνθήκες που επηρεάζουν ή υποδεικνύουν την πιθανότητα σχηματισμού κυανοβακτηριακών ανθίσεων στα υδάτινα σώματα [58]

Πιθανότητα σχηματισμού ανθίσεων	Ολικός Φώσφορος	Είδος & συνθήκες ανανέωσης υδάτινου σώματος		Διαύγεια Νερού	pH
	>50 µg/L	Στάσιμο, βάθος >5–10 m με σταθερή θερμική στρωμάτωση: Ευνοεί τα είδη που σχηματίζουν ανθίσεις, όπως <i>Microcystis</i> , <i>Dolichospermum</i> , <i>Aphanizomenon</i>	Στάσιμο, ρηχό με καλή ανάμιξη θερμοκρασίας, Ευνοεί τα είδη που δεν σχηματίζουν ανθίσεις, όπως <i>Planktothrix agardhii</i> , <i>Limnothrix</i>	Χαμηλή Secchi disk βάθος <1 m	pH >7 (συνήθως >8 ή πιθανά >9)
	20 - 50 µg/L	Στασιμό, βάθος >10 m στρωματοποιημένη: δυνατότητα μαζικής ανάπτυξης του <i>Planktothrix rubescens</i> που συσσωρεύεται στο μεταλλίμνιο		Μέτρια Secchi disk βάθος 1-3 m	pH ≥7
	10 - 20 µg/L	Ποτάμι με γρήγορη ροή νερού	Λίμνη ή ταμειυτήρας νερού	Υψηλή Secchi disk βάθος 3-7 m	pH 6-7
	≤10 µg/L	Ορεινό ρέμα ή ρυάκι	Χρόνος ανανέωση νερού <1 μήνας	Πολύ υψηλή Secchi disk βάθος >7 m	pH <6

ΕΞΑΙΡΕΣΗ: Ύπαρξη κυανοβακτηρίων στην επιφάνεια του νερού

Είναι σημαντικό να γίνει η εκτίμηση της πιθανότητας σχηματισμού τοξικών κυανοβακτηριακών ανθίσεων, καθώς η πιθανότητα αυτή δεν αλλάζει γρήγορα για ένα συγκεκριμένο υδάτινο σώμα. Σημαντικό βοήθημα για την εκτίμηση του κινδύνου από τις

κυανοτοξίνες είναι αποτελεί η συλλογή δεδομένων σχετικά με την παρουσία τους για μεγάλο χρονικό διάστημα (χρονοσειρές δεδομένων).

Οι χρονοσειρές δεδομένων σχετικά με την παρουσία των κυανοβακτηρίων και την συγκέντρωση των κυανοτοξινών βοηθούν στην κατανόηση της μεταβλητότητας τους με την πάροδο του χρόνου για ένα συγκεκριμένο υδάτινο σώμα και επομένως είναι εξαιρετικά πολύτιμες για τον εντοπισμό των υδάτινων σωμάτων που μπορούν να αναπτύξουν τοξικές κυανοβακτηριακές ανθήσεις και την περαιτέρω παρακολούθησή τους [43]. Για παράδειγμα, εάν από τη χρονοσειρά δεδομένων για 2 με 3 χρόνια ή περιόδους που επικρατούν τα κυανοβακτήρια (π.χ. συνήθως από Απρίλιο με Νοέμβριο για κάποιες ελληνικές λίμνες [59, 60]) έχει εντοπιστεί η παρουσία κυανοτοξινών ή η παρουσία υψηλών ποσοτήτων τοξικών κυανοβακτηρίων σε ένα υδάτινο σώμα (λίμνη/ταμιευτήρα), αυτό συνεπάγει την ανάγκη για συστηματική παρακολούθηση του ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος από την έκθεση στις κυανοτοξίνες. Αντίθετα, εάν από μία επαρκή χρονοσειρά δεδομένων από τακτά χρονικά διαστήματα (τουλάχιστον ανά μήνα, κατά προτίμηση ανά δεκαπέντε μέρες δειγματοληψία) για ένα χρονικό διάστημα 2-3 ετών προκύπτει ότι τα κυανοβακτήρια δεν ήταν ποτέ το κυρίαρχο είδος και δεν ανιχνεύεται η παρουσία κυανοτοξινών, τότε η παρακολούθηση του υδάτινου σώματος θα μπορούσε να γίνεται λιγότερο συχνά.

Παραδείγματα πρωτοκόλλων αντιμετώπισης
τοξικών κυανοβακτηριακών ανθίσεων σε λίμνες
για δραστηριότητες αναψυχής
(recreational activities)

Προτεινόμενο πρωτόκολλο από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO)^[43]

Προκαταρκτικός έλεγχος των υδάτινων σωμάτων για την πιθανότητα ανάπτυξης κυανοβακτηριακών ανθίσεων ή την έκθεση σε κυανοτοξίνες:

- Συγκέντρωση ολικού φωσφόρου >20 µg/L και/ή ιστορικό παρουσίας κυανοβακτηρίων
- Συχνή χρήση για δραστηριότητες αναψυχής

Εναλλακτικά ή συμπληρωματικά σημεία για την εκτίμηση κατά διαστήματα περίπου 2 εβδομάδων

Εκτίμηση από οπτική παρατήρηση της λίμνης

Αρκετά καθαρό νερό, ελαφρός θολό, πρασινωπός χρωματισμός
Secchi disk βάθος <1-2 m

ΝΑΙ

**ΕΠΙΠΕΔΟ
ΕΠΑΓΡΥΠΝΗΣΗΣ**

Εκτίμηση με βάση εργαστηριακές αναλύσεις

Η μικροσκοπική ανάλυση δείχνει τα κυανοβακτήρια ως κυρίαρχα είδη με βιοόγκο μέχρι 1-4 mm³/L ή *chlorophyll-a* μέχρι 3-12 µg/L με κυρίαρχα τα κυανοβακτήρια

ΝΑΙ

Περαιτέρω εκτίμηση των συνθηκών που ευνοούν τον σχηματισμό έντονων κυανοβακτηριακών ανθίσεων (bloom)
Εκτίμηση της παρουσίας τοξικών ειδών κυανοβακτηρίων
Εάν ΝΑΙ, αύξηση της συχνότητας παρακολούθησης και ενημέρωση των πολιτών σχετικά με την παρουσία τοξικών κυανοβακτηρίων και πώς να τα αναγνωρίζουν
Ενημέρωση των αρμόδιων αρχών

ΟΧΙ

Έντονη πρασινωπή θολότητα, τα πόδια δεν φαίνονται εύκολα όταν στέκεσαι μέχρι τα γόνατα
Πιθανή ύπαρξη ενός λεπτού πράσινου στρώματος ή ραβδώσεων στην επιφάνεια του νερού
Secchi disk βάθος <0,5-1 m

ΝΑΙ

**ΕΠΙΠΕΔΟ
ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ 1**

ΝΑΙ

Κυανοβακτηριακός βιοόγκος μέχρι 4-8 mm³/L ή *chlorophyll-a* μέχρι 12-24 µg/L με κυρίαρχα τα κυανοβακτήρια
Παρουσία τοξινών
≤ 24 µg/L MCs ή
≤ 6 µg/L CYNs ή
≤ 60 µg/L ATXs ή
≤ 30 µg/L STXs

ΟΧΙ

- Παρακολούθηση για παρουσία βιομάζας κυανοβακτηρίων (scum)
- Περαιτέρω διερεύνηση – ανάλυση για προσδιορισμό κυανοτοξινών
- Ενημέρωση των πολιτών ώστε να παρατηρούν την παρουσία κυανοβακτηριακής βιομάζας και την αποφυγή δραστηριοτήτων που μπορεί να οδηγήσει σε κατάποση ή εισπνοή κυανοτοξινών, ιδιαίτερα για τα παιδιά. Εάν δεν είναι εφικτό, αποτροπή εισόδου στο νερό για τα παιδιά.
- Ενημέρωση των αρμόδιων υγειονομικών αρχών.

ΟΧΙ Ορατό, πυκνό στρώμα κυανοβακτηρίων (scum) καλύπτει μέρος της επιφάνειας της λίμνης
Secchi disk βάθος <0,5-1 m

ΝΑΙ

**ΕΠΙΠΕΔΟ
ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ 2**

ΝΑΙ

> 24 µg/L MCs ή
> 6 µg/L CYNs ή
> 60 µg/L ATXs ή
> 30 µg/L STXs
Κυανοβακτηριακή βιομάζα (scum)

ΟΧΙ

- 1) Άμεσες ενέργειες για την αποφυγή επαφής με την κυανοβακτηριακή βιομάζα. Προσωρινή απαγόρευση της κολύμβησης και άλλων δραστηριοτήτων που έχουν επαφή με το νερό.
- 2) Ενημέρωση των πολιτών για απομάκρυνση από το νερό και αποφυγή κάθε δραστηριότητας που μπορεί να οδηγήσει σε επαφή με την κυανοβακτηριακή βιομάζα.
- 3) Ενημέρωση αρμόδιων αρχών.
- 4) Μελέτη για την παρακολούθηση της δημόσιας υγείας.

**Προτεινόμενο πρωτόκολλο παρακολούθησης κυανοτοξινών από το
US Environmental Protection Agency (US EPA)^[46]**

Βήμα 1: Εκτίμηση της πιθανότητας ανάπτυξης κυανοβακτηριακής άνθισης σε ένα υδάτινο σώμα και αξιολόγηση του πιθανού κινδύνου από τις δραστηριότητες αναψυχής.

