

Η ΠΡΑΣΙΝΗ ΧΗΜΕΙΑ ΣΤΗ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Κ. Χατζηαντωνίου- Μαρούλη¹, Σ. Καραστογιάννη²

¹ Επίκ. Καθηγήτρια, Τμήμα Χημείας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54006 Θεσσαλονίκη, E-mail: conm@chem.auth.gr

² Τμήμα Χημείας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54006 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η σύγχρονη οδυνηρή πραγματικότητα (ρύπανση υδάτων, διοξίνες, ερημοποίηση και άλλα) επιτάσσει την εισαγωγή αλλά και την εφαρμογή των αρχών της πράσινης χημείας, ώστε να παράγονται μη τοξικά προϊόντα, που δεν καταστρέφουν το περιβάλλον και δεν επηρεάζουν την υγεία του ανθρώπου. Η Πράσινη Χημεία στη Χημική Ανάλυση είναι αναγκαία και χρήσιμη, διότι λαμβάνει υπόψη της:

- την απαλοιφή ή τη σημαντική μείωση της κατανάλωσης των αντιδραστηρίων, ιδιαίτερα δε των οργανικών διαλυτών, που χρησιμοποιούνται στις αναλυτικές διαδικασίες,
- τη μείωση των εκπομπών ατμών και αερίων καθώς και των υγρών και στερεών αποβλήτων, που παράγονται στα αναλυτικά εργαστήρια,
- την απαλοιφή αντιδραστηρίων με υψηλή τοξικότητα,
- τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας αποτελεί η μελέτη της εφαρμογής των δώδεκα αρχών της πράσινης χημείας στη χημική ανάλυση για την πρόληψη της ρύπανσης του περιβάλλοντος και την αποφυγή ατυχημάτων από επικίνδυνες χημικές ουσίες.

GREEN CHEMISTRY IN CHEMICAL ANALYSIS

Chatziantoniou K.¹, Karastogianni S.²

¹ Assist. Professor, Department of chemistry, Aristotele University of Thessaloniki, 54622, Greece, E-mail: conm@chem.auth.gr

² Department of chemistry, Aristotele University of Thessaloniki, 54622, Greece

ABSTRACT

The painful reality (pollution of water, dioxins) introduces the necessity to use the twelve principles of Green Chemistry in a way that reassures that there isn't any formation of non toxic compounds, which destroy human health and environment, in chemical procedures. Green Chemistry in Chemical analysis is useful and necessary because it takes into accounts the reduction or significant elucidation of the amount of reactants particularly the organic solvents that are used in the analytical procedures, the reduction of energy consumption, the reduction of gases or vapors and solid or liquid wastes that are produced in analytical laboratories, the reduction of toxic reactants. In this work we attempt to study the connection of Green Chemistry with Chemical Analysis in order to prevent pollution of the environment and accidents that could happen during an analytical process due to the presence of dangerous chemical compounds.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξέλιξη της Χημείας ανά τους αιώνες φανερώνει τη βαθμιαία ανάπτυξη χημικών τεχνικών, που είναι απαραίτητες για την παραγωγή διαφόρων χημικών ουσιών με τελικό στόχο τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου της ανθρωπότητας. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη μετάβαση από την εποχή, στην οποία η οικονομία μιας κοινωνίας βασίζονταν στην αγροτική παραγωγή, σε καιρούς κατά τους οποίους η βιομηχανική παραγωγή αποτελεί βασική παράμετρο της ευημερίας ενός κράτους.

Όπως είναι γνωστό, η έρευνα εστίαζε το ενδιαφέρον της αφενός μεν στη βελτίωση της ποιότητας των φυσικών προϊόντων, αφετέρου στο μετασχηματισμό τους σε άλλα προϊόντα με καλύτερες ιδιότητες από τα αρχικά, αλλά ακόμη και στη σύνθεση νέων προϊόντων. Τα αποτελέσματα της έρευνας εφαρμόστηκαν στη χημική βιομηχανία. Η αλόγιστη χρήση όμως όλων αυτών των καταναλωτικών αγαθών έφερε προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου και το περιβάλλον, εξαιτίας της τοξικότητάς τους.

