

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ON-LINE ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ **ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ**

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί σημαντικά η σπουδαιότητα για την συνεχή (on-line) μέτρηση διαφόρων φυσικών και χημικών παραμέτρων σε μονάδες κατεργασίας υγρών αποβλήτων, αλλά και σε επιφανειακούς αποδέκτες, όπως λίμνες ποτάμια κλπ.

Οι κυριότερες εφαρμογές της συνεχούς παρακολούθησης είναι:

- Ο αυτόματος έλεγχος με σκοπό τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας μονάδων κατεργασίας υγρών αποβλήτων.
- Η συνεχής μέτρηση καταγραφή στην έξοδο των μονάδων αυτών ώστε να ελέγχεται αν πληρούνται οι προδιαγραφές που έχουν καθορισθεί για τον αποδέκτη
- Η παρακολούθηση της ποιότητας του αποδέκτη

Τα διάφορα συστήματα συνεχούς μέτρησης φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων σε νερό ή απόβλητα, βασίζονται συνήθως σε εφαρμογές εργαστηριακών μεθόδων.

Ένα σύστημα συνεχούς μέτρησης της ποιότητας του νερού, ορίζεται ως το ολοκληρωμένο σύστημα που αποτελείται από το σύστημα δειγματοληψίας, τον αναλυτή και τον εξοπλισμό εξαγωγής και διαχείρισης των αποτελεσμάτων.

Είναι αδιαμφισβήτητο γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια έχει γίνει σημαντική πρόοδος στους αναλυτές συνεχούς μέτρησης. Η ανάγκη για μεγάλο αριθμό αναλυτών και ολοκληρωμένη επεξεργασία των σημάτων τους με έλεγχο της αξιοπιστίας των δεδομένων και συστήματα πρόγνωσης ασφαλών φαίνεται να κερδίζουν έδαφος στους υπεύθυνους παρακολούθησης μονάδων επεξεργασίας νερού και αποβλήτων, αλλά και στις υπηρεσίες παρακολούθησης επιφανειακών νερών. Αρκετοί είναι οι λόγοι που έχουν οδηγήσει σε μεγάλο βαθμό στην αξιοποίηση των αναλυτών συνεχούς μέτρησης σε σύγκριση με τα προηγούμενα χρόνια:

- Η τεχνολογία των αναλυτών έχει αναπτυχθεί πολύ. Σύνθετα όργανα όπως αναλυτές συνεχούς μέτρησης θρεπτικών (PO₄, NO₃, κλπ) και τοξικόμετρα χρησιμοποιούνται ευρέως.
- Η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων δεν αποτελεί πια εμπόδιο. Υπάρχουν διαθέσιμα λογισμικά για την επεξεργασία των δεδομένων, δυναμικά μοντέλα απεικόνισης και προσομοίωσης με την συμμετοχή των πραγματικών μετρήσεων, κλπ. Τα συστήματα δεύτερης και τρίτης γενιάς SCADA εγκαθίστανται σε πολλές εφαρμογές.

- Τα συστήματα επεξεργασίας δεδομένων σε συνδυασμό με την τεχνολογία αυτοματισμών, προσφέρουν δυνατότητες έγκαιρης προειδοποίησης σε περιπτώσεις συναγερμού (π.χ. ακόμα και με μήνυμα σε κινητό τηλέφωνο)
- Οι χρήστες των συστημάτων παρακολούθησης ποιότητας νερού και αποβλήτων είναι πιο εξοικειωμένοι με τους αναλυτές, υπολογιστές και την τεχνολογία των συστημάτων ελέγχου.
- Η θεωρία των συστημάτων ελέγχου και η τεχνολογία των αυτοματισμών αποτελούν ένα ισχυρό εργαλείο

2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Για την επιλογή ενός κατάλληλου συστήματος θα πρέπει να γίνει κατ' αρχάς καθορισμός του σκοπού της μέτρησης και θα πρέπει να καθορισθούν ρεαλιστικοί στόχοι που θα ικανοποιούν τον σκοπό της μέτρησης.