Εκτίμηση ανά τακτά διαστήματα της πιθανότητας ανάπτυξης τοξικών κυανοβακτηριακών ανθίσεων και της παρουσίας κυανοτοξινών με βάση το ιστορικό της λίμνης, δεδομένα τηλεπισκόπησης (remote sensing data), ή τις περιβαλλοντικές συνθήκες κατά την περίοδο των ανθίσεων.

Υπάρχει πιθανότητα ανάπτυξης κυανοβακτηριακής άνθισης;

OXI

Λιγότερο συχνή παρακολούθηση

ΝΑΙ

Συνέχεια στο Βήμα 2

Βήμα 2: Επιτήρηση των λιμνών με δραστηριότητες αναψυχής για των σχηματισμό ανθίσεων.

Παρακολούθηση δεδομένων που σχετίζονται με τις κυανοβακτηριακές ανθήσεις κατά την περίοδο των δραστηριοτήτων αναψυχής, με βάση την οπτική παρατήρηση, δορυφορικά δεδομένα ή τους αριθμούς κυττάρων φυτοπλαγκτού (άλγη και κυανοβακτήρια).

Υπάρχουν σημάδια ύπαρξης κυανοβακτηριακής άνθισης;

OXI

Συνέχιση της επιτήρησης

ΝΑΙ

Πιθανότητα ενημέρωσης* & συνέχεια στο Βήμα 3

Βήμα 3: Διενέργεια αναλύσεων για τον προσδιορισμό κυανοτοξινών και/ή ποσοτήτων κυανοβακτηρίων .

Επιλογή μεταξύ των διαθέσιμων μεθόδων για τον προσδιορισμό χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την κυανοβακτηριακή άνθιση.

Οι κυανοτοξίνες ή ο αριθμός των κυανοβακτηριακών κυττάρων που ανιχνεύονται είναι πάνω από τα όρια;**

OXI

Συνέχιση της επιτήρησης (Βήμα 2)

ΝΑΙ

Πιθανότητα τροποποίησης της ειδοποίησης*** & συνέχεια στο Βήμα 4

Βήμα 4: Συνέχεια της διενέργειας αναλύσεων για την παρακολούθηση των κυανοτοξινών.

Συνέχιση των αναλύσεων ανά τακτά χρονικά διαστήματα και ενημέρωση του κοινού μέχρι δύο διαδοχικές αναλύσεις να έχουν συγκεντρώσεις κυανοτοξινών ή αριθμό κυττάρων κάτω από τα όρια** που χρησιμοποιήθηκαν για την δημοσιοποίηση της ειδοποίησης και δεν υπάρχουν οπτικά σημάδια ύπαρξης κυανοβακτηριακής άνθισης.

Είναι η συγκέντρωση των κυανοτοξινών ή ο αριθμός των κυττάρων κάτω από τα όρια για την δημοσιοποίηση ειδοποίησης;

OXI

Συνέχιση των αναλύσεων ανά τακτά χρονικά διαστήματα & διατήρηση της ειδοποίησης

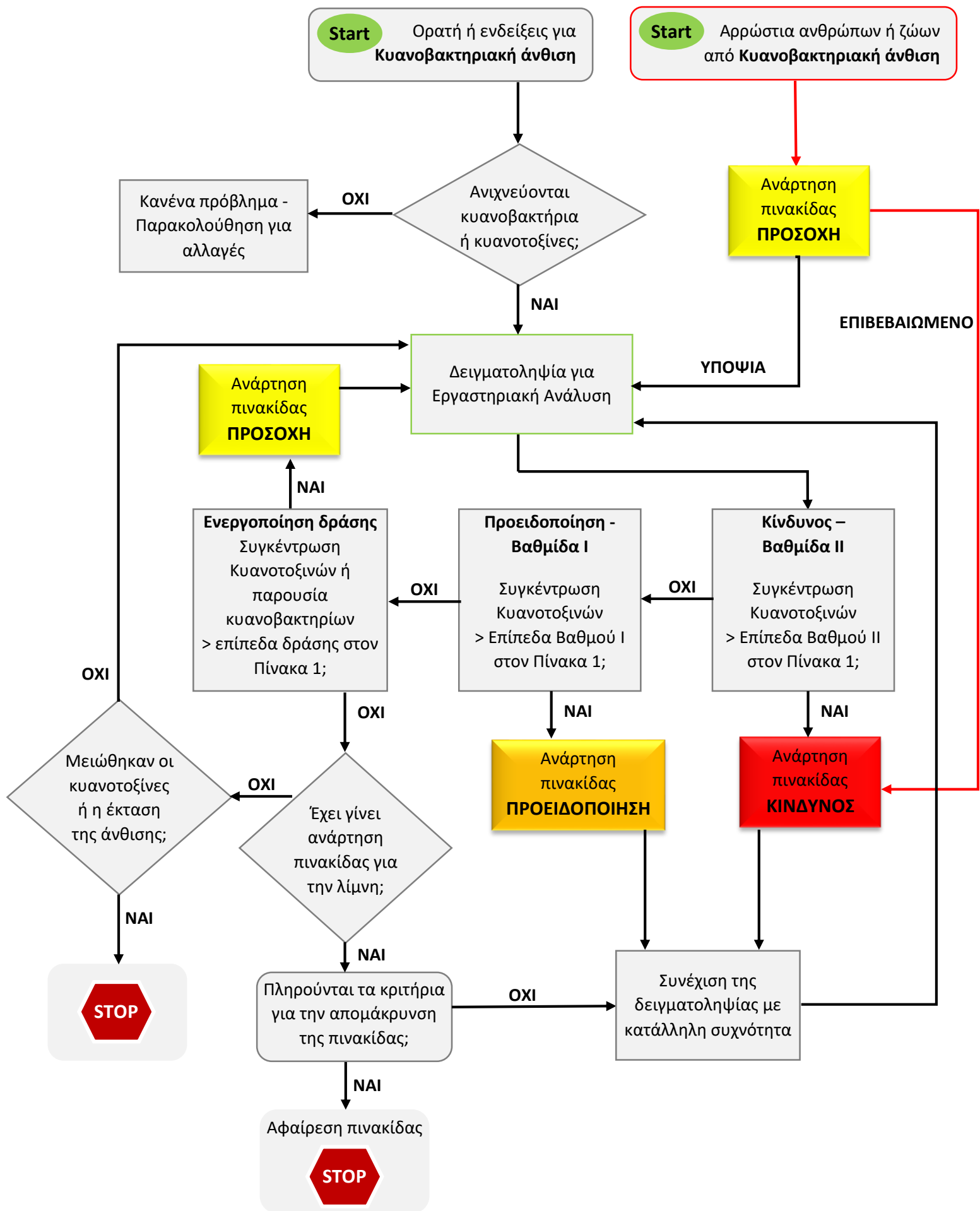
ΝΑΙ

Άρση της ειδοποίησης, επιστροφή στο Βήμα 2

* Αυτό μπορεί να είναι συμβουλευτική ειδοποίηση/προειδοποίηση ή κλείσιμο.

** Αν η πολιτεία δεν έχει πρόγραμμα για κυανοβακτηριακές ανθήσεις με όρια για τις κυανοτοξίνες ή τον αριθμό των κυττάρων πάνω στα οποία βασίζεται η ειδοποίηση, τότε οι φορείς διαχείρισης των λιμνών μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα όρια που προτείνει η EPA (Πίνακας 3).

*** Εξέταση του ενδεχόμενου τροποποίησης της ειδοποίησης για υπόδειξη του κινδύνου από τις κυανοτοξίνες. Εάν υπάρχουν κυανοτοξίνες αλλά η συγκέντρωσή τους είναι μικρότερη από αυτή του ορίου ενεργοποίησης, συνεχίζεται η διενέργεια αναλύσεων για κυανοτοξίνες ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Προτεινόμενο πρωτόκολλο από την πολιτεία της California, USA ^[61]

Πίνακας 1: Επίπεδα δράσης για την προστασία των ανθρώπων και των ζώων από τις τοξικές κυανοβακτηριακές ανθήσεις (California, USA)