Κύριος στόχος αποτελούσε πάντα η παραγωγή ολοένα και μεγαλύτερων ποσοτήτων χημικών (λιπάσματα, χρωστικές, φυτοφάρμακα, διάφορα είδη πλαστικών και άλλα), συσσωρεύτηκαν μεγάλες ποσότητες χημικών ουσιών, που καταστρέψανε την ποιότητα του εδάφους, του νερού και του ατμοσφαιρικού αέρα, με αποτέλεσμα η αποκατάσταση να είναι μακροχρόνια και σε πολλές περιπτώσεις ακόμη και αδύνατη. Ενώσεις όπως τα οξείδια του αζώτου, το διοξείδιο του θείου, το κοβάλτιο, οι οργανικές πτητικές ενώσεις ρυπαίνουν το περιβάλλον. Ακόμη πιο επικίνδυνες είναι οι αλληλεπιδράσεις των διαφόρων ρύπων, που παράγουν επικίνδυνες χημικές ενώσεις για το περιβάλλον. Για παράδειγμα η αλληλεπίδραση του SO₂ με μεταλλικά αερολύματα έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό SO₃, το οποίο όταν αντιδρά με το H₂O παράγει θειικό οξύ και κατά αυτόν τον τρόπο κάνει την εμφάνισή της η όξινη βροχή καταστρέφοντας ιστορικά μνημεία και δάση. Η ανάγκη, λοιπόν να υπάρξει συνεχής έλεγχος της ρύπανσης του περιβάλλοντος για την εύρεση του βαθμού ρύπανσης και τη φύση του ρύπου είναι επιτακτική. Η Πράσινη Χημεία οδεύει προς την κατεύθυνση αυτή.

Ο ορισμός που δόθηκε για την Πράσινη Χημεία και οι δώδεκα αρχές της δείχνουν τον προσανατολισμό [1], [2], [3]: “**Είναι η Χημεία, που παράγει μη τοξικά προϊόντα με διαδικασίες, οι οποίες δεν καταστρέφουν το περιβάλλον και την υγεία του ανθρώπου. Χρησιμοποιεί δραστηριότητες, που περιλαμβάνουν το σχεδιασμό για την παραγωγή, την ανάλυση, τη χρήση και διάθεση με στόχο την αποφυγή του κινδύνου παραγωγής και χρήσης επικίνδυνων ουσιών**”. Οι δώδεκα αρχές της Πράσινης χημείας είναι οι εξής:

- Πρόληψη
- Οικονομία ατόμου
- Λιγότερες και λιγότερο επικίνδυνες χημικές ουσίες
- Σχεδιασμός ασφαλέστερων χημικών προϊόντων
- Σχεδιασμός ασφαλέστερων διαλυτών και βοηθητικών μέσων
- Σχεδιασμός για ενεργειακή αποτελεσματικότητα
- Χρήση ανανεώσιμων πρώτων υλών
- Μείωση ενδιάμεσων προϊόντων (παραγώγων και παραπροϊόντων)
- Κατάλυση
- Σχεδιασμός αποικοδομίσιμων προϊόντων
- Ανάλυση πραγματικού χρόνου για την πρόληψη της ρύπανσης
- Πρόληψη χημικού ατυχήματος

2. ΝΕΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ

Η ισχύουσα νομοθεσία αποτελεί σημαντικό οδηγό για την αλλαγή στην προσέγγιση της διάθεσης των αποβλήτων των βιομηχανιών και της αντιμετώπισης της ρύπανσης, διότι επιβάλλει σημαντικά πρόστιμα και μεταβάλλει την αποτελεσματικότητα και το κόστος παραγωγής. Σ' όλη αυτή την κατάσταση έρχονται να προστεθούν και οι πιέσεις από την κοινωνία, που απορρέουν από τη φτωχή εικόνα των βιομηχανιών από τη μια και τον πολλές φορές δικαιολογημένο φόβο του κοινού για τις χημικές ουσίες από την άλλη. Έτσι, η οικονομία, το περιβάλλον και η κοινωνική παροχή, τα τρία βασικά συστατικά της Βιώσιμης Ανάπτυξης παρέχουν τις κινητήριες δυνάμεις για μια καινούρια προσέγγιση στην πρόληψη της ρύπανσης κι είναι αρωγοί στην προώθηση της εφαρμογής των αρχών της Πράσινης Χημείας, Εκτός αυτού υπάρχει και η νέα Ευρωπαϊκή Νομοθεσία για τις χημικές ουσίες (Registration, evaluation and Authorization of Chemicals, REACH) [4], [5]. Η νομοθεσία αυτή εισάγει την Καταχώριση, Αξιολόγηση και Αδειοδότηση των χημικών στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ώστε να αναπτυχθούν οι στόχοι της Αειφόρου Ανάπτυξης και της Βιωσιμότητας. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχονται οι χημικές ουσίες σε όλο τον κύκλο ζωής τους κι αναγκάζονται οι φορείς να διεξάγουν δοκιμές σε έναν πρωτοφανή αριθμό ουσιών, με αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους παραγωγής. Κάποιες από τις αρχές του κανονισμού αναφέρονται πιο κάτω:

- Εφαρμογή της αρχής της προφύλαξης στα στάδια παραγωγής, εισαγωγής, μεταποίησης, διακίνησης, χρήσης και εναπόθεσης των χημικών
 - Μετάθεση της ευθύνης στη βιομηχανία για τη διάθεση ασφαλών χημικών προϊόντων στην αγορά
 - Περιορισμοί και απαγορεύσεις ουσιών υψηλής ανησυχίας.
- Όλα τα παραπάνω φαίνονται συγκεντρωτικά και στο σχήμα 1 [6].

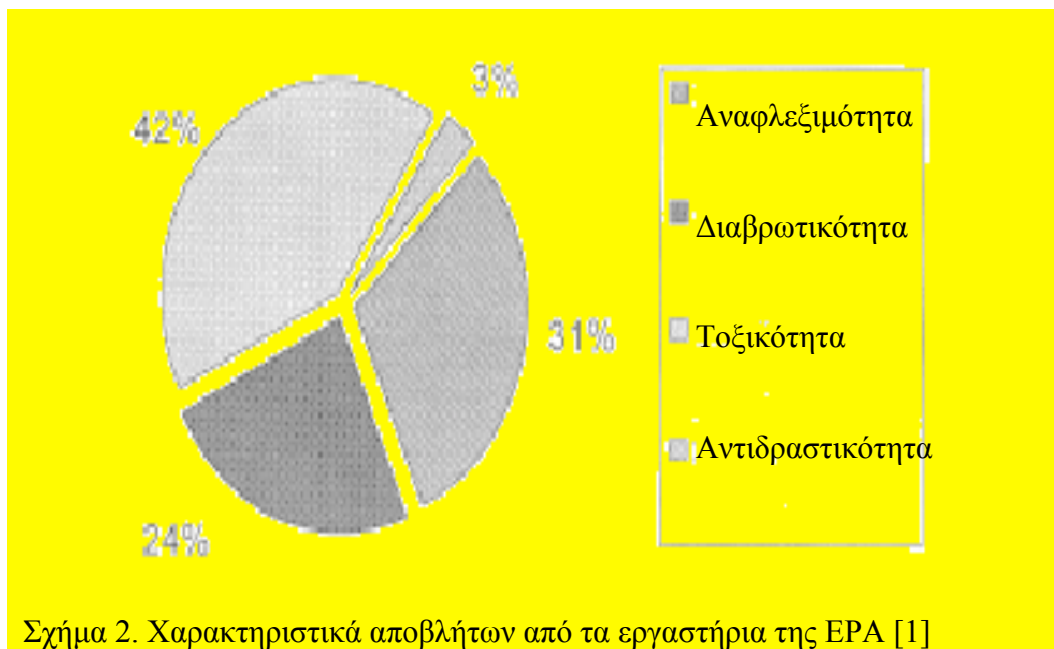


3. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ [1]

Η Αναλυτική Χημεία υπήρξε στο επίκεντρο του περιβαλλοντικού κινήματος από τη δεκαετία του '70. Οι δραστηριότητες της προστασίας του περιβάλλοντος έχουν συνδεθεί με τις εξελίξεις και την πρόοδο της Αναλυτικής Χημείας. Σημαντικά ζητήματα όπως η μείωση της στιβάδας του όζοντος, η ατμοσφαιρική ρύπανση από τα SO_x και NO_x προσδιορίστηκαν εξαιτίας της ανάπτυξης στον τομέα της Αναλυτικής Χημείας. Ο χαρακτηρισμός και η κατανόηση της τύχης των χημικών ουσιών και των μεταβολιτών τους καθώς ταξιδεύουν από μέσο σε μέσο πραγματοποιήθηκε εξαιτίας της ανάπτυξης σύγχρονων τεχνικών στην Αναλυτική Χημεία.

