

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΒΑΛΑΒΑΝΙΔΗΣ

ΚΑΙ

ΘΩΜΑΙΣ ΒΛΑΧΟΓΙΑΝΝΗ

ΠΡΑΣΙΝΗ ΧΗΜΕΙΑ

ΚΑΙ

ΠΡΑΣΙΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

**Από την Θεωρία στην Πράξη
για την Προστασία του Περιβάλλοντος
και την Αειφόρο Ανάπτυξη**



**Εκδόσεις ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΘΕΜΑΤΑ,
Μη Κερδοσκοπική Εκδοτική Εταιρεία**

Αθανάσιος Βαλαβανίδης και Θωμαΐς Βλαχογιάννη
ΠΡΑΣΙΝΗ ΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΠΡΑΣΙΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

**Από την Θεωρία στην Πράξη για την Προστασία του Περιβάλλοντος
και την Αειφόρο Ανάπτυξη**

Πράσινη Χημεία είναι μία νέα φιλοσοφία για την επιστήμη της Χημείας με σκοπό την αειφόρο ανάπτυξη και την προστασία του περιβάλλοντος. Στο βιβλίο αυτό αναπτύσσονται οι αρχές της Πράσινης Χημείας, τεχνικές και χημικές μεθοδολογίες που επιτρέπουν την καλύτερη χρήση των χημικών ουσιών και την παρασκευή χημικών προϊόντων που δεν θα είναι επικίνδυνα για το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Παράλληλα υπάρχει και η Πράσινη Μηχανική (Τεχνολογία) που διαχειρίζεται θέματα τεχνολογίας. Συγχρόνως Πράσινη Χημεία σημαίνει μειωμένη χρήση ενέργειας, ανακύκλωση υπολειμμάτων, υγιεινή και ασφάλεια στο εργασιακό περιβάλλον. Οι αρχές της Πράσινης Τεχνολογίας διέπονται από παρόμοιες αρχές και πρακτικές που εξασφαλίζουν οικονομία υλικών και ενέργειας, υλικά που ανακυκλώνονται, τεχνολογικές εφαρμογές με προσανατολισμό στην προστασία του περιβάλλοντος και του καταναλωτή. Στο βιβλίο αυτό περιλαμβάνονται οι τελευταίες πράσινες χημικές τεχνικές και πράσινες τεχνολογικές επιτεύξεις στους τομείς των προϊόντων της καθημερινής ζωής αλλά και άλλων τεχνολογικών εφαρμογών



Αθανάσιος Βαλαβανίδης, καθηγητής του Τμήματος Χημείας, του Πανεπιστημίου Αθηνών

Δρ. Θωμαΐς Βλαχογιάννη διδάκτωρ του Πανεπιστημίου Αθηνών (2007) σε θέματα οικοτοξικολογικών ερευνών και περιβάλλοντος. Υπεύθυνη επιστημονικών προγραμμάτων προστασίας του περιβάλλοντος στην ΜΚΟ οργάνωση Μεσογειακό Γραφείο Πληροφόρησης για το Περιβάλλον, τον Πολιτισμό και την Αειφόρο Ανάπτυξη

Εκδόσεις ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΘΕΜΑΤΑ, Μη Κερδοσκοπική Εκδοτική Εταιρεία

Αθήνα 2012

ISBN 978-960-9695-00-8

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΒΑΛΑΒΑΝΙΔΗΣ

και

ΘΩΜΑΪΣ ΒΛΑΧΟΓΙΑΝΝΗ

ΠΡΑΣΙΝΗ ΧΗΜΕΙΑ

και

ΠΡΑΣΙΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

**Από την Θεωρία στην Πράξη για την Προστασία του
Περιβάλλοντος και την Αειφόρο Ανάπτυξη**



Εκδόσεις Σύγχρονα Θέματα
Μη κερδοσκοπική Εκδοτική Εταιρεία
ΑΘΗΝΑ 2012

.....

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΒΑΛΑΒΑΝΙΔΗΣ
και
ΘΩΜΑΪΣ ΒΛΑΧΟΓΙΑΝΝΗ

ΠΡΑΣΙΝΗ ΧΗΜΕΙΑ

και

ΠΡΑΣΙΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

**Από την Θεωρία στην Πράξη για την Προστασία
του Περιβάλλοντος και την Αειφόρο Ανάπτυξη**



Σύγχρονα Θέματα
ΑΘΗΝΑ , 2012

Βαλαβανίδης Αθανάσιος & Βλαχογιάννη Θωμαΐς

ΠΡΑΣΙΝΗ ΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΠΡΑΣΙΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Από την Θεωρία στην Πράξη για την Προστασία του Περιβάλλοντος και την Αειφόρο Ανάπτυξη

Athanasios Valavanidis and Thomais Vlachogianni

GREEN CHEMISTRY AND GREEN TECHNOLOGY

From Theory to Practice for the Protection of the Environment and Sustainable Development

ΑΘΗΝΑ 2012

© Αθανάσιος Βαλαβανίδης & Θωμαΐς Βλαχογιάννη

© Athanasios Valavanidis & Thomais Vlachogianni

Εκδοση : ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΘΕΜΑΤΑ, Μη Κερδοσκοπική Εκδοτική Εταιρεία
Βαλαωρίτου 12, ΑΘΗΝΑ 10571, τηλ. 210-3628501

Publisher: Synchrona Themata, Non-profit Publishing House
12 Valaoritou Street, 10571 Athens, Tel: 00-30-210-3628501

ISBN : 978-960-9695-00-8

Το βιβλίο αυτό δημιουργήθηκε για να είναι ελεύθερο σε ηλεκτρονική μορφή μέσω του διαδικτύου (www.chem.uoa.gr & www.chem-tox-ecotox.org).