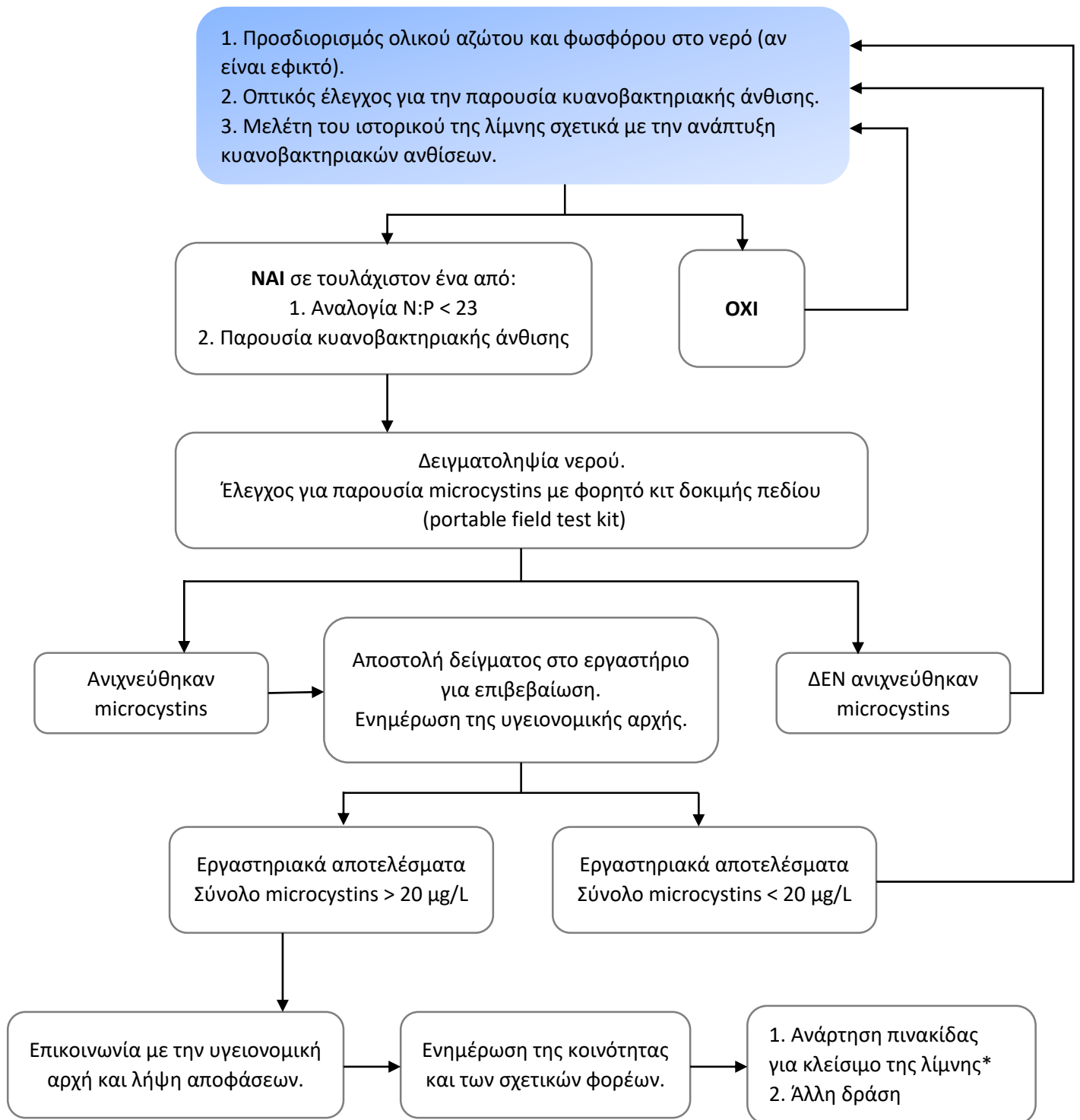
	Ενεργοποίηση δράσης	Προειδοποίηση Βαθμίδα I	Κίνδυνος Βαθμίδα II
Πρωτεύοντα κριτήρια ¹			
Σύνολο Microcystins ²	0,8 µg/L	6 µg/L	20 µg/L
Anatoxin-a	Ανίχνευση ³	20 µg/L	90 µg/L
Cylindrospermopsin	1 µg/L	4 µg/L	17 µg/L
Δευτερεύοντα κριτήρια			
Παρουσία κυττάρων (Παραγωγοί τοξινών)	4000 κύτταρα/mL	-	-
Ενδείξεις ύπαρξης κυανοβακτηριακής άνθισης	Ορατή κυανοβακτηριακή άνθιση, πρασινωπός χρωματισμός, δορυφορικές εικόνες	-	-

¹ Τα πρωτεύοντα κριτήρια πληρούνται όταν η συγκέντρωση ΟΠΟΙΑΣΔΗΠΟΤΕ κυανοτοξίνης υπερβαίνει τα κριτήρια

² Αναφέρεται στο άθροισμα όλων των προσδιοριζόμενων ομοειδών microcystins

³ Η μέθοδος για τον προσδιορισμό της Anatoxin-a θα πρέπει να έχει όριο ανίχνευσης ≤1 µg/L

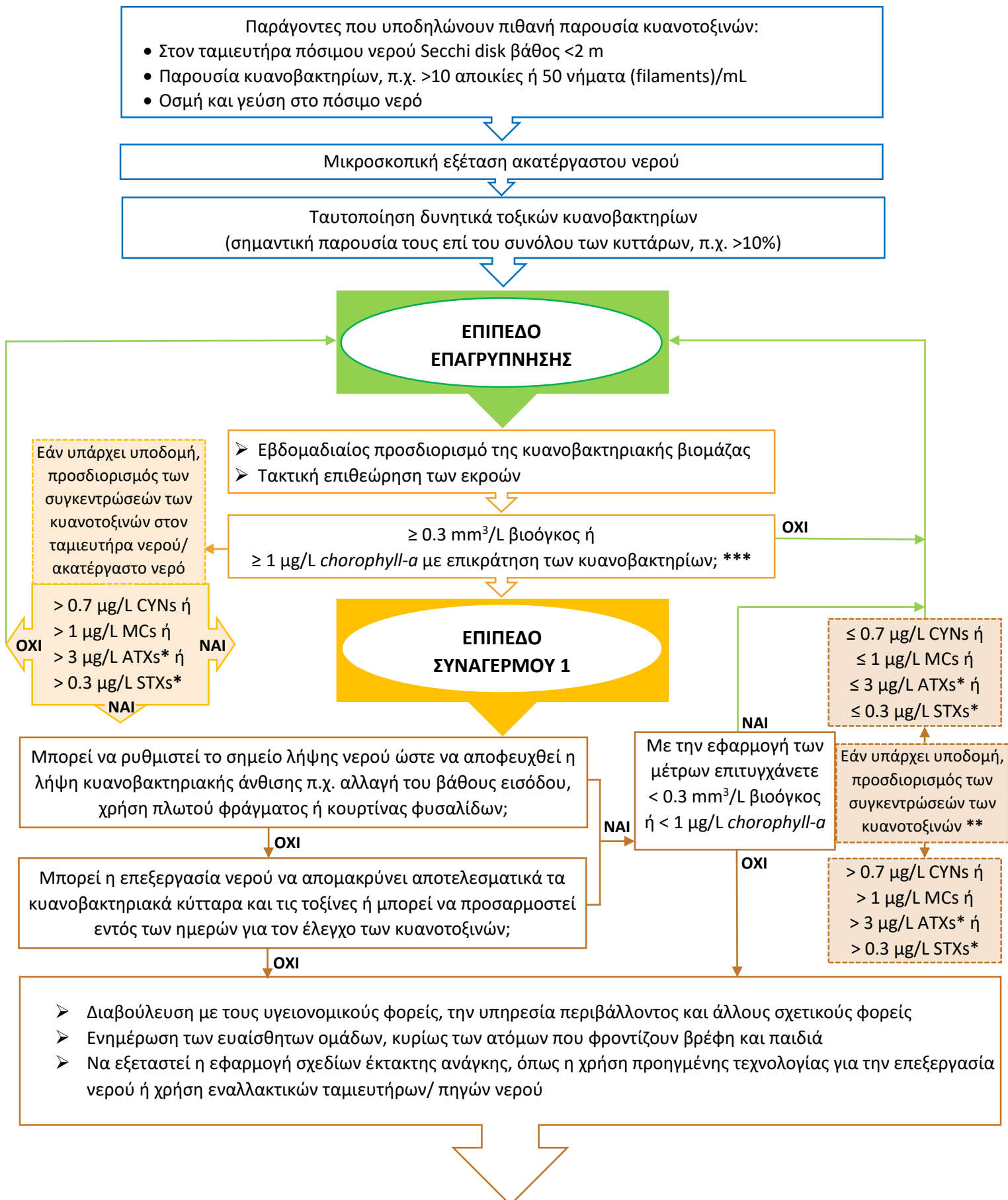
Προτεινόμενο πρωτόκολλο παρακολούθησης κυανοτοξινών από την κυβέρνηση του Καναδά ^[62]

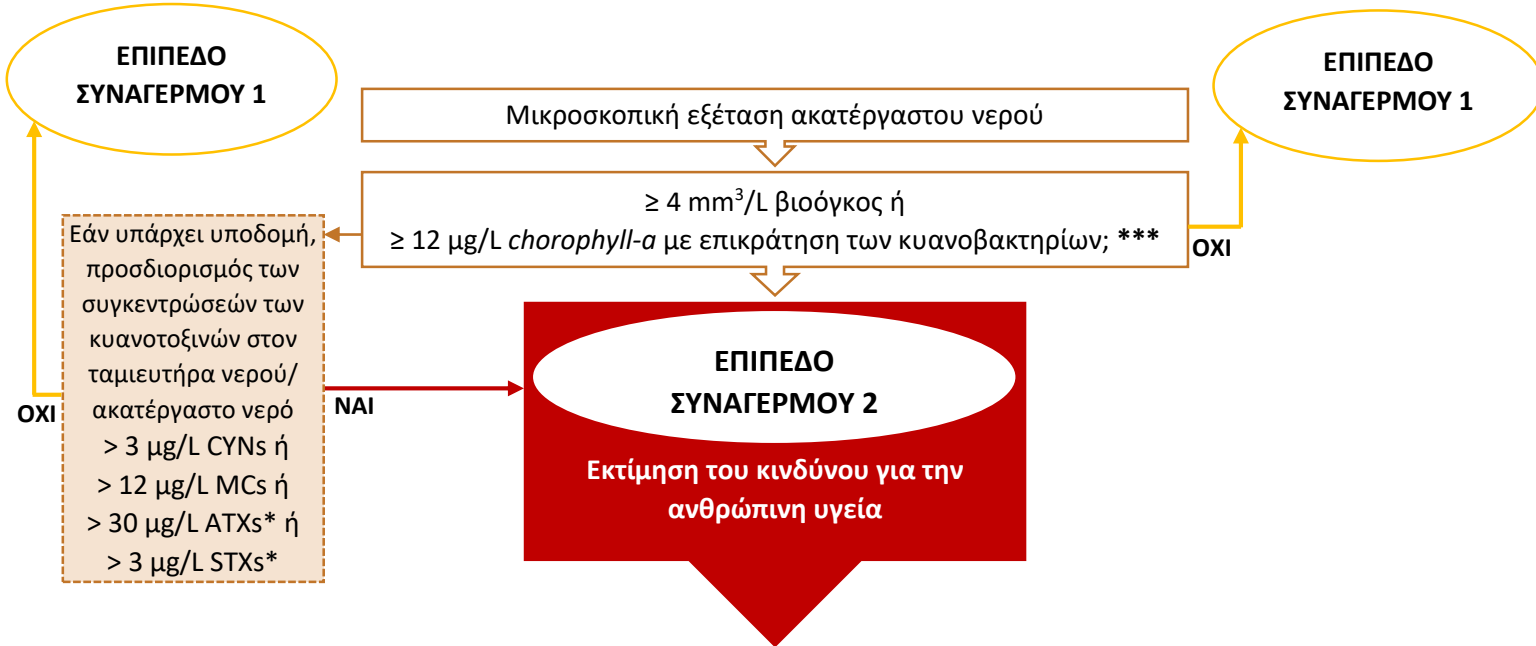


*Κλείσιμο λίμνης σε ισχύ έως ότου ελεγχθούν και επιβεβαιωθούν εργαστηριακά 2 διαδοχικά δείγματα νερού με συγκέντρωση <20 µg/L για το σύνολο microcystins.