4. Η ΠΡΑΣΙΝΗ ΧΗΜΕΙΑ ΣΤΗ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Μεγάλες ποσότητες επικίνδυνων ουσιών παράγονται και χρησιμοποιούνται στον κύκλο ζωής μιας χημικής ανάλυσης, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2 από τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων των εργαστηρίων της EPA [1].



Λύση φαίνεται να δίνει η εφαρμογή της Πράσινης Χημείας στη Χημική Ανάλυση. Οι αρχές της Πράσινης Χημείας, που διατυπώνουν τα κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα του πράσινου χαρακτήρα της αναλυτικής χημείας είναι οι εξής:

- Μείωση της εκπομπής των ατμών, αερίων, υγρών και στερεών αποβλήτων που παράγονται στα αναλυτικά εργαστήρια
- Απαλοιφή αντιδραστηρίων με υψηλή τοξικότητα από τις αναλυτικές διαδικασίες
- Μείωση της εργασίας και κατανάλωση ενέργειας στις αναλυτικές διαδικασίες
- Μείωση του κόστους της αναλυτικής διαδικασίας.

Η εφαρμογή των αρχών της Πράσινης Χημείας στη Χημική Ανάλυση μπορεί να ενταχθεί αρχικά στην ανάπτυξη μιας αναλυτικής μεθοδολογίας. Συνήθως, η ανάπτυξη αναλυτικών μεθοδολογιών περιλαμβάνει :

- Το κόστος της ανάλυσης

- Την αποδοτικότητα
- Την αύξηση της ταχύτητας εισαγωγής δείγματος
- Την ακρίβεια
- Την επαναληψιμότητα
- Την ευαισθησία

Αν το κίνητρο για παράδειγμα για την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας είναι η αύξηση της εκλεκτικότητας, τα κριτήρια απόδοσης θα αφορούν την εκλεκτικότητα. Κατά αυτόν τρόπο κρίνεται απαραίτητο να αναγνωριστεί η περιβαλλοντική επίδραση κι ο βαθμός στον οποίο μια νέα αναλυτική μεθοδολογία αποτρέπει τη ρύπανση, να αποτελούν κριτήρια απόδοσης της μεθόδου

Μια ακόμη σημαντική πτυχή της Πράσινης Χημείας βρίσκεται στον τομέα της αναλυτικής διαδικασίας. Ιστορικά, η εφαρμογή της περιβαλλοντικής ανάλυσης στόχευε στη μέτρηση και το χαρακτηρισμό των περιβαλλοντικών προβλημάτων μετά τη δημιουργία τους. Σήμερα εστιάζει στη χρήση της τεχνολογίας και της εμπειρίας, που προκύπτει από την αναλυτική διαδικασία για την αποτροπή της ρύπανσης στην πηγή [1].

Η αρχή της Πράσινης Χημείας, που αναφέρεται στην ανάπτυξη και χρήση αναλύσεων πραγματικού χρόνου καταδεικνύει τον πράσινο χαρακτήρα της Χημικής ανάλυσης. Έτσι, ο στόχος της Χημικής ανάλυσης είναι η ανάπτυξη μεθοδολογιών οι οποίες επιτρέπουν την παρακολούθηση και τον έλεγχο σχηματισμού επικίνδυνων ουσιών σε όλη τη διαδικασία της Χημικής επεξεργασίας. Παράδειγμα τέτοιου αποτελούν οι αισθητήρες διαδικασίας, των οποίων οι χρήστες μπορούν να ανιχνεύσουν το σχηματισμό μιας επικίνδυνης ουσίας, με τέτοιο τρόπο που να επιτρέπεται η παύση της παραγωγής σε επίπεδα ιχνών.