Σ' ένα σύστημα συνεχούς μέτρησης που έχει σαν σκοπό να ελέγξει την συμμόρφωση με τις προδιαγραφές, παράμετροι όπως η ακρίβεια της μέτρησης, η επαναληψιμότητα, η συχνότητα των μετρήσεων και ο χρόνος απόκρισης της μέτρησης μπορεί να καθορίζονται από αυτές τις προδιαγραφές. Η μέθοδος ανάλυσης του συστήματος που θα επιλεγεί θα πρέπει να αναφέρεται σε κάποια πρότυπη εργαστηριακή μέθοδο, η οποία θα είναι αποδεκτή από την εκάστοτε ελέγχουσα αρχή. Συστήματα που έχουν σαν σκοπό την έγκαιρη ανίχνευση διαρροών και ανεξέλεγκτων απορρίψεων σε αποδέκτες απαιτούν μικρούς κύκλους δειγματοληψίας και γρήγορη απόκριση. Τα συστήματα αυτά θα πρέπει να διαθέτουν εξόδους συναγερμού που θα ειδοποιούν το εντεταλμένο προσωπικό, ώστε να εκτελεί τις απαιτούμενες κατά περίπτωση διορθωτικές ενέργειες.

Απλοί, χαμηλού κόστους και χαμηλής ακρίβειας αναλυτές με ένδειξη της μετρούμενης τιμής και εξόδους συναγερμού είναι κατάλληλοι για την παρακολούθηση της τάσης μιας μετρούμενης τιμής και για την έγκαιρη προειδοποίηση σε περιπτώσεις μη ικανοποίησης λειτουργικών παραμέτρων.

Όταν ο σκοπός ενός συστήματος είναι ο έλεγχος της καλής λειτουργίας μίας διεργασίας (π.χ. νιτροποίηση απονιτροποίηση βιολογικών καθαρισμών, επεξεργασία νερού) οι αναλυτές διαφέρουν ως προς την πολυπλοκότητα ανάλογα με την φύση της εφαρμογής. Μπορεί να διαθέτουν αναλογικές ή ψηφιακές εξόδους που δίνουν σήμα ή εντολές σε άλλους εξοπλισμούς (π.χ. αεριστήρες, αντλίες κλπ).

Στις περιπτώσεις που σκοπός είναι η επεξεργασία δεδομένων της διεργασίας για αυτόματο έλεγχο, οι αναλυτές θα πρέπει να διαθέτουν ψηφιακούς Η/Υ ή συστήματα τηλεμετρίας. Η αξιοπιστία και η σταθερότητα αυτών των συστημάτων, ιδιαίτερα η έξοδος των δεδομένων, πρέπει να είναι υψηλή.

3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός συστήματος μέτρησης ποιοτικών χαρακτηριστικών σε υγρά απόβλητα και νερό, τα οποία έχουν εφαρμογή γενικότερα και σε άλλα συστήματα συνεχούς μέτρησης είναι:

Εύρος μέτρησης	Υλικό κατασκευής
Αξιοπιστία	Ηλεκτρολογική ασφάλεια
Απόδοση	Κόστος προμήθειας και λειτουργίας

Πέρα από τα παραπάνω χαρακτηριστικά σημαντικό ρόλο για την καλή και αξιόπιστη λειτουργία ενός συστήματος συνεχούς μέτρησης παίζει το σημείο δειγματοληψίας και ο τρόπος δειγματοληψίας. Επίσης η προεπεξεργασία του δείγματος πριν την εισαγωγή του στον αναλυτή, δεν θα πρέπει να αλλοιώνει τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του. Μία άλλη παράμετρος που επηρεάζει την αξιοπιστία της μέτρησης είναι οι παρεμβολές άλλων παραμέτρων ως προς την μετρούμενη τιμή. Ειδικά όταν γίνεται μέτρηση για τον έλεγχο ως προς καθορισμένες προδιαγραφές, οι γνωστές παρεμβολές δεν θα πρέπει να ξεπερνούν το 5% της πραγματικά μετρούμενης τιμής. Είναι προφανές ότι η μέθοδος μέτρησης της παραμέτρου θα πρέπει να είναι σύμφωνη με ένα διεθνές πρότυπο όπως ISO, DIN κλπ. Η περιοδική βαθμονόμηση και η ποιότητα των χρησιμοποιούμενων αντιδραστηρίων συμβάλουν σε σημαντικό βαθμό στην αξιοπιστία της μέτρησης.

4. ΝΕΩΤΕΡΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ON-LINE ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί τεχνικές για τη συνεχή μέτρηση της ποιότητας του νερού ή των αποβλήτων που ξεφεύγουν από τις κλασικές ηλεκτροχημικές ή χρωματομετρικές μεθόδους. Έχουν αναπτυχθεί νέου τύπου αισθητήρες, που είναι στην ουσία φασματοφωτόμετρα τα οποία έρχονται κατευθείαν σε επαφή με το δείγμα, έχουν μικρούς χρόνους απόκρισης, πραγματοποιούν μεγάλο αριθμό μετρήσεων, δεν χρησιμοποιούν χημικά αντιδραστήρια και δεν απαιτούν προετοιμασία του δείγματος. Έχουν εφαρμογή στη μέτρηση του οργανικού φορτίου και των νιτρικών ιόντων.

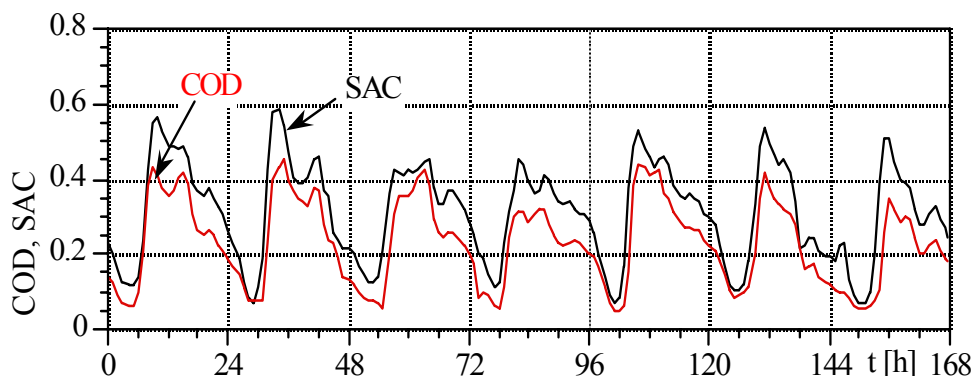
Πρόσφατα έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται και η μέτρηση της τοξικότητας σε αναλυτές συνεχούς μέτρησης. Σαν δείκτες χρησιμοποιούνται Darphnia ή μικροοργανισμοί που εκπέμπουν φωταύγεια. Τα όργανα είναι αρκετά σύνθετα, αλλά έχουν μεγάλη ευαισθησία σε μικρές συγκεντρώσεις ρυπαντών, που δύσκολα ανιχνεύονται σε αναλυτές συνεχούς μέτρησης. Στη συνέχεια γίνεται μία σύντομη παρουσίαση αυτών των τεχνικών.