Παραδείγματα πρωτοκόλλων αντιμετώπισης
τοξικών κυανοβακτηριακών ανθίσεων
σε λίμνες και ταμιευτήρες πόσιμου νερού

Προτεινόμενο πρωτόκολλο από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO)^[43]





- Εφαρμογή σχεδίων έκτακτης ανάγκης, εφαρμογή προηγμένης τεχνολογίας για την επεξεργασία νερού ή χρήση εναλλακτικών ταμιευτήρων/ πηγών νερού
- Διαβούλευση με τους υγειονομικούς φορείς, την υπηρεσία περιβάλλοντος και άλλους σχετικούς φορείς
- Ενημέρωση των ευαίσθητων ομάδων σχετικά με την υποχρεωτική χρήση άλλων πηγών νερού (π.χ. εμφιαλωμένο) κυρίως των ατόμων που φροντίζουν βρέφη και παιδιά

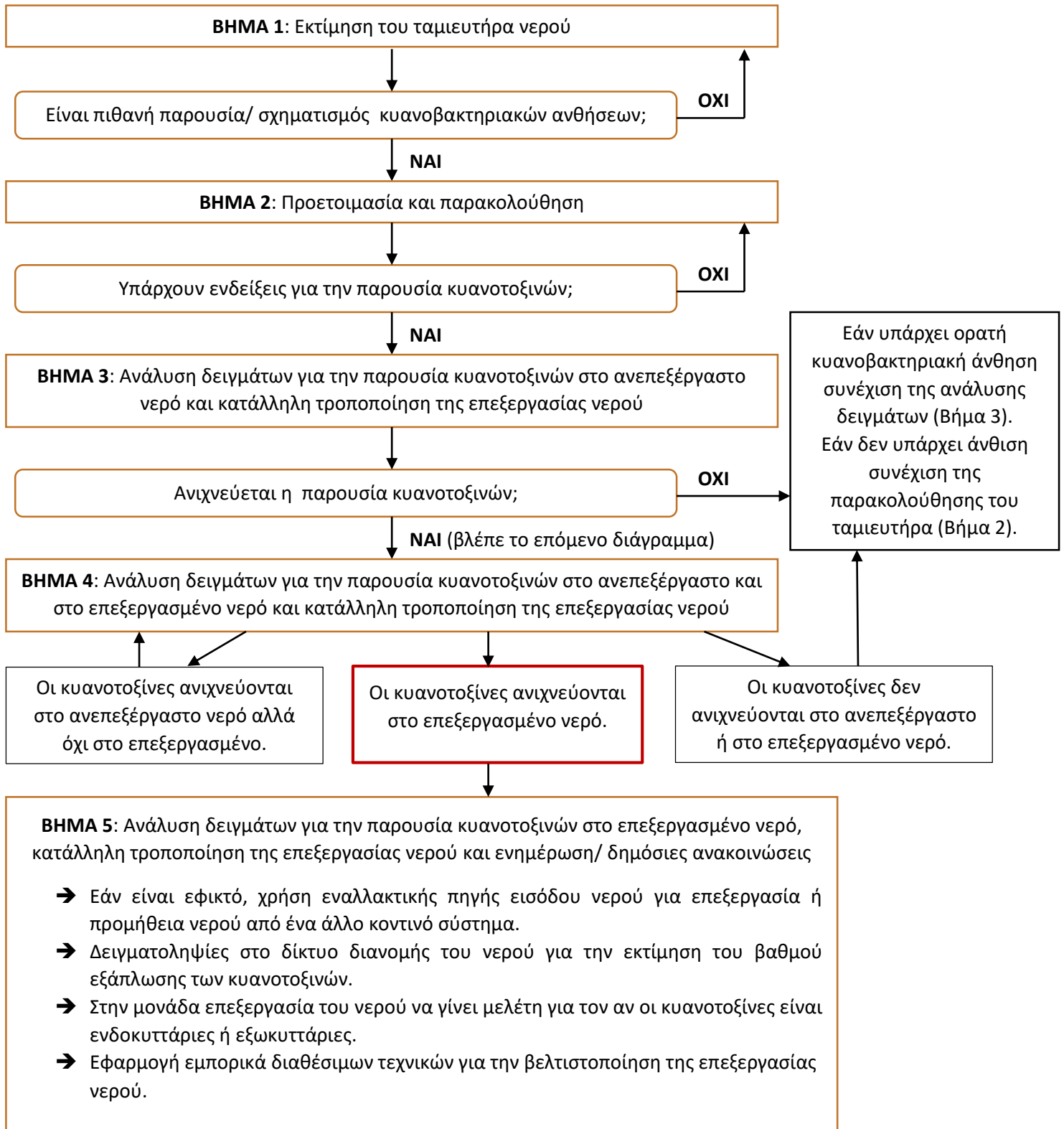
Σημείωση: Καθώς η CYN μπορεί να βρίσκεται εξωκυττάρια (στην υδατική φάση), η συστηματική μικροσκοπική παρακολούθηση είναι ιδιαίτερα σημαντική για την ανίχνευση των οργανισμών που δυνητικά την παράγουν ώστε να ενεργοποιηθεί η χημική ανάλυση των CYNs, εναλλακτικά μπορεί να γίνεται συστηματική παρακολούθηση για την παρουσία των CYNs.

* Οι τιμές για τις STXs και ATXs ΔΕΝ αποτελούν όρια για μακροχρόνια κατανάλωση, αλλά είναι συγκεντρώσεις 10-φορές χαμηλότερες από αυτές της οξείας έκθεσης.

** Ανάλυση του ακατέργαστου νερού για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας των μέτρων για την αποφυγή πρόσληψης της κυανοβακτηριακής άνθησης και στο επεξεργασμένο νερό για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας της επεξεργασίας του.

*** Εάν κυρίαρχα είδη είναι αυτά που παράγουν CYNs ή STXs, συνιστάται η ανάλυση για τον προσδιορισμό CYN/STX ώστε να διευκρινιστεί αν τα όρια του βιοόγκου / της *chlorophyll-a* για Επίπεδα Συναγερμού επαρκούν για την προστασία της δημόσιας υγείας.

**Προτεινόμενο πρωτόκολλο για την διαχείριση του κινδύνου των κυανοτοξινών
στο πόσιμο νερό από το US EPA [63] [64]**



Προτεινόμενο πρωτόκολλο παρακολούθησης κυανοτοξινών στο πόσιμο νερό από την κυβέρνηση του Καναδά^[62]

1. Προσδιορισμός ολικού αζώτου και φωσφόρου στον ταμειυτήρα νερού (αν υπάρχουν τα διαθέσιμα μέσα).
2. Οπτικός έλεγχος για την παρουσία κυανοβακτηριακής άνθισης.
3. Μελέτη του ιστορικού του ταμειυτήρα σχετικά με αυτές τις παραμέτρους.

**ΑΝΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΟ
ΝΕΡΟ**

ΝΑΙ σε τουλάχιστον ένα από:

1. N > 658 µg/L
2. P > 26 µg/L
3. Αναλογία N:P < 23
4. Παρουσία κυανοβακτηριακής άνθισης

ΟΧΙ

Δειγματοληψία ακατέργαστου νερού.

Έλεγχος για παρουσία microcystins με φορητό κιτ δοκιμής πεδίου (portable field test kit)

Ανιχνεύθηκαν microcystins

ΔΕΝ ανιχνεύθηκαν microcystins

Ενημέρωση της υγειονομικής αρχής.

Έλεγχος για παρουσία microcystins στο επεξεργασμένο νερό με φορητό κιτ δοκιμής πεδίου (portable field test kit)

Ανιχνεύθηκαν microcystins

ΔΕΝ ανιχνεύθηκαν microcystins

**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΟ
ΝΕΡΟ**

Αποστολή δείγματος στο εργαστήριο για επιβεβαίωση.
Ενημέρωση της υγειονομικής αρχής.

Εργαστηριακά αποτελέσματα
Σύνολο microcystins > 1.5 µg/L

Εργαστηριακά αποτελέσματα
Σύνολο microcystins < 1.5 µg/L*

Επικοινωνία με την υγειονομική αρχή και λήψη αποφάσεων.