Απαγορεύεται η αναδημοσίευση και γενικά αναπαραγωγή του παρόντος βιβλίου χωρίς την άδεια των συγγραφέων και του εκδοτικού οίκου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Πράσινη Χημεία από την δεκαετία του 1990 αποτελεί τη νέα «φιλοσοφία» για τη χημική έρευνα και την χημική τεχνολογία, ώστε να συμβαδίσουν με τις αρχές της Αειφόρου Ανάπτυξης. Η Πράσινη Χημεία και η Πράσινη Τεχνολογία είναι οι νέες τεχνολογικές κατευθύνσεις που προσπαθούν να αντιμετωπίσουν τα πολλαπλά προβλήματα της περιβαλλοντικής ρύπανσης, της αλόγιστης χρήσης πλουτοπαραγωγικών πηγών και της κλιματικής αλλαγής. Σκοπός τους είναι να ενισχύσουν τη μελλοντική Ανάπτυξη μέσα από κανόνες αειφορίας. Η Αειφόρος ή Βιώσιμη Ανάπτυξη είναι η νέα προοπτική για τον πλανήτη Γη που ευελπιστεί να κατευθύνει το μέλλον της ανθρωπότητας στην ανάπτυξη με περιβαλλοντική ευαισθησία και στροφή στις ανανεώσιμες πηγές .

Το βιβλίο αυτό έρχεται σε μια εποχή που η «πράσινη» τεχνολογία και τα πολλαπλά τεχνολογικά επιτεύγματά της έχουν γίνει μέρος της καθημερινής ζωής μας. Συγκεντρώθηκαν στα κεφάλαια του βιβλίου οι βασικές αρχές της Πράσινης Χημείας και της Πράσινης Μηχανικής (Τεχνολογία) και οι τρόποι με τους οποίους μπορούν να εφαρμοσθούν στην χημική έρευνα και τις χημικές βιομηχανίες. Εναλλακτικές μεθοδολογίες στην οργανική σύνθεση και αντικατάσταση τοξικών διαλυτών προωθούν τις αρχές της πράσινης χημείας. Η ανάλυση του κύκλου ζωής των βιομηχανικών προϊόντων και οι μεθοδολογίες προσδιορισμού της θα συμβάλει στην παραγωγή οικολογικών προϊόντων. Η αποσυναρμολόγηση και ανακύκλωση εξαρτημάτων σε τροχοφόρα, ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές είναι μία θετική εξέλιξη του οικολογικού σχεδιασμού των προϊόντων αυτών. Οι εναλλακτικές πηγές πρώτων υλών εφαρμόζονται με επιτυχία. Η βιομάζα και τα βιοϋλικά που παράγονται τις τελευταίες δεκαετίες είναι ενδιαφέρουσες εξελίξεις. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η εξοικονόμηση νερού, η βιώσιμη γεωργία και οι εφαρμογές της πράσινης χημείας στη φαρμακοβιομηχανία εξετάζονται στα διάφορα κεφάλαια και με πλούσια βιβλιογραφία καταγράφονται οι τεχνολογικές εξελίξεις.

Το βιβλίο αυτό ελπίζουμε με την πλούσια βιβλιογραφία (βιβλία, επιστημονικά άρθρα και διαδικτυακοί ιστότοποι) και εικονογράφηση να αποτελέσει χρήσιμη πηγή πληροφοριών και ιδεών για καθηγητές Μέσης Εκπαίδευσης, φοιτητές και πανεπιστημιακούς σε θέματα Πράσινης Χημείας και Πράσινης Μηχανικής (Τεχνολογίας) στην Ελλάδα.

Το βιβλίο αυτό «Πράσινη Χημεία και Πράσινη Τεχνολογία» έρχεται να καλύψει ένα σημαντικό κενό στην Ελληνική βιβλιογραφία για το θέμα της Πράσινης Χημείας και Πράσινης Μηχανικής. Εκτός από τη μετάφραση Anastas PT, Warner JC. «Πράσινη Χημεία. Θεωρία και Πράξη» από τις Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης (2007) (το οποίο είχε βιβλιογραφικές πηγές μέχρι το 1997), δεν έχει εκδοθεί βιβλίο με το θέμα αυτό στα ελληνικά.

Αθανάσιος Βαλαβανίδης & Θωμαΐς Βλαχογιάννη
Αθήνα , 2012

.....

Συνοπτικά Περιεχόμενα

1. Ιστορική Εξέλιξη για τις Αρχές και τις Εφαρμογές της Πράσινης Χημείας και της Πράσινης Μηχανικής (Τεχνολογία)	1-14
2. Πράσινη Χημεία και Τεχνολογία για την Αειφόρο Ανάπτυξη. Βασικές Αρχές και Εφαρμογές	15-42
3. Πράσινη Μηχανική (Τεχνολογία). Βασικές Αρχές και Εφαρμογές	43-58
4. Πράσινη Χημεία. Νέες Μεθοδολογίες στην Οργανική Σύνθεση και Εφαρμογές	59-78
5. Πράσινη Χημεία και Τοξικοί Οργανικοί Διαλύτες. Αντικατάσταση και Εναλλακτικές Τεχνικές και Νέες Μέθοδοι	79-90
6. Ανάλυση του Κύκλου Ζωής Βιομηχανικών Προϊόντων και ο Ρόλος της Πράσινης Χημείας	91-106
7. Πράσινη Χημεία και Φαρμακευτική Βιομηχανία	107-116
8. Πράσινη Χημεία και Βιώσιμη Γεωργία	117-134
9. Πράσινη Χημεία. Ο Ρόλος της στην Ενεργειακή Κρίση. Βιοκαύσιμα και Βιοϋλικά	135-156
10. Ο Ρόλος της Πράσινης Χημείας στη Βελτίωση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και στην Εξοικονόμηση Νερού	157-172
11. Πράσινη Χημεία και Πράσινη Μηχανική. Οικολογικός Σχεδιασμός για Αποσυναρμολόγηση και Ανακύκλωση Αυτοκινήτων, Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Συσκευών	173-188
12. Πράσινη Χημεία και Πράσινη Μηχανική (Τεχνολογία) στην Εκπαίδευση, και Παραρτήματα	189-216.
Παραρτήματα	209-217
Γλωσσάριο	219-220
Ευρετήριο	221

Brief Contents

GREEN CHEMISTRY AND GREEN ENGINEERING (TECHNOLOGY) From Theory to Practice, for the Protection of the Environment and Sustainable Development