5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΡΧΩΝ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΕ ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ [2]

Ένας από τους στόχους της Πράσινης Χημείας, είναι η απαλοιφή αντιδραστηρίων και διαλυτών στο αναλυτικό εργαστήριο. Για να επιτευχθεί αυτό, συνήθως χρησιμοποιούνται οι άμεσες αναλυτικές τεχνικές, οι οποίες επιτρέπουν τον προσδιορισμό ουσιών χωρίς προκατεργασία του δείγματος. Παραδείγματα τέτοιων τεχνικών αποτελούν οι ηλεκτροχημικές μέθοδοι, η φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης με φούρνο θερμαινόμενου γραφίτη (GF-AAS), η φασματοσκοπία ατομικής εκπομπής με επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα (ICP-AES), τεχνικές ανάλυσης επιφανειών (SEM).

Η Πράσινη Χημεία στοχεύει στην μείωση των χρησιμοποιούμενων ποσοτήτων αντιδραστηρίων από τις αναλυτικές διαδικασίες. Αυτό μπορεί να γίνει με τη μείωση του όγκου των δειγμάτων, οπότε γίνεται οικονομία, διότι χρησιμοποιείται λιγότερη ποσότητα αντιδραστηρίων. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται η ποσότητα των διαλυμάτων, που εν δυνάμει περιέχουν επιβλαβή αντιδραστήρια στα συστήματα συλλογής αποβλήτων, μειώνεται η ανάγκη κατεργασίας αντιδραστηρίων και δε χρησιμοποιούνται συντηρητικά για τη σταθεροποίηση των δειγμάτων κατά τη μεταφορά κι αποθήκευσή τους. Μερικές από τις τεχνικές που υιοθετούν αυτή την αρχή της Πράσινης Χημείας είναι εκείνες, που χρησιμοποιούν chip και microchip στα αναλυτικά όργανα (laboratory on chip), η χρήση ανοσοανάλυσης (IMA), η χρήση ραδιοανοσοανάλυσης (RIA), η χρήση ενζυμικής ανοσοανάλυσης (EIA). Το ίδιο αποτέλεσμα μπορεί να έχει η διεξαγωγή της ανάλυσης στο σημείο της δειγματοληψίας (in-situ), η οποία επιτρέπει την εξαγωγή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. Για να γίνει αυτό, μπορούν να εφαρμοστούν οι ξηρές τεχνικές προκατεργασίας δειγμάτων. Έτσι, για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθούν οι υψηλής θερμοκρασίας κατάλυτικές τεχνικές οξειδωσης αναγωγής της προσδιοριζόμενης ουσίας .

6. ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά μερικές από τις αναλυτικές τεχνικές, οι οποίες έχουν πράσινο χαρακτήρα:

- Στερεάς φάσης εκχύλιση
- Εκχύλιση ρευστών υπό πίεση
- Μικρο- εκχύλιση υγρού- υγρού
- Ανοσοαναλυτικές τεχνικές εκχύλιση υπερήχων
- Μικρο- εκχύλιση στερεάς φάσης
- Φθορισμός ακτίνων X για πολυστοιχειακή ανάλυση
- Υπερκρίσιμη εκχύλιση υγρών
- Αυτοματοποιημένη εκχύλιση Soxhlet
- Εισαγωγή μεμβρανών στη φασματοσκοπία μαζών

7. ΠΡΑΣΙΝΕΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

Παραδείγματα αναλυτικών προσεγγίσεων αποτελούν οι παρακάτω μέθοδοι:

A. Ανάλυση πεδίου (field analysis)[2]

Στην περίπτωση αυτή το δείγμα συλλέγεται και αναλύεται σε ένα απομακρυσμένο σημείο από το εργαστήριο. Οι τεχνικές αυτές, π.χ η XRF, παρουσιάζουν χαμηλό κόστος, επιτρέπουν την πλήρη ανάλυση και συλλογή δεδομένων στο σημείο της δειγματοληψίας με ελάχιστη ή καμιά χρήση επικίνδυνων ουσιών.