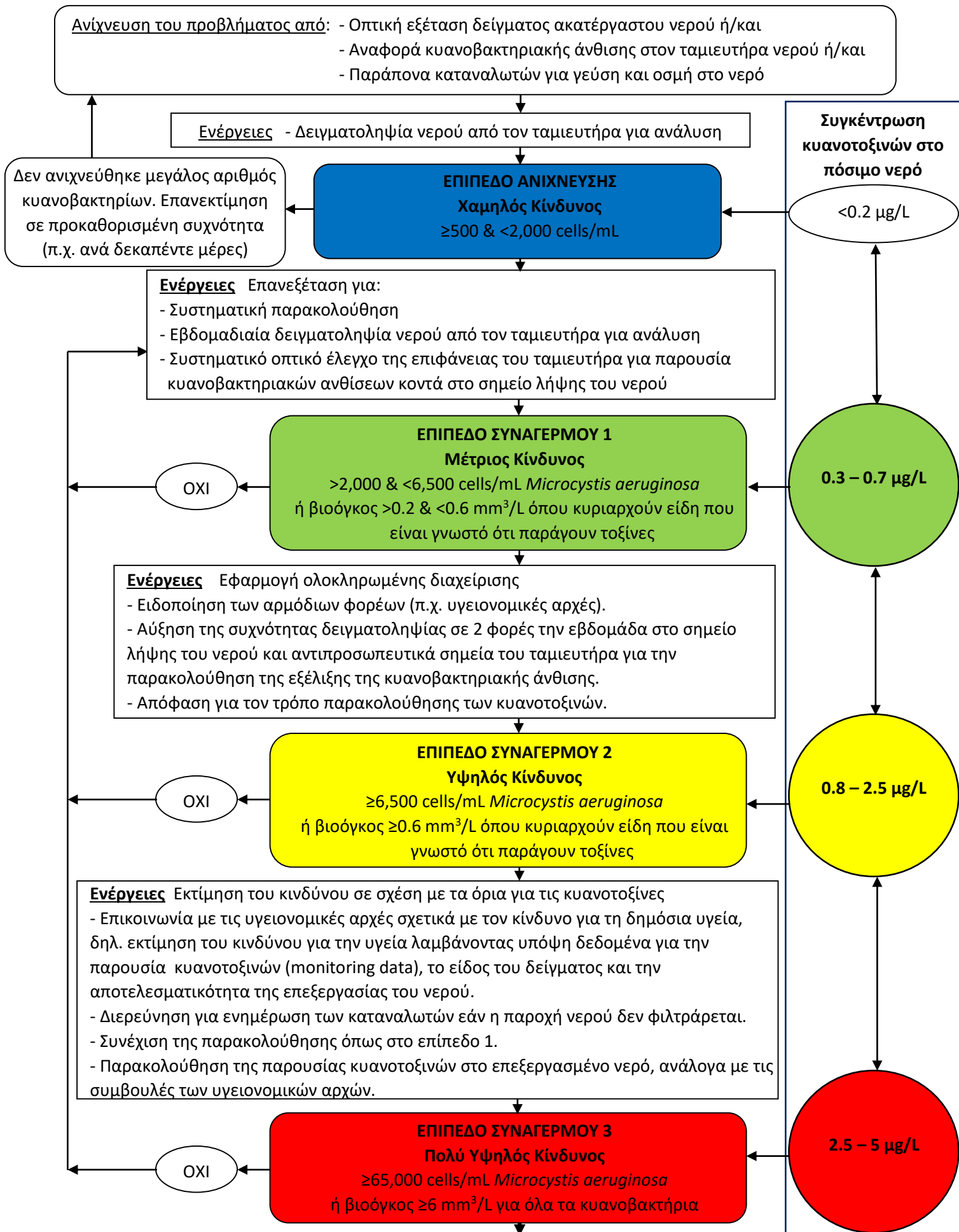
Ενημέρωση της κοινότητας και των σχετικών φορέων.

1. Χρήση εναλλακτικής πηγής πόσιμου νερού
2. Τροποποίηση επεξεργασίας νερού
3. Έκδοση ειδοποίησης «ΜΗ ΧΡΗΣΗΜΟΠΟΙΕΙΤΕ ΤΟ ΝΕΡΟ»**
4. Ισχύουσα κατάσταση

*Εάν οι microcystins ανιχνεύονται στο επεξεργασμένο νερό, οι φορείς διαχείρισης του πόσιμου νερού πρέπει να το αξιολογήσουν για να ενημερώσουν το κοινό της περιοχής που επηρεάζεται ώστε να χρησιμοποιήσει εναλλακτικές διαθέσιμες πηγές νερού (π.χ. εμφιαλωμένο νερό) για τα βρέφη.

**Μη χρήση νερού μέχρι να ελεγχθούν και επιβεβαιωθούν εργαστηριακά 2 διαδοχικά δείγματα ανεπεξεργαστου και επεξεργασμένου νερού με συγκέντρωση <1.5 µg/L για το σύνολο microcystins.

Προτεινόμενο πρωτόκολλο με τα επίπεδα συναγερμού για την διαχείριση των κυανοβακτηρίων στο πόσιμο νερό από το Global Water Research Coalition^[65]



Προτεινόμενο πρωτόκολλο με τα επίπεδα συναγερμού για την διαχείριση των κυανοβακτηρίων στο πόσιμο νερό από το Global Water Research Coalition - ΣΥΝΕΧΕΙΑ



- Ενέργειες** Εκτίμηση του κινδύνου άμεσα, σε περίπτωση που δεν είχε ήδη γίνει
- Περαιτέρω κοινοποίηση στις υγειονομικές αρχές για συμβολές σχετικά με τον κίνδυνο για την υγεία από τον συγκεκριμένο ταμιευτήρα νερού.
 - Ενδέχεται να απαιτηθούν συμβουλές προς τους καταναλωτές εάν η παροχή νερού δεν φιλτράρεται.
 - Εκτίμηση της τοξικότητας – προσδιορισμός των κυανοτοξινών στο ανεπεξέργαστο και στο επεξεργασμένο νερό, εάν δεν πραγματοποιείται ήδη.
 - Συνέχιση της παρακολούθησης του κυανοβακτηριακού πληθυσμού στο νερό του ταμιευτήρα σύμφωνα με το επίπεδο 1.
 - Ελλείψει επεξεργασίας νερού και με την επιφύλαξη της εκτίμησης του κινδύνου για την υγεία μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτική εφεδρική παροχή νερού.
 - Συνέχιση της παρακολούθησης των κυανοτοξινών μετά από τη σημαντική μείωση του αριθμού των κυανοβακτηριακών κυττάρων (π.χ. για 3 διαδοχικά αρνητικά αποτελέσματα).

Συμπεράσματα – Προτεινόμενα πρωτόκολλα για τις ελληνικές λίμνες

Τα τοξικά κυανοβακτήρια στα γλυκά νερά αποτελούν σημαντική απειλή για τη δημόσια υγεία και τα υδάτινα οικοσυστήματα [1, 66]. Οι κυανοβακτηριακές ανθίσεις αυξάνονται σε συχνότητα, μέγεθος και διάρκεια παγκοσμίως, ενώ ο ευτροφισμός, η αύξηση του CO₂ και η κλιματική αλλαγή προωθούν την παγκόσμια εξάπλωσή τους [14]. Τα κυανοβακτήρια παράγουν και ελευθερώνουν στο νερό τοξικούς μεταβολίτες, γνωστούς ως κυανοτοξίνες. Οι κυανοτοξίνες περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα ενώσεων, συμπεριλαμβανομένων κυκλικών πεπτιδίων (microcystins, nodularins) και αλκαλοειδών (cylindrospermopsins, anatoxins, saxitoxins) που μπορεί να είναι ηπατοτοξικά, κυτταροτοξικά, γενετοξικά ή νευροτοξικά. Η έκθεση της ανθρώπινης υγείας σε κίνδυνο λόγω της παρουσίας των κυανοτοξινών στο νερό μπορεί να γίνει μέσω δερματικής επαφής, εισπνοής αερολυμάτων, κατάποσης ποσότητας νερού κατά την κολύμβηση καθώς και μέσω της κατανάλωσης πόσιμου νερού και τροφίμων όπως ψάρια και συμπληρώματα διατροφής.

Για την αντιμετώπιση του κινδύνου που συνδέεται με τις γνωστές κυανοτοξίνες, ο WHO δημοσίευσε κατευθυντήριες γραμμές για την παρακολούθηση και τη διαχείρισή τους, συμπεριλαμβανομένων προσωρινών κατευθυντήριων τιμών για την έκθεση μέσω του πόσιμου νερού και των δραστηριοτήτων αναψυχής [43]. Επίσης το US EPA έχει προτείνει όρια σχετικά με την παρουσία των κυανοτοξινών που ανήκουν στις κατηγορίες των MCs και CYNs [46, 52]. Λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω οδηγίες πολλές πολιτείες στις ΗΠΑ και χώρες ανά τον κόσμο έχουν θεσπίσει νομοθετικά όρια για τις κυανοτοξίνες και κυριότερα για την κατηγορία των MCs, όπως αυτά παρατίθενται στους πίνακες 3 και 4.