- 1. Historical Development for the Fundamental Principles and Applications of Green Chemistry and Green Engineering (Technology) 1-4**
 - 2. Green Chemistry and Technology for Sustainable Development. Basic Principles and Applications 15-42**
 - 3. Green Engineering (Technology), Basic principles and Applications 43-58**
 - 4. Green Chemistry. New Methodologies in Organic Synthesis and Applications 59-73**
 - 5. Green Chemistry and Toxic Organic Solvents. Replacement and Alternative Techniques 79-90**
 - 6. Analysis of Life Cycle of Industrial Products and the Role of Green Chemistry 91-106**
 - 7. Green Chemistry and the Pharmaceutical Industry 107-116**
 - 8. Green Chemistry and Sustainable Agriculture 117-134**
 - 9. Green Chemistry and its Role in the Energy Crisis. Biofuels and Biomaterials 135-156**
 - 10. The Role of Green Chemistry in the Improvement of Sustainable Resources of Energy and in the Reduction of Use of Water 157-172**
 - 11. Green Chemistry and Green Engineering. Ecological Design for Disassembly and Recycling of Motocars, Electrical and Electronic Equipment 173-188**
 - 12. Green Chemistry and Green Engineering (Technology) in Education 189-216**
- Appendices 209-217**
Glossary 219-220
Index 221

Αναγνώριση Εικόνων, Διαγραμμάτων, Διδακτικών Εκδόσεων και Ηλεκτρονικών Πηγών (Acknowledgements for Pictures, Figures, Photos and Educational Publications Credits)

Το βιβλίο αυτό "Πράσινη Χημεία και Πράσινη Μηχανική (Τεχνολογία) έρχεται να καλύψει ένα σημαντικό κενό στην Ελληνική βιβλιογραφία για το θέμα της Πράσινης Χημείας και Πράσινης Μηχανικής. Εκτός από τη μετάφραση Anastas PT, Warner JC. «Πράσινη Χημεία. Θεωρία και Πράξη» από τις Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης (2007) (το οποίο είχε βιβλιογραφικές πηγές μέχρι το 1997), δεν έχει εκδοθεί βιβλίο με το θέμα αυτό στα ελληνικά.

Το βιβλίο αυτό με όλες τις νεότερες εξελίξεις στα θέματα της Πράσινης Χημείας (ΠΧ) (μέχρι το 2012) ευελπιστεί να καλύψει το βιβλιογραφικό κενό. Το περιεχόμενο των κεφαλαίων και η θεματολογία είναι φυσικό να χρησιμοποιήσουν εικόνες, διαγράμματα, εξώφυλλα βιβλίων και ηλεκτρονικές πηγές για να εκπαιδευτικούς σκοπούς και για παρουσιάσει την πλούσια βιβλιογραφία και την επιστημονική δραστηριότητα της τελευταίας δεκαετίας. Επίσης, με τη χρήση εικόνων και διαγραμμάτων (από διάφορες ηλεκτρονικές πηγές) επισημαίνονται τα σημαντικά θέματα αειφορίας και περιβάλλοντος που καλύπτει, επιστημονικά και τεχνολογικά η Πράσινη Χημεία. Από τη Θεωρία στην Πράξη και στην επίλυση των βασικών προβλημάτων η ΠΧ και η ΠΜ έχουν συμβάλει τα μέγιστα.

Ευχαριστούμε τους εκδοτικούς οίκους, τα ινστιτούτα ερευνών, τους ερευνητές και τους επιστημονικούς πρωταγωνιστές των θεμάτων Πράσινης Χημείας (ιδιαίτερα τους Καθηγητές PT Anastas και James Clark) για τις διαλέξεις τους (κατά την επισκέψεις τους στην Ελλάδα) και τη πολυάριθμη εκδοτική τους δραστηριότητα στα θέματα ΠΧ και ΠΜ. Ευχαριστούμε τις διάφορες οργανώσεις, πανεπιστήμια, εκπαιδευτικούς και βιομηχανικούς φορείς για τις πληροφορίες και τις ηλεκτρονικές πηγές τους στα θέματα ΠΧ.

Σε όλη την έκταση του βιβλίου και στα διάφορα κεφάλαια οι πηγές των σχημάτων, εικόνων, διαγραμμάτων και εκδόσεων και πληροφοριών (στατιστικά δεδομένα, επιστημονικές εκθέσεις, ερευνητικά αποτελέσματα) αναφέρονται στο κείμενο ή στις βιβλιογραφικές πηγές (references). Το βιβλίο αυτό είναι για καθαρά εκπαιδευτικούς σκοπούς, από εκδοτικό οίκο που δεν έχει κερδοσκοπικούς σκοπούς και θα βρίσκεται δωρεάν ανηρτημένο στο διαδίκτυο για ελεύθερη πρόσβαση από φοιτητές, ερευνητές και εκπαιδευτικούς όλων των βαθμίδων της εκπαίδευσης..

Αθ. Βαλαβανίδης , Καθηγητής
& Δρ. Θωμαΐς Βλαχογιάννη
Αθήνα, 2012

.....

Αναλυτικά Περιεχόμενα

Πράσινη Χημεία και Πράσινη Τεχνολογία Από την Θεωρία στην Πράξη για την Προστασία του Περιβάλλοντος και την Αειφόρο Ανάπτυξη