4.1 ΟΡΓΑΝΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ

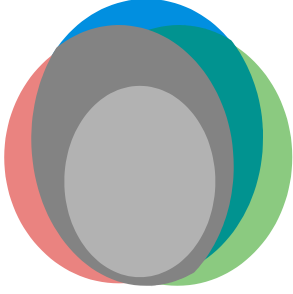
Το οργανικό φορτίο εκφράζεται ως COD, BOD ή TOC. Για τη συνεχή μέτρηση των παραμέτρων αυτών χρησιμοποιούνται αφενός on-line αναλυτές η τεχνική των οποίων μπορεί να θεωρηθεί σαν μια αυτοματοποίηση των παραδοσιακών εργαστηριακών μεθόδων δειγματοληψίας και ανάλυσης και αφετέρου αισθητήρες συνεχούς λειτουργίας οι οποίοι τοποθετούνται απευθείας στο προς μέτρηση μέσο. Η λειτουργία των αισθητήρων αυτών στηρίζεται στην μέτρηση του SAC (συντελεστής απορρόφησης στα 254nm) και το βασικό τους πλεονέκτημα είναι ότι για τη λειτουργία τους δεν απαιτείται δειγματοληψία και χημικά αντιδραστήρια ή άλλα αναλώσιμα. Η μέτρηση αυτή γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο DIN 38404.

Στον πίνακα 1 αναφέρεται για κάθε μέθοδο η μετρούμενη παράμετρος και η αρχή μέτρησης της ενώ στην τελευταία στήλη του πίνακα απεικονίζεται η συσχέτιση μεταξύ του SAC και των BOD, COD και TOC. Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα σύγκρισης μεταξύ των τιμών SAC και COD

Σχήμα 1. Σύγκριση μεταξύ SAC και COD



Πίνακας 1. Τυπικές παράμετροι για τον υπολογισμό του οργανικού φορτίου

Μέθοδος	Μετρούμενη Παράμετρος	Αρχή μέτρησης	Σύνολο παραμέτρων
BOD βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο	κατανάλωση O ₂	μικροβιακή οξειδωση	SAC 
COD χημικά απαιτούμενο οξυγόνο	κατανάλωση O ₂	υγρή- χημική οξειδωση	
TOC ολικός οργανικός άνθρακας	συγκέντρωση C	θερμική / υγρή χημική χώνευση	
SAC φασματικός συντελεστής απορρόφησης διαλυμένων οργανικών ουσιών	UV- απορρόφηση σε λ = 254 nm	μέτρηση UV απορρόφησης	

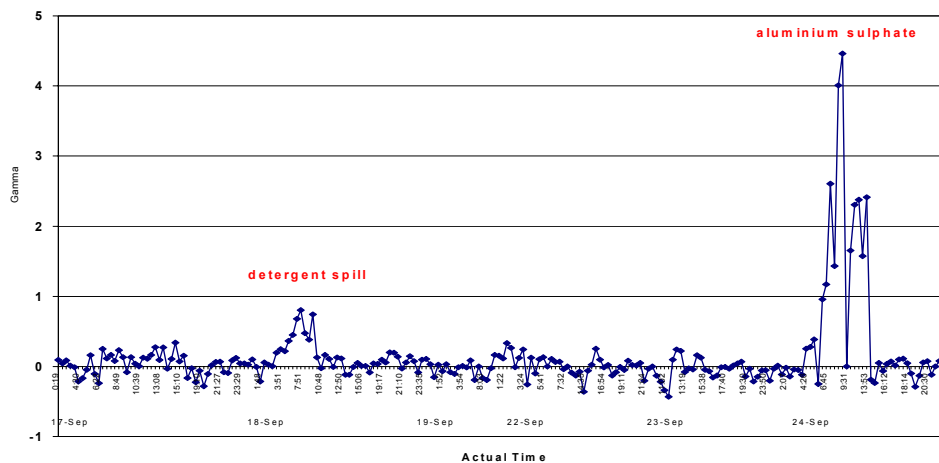
4.2 ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ

Οι χημικές αναλύσεις δεν μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τις βιολογικές επιπτώσεις των διαφόρων ρυπαντών. Οι χημικές αναλύσεις προσδιορίζουν συγκεκριμένα συστατικά, τα οποία διερευνά ο αναλυτής. Οι συνολικές επιπτώσεις των συστατικών αυτών παραμένουν άγνωστες. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια διάφορες μέθοδοι μέτρησης και εκτίμησης της τοξικότητας κατά ASTM, DIN, ISO κλπ. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός δοκιμών τοξικότητας, που έχουν αναπτυχθεί για τον έλεγχο της περιβαλλοντικής τοξικότητας των διαφόρων ουσιών και παρασκευασμάτων, εξαιτίας του μεγάλου αριθμού των ειδών και των οικοσυστημάτων που υπάρχουν. Οι μέθοδοι αυτοί μπορούν να ταξινομηθούν ως προς το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την εκτέλεση του πειράματος και ως προς το είδος των οργανισμών που χρησιμοποιούνται. Στις περιπτώσεις των ψαριών, των ποντικών και των πτηνών χρησιμοποιούνται περίοδοι δοκιμής μεταξύ 24 και 48 ωρών. Τα τελευταία χρόνια κάτω από την πίεση οικολογικών οργανώσεων και κινημάτων για την προστασία των ζώων, έχουν εκδοθεί οδηγίες και νόμοι που απαιτούν την εκτέλεση των δοκιμών τοξικότητας σε όσο πιο χαμηλές μορφές ζωής είναι δυνατόν. Έτσι, έχουν αναπτυχθεί δοκιμές τοξικότητας που χρησιμοποιούν

βακτήρια νερού που εκπέμπουν φωταύγεια όπως *vibrio fischeri*, *photobacterium fischeri* κλπ. Οι δοκιμές αυτές έχουν τυποποιηθεί σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM (D-5660), DIN (38412 Part34), ISO (11348 draft).

Η αρχή λειτουργίας των μεθόδων μέτρησης της τοξικότητας με τη χρήση βακτηρίων που εκπέμπουν βιοφωταύγεια, βασίζεται στην εκπομπή φωτός από αυτά τα βακτήρια όταν βρίσκονται σε κατάλληλο καθαρό περιβάλλον. Οι τοξικές ουσίες επηρεάζουν τις κυτταρικές δομές οι οποίες είναι θεμελιώδεις για όλους τους ζωντανούς οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου. Η βιοφωταύγεια έχει άμεση σχέση με τη ζωτικότητα, δηλαδή τη μεταβολική κατάσταση του κυττάρου. Κάθε τοξική ουσία μπορεί να προκαλέσει αλλαγές σε κυτταρικό επίπεδο όπως η κυτταρική μεμβράνη, το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρονίων, το περιεχόμενο του πρωτοπλάσματος κλπ. τα οποία έχουν άμεση αντανάκλαση στη μείωση της βιοφωταύγειας.

Σχήμα 2. Παρακολούθηση της ποιότητας πόσιμου νερού με όργανο συνεχούς μέτρησης της τοξικότητας.



Οι μετρήσεις της τοξικότητας με φορητά, εργαστηριακά ή όργανα συνεχούς μέτρησης έχουν μεγάλο πεδίο εφαρμογής. Είναι κατάλληλες για την παρακολούθηση επιφανειακών και υπόγειων νερών, ενσταλαγμάτων σε χώρους απόθεσης στερεών αποβλήτων, ποιότητας εδάφους, υγρών αποβλήτων, για τον έλεγχο χημικών παρασκευασμάτων στη βιομηχανία, κλπ.

Τα συστήματα συνεχούς μέτρησης έχουν επίσης σημαντική εφαρμογή στην παρακολούθηση της ποιότητας των επιφανειακών νερών και των υγρών αποβλήτων. Η παρακολούθηση των ποταμών είναι ένα παράδειγμα. Οι ποταμοί είναι αποδέκτες πολλών ρυπάντων (βιομηχανικά απόβλητα, γεωργική ρύπανση κλπ). Σε αρκετές περιπτώσεις το νερό των ποταμών χρησιμοποιείται για ύδρευση μεγάλων πόλεων.

Είναι σημαντικό, λοιπόν, να υπάρχει δυνατότητα έγκαιρης ανίχνευσης της εισροής τοξικών ουσιών στα διυλιστήρια νερού, πριν από την είσοδό του νερού σε αυτά και φυσικά πριν φθάσει στον καταναλωτή. Ορισμένες φορές τα ποτάμια περνούν από διάφορες χώρες. Ο συνεχής έλεγχος της ποιότητας του νερού στην είσοδο της χώρας είναι αναγκαίος, ώστε να εντοπίζονται έγκαιρα τυχόν εισροές τοξικών ουσιών (π.χ. από ατυχήματα, κακόβουλες ενέργειες, πόλεμοι, τρομοκρατικές ενέργειες), πριν εισέλθουν στην χώρα, ώστε να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα - εάν είναι δυνατόν - ή να ειδοποιηθούν οι χρήστες του νερού για την ακαταλληλότητά του. Αντίστοιχες εφαρμογές υπάρχουν και στην παρακολούθηση των υπόγειων νερών (έλεγχος για εισροή φυτοφαρμάκων, τοξικών ουσιών μετά από ατυχήματα κλπ).

Η παρακολούθηση της εισόδου βιολογικών καθαρισμών, για την προστασία της βιομάζας από τοξικά σοκ, και της εξόδου για την προστασία του αποδέκτη από την απόρριψη των αποβλήτων, είναι ένα ακόμα παράδειγμα της εφαρμογής της μέτρησης της τοξικότητας. Επίσης, ο έλεγχος της εξόδου επεξεργασμένων βιομηχανικών αποβλήτων πριν από την είσοδό τους σε βιολογικούς καθαρισμούς αστικών λυμάτων, εάν γίνεται συνδυασμένη επεξεργασία.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή on-line αναλυτών για τη συνεχή μέτρηση νιτρικών, αμμωνιακών, οργανικού φορτίου, τοξικότητας και άλλων παραμέτρων είναι συνήθως τα τελευταία χρόνια στις περισσότερες μονάδες κατεργασίας νερού και αποβλήτων. Οι παραπάνω αναλυτές χρησιμοποιούνται όχι μόνο για την μέτρηση – καταγραφή της συγκεντρώσεως της παραμέτρου που ενδιαφέρει, αλλά πολύ περισσότερο και ως ρυθμιστές της λειτουργίας των διαφόρων διεργασιών (π.χ ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση αντλιών, δειγματοληπτών κ.α).

Οι σύγχρονες απαιτήσεις για αξιοπιστία και καλύτερη ακρίβεια των μετρήσεων, χαμηλού κόστους λειτουργία και συντήρηση κ.α. καλύπτονται στο μέγιστο δυνατό βαθμό.

Η χρήση προτύπων μεθόδων μέτρησης σε συνδυασμό με τους μικρούς χρόνους απόκρισης καθιστά τους αισθητήρες συνεχούς μέτρησης ως τους πλέον κατάλληλους για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού και για τον έλεγχο διεργασιών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Jim Pickering, Colin Genner and Patrick Keller 'Airport surface water runoff: applications for on-line BOD analysis'
2. Standard Guide for Continual On-Line Monitoring Systems for Water Analysis, ASTM D 3864-79 (Reapproved 1990)

3. M. Thomann, L. Rieger et al. "A monitoring concept for on line sensors", World Water Congress, Efficient Water Management, Berlin 15-19/10/2001
4. Vandenberghe V. et al "Detection of the most optimal measuring points for water quality variables: application to river water quality model of the river Dender in WSWAT" , World Water Congress, Efficient Water Management, Berlin 15-19/10/2001
5. RERRY's Chemical Engineers' Handbook
6. Α. Πατρώνας "Μέτρηση της τοξικότητας: Νέες τεχνικές με βακτήρια που εκπέμπουν βιοφωταύγεια", Δελτίο Πανελληνίου Συλλόγου Χημικών Μηχανικών.
7. Βιοδοκιμές τοξικότητας στα εργαστήρια της ΕΥΔΑΠ, Δ. Κορωνάκης, ΕΥΔΑΠ Πηγή Ενημέρωσης,, Τριμηνιαία Έκδοση Δημοσίων Σχέσεων της ΕΥΔΑΠ, Δεκέμβριος