Ειδικότερα, για τις λίμνες που προορίζονται για δραστηριότητες αναψυχής για τις MCs ο WHO προτείνει το όριο των 24 μg/L, ενώ το US EPA προτείνει το όριο των 8 μg/L. Οι περισσότερες χώρες έχουν θεσπίσει το όριο των 20 μg/L για τις MCs. Αυστηρότερα όρια όπως των 10 μg/L έχει θεσπιστεί από τις Αυστραλία, Γερμανία, Καναδά και τις πολιτείες Illinois και Oregon και των 6 μg/L έχει θεσπιστεί από τις πολιτείες Vermont, Virginia και Washington. Αν ανιχνευθούν οι MCs πάνω από αυτά τα όρια γίνεται απαγόρευση των δραστηριοτήτων και προσωρινό κλείσιμο της λίμνης. Παράλληλα, πολλές πολιτείες των ΗΠΑ έχουν θεσπίσει και αλλά χαμηλότερα όρια πάνω από τα οποία ξεκινάει πιο συχνή παρακολούθηση της λίμνης και θέτονται κάποιοι περιορισμοί. Σχετικά με την παρουσία της CYN σε επιφανειακά νερά που προορίζονται για δραστηριότητες αναψυχής ο WHO προτείνει το όριο των 6 μg/L ενώ το US EPA προτείνει το όριο των 15 μg/L. Για τις κατηγορίες των ATX και STX ο WHO προτείνει για τις λίμνες που προορίζονται για δραστηριότητες αναψυχής το όριων των 60 μg/L και 30 μg/L αντίστοιχα.

Σχετικά με την παρουσία των MCs στο πόσιμο νερό, έχει προταθεί από τον WHO το όριο του 1 μg/L και από το US EPA το όριο του 1,6 μg/L. Οι περισσότερες χώρες ανά τον κόσμο έχουν υιοθετήσει το όριο του 1 μg/L για την MC-LR ή για το σύνολο των MCs. Για την παρουσία της CYN στο πόσιμο νερό ο WHO προτείνει το όριο του 0,7 μg/L ενώ το US EPA προτείνει το όριο του 0,7 μg/L για τα βρέφη και το όριο των 3 μg/L για τα παιδιά και τους ενήλικους, ενώ η Νέα Ζηλανδία και η Αυστραλία έχουν θεσπίσει το όριο του 1 μg/L. Σχετικά με την παρουσία των άλλων κατηγοριών κυανοτοξινών, παρόλο που υπάρχουν προτεινόμενα όρια από τον WHO είναι μικρός ο αριθμός των χωρών που έχουν θεσπίσει σχετικά νομοθετικά όρια. Ενδεικτικά, σχετικά με την παρουσία της ATX στο πόσιμο νερό ο WHO προτείνει το όριο των 30 μg/L, ενώ η Νέα Ζηλανδία και η πολιτεία του Oregon εφαρμόζουν τα όρια των 6 μg/L και 3 μg/L, αντίστοιχα. Παρομοίως, σχετικά με την παρουσία των STXs στο

πόσιμο νερό ο WHO προτείνει το όριο των 3 µg/L, ενώ η Νέα Ζηλανδία και η πολιτεία του Oregon εφαρμόζουν το όριο του 1 µg/L.

Η Ευρωπαϊκή ένωση συμπεριέλαβε πρόσφατα στην νομοθεσία για το πόσιμο νερό την MC-LR, θεσπίζοντας το νομοθετικό όριο του 1 µg/L [54]. Επίσης η ευρωπαϊκή νομοθεσία για τη διαχείριση της ποιότητας των υδάτων κολύμβησης προβλέπει την κατάλληλη παρακολούθηση τους καθώς και την λήψη κατάλληλων διαχειριστικών μέτρων για να αντιμετωπιστεί έγκαιρα ο κίνδυνος για την υγεία από τα τοξικά κυανοβακτήρια [57].

Σύμφωνα με τις οδηγίες του WHO, η συχνότητα παρακολούθησης της λίμνης για την προστασία από τις κυανοτοξίνες εξαρτάται από τον τρόπο και την συχνότητα της χρήσης της λίμνης, από τη βαθμίδα τροφισμού της λίμνης, τις συνθήκες που επικρατούν όπως η συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου, η θολότητα, ο ρυθμός ανανέωσης του νερού και η θερμική στρωματοποίηση. Επιπλέον, σημαντική παράμετρος που καθορίζει την συχνότητα παρακολούθησης ενός υδάτινου συστήματος είναι το ιστορικό του σχετικά με την παρουσία κυανοτοξινών. Για τον λόγο αυτό είναι βασικό να γίνονται συστηματικές μελέτες για την δημιουργία χρονοσειρών δεδομένων σχετικά με τον σχηματισμό κυανοβακτηριακών ανθίσεων και ειδικότερα με την παρουσία κυανοτοξινών για κάθε λίμνη.

Σύμφωνα με τα πρωτόκολλα που προτείνονται ή εφαρμόζονται ανά τον κόσμο, συνιστάται η συστηματική παρακολούθηση κάποιων παραμέτρων που είναι ενδεικτικές για την παρουσία κυανοτοξινών στο νερό. Οι παράμετροι που μελετώνται συνήθως είναι η διαύγεια νερού – βάθος Secchi disk, ο ολικός φωσφόρος, η *chlorophyll-a*, ο βιοόγκος και η πυκνότητα κυανοβακτηρίων που σχετίζονται με τον σχηματισμό των κυανοβακτηριακών ανθίσεων, όμως η πιο σημαντική παράμετρος που πρέπει να μελετάται είναι η συγκέντρωση κυανοτοξινών για να γίνει κατάλληλη εκτίμηση του κινδύνου.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω για τις ελληνικές λίμνες προτείνονται τα ακόλουθα:

- ✓ Συλλογή δεδομένων σχετικά με την παρουσία κυανοτοξινών στις ελληνικές λίμνες για μεγάλα χρονικά διαστήματα (χρονοσειρές δεδομένων). Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα στις λίμνες που χρησιμοποιούνται ως ταμιευτήρες νερού, στις λίμνες που χρησιμοποιούνται για δραστηριότητες αναψυχής και στις λίμνες που βρίσκονται σε πόλεις της Ελλάδας για την προστασία της δημόσιας υγείας. Επίσης, για την προστασία της βιοποικιλότητας συνιστάται η μελέτη των υδάτινων σωμάτων που είναι σημαντικοί υδροβιότοποι / οικότοποι που βρίσκονται σε περιοχές που έχουν χαρακτηριστεί ως περιοχές NATURA.
- ✓ Συστηματική παρακολούθηση των λιμνών που έχει καταγραφεί σχηματισμός κυανοβακτηριακής άνθησης τα τελευταία πέντε χρόνια ή/και η παρουσία κυανοτοξινών. Δεδομένου ότι η συχνότητα εμφάνισης των κυανοβακτηριακών ανθίσεων είναι μια δυναμική διαδικασία, δεν μπορεί να αποκλειστεί η πιθανότητα σχηματισμού κυανοβακτηριακής άνθησης σε μία λίμνη που δεν είχε παρατηρηθεί στο παρελθόν. Για το λόγο αυτό η οπτική παρακολούθηση ενός υδάτινου σώματος που έχει χαμηλή πιθανότητα σχηματισμού κυανοβακτηριακής άνθησης (βλέπε Πίνακα 6), εξετάζοντας την θολότητα του νερού, είναι πολύ χρήσιμη. Μία άλλη παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για την συχνότητα παρακολούθησης του υδάτινου σώματος είναι ο αριθμός των ατόμων που δυνητικά εκτίθενται σε αυτό.

- Για τις λίμνες που έχουν μικρή πιθανότητα σχηματισμού κυανοβακτηριακής άνθησης συνιστάται η οπτική παρακολούθησή τους (βάθος Secchi disk) κάθε 2 εβδομάδες.
 - Για τις λίμνες που α) έχει καταγραφεί σχηματισμός κυανοβακτηριακής άνθησης ή/και β) έχει καταγραφεί η παρουσία κυανοτοξινών ή/και γ) εκτίθενται σε αυτήν συστηματικά ένας σημαντικός αριθμός ατόμων, συνιστάται η οπτική παρακολούθησή τους (βάθος Secchi disk) μία φορά την εβδομάδα.
 - Για τις λίμνες που χρησιμοποιούνται ως ταμιευτήρες νερού συνιστάται η οπτική παρακολούθησή τους (βάθος Secchi disk) τουλάχιστον μία φορά την εβδομάδα.
- ✓ Για τις λίμνες που α) χρησιμοποιούνται για δραστηριότητες αναψυχής, β) βρίσκονται σε πόλεις της Ελλάδας, γ) αποτελούν περιοχές NATURA (δεν είναι ταμιευτήρες πόσιμου νερού): Όταν παρατηρείτε αυξημένη θολότητα στο νερό, δηλαδή βάθος Secchi disk $\leq 1\text{m}$ ή παρατηρείται η παρουσία κυανοβακτηρίων στην επιφάνεια του νερού συνιστάται η συλλογή δείγματος για τον προσδιορισμό των κυανοτοξινών.

- Αν στο δείγμα δεν ανιχνευτεί η παρουσία κυανοτοξινών συνιστάται η συνέχιση της οπτικής παρατήρησης της λίμνης.
- Αν στο δείγμα ανιχνευτεί η παρουσία κυανοτοξινών σε συγκεντρώσεις
 - $\leq 10 \mu\text{g/L}$ για το σύνολο των MCs ή
 - $\leq 6 \mu\text{g/L}$ για το σύνολο των CYNs ή
 - $\leq 60 \mu\text{g/L}$ για το σύνολο των ATXs ή
 - $\leq 30 \mu\text{g/L}$ για το σύνολο των STXs

Συνιστάται:

- 1) Συστηματική οπτική παρακολούθηση (καθημερινά ή κάθε δύο μέρες) για παρουσία βιομάζας κυανοβακτηρίων.
- 2) Εβδομαδιαία ανάλυση δειγμάτων για τον προσδιορισμό κυανοτοξινών.
- 3) Ενημέρωση των πολιτών ώστε να παρατηρούν την παρουσία κυανοβακτηριακής βιομάζας και την αποφυγή δραστηριοτήτων που μπορεί να οδηγήσει σε κατάποση ή εισπνοή κυανοτοξινών, ιδιαίτερα για τα παιδιά καθώς και για τα κατοικίδια ή οικόσιτα ζώα.
- 4) Ενημέρωση των αρμόδιων υγειονομικών αρχών.