1. Ιστορική Εξέλιξη για τις Αρχές και τις Εφαρμογές της Πράσινης Χημείας και Πράσινης Τεχνολογίας	
1.1. Βιομηχανικές και Τεχνολογικές Επανάστασεις	1
1.2. Μπορούν τα Σχέδια για την Παγκόσμια Ανάπτυξη να Συμβαδίσουν με την Αειφόρο Ανάπτυξη	6
1.3. Η Αειφορία Απαιτεί και Ριζοσπαστικές Λύσεις στο Σχεδιασμό της Παραγωγής. Ο Ρόλος της Πράσινης Χημείας και Πράσινης Μηχανικής/Τεχνολογίας	7
1.4. Επιστημονικά Βραβεία Πράσινης Χημείας	8
1.5. Βραβεία Πράσινης Χημείας σε Ανεπτυγμένες Χώρες	10
Βιβλιογραφία	14
2. Πράσινη Χημεία και Τεχνολογία για την Αειφόρο Ανάπτυξη. Βασικές Αρχές και Εφαρμογές	
2.1. Πράσινη Χημεία: Από τη Θεωρία στην Πράξη	15
2.2. Οι Δώδεκα Αρχές της Πράσινης Χημείας	16
2.3. Πράσινη Χημεία και Αειφόρος Ανάπτυξη. Διεθνείς Οργανισμοί και Χημικές Επιστημονικές Εταιρείες	19
2.4. Ιστορικό Πλαίσιο για την Ανάπτυξη της Πράσινης Χημείας	21
2.5. Ο Σχεδιασμός Προϊόντων με την Έννοια “Cradle-to-cradle” («από την κούνια σε κούνια»)	24
2.6. Επιστημονικές Περιοχές Εφαρμογών της Πράσινης Χημείας	25
2.7. Χρησιμοποίηση Εναλλακτικών Πρώτων Υλών και Διεργασιών Σύνθεσης στην Έρευνα και στη Χημική Βιομηχανία	28
2.8. Χρησιμοποίηση Μειωμένης Τοξικότητας και Επικινδυνότητας Χημικών Αντιδραστηρίων και Διαλυτών στις Συνθετικές Διεργασίες	31
2.9. Εφαρμογές Νέων Φυσικών Διεργασιών και Συνθηκών στη Σύνθεση Χημικών Ουσιών	32
2.10. Εναλλακτικοί Διαλύτες: Αντικατάσταση Τοξικών Διαλυτών. Λιγότερο Τοξικά Προϊόντα	33
2.10.1. Δραστική Μείωση Κατανάλωσης Ενέργειας	34
2.10.2. Σχεδιασμός για Λιγότερο Επικίνδυνα Χημικά Προϊόντα	34
2.11. Συμπεράσματα: Πράσινη Χημεία και Αειφορία	34
Βιβλιογραφία	36
3. Πράσινη Μηχανική (Τεχνολογία). Βασικές Αρχές και Εφαρμογές	
3.1. Εισαγωγή: Πράσινη Μηχανική (Green Engineering)	43
3.2. Οι Δώδεκα Αρχές της Πράσινης Μηχανικής	44
3.2.1. Αρχή 1 ^η : Έμφυτη μη επικινδυνότητα, υλικών, προϊόντων, αντί περιστασιακά	46
3.2.2. Αρχή 2 ^η : Πρόληψη αντί κατεργασία (εκ των υστέρων) των αποβλήτων	47

3.2.3.	Αρχή 3 ^η : Σχεδιασμός για απομάκρυνση του προϊόντος (χωρίς κατανάλωση ενέργειας)	48
3.2.4.	Αρχή 4 ^η : Μεγιστοποίηση της απόδοσης σε μάζα, ενέργεια, χώρο και χρόνο	48
3.2.5.	Αρχή 5 ^η : Υψηλή απόδοση σε αντίθεση με την τάση για αυξημένη εισαγωγή ενέργειας και υλικών (στην παραγωγή προϊόντων)	49
3.2.6.	Αρχή 6 ^η : Συντήρηση της πολυπλοκότητας (conservation of complexity)	49
3.2.7.	Αρχή 7 ^η : Ανθεκτικότητα προϊόντων σε αντίθεση με την «αθανασία» τους	50
3.2.8.	Αρχή 8 ^η : Ανταπόκριση στις ανάγκες (κοινωνία), ελαχιστοποίηση της υπερβολής	51
3.2.9.	Αρχή 9 ^η : Ελαχιστοποίηση της ποικιλία των υλικών	51
3.2.10.	Αρχή 10 ^η : Ολοκλήρωση των τοπικών υλικών και εναλλακτικής ροής	52
3.2.11.	Αρχή 11 ^η : Σχεδιασμός για εμπορική «μετα-χρησιμοποίηση» (afterlife) προϊόντων («μετά το τέλος της ζωής τους»)	52
3.2.12.	Αρχή 12 ^η : Ανανεώσιμα υλικά κα ενέργεια αντί εξαντλούμενων πηγών	53
	Βιβλιογραφία	55

4. Πράσινη Χημεία: Νέες Μεθοδολογίες στην Οργανική Σύνθεση και Εφαρμογές

4.1.	Οργανική Σύνθεση: Καινοτομίες και Προοπτικές	59
4.2.	Παλαιά και Νέα Σύνθεση του Φαρμάκου Ibuprofen	60
4.3.	Η Σύνθεση του Αδιπικού Οξέος: Διαφορές και Συγκρίσεις μεταξύ Συμβατικής και Πράσινης Μεθόδου	62
4.3.1.	Μέθοδος, Αντιδραστήρια και Συνθήκες για την «Πράσινη» Σύνθεση του Αδιπικού Οξέος στο Εργαστήριο	64
4.3.2.	Η Απόδοση παραδοσιακής και «Πράσινης» Μεθόδου	65
4.4.	Η Σύνθεση του Μηλεϊνικού Ανυδρίτη (Maleic Anhydrite) με τις Αρχές της Πράσινης Χημείας	66
4.4.1.	Σύνθεση του Μηλεϊνικού Ανυδρίτη. Παλαιά και Νέα «Πράσινη» Μέθοδος	67
4.5.	Νέα Μέθοδοι Οργανικής Σύνθεσης με Μικροκύματα. Εφαρμογή Αρχών Πράσινης Χημείας	68
4.6.	Νέα Μέθοδοι Οργανικής Σύνθεσης με Υπερήχους. Είναι Μέθοδοι Πράσινης χημείας;	70
4.7.	Βιβλιογραφικές Πηγές : Παραδείγματα Οργανικών Συνθέσεων με τις Αρχές της Πράσινης Χημείας	71
	Βιβλιογραφία	75

5. Πράσινη Χημεία και Τοξικοί Οργανικοί Διαλύτες. Αντικατάσταση, Εναλλακτικές Τεχνικές και Νέα Μέθοδοι

5.1.	Εισαγωγή: Πράσινη Χημεία και Τοξικοί Οργανικοί Διαλύτες	79
5.2.	Πράσινη Χημεία χωρίς Διαλύτες. Εναλλακτικές Τεχνικές Οργανικής Σύνθεσης	80
5.2.1.	Ιονικά Υγρά για Οργανική Σύνθεση. Είναι Πράσινη Χημεία	80