B. Screening [2]

Χρησιμοποιείται στην ανάπτυξη μεθόδων που στηρίζονται στη στατιστική ανάλυση και χημειομετρία. Οι τεχνικές αυτές μειώνουν τον αριθμό των δειγμάτων, το χρόνο της ανάλυσης, το κόστος και την περιβαλλοντική ζημιά από την απόθεση, χρήση και απελευθέρωση επικίνδυνων ουσιών.

Γ. Μέθοδοι διάλυσης [2]

Πολλές μεθοδολογίες απαιτούν τη διάλυση πρότυπων διαλυμάτων και δειγμάτων, που συχνά έχουν πολύ χαμηλή συγκέντρωση των προσδιοριζόμενων συστατικών. Έτσι, απαιτείται αραίωση σε μεγάλα ποσά διαλύτη. Εξαιτίας των ανθρώπινων περιορισμών σχετικά με τις πολύ μικρές ποσότητες, χρησιμοποιούνται πολλές φορές μεγάλα ποσά είτε πρότυπων διαλυμάτων είτε δειγμάτων, που είναι συχνά τάξεις μεγέθους μεγαλύτερα στον όγκο από αυτόν που απαιτείται, με αποτέλεσμα την ιδιαίτερα μεγάλη παραγωγή αποβλήτων. Εναλλακτική λύση αποτελεί η αυτοματοποιημένη διάλυση. Οι αυτοματοποιημένες διαλύσεις δίνουν εξαιρετικά αραιά διαλύματα σε πολύ μικρές ποσότητες.

Δ. Ανάλυση Πραγματικού Χρόνου με τη βοήθεια της ηλεκτροχημικής παρακολούθησης [7]

Η απόδοση μιας ηλεκτροχημικής μέτρησης εξαρτάται από το υλικό του ηλεκτροδίου, που χρησιμοποιείται. Ο υδράργυρος αποτελούσε το κύριο υλικό των ηλεκτροδίων, διότι παρουσιάζει πολύ καλή συμπεριφορά και η επιφάνειά του είναι εξαιρετικά λεία

και ανανεώνεται εύκολα. Ο υδράργυρος όμως παρουσιάζει υψηλή τοξικότητα, για αυτό προτιμώνται εναλλακτικά ηλεκτρόδια. Τα ηλεκτρόδια φιλμ βισμούθιου παρέχουν αξιόπιστες μετρήσεις για τον προσδιορισμό ιχνοστοιχείων. Το βισμούθιο είναι στοιχείο με χαμηλή τοξικότητα. Τα ηλεκτρόδια άνθρακα είναι φιλικά προς το περιβάλλον και χρησιμοποιούνται στην ηλεκτροανάλυση εξαιτίας του χαμηλού ρεύματος υποβάθρου, του μεγάλου εύρους δυναμικού, του χαμηλού κόστους τους και της ευκολίας με την οποία χρησιμοποιούνται σε βιοαισθητήρες. Η πιο σύγχρονη τάση είναι η χρήση ηλεκτροδίων με διαστάσεις μικρών, οι οποίοι έχουν το πλεονέκτημα της μειωμένης κατανάλωσης δείγματος. Οι προχωρημένες τεχνικές μικροκατασκευής επιτρέπουν την αντικατάσταση των συμβατικών ηλεκτροδίων και ηλεκτροχημικών κυψελών με εύκολους σε χρήση αισθητήρες. Οι αισθητήρες αυτοί χρησιμοποιούν ηλεκτρόδια αναφοράς σε πλαστικό ή από σιλικόνη υπόστρωμα. Το ενδιαφέρον της βιομηχανίας αλλά και της πρόληψης ρύπανσης για τους αισθητήρες πηγάζει από την ανάγκη για γρήγορες, φτηνές, απλές και ευαίσθητες τεχνικές παρακολούθησης. Η ικανότητα της εκλεκτικότητας επιτρέπει τον προσδιορισμό ουσιών στόχων σε πραγματικά δείγματα χωρίς προκατεργασία.

E. ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ ΣΤΗ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ [8]

Η μικροκυματική χημεία χρησιμοποιείται στην ανάλυση στις παρακάτω διαδικασίες:

- Αποτέφρωση
- Πυρόλυση
- Πέψη
- Εκχύλιση
- Υδρόλυση πρωτεϊνών
- Προσδιορισμό της υγρασίας στα στερεά

ΣΤ. ΑΕΡΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ [9]

Στην αέρια χρωματογραφία υπάρχει η τάση να ενσωματωθούν οι αρχές της Πράσινης Χημείας. Έτσι, γίνεται χρήση των άμεσων χρωματογραφικών τεχνικών, που επιτρέπουν τον προσδιορισμό ενώσεων σε ένα δείγμα χωρίς προκατεργασία. Υπάρχει προσπάθεια ελάττωσης της χρήσης των διαλυτών σε όλα τα στάδια της ανάλυσης, για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται τεχνικές που χρησιμοποιούν αέρια ή υπερκρίσιμα ρευστά στην εκχύλιση διαφόρων ενώσεων. Οι λειτουργίες διεξάγονται σε ερμητικά κλειστά συστήματα. Είναι σημαντικό να μειώνονται οι παρεμποδίσεις υποστρώματος, η ανάγκη για επανάληψη της ανάλυσης και ο χρόνος της χρωματογραφικής δοκιμής. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται συζευγμένες τεχνικές με σκοπό την ολοκλήρωση των σταδίων της αναλυτικής διαδικασίας. Η σύζευξη της αέριας χρωματογραφίας με τη φασματοσκοπία μαζών επιτρέπει την πραγματοποίηση της ταυτοποίηση στο ίδιο στάδιο με την ανάλυση. Η αέρια χρωματογραφία είναι γνωστό ότι παρέχει μεγάλη βελτίωση στην ταχύτητα των διαχωρισμών. Τα κύρια στάδια ενός γρήγορου διαχωρισμού είναι η μείωση της εσωτερικής διαμέτρου του τριχοειδή της στήλης, ο γρήγορος προγραμματισμός της θερμοκρασίας, η τυρβώδης ροή και άλλα. Τέλος, η χρήση μικροτριχοειδών στηλών βελτιώνει κατά πολύ την ταχύτητα των διαχωρισμών και κατά συνέπεια ικανοποιεί την ανάγκη της πράσινης χημείας για οικονομία χρόνου και χρήματος.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι αρχές της Πράσινης Χημείας πρέπει να εφαρμόζονται σε κάθε τομέα της χημείας και ειδικά στη Χημική Ανάλυση, σκοπός της οποίας είναι η ανάπτυξη καινούριων μεθοδολογιών. Με γνώμονα την Πράσινη Χημεία, η Χημική Ανάλυση γίνεται φιλικότερη στο περιβάλλον και ταυτόχρονα ελαχιστοποιούνται οι κίνδυνοι ατυχήματος και οι βλαβερές συνέπειες των επικίνδυνων χημικών ουσιών στους ζώντες οργανισμούς και το περιβάλλον. Η Πράσινη Χημεία δίνει τη δυνατότητα στη Χημική Ανάλυση να προβλέπει την ύπαρξη ρύπανσης και να την αποτρέπει από την πηγή της, ώστε με αυτό τον τρόπο να αποτελεί χρήσιμο εργαλείο στην περιβαλλοντική ανάλυση. Η εφαρμογή των αρχών της Πράσινης Χημείας στη Χημική Ανάλυση έχει ως αποτέλεσμα οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται να είναι οικονομικότερες. Από την άλλη η βιομηχανίες, που υιοθετούν αυτή τη φιλοσοφία, αποκτούν αξιοπιστία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. P. T. Anastas, *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 1999, **29**, 167-175
2. P. T. Anastas, M. M. Kirchoff, *Acc. Chem. Res.*, 2002, **35**, 686-694
3. P. T. Anastas, J. C. Warner (1998) 'Green Chemistry : Theory and Practice', Oxford University Press, pp 30
4. <http://europa.eu.int/comm/environment/chemical/reach.htm>
5. Χημικά Χρονικά, 2007, **4(69)**,11
6. J. H. Clark, *Green Chem.*, 2006, **8**, 17-21
7. J. Wang, *Acc. Chem. Res.*, 2002,**35**, 811-816
8. Evalueserve, Development in microwave Chemistry, 2005 (<http://www.rsc.org./images/evalueserve-tcm18-1685.pdf>)
9. W. Wardencki, J. Namiesnik, P. J. *Envir. S.*, 2002, **11** (2), 185-187