- Αν στο δείγμα ανιχνευτεί η παρουσία κυανοτοξινών σε συγκεντρώσεις
 - $> 10 \mu\text{g/L}$ για το σύνολο των MCs ή
 - $> 6 \mu\text{g/L}$ για το σύνολο των CYNs ή
 - $> 60 \mu\text{g/L}$ για το σύνολο των ATXs ή
 - $> 30 \mu\text{g/L}$ για το σύνολο των STXs

Συνιστάται:

- 1) Το κλείσιμο της λίμνης και η προσωρινή απαγόρευση της κολύμβησης και άλλων δραστηριοτήτων που έχουν επαφή με το νερό.
- 2) Ενημέρωση των πολιτών για απομάκρυνση από το νερό και αποφυγή κάθε δραστηριότητας που μπορεί να οδηγήσει σε επαφή με την κυανοβακτηριακή βιομάζα.
- 3) Ενημέρωση των αρμόδιων αρχών.
- 4) Μελέτη για την παρακολούθηση της δημόσιας υγείας.

Οι άρση των απαγορεύσεων μπορεί να γίνει όταν υπάρχουν δύο διαδοχικές αναλύσεις που οι συγκεντρώσεις των κυανοτοξινών είναι χαμηλότερες από τα παραπάνω όρια.

- ✓ Για τις λίμνες που χρησιμοποιούνται ως ταμιευτήρες πόσιμου νερού: Όταν παρατηρείτε αυξημένη θολότητα στο νερό, δηλαδή βάθος Secchi disk $\leq 2\text{m}$ ή παρατηρείται η παρουσία κυανοβακτηρίων στην επιφάνεια του νερού ή υπάρχουν παράπονα από τους καταναλωτές για την παρουσία οσμής και γεύσης στο νερό συνιστάται η συλλογή δείγματος για τον προσδιορισμό των κυανοτοξινών.

- Αν στο δείγμα δεν ανιχνευτεί η παρουσία κυανοτοξινών συνιστάται η συνέχιση της οπτικής παρατήρησης του ταμιευτήρα.

- Αν στο δείγμα ανιχνευτεί η παρουσία κυανοτοξινών σε συγκεντρώσεις

$\leq 1 \mu\text{g/L}$ για το σύνολο των MCs ή
 $\leq 0.7 \mu\text{g/L}$ για το σύνολο των CYNs ή
 $\leq 3 \mu\text{g/L}$ για το σύνολο των ATXs ή
 $\leq 0.3 \mu\text{g/L}$ για το σύνολο των STXs

Συνιστάται:

- 1) Ανάλυση δειγμάτων για τον προσδιορισμό κυανοτοξινών 2 φορές την εβδομάδα.
- 2) Διαβούλευση με τους υγειονομικούς φορείς, την υπηρεσία περιβάλλοντος και άλλους σχετικούς φορείς
- 3) Ενημέρωση των ευαίσθητων ομάδων, κυρίως των ατόμων που φροντίζουν βρέφη και παιδιά
- 4) Να εξεταστεί η δυνατότητα χρήσης εναλλακτικών σημείων λήψης νερού ώστε να αποφευχθεί η λήψη κυανοβακτηριακής άνθισης π.χ. αλλαγή του βάθους εισόδου, χρήση πλωτού φράγματος ή κουρτίνας φυσαλίδων, χρήση άλλου ταμιευτήρα νερού.
- 5) Να εξεταστεί εάν η επεξεργασία νερού που εφαρμόζεται μπορεί να απομακρύνει αποτελεσματικά τα κυανοβακτηριακά κύτταρα και τις τοξίνες. Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό να εξεταστεί η δυνατότητα εφαρμογής σχεδίων έκτακτης ανάγκης, όπως η χρήση προηγμένης τεχνολογίας για την επεξεργασία νερού ή χρήση εναλλακτικών ταμιευτήρων/ πηγών νερού.

- Αν στο δείγμα ανιχνευτεί η παρουσία κυανοτοξινών σε συγκεντρώσεις

$> 1 \mu\text{g/L}$ για το σύνολο των MCs ή
 $> 0.7 \mu\text{g/L}$ για το σύνολο των CYNs ή
 $> 3 \mu\text{g/L}$ για το σύνολο των ATXs ή
 $> 0.3 \mu\text{g/L}$ για το σύνολο των STXs

Συνιστάται:

- 1) Ανάλυση δειγμάτων για τον προσδιορισμό κυανοτοξινών καθημερινά στο ανεπεξέργαστο και στο επεξεργασμένο νερό.
- 2) Η εφαρμογή σχεδίων έκτακτης ανάγκης, εφαρμογή προηγμένης τεχνολογίας για την επεξεργασία νερού ή χρήση εναλλακτικών ταμιευτήρων/ πηγών νερού.

Εάν η παρουσία κυανοτοξινών ανιχνεύεται και στο επεξεργασμένο νερό προτείνονται τα ακόλουθα:

Διαβούλευση με τους υγειονομικούς φορείς, την υπηρεσία περιβάλλοντος και άλλους σχετικούς φορείς.

Ενημέρωση των ευαίσθητων ομάδων σχετικά με την υποχρεωτική χρήση άλλων πηγών νερού (π.χ. εμφιαλωμένο) κυρίως των ατόμων που φροντίζουν βρέφη και παιδιά.

Μελέτη για την παρακολούθηση της δημόσιας υγείας.

Οι άρση των περιορισμών μπορεί να γίνει όταν υπάρχουν τρεις διαδοχικές αναλύσεις που οι συγκεντρώσεις των κυανοτοξινών είναι χαμηλότερες από τα παραπάνω όρια, ενώ συνεχίζεται η συστηματική ανάλυση δειγμάτων για τον προσδιορισμό κυανοτοξινών.

Βιβλιογραφία

1. Brooks, B.W., et al., *Are harmful algal blooms becoming the greatest inland water quality threat to public health and aquatic ecosystems?* Environmental Toxicology and Chemistry, 2016. **35**(1): p. 6-13.
2. Papke, R.T., et al., *Geographical isolation in hot spring cyanobacteria*. Environmental Microbiology, 2003. **5**(8): p. 650-659.
3. Zakhia, F., et al., *Cyanobacteria in cold ecosystems*, in *Psychrophiles: From Biodiversity to Biotechnology*. 2008. p. 121-135.
4. Whitton, B.A., *Ecology of Cyanobacteria II: Their Diversity in Space and Time*. 2012, Springer Dordrecht Heidelberg New York London: Springer Science & Business Media.
5. Schirrmeister, B.E., M. Gugger, and P.C.J. Donoghue, *Cyanobacteria and the Great Oxidation Event: evidence from genes and fossils*. Palaeontology, 2015. **58**(5): p. 769-785.
6. Lampert, W. and U. Sommer, *Limnoecology: The Ecology of Lakes and Streams*. 1997: Oxford University Press.
7. Scheffer, M., et al., *Alternative equilibria in shallow lakes*. Trends in Ecology & Evolution, 1993. **8**(8): p. 275-279.
8. Rabalais, N.N., et al., *Dynamics and distribution of natural and human-caused hypoxia*. Biogeosciences, 2010. **7**(2): p. 585-619.
9. Kaloudis, T., T.M. Triantis, and A. Hiskia, *Taste and Odour Compounds Produced by Cyanobacteria*, in *Handbook of Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis*. 2016. p. 196-201.
10. Wood, R., *Acute animal and human poisonings from cyanotoxin exposure — A review of the literature*. Environment International, 2016. **91**: p. 276-282.
11. Christophoridis, C., et al., *Occurrence and diversity of cyanotoxins in Greek lakes*. Scientific Reports, 2018. **8**(1): p. 17877.
12. Paerl, H.W. and J. Huisman, *Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms*. Environmental Microbiology Reports, 2009. **1**(1): p. 27-37.
13. Reichwaldt, E.S., S.C. Sinang, and A. Ghadouani, *Climate Change and Marine and Freshwater Toxins*, in *Global warming, climate patterns and toxic cyanobacteria*, M.B. Luis, L. Carmen, and V. Natalia, Editors. 2015, De Gruyter. p. 195-238.
14. Huisman, J., et al., *Cyanobacterial blooms*. Nature Reviews Microbiology, 2018. **16**(8): p. 471-483.
15. Chapra, S.C., et al., *Climate Change Impacts on Harmful Algal Blooms in U.S. Freshwaters: A Screening-Level Assessment*. Environmental Science & Technology, 2017. **51**(16): p. 8933-8943.
16. Weber, S.J., et al., *Risks for cyanobacterial harmful algal blooms due to land management and climate interactions*. Science of The Total Environment, 2020. **703**: p. 134608.
17. Giani, A., et al., *Comparing key drivers of cyanobacteria biomass in temperate and tropical systems*. Harmful Algae, 2020. **97**: p. 101859.
18. Visser, P.M., et al., *How rising CO(2) and global warming may stimulate harmful cyanobacterial blooms*. Harmful Algae, 2016. **54**: p. 145-159.
19. Winder, M. and U. Sommer, *Phytoplankton response to a changing climate*. Hydrobiologia, 2012. **698**(1): p. 5-16.
20. Filatova, D., et al., *Analysis, levels and seasonal variation of cyanotoxins in freshwater ecosystems*. Trends in Environmental Analytical Chemistry, 2020. **26**: p. e00091.