5.2.2. Οργανικές Συνθέσεις στο Νερό	82
5.2.3. Τεχνικές Οργανικής Σύνθεσης σε Πολυφθοριωμένες Φάσεις	82
5.2.4. Υπερκρίσιμο Διοξείδιο του Άνθρακα και υπερκρίσιμο Νερό	83
5.2.5. Οργανικές Συνθέσεις με Καρβονικούς Εστέρες	83
5.2.6. Η Χρήση Καταλυτών στην Υπηρεσία της «Πράσινης» Οργανικής Σύνθεσης	84
5.2.7. Αντικατάσταση Τοξικών Διαλυτών με Λιγότερο Τοξικούς	84
5.2.8. Η Χρήση Μικροκυμάτων (microwave) στην Οργανική Σύνθεση	85
5.2.9. Η Χρήση Υπερήχων στην Οργανική Σύνθεση (Sonochemistry)	85
5.3. Οργανικές Συνθέσεις Χωρίς Διαλύτες. Διαλύτες από Φυτικά Έλαια	86
Βιβλιογραφία	90

6. Ανάλυση του Κύκλου Ζωής Βιομηχανικών Προϊόντων και ο Ρόλος της Πράσινης Χημείας	
6.1. Εισαγωγή: Τι Είναι Ανάλυση του Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ)	91
6.2. Ποια είναι τα Οφέλη από την Ανάλυση του Κύκλου Ζωής Προϊόντων	93
6.3. Πώς Γίνεται η Ανάλυση του Κύκλου Ζωής	94
6.4. Ποσοτική Εκτίμηση του Συνόλου των Επιπτώσεων από τον Κύκλο Ζωής Προϊόντος	96
6.4.1. Εφαρμογή της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής Προϊόντος. Φιάλη Εμφιαλωμένου Νερού	98
6.5. Η Ανάλυση και Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής και Διεθνή Δίκτυα Τυποποίησης	100
6.5.1. Διάφορα Πρότυπα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης και ΑΚΖ	101
6.5.2. Τράπεζες Πληροφοριών της Βιομηχανίας για ΑΚΖ Προϊόντων	103
Βιβλιογραφία	104

7. Πράσινη Χημεία και Φαρμακευτική Βιομηχανία	
7.1. Η Βιομηχανία Φαρμάκων. Μπορεί να Γίνει «Πράσινη» ;	107
7.2. Φαρμακευτική Βιομηχανία, Πράσινη Χημεία και Χρησιμοποίηση Διαλυτών	108
7.3. Βιοκατάλυση και οι Εφαρμογές της στη Φαρμακευτική Βιομηχανία	110
7.4. Πράσινη Χημεία και Φαρμακευτικές Βιομηχανίες	111
Βιβλιογραφία	113

8. Πράσινη Χημεία και Βιώσιμη Γεωργία	
8.1. Παγκόσμιος Πληθυσμός και η Διατροφική Κρίση	117
8.2. Νέες Τάσεις και Γεωργικές Πρακτικές για Βιώσιμη Γεωργία;	120
8.3. Διατήρηση Ποιότητας Εδαφών. Παραγωγή Τροφίμων	122
8.4. Μπορεί η Πράσινη Χημεία να Συμβάλλει στη Βιώσιμη Γεωργία;	124
8.4.1. Βελτίωση και Διαχείριση της Ποιότητας Γεωργικών Εδαφών	125
8.4.2. Νέα Φυτοφάρμακα και Βιολογικές Εφαρμογές. Βιο-παρασιτοκτόνα	125
8.4.3. Η Χρήση Μειωμένων Ποσοτήτων Λιπασμάτων στις Γεωργικές Καλλιέργειες	129
8.5. Πράσινη Χημεία και Βιοτεχνολογία	131
Βιβλιογραφία	132

9. Πράσινη Χημεία. Ο Ρόλος της στην Ενεργειακή Κρίση, Βιοκαύσιμα και Βιοϋλικά	
9.1. Ενεργειακή Κρίση, Ορυκτά Καύσιμα και Κλιματική Αλλαγή	135
9.2. Βιομάζα και Βιοκαύσιμα. Πόσο Πράσινα Είναι;	138
9.2.1. Είδη Βιοκαυσίμων και «Πράσινες» Προοπτικές	138
9.3. Μειονεκτήματα και Πλεονεκτήματα από την Αξιοποίηση της Βιομάζας για Διάφορα Βιοκαύσιμα	140
9.4. Πράσινη Χημεία και Ενεργειακή Αξιοποίηση της Βιομάζας	142
9.5. Χημεία Πολυμερών, Πράσινη Χημεία και Βιοϋλικά	145
9.6. Πράσινη Χημεία: Νέοι Τομείς για Βιοκαταλύτες και Βιοϋλικά	147
Βιβλιογραφία	151
10. Ο Ρόλος της Πράσινης Χημείας στη Βελτίωση των Ανανεώσιμων πηγών Ενέργειας και στην Εξοικονόμηση Νερού	
10.1. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στον 21 ^ο Αιώνα	157
10.2. Είδη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)	157
10.3. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα	160
10.3.1. Πλεονεκτήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	160
10.3.2. Μειονεκτήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	161
10.4. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Πράσινη Χημεία και Πράσινη Μηχανική	163
10.5. Πράσινη Χημεία και ο Ρόλος της στην Εξοικονόμηση Νερού. Ανακύκλωση Χρησιμοποιημένου Νερού	165
Βιβλιογραφία	169
11. Πράσινη Χημεία και Πράσινη Μηχανική. Οικολογικός Σχεδιασμός για Αποσυναρμολόγηση και Ανακύκλωση Αυτοκινήτων, Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Συσκευών	
11.1. Παγκόσμια Παραγωγή Αυτοκινήτων, Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Συσκευών	173
11.2. Τεχνολογικές Βελτιώσεις και ο Κύκλος Ζωής των Τροχοφόρων Οχημάτων	175
11.2.1. Αύξηση της Απόδοσης στην Κατανάλωση Καυσίμου	175
11.2.2. Μείωση των Εκπομπών Καυσαερίων από Τροχοφόρα	176
11.2.3. Αλλαγή στο Σχεδιασμό των Τροχοφόρων. Ηλεκτρικά και Υβριδικά Τροχοφόρα	176
11.3. Βελτιστοποίηση του Κύκλου Ζωής Τροχοφόρων και Ανακύκλωση Οχημάτων	177
11.4. Νέες Τάσεις Σχεδιασμού με Πράσινη Μηχανική και Ανακύκλωση Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Συσκευών	179
11.4.1. Παραδείγματα Ανακύκλωσης Ηλεκτρικών Πλυντηρίων	180
11.4.2. Αποσυναρμολόγηση και Ανακύκλωση Φορητών Τηλεφώνων	182
Βιβλιογραφία	184
12. Πράσινη Χημεία και Πράσινη Μηχανική (Τεχνολογία) στην Εκπαίδευση	
12.1. Αειφόρος Ανάπτυξη και Πράσινη Χημεία	189
12.2. Υπάρχουν Όρια της Ανάπτυξης;	190
12.3. Πανεπιστημιακά Τμήματα Πράσινης Χημείας και Πράσινης Μηχανικής.	192

12.3.1. Ορισμένα (Επιλογή) Πανεπιστημιακά Τμήματα Πράσινης Χημείας στις ΗΠΑ και Άλλες Χώρες	192
12.3.2. Μεταπτυχιακά (MSc) Πανεπιστημιακά Τμήματα Πράσινης Χημείας	195
12.4. Πηγές για Εκπαιδευτικούς και Επιστημονικές Εξελίξεις σε Θέματα Πράσινης χημείας	196
12.5. Πράσινη Χημεία στην Ελλάδα	199
12.6. Πράσινη Χημεία και Πράσινη Μηχανική στα Εκπαιδευτικά Προγράμματα των Μηχανικών	202
12.7. Πράσινη Χημεία και εργαστηριακά Πειράματα	204
Βιβλιογραφία	204
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	209
Παράρτημα I . Παράδειγμα «Πράσινου» Πειράματος Χημείας (βιοντήζελ από φυτικά έλαια)	209
Παράρτημα II . Πράσινη χημεία και Πράσινη Μηχανική στην Εκπαίδευση .	210
Παράρτημα III . Σύντομος Οδηγός: Πανεπιστήμια με Εκπαιδευτική Δράση στην Πράσινη Χημεία και Πράσινη Μηχανική (ΗΠΑ, Ευρώπη, Βραζιλία, κ.α)	214
Παράρτημα IV . Πηγές Πράσινης Χημείας και Πράσινης Μηχανικής στο Διαδίκτυο	216
Παράρτημα V . ACS Webinars: Green Chemistry and Sustainability Series	217
Γλωσσάριο	219
Ευρετήριο (Index)	221

.....

1. Ιστορική Εξέλιξη για τις Αρχές και τις Εφαρμογές της Πράσινης Χημείας και Πράσινης Μηχανικής (Τεχνολογίας)

1.1. Βιομηχανικές και Τεχνολογικές Επαναστάσεις

Η βιομηχανική επανάσταση που ξεκίνησε πριν 250 χρόνια και οι τεχνολογικές εφαρμογές που ακολούθησαν στην παραγωγή ενέργειας, συνθετικών χημικών ουσιών, καυσίμων και καταναλωτικών προϊόντων άλλαξαν ριζικά την εικόνα του πλανήτη Γη. Οι ρυθμοί ανάπτυξης στις βιομηχανικές χώρες ήταν αλματώδεις και χωρίς περιορισμούς, ενώ συγχρόνως θεωρήθηκε δείγμα προόδου της ανθρώπινης κοινωνίας. Η αλόγιστη όμως χρήση των πλουτοπαραγωγικών πηγών και η περιβαλλοντική ρύπανση είχαν τις δικές τους επιβλαβείς συνέπειες. Φυσικά υπήρξαν σημαντικές βελτιώσεις στην ποιότητα ζωής του ανθρώπου, στην άνοδο του βιοτικού επιπέδου, στην προστασία της υγείας, στις μεταφορές και σε πολυάριθμες τεχνολογικές ανέσεις.

Από στατιστικές του 20^{ου} αιώνα (1900-2000) για την αλματώδη ανάπτυξη του πλανήτη και της πορείας της ανθρωπότητας φαίνεται η υπερβολική τάση για τεχνολογικές, πληθυσμιακές και ενεργειακές αυξήσεις που ξεπερνούν τα όρια των πλουτοπαραγωγικών πηγών.

A) Ο **πληθυσμός** από 1 δισεκατομμύριο το 1820 αυξήθηκε σε 2,5 δισεκατομμύρια το 1950 και στα τελευταία πενήντα χρόνια υπερδιπλασιάστηκε και έφτασε τα 6,2 δισεκατομμύρια το 2000.

B) Η **αστικοποίηση του πληθυσμού**, με την δραματική μετακίνηση στις μεγάλες πόλεις στα τελευταία 100 χρόνια είναι εκπληκτική. Ο αστικός πληθυσμός αυξήθηκε κατά 14 φορές. Το 1900 το 13% του πληθυσμού ζούσε στις πόλεις, ενώ σήμερα ξεπέρασε το 50% (3,2 δισεκατ.).

Γ) Η **παγκόσμια οικονομία** σε απόλυτους αριθμούς αυξήθηκε κατά 14 φορές και η **βιομηχανική παραγωγή** κατά 40 φορές τα τελευταία 100 χρόνια (1900-2000). Το 2007 υπήρχαν 800 εκατομμύρια **αυτοκινήτων** σε παγκόσμιο επίπεδο.

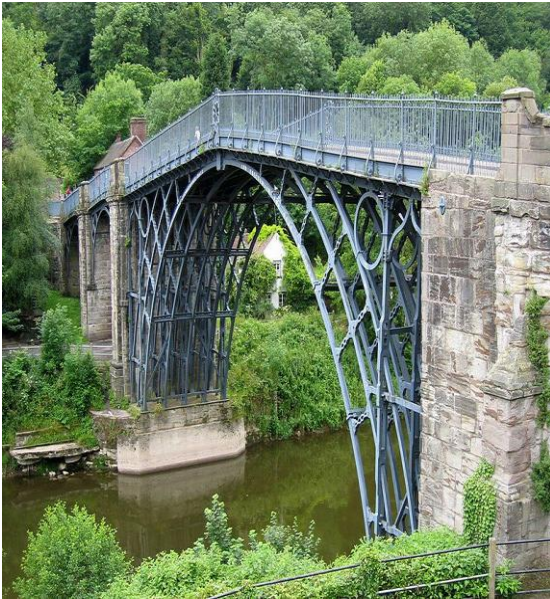
Δ) Η **κατανάλωση ενέργειας** και ενεργειακών πόρων αυξήθηκε κατά 13 φορές και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αυξήθηκαν κατά 17 φορές.

Ε) Η **κατανάλωση πετρελαίου** από 800 εκατομ. μετρικοί τόνοι το 1900 αυξήθηκαν σε 10.000 εκατομ. μετρικούς τόνους το 2000.

Z) Η **κατανάλωση γλυκού νερού** (πόσιμο, ύδρευση, γεωργική χρήση) αυξήθηκε κατά 9 φορές.

H) Η **αλιευτική δραστηριότητα** αυξήθηκε κατά 35 φορές και η **κτηνοτροφία** αυξήθηκε κατά 9 φορές. Η **καλλιεργήσιμη έκταση** γης διπλασιάστηκε αλλά η παραγωγή τροφίμων αυξήθηκε κατά 10 φορές.

Τον 21^ο αιώνα πιστεύεται ότι οι ραγδαίες αυτές εξελίξεις μπορούν να μειωθούν και να εφαρμοσθούν αειφορικά μέτρα περιορισμού της ρύπανσης και της εκμετάλλευσης πλουτοπαραγωγικών πόρων.



Iron Bridge Coalbrookdale στην πόλη Coalport, Αγγλία, 1779.



Βιομηχανικές εγκαταστάσεις με «ωραιοποιημένη» εικόνα της προόδου κατά την περίοδο της βιομηχανικής επανάστασης

Εικόνα 1.1. Η Σιδερένια Γέφυρα (Αγγλία, 1779) συμβολίζει την έναρξη της βιομηχανικής επανάστασης. Η εικονογράφηση των πρώτων βιομηχανικών τοπίων παρουσίαζαν μία ιδανική εικόνα προόδου, επιβλητικά εργοστάσια με υψηλά φουγάρα να εκπέμπουν μαύρο καπνό.

Από ιστορική άποψη οι πιο σημαντικές «επαναστάσεις» στην ιστορία της ανθρωπότητας θεωρούνται η «Νεολιθική επανάσταση», η «βιομηχανική επανάσταση» και η τελευταία ή τρίτη «τεχνολογική επανάσταση» (1860-1920) κατά την οποία ανακαλύφθηκαν οι βασικές βιομηχανικές εφαρμογές και η ανθρωπότητα πέρασε στο κατώφλι των τεχνολογικών ανακαλύψεων που επέβαλαν νέες μορφές εργασίας, μεταφοράς και επικοινωνίας. Από τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο και μετά οι τεχνολογικές βελτιώσεις ήταν ακόμη πιο ραγδαίες και σημαντικές.

Τα επιτεύγματα των τελευταίων δεκαετιών δημιουργήθηκαν την αυταπάτη των απεριόριστων ικανοτήτων του ανθρώπου να καθυποτάξει τη φύση και ταχύτερης εκμετάλλευσης των πλουτοπαραγωγικών πηγών. Η ρύπανση του περιβάλλοντος στην αρχή της βιομηχανικής επανάστασης ήταν φυσικό να είναι περιορισμένη και δεν κίνησε την προσοχή των τεχνολόγων. Τα σχέδια για ολοένα και μεγαλύτερες επιχειρήσεις και βιομηχανικές εγκαταστάσεις ήταν το ιδεώδες των αναπτυσσόμενων χωρών. Ο φυσικός κόσμος πάνω στη Γη θεωρήθηκε ένα εμπόδιο στα αναπτυξιακά σχέδια και η «κατάκτηση» του μέσω της τεχνολογίας ήταν μέρος των φιλοδοξιών του ανθρώπου. Λίμνες αποξηράνθηκαν, ποτάμια

άλλαξαν την κοίτη τους και τεράστια υδροηλεκτρικά φράγματα εκτελέστηκαν σε μικρό χρονικό διάστημα. Το ιδεώδες αυτό έγινε αρκετά έντονο στις λεγόμενες «χώρες του υπαρκτού σοσιαλισμού» με πρωταγωνιστικό ρόλο στην πρώην Σοβιετική Ένωση.

Η αφύπνιση των επιστημόνων και της κοινής γνώμης για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αλόγιστης χρήσης πλουτοπαραγωγικών πηγών και της αυξημένης ρύπανσης από την αλματώδη ανάπτυξη ξεκίνησε από τις αρχές της δεκαετίας του 1960. Οι πρώτες συστηματικές επιστημονικές ανησυχίες εμφανίστηκαν σε διάφορες εκδόσεις (όπως το βιβλίο της R. Carlson *“The Silent Spring”*, 1962) και επιστημονικά άρθρα στα περιορισμένα περιβαλλοντικά περιοδικά της εποχής. Ο γνωστός περιβαλλοντολόγος Commoner με το βιβλίο *“Science and Survival”* (1968) έθεσε να επείγοντα προβλήματα της περιβαλλοντικής ρύπανσης, ενώ ο Ε.Φ. Σουμάχερ με το βιβλίο του *«Το Μικρό είναι Όμορφο»* (*“Small is Beautiful”*, 1973), έθεσε το πρόβλημα της προκλητικής ανάπτυξης και την ανατροπή της ισορροπίας με τη φύση από την αλόγιστη εκβιομηχάνιση και την έλλειψη αειφορίας στα αναπτυξιακά σχέδια των ανεπτυγμένων βιομηχανικών χωρών.¹⁻³

Ακολούθησαν σημαντικές επιστημονικές μελέτες (όπως του MIT) με την παρουσίαση ανησυχητικών φαινομένων ρύπανσης σε πολλές περιοχές του πλανήτη. Η σκεπτόμενη ανθρωπότητα της εποχής επικέντρωσε τις ανησυχίες της μέσα από το Διεθνές Συνέδριο του ΟΗΕ στη Στοκχόλμη *«Για το Ανθρώπινο Περιβάλλον»* (1972). Το διεθνές αυτό συνέδριο έδωσε την ευκαιρία να διατυπωθούν αντιρρήσεις και προβληματισμοί από επιστήμονες που είχαν μελετήσει πολλές πλευρές της ραγδαίας εκβιομηχάνισης και της εντατικής εκμηχάνισης του γεωργικού τομέα. Το 1970 η γνωστή ομάδα στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασσαχουσέτης (MIT) με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών και με την υποστήριξη της οργάνωσης Club of Rome πέτυχε να καταγράψει την πορεία της ανθρωπότητας με στατιστικά στοιχεία (*The Limits to Growth*, 1973). Οι τάσεις έδειχναν μία «καταστροφική» πορεία με υπερβολικά φιλόδοξα σχέδια ανάπτυξης, εκμετάλλευσης φυσικών πόρων και υψηλό βαθμό περιβαλλοντικής ρύπανσης. Αν και οι προβλέψεις δεν επαληθεύθηκαν σε μεγάλο βαθμό, τις επόμενες δεκαετίες, οι αναλύσεις τους έχουν ακόμη και σήμερα σημαντικές επιπτώσεις στην αντίληψη της αειφορίας και τα όρια της ανάπτυξης στον πλανήτη Γη.⁴⁻⁹

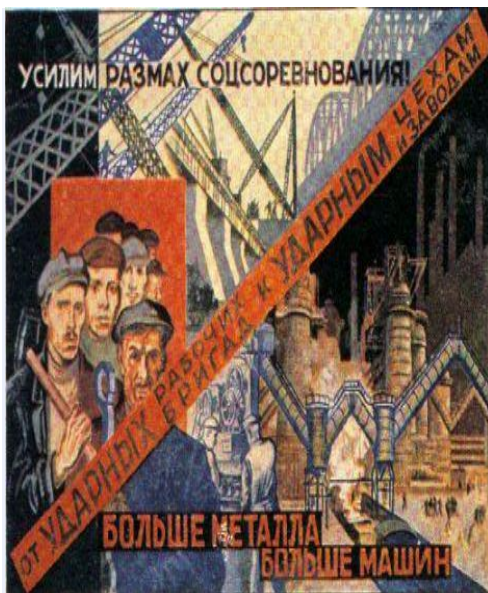
Η βιομηχανική και τεχνολογική ανάπτυξη δημιούργησε σημαντικές αλλαγές στις συνθήκες της ζωής στις ανεπτυγμένες χώρες. Η ανάπτυξη αυτή θεωρείται σήμερα από πολλούς μια «πανάκεια» για την άνοδο του πολιτιστικού επιπέδου του ανθρώπου και αποτελεί το στόχο των πολλών αναπτυσσόμενων χωρών. Η συνεχής όμως παραγωγή καταναλωτικών αγαθών οδηγεί στην προοδευτική εξάντληση των πλουτοπαραγωγικών πόρων και την ρύπανση του φυσικού περιβάλλοντος.

Το 1987 δημοσιεύθηκε η έκθεση Brundtland *«Το Κοινό μας Μέλλον»* (*“Our Common Future”*).¹⁰ Η έκθεση αφορούσε την αειφόρο ανάπτυξη και τις αλλαγές που χρειάζεται στην πολιτική προκειμένου να επιτευχθεί κάτι τέτοιο. Η Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών του 1992 για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (UNCED, United Nations Conference on Environment and Development, Rio de

Janeiro, 1992) οδήγησε στην έγκριση της **Ατζέντας 21**, στη δήλωση του Ρίο για το περιβάλλον και την ανάπτυξη, στη δήλωση αρχών για τη βιώσιμη διαχείριση των δασών και στις νομικά δεσμευτικές συμβάσεις για τη βιοποικιλότητα (biodiversity) και την κλιματική αλλαγή.



Οι περιβαλλοντικές καταστροφές που δημιουργήθηκαν από την αλματώδη «σοσιαλιστική» βιομηχανική επανάσταση, ιδιαίτερα στη Σοβιετική Ένωση (πρώην) έχει καταγραφεί σε πολυάριθμα βιβλία και επιστημονικές εκθέσεις. Τα περιβαλλοντικά προβλήματα στις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης, και τώρα στην Κίνα, ήταν πολύ σοβαρά και χειρότερα από τις χώρες της Δύσης.¹¹⁻¹⁶



Πόστερ Σοβιετικής εποχής. Γράφει «Τα φουγάρα και ο καπνός είναι η αναπνοή της Σοβιετικής Ρωσίας»

Εικόνα 1.2. Αφίσα της εποχής του 1930 από την (πρώην) Σοβιετική Ένωση που προβάλλουν το «ιδεώδες» της εκβιομηχάνισης και την υποταγή της φύσης στις ανάγκες του ανθρώπου

Ένα κρίσιμο περιβαλλοντικό παράδειγμα για τον πλανήτη Γη είναι τα αποθέματα γλυκού **νερού**. Θεωρείται ακρογωνιαίο συστατικό της ζωής και του ανθρώπινου πολιτισμού. Η εκμετάλλευση των υδάτινων πόρων και η κατανάλωση όμως νερού ήταν υπερβολικές. Σήμερα αναγνωρίζεται η έλλειψη του ως ένα από τα πλέον σημαντικά εμπόδια για οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη σε παγκόσμια κλίμακα. Τα βιομηχανικά και τα αστικά λύματα, η υπερβολική χρήση από τον γεωργικό τομέα και οι πολυποίκιλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες έχουν υποβαθμίσει την ποιότητα νερού σε πολλές περιοχές, ενώ πολλές χώρες έχουν σημαντικό πρόβλημα υδάτινων πόρων για τις ανάγκες του πληθυσμού τους. Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα είναι η επί δεκαετίες εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων και το φαινόμενο του θερμοκηπίου με τις τεράστιες εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα.

Η Επιτροπή Αειφόρου Ανάπτυξης του ΟΗΕ ιδρύθηκε για να διασφαλίσει την αποτελεσματική συνέχεια της UNCED του 1992. Στην παγκόσμια διάσκεψη κορυφής για τη βιώσιμη ανάπτυξη στο Γιοχάνεσμπουργκ (WSSD, World Summit for Sustainable Development, 2002) ορίστηκαν περιβαλλοντικές δεσμεύσεις σε εθνικό, περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο. Οι επιτυχίες των διεθνών αυτών συνεδρίων ήταν περιορισμένες, αλλά έδωσαν την ευκαιρία να ακουστούν οι φωνές μη κυβερνητικών περιβαλλοντικών οργανώσεων και κινημάτων από χώρες του Τρίτου Κόσμου που έχουν και το μεγαλύτερο τμήμα του φτωχού πληθυσμού του πλανήτη. Οι περιβαλλοντικές κρίσεις του πλανήτη και τα προβλήματα που συσσωρεύονται είναι μέρος της