21. Mantzouki, E., et al., *Temperature Effects Explain Continental Scale Distribution of Cyanobacterial Toxins*. *Toxins*, 2018. **10**(4): p. 156.
22. Zurawell, R.W., et al., *Hepatotoxic Cyanobacteria: A Review of the Biological Importance of Microcystins in Freshwater Environments*. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 2005. **8**(1): p. 1-37.
23. Davis, T.W., et al., *The effects of temperature and nutrients on the growth and dynamics of toxic and non-toxic strains of Microcystis during cyanobacteria blooms*. *Harmful Algae*, 2009. **8**(5): p. 715-725.
24. Kaebernick, M., et al., *Light and the transcriptional response of the microcystin biosynthesis gene cluster*. *Applied and environmental microbiology*, 2000. **66**(8): p. 3387-3392.
25. Phelan, R.R. and T.G. Downing, *A growth advantage for microcystin production by Microcystis PCC7806 under high light*. *Journal of Phycology*, 2011. **47**(6): p. 1241-1246.
26. Vézic, C., et al., *Effect of Nitrogen and Phosphorus on Growth of Toxic and Nontoxic Microcystis Strains and on Intracellular Microcystin Concentrations*. *Microbial Ecology*, 2002. **43**(4): p. 443-454.
27. Wilhelm, S.W., et al., *The relationships between nutrients, cyanobacterial toxins and the microbial community in Taihu (Lake Tai), China*. *Harmful Algae*, 2011. **10**(2): p. 207-215.
28. Engström-Öst, J., S. Repka, and M. Mikkonen, *Interactions between plankton and cyanobacterium Anabaena with focus on salinity, growth and toxin production*. *Harmful Algae*, 2011. **10**(5): p. 530-535.
29. El-Shehaw, R., et al., *Global warming and hepatotoxin production by cyanobacteria: What can we learn from experiments?* *Water Research*, 2012. **46**(5): p. 1420-1429.
30. Rousso, B.Z., et al., *A systematic literature review of forecasting and predictive models for cyanobacteria blooms in freshwater lakes*. *Water Research*, 2020. **182**: p. 115959.
31. Merel, S., et al., *State of knowledge and concerns on cyanobacterial blooms and cyanotoxins*. *Environment International*, 2013. **59**: p. 303-327.
32. Humpage, A. and M. Welker, *Unspecified toxicity and other cyanobacterial metabolites*, in *Toxic Cyanobacteria in Water*, I. Chorus and M. Welker, Editors. 2021, CRC Press, Boca Raton (FL), on behalf of the World Health Organization: Geneva.
33. Bernard, C., et al., *Appendix 2: Cyanobacteria Associated With the Production of Cyanotoxins*, in *Handbook of Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis*. 2017, John Wiley & Sons, Ltd. p. 501-525.
34. Buratti, F.M., et al., *Cyanotoxins: producing organisms, occurrence, toxicity, mechanism of action and human health toxicological risk evaluation*. *Archives of Toxicology*, 2017. **91**(3): p. 1049-1130.
35. Jones, M.R., et al., *CyanoMetDB, a comprehensive public database of secondary metabolites from cyanobacteria*. *Water Research*, 2021. **196**: p. 117017.
36. Bouaïcha, N., et al., *Structural Diversity, Characterization and Toxicology of Microcystins*. *Toxins*, 2019. **11**(12): p. 714.
37. Norris, R.L.G., et al., *Extraction and purification of the zwitterions cylindrospermopsin and deoxycylindrospermopsin from Cylindrospermopsis raciborskii*. *Environmental Toxicology*, 2001. **16**(5): p. 391-396.
38. Banker, R., et al., *Uracil moiety is required for toxicity of the cyanobacterial hepatotoxin cylindrospermopsin*. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A*, 2001. **62**(4): p. 281-288.
39. Wimmer, K.M., W.K. Strangman, and J.L.C. Wright, *7-Deoxy-desulfo-cylindrospermopsin and 7-deoxy-desulfo-12-acetylcylindrospermopsin: Two new*

- cylindrospermopsis analogs isolated from a Thai strain of Cylindrospermopsis raciborskii*. Harmful Algae, 2014. **37**: p. 203-206.
40. Devlin, J.P., et al., *Anatoxin-a, a toxic alkaloid from Anabaena flos-aquae NRC-44h*. Canadian Journal of Chemistry, 1977. **55**(8): p. 1367-1371.
 41. Monteiro, S., et al., *Lipopolysaccharide Endotoxins*, in *Handbook of Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis*. 2016. p. 165-172.
 42. Codd, G.A., J. Meriluoto, and J.S. Metcalf, *Introduction*, in *Handbook of Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis*. 2016. p. 1-8.
 43. Chorus, I. and M. Welker, *Exposure to cyanotoxins - Understanding it and short-term interventions to prevent it*, in *Toxic Cyanobacteria in Water*, I. Chorus and M. Welker, Editors. 2021, CRC Press, Boca Raton (FL), on behalf of the World Health Organization: Geneva.
 44. World Health Organization, W.H.O., *Cyanobacterial toxins: Microcystin-LR in Drinking-water, WHO Guidelines for Drinking-water Quality*. 2nd ed. Health criteria and other supporting information. 1998, Geneva.
 45. Welker, M., *Cyanobacterial Lipopolysaccharides (LPS)*, in *Toxic Cyanobacteria in Water*, I. Chorus and M. Welker, Editors. 2021, CRC Press, Boca Raton (FL), on behalf of the World Health Organization: Geneva.
 46. US-EPA, *Recommendations for Cyanobacteria and Cyanotoxin Monitoring in Recreational Waters*, U.S.E.P. Agency, Editor. 2019.
 47. Canada, H., *Guidelines for Canadian Recreational Water Quality* 2012.
 48. Wood, S., et al., *New Zealand Guidelines for Cyanobacteria in Recreational Fresh Waters - Interim Guidelines*. 2009, Ministry for the Environment and Ministry of Health: Wellington.
 49. Government, A., *Guidelines for Managing Risks in Recreational Water*, N.H.a.M.R. Council, Editor. 2008, Australian Government Canberra.
 50. Funari, E., et al., *Cyanobacteria blooms in water: Italian guidelines to assess and manage the risk associated to bathing and recreational activities*. Science of The Total Environment, 2017. **598**: p. 867-880.
 51. Testai, E., et al., *Risk to human health associated with the environmental occurrence of cyanobacterial neurotoxic alkaloids anatoxins and saxitoxins*. Critical Reviews in Toxicology, 2016. **46**(5): p. 385-419.
 52. US-EPA. *EPA Drinking Water Health Advisories for Cyanotoxins*. Available from: <https://www.epa.gov/cyanoHabs/epa-drinking-water-health-advisories-cyanotoxins>.
 53. *Ministry of Health, Guidelines for Drinking-water Quality Management for New Zealand*. 2017, Ministry of Health, New Zealand Government: Wellington, New Zealand.
 54. *Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the quality of water intended for human consumption (recast), 1.2.2018*, E. Commission, Editor. 2018: Brussels.
 55. HMRC and NRMCMC, *Australian Drinking Water Guidelines Paper 6, Version 3.4 Updated October 2017 in National Water Quality Management Strategy*. 2011, National Health and Medical Research Council, National Resource Management Ministerial Council, Commonwealth of Australia,: Canberra, Australia.
 56. *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document - Cyanobacterial Toxins in Drinking Water*, F.-P.-T.o.D. Water, Editor. 2016, Health Canada: Canada.
 57. ΟΔΗΓΙΑ 2006/7/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 15ης Φεβρουαρίου 2006 σχετικά με τη διαχείριση της ποιότητας των υδάτων κολύμβησης και την κατάργηση της οδηγίας 76/160/ΕΟΚ. 2006, Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

58. Burch, M., J. Brookes, and I. Chorus, *Assessing a waterbody's potential for cyanobacterial blooms*, in *Toxic Cyanobacteria in Water*, I. Chorus and M. Welker, Editors. 2021, CRC Press, Boca Raton (FL), on behalf of the World Health Organization: Geneva.
59. Zervou, S.-K., et al., *Cyanobacterial Toxins and Peptides in Lake Vegoritis, Greece*. *Toxins*, 2021. **13**(6): p. 394.
60. Kaloudis, T., et al., *Determination of microcystins and nodularin (cyanobacterial toxins) in water by LC-MS/MS. Monitoring of Lake Marathonas, a water reservoir of Athens, Greece*. *Journal of Hazardous Materials*, 2013. **263**: p. 105-115.
61. *California Cyanobacteria and Harmful Algal Bloom (CCHAB) Network*. My Water Quality [cited 2021; Available from: https://mywaterquality.ca.gov/monitoring_council/cyanoHab_network/index.html].
62. *Decision Protocols for Cyanobacterial Toxins in BC Drinking Water and Recreational Water*, G.o.C. Health Protection Branch, Editor. 2018, British Columbia.
63. US-EPA, *Recommendations for Public Water Systems to Manage Cyanotoxins in Drinking Water*. 2015.
64. US-EPA, *Water Treatment Optimization for Cyanotoxins*. 2016.
65. *International Guidance Manual for the Management of Toxic Cyanobacteria*, G.W.R.C.-W.Q.R. Australia, Editor. 2009, Global Water Research Coalition: London.
66. Plaas, H.E. and H.W. Paerl, *Toxic Cyanobacteria: A Growing Threat to Water and Air Quality*. 2021. **55**(1): p. 44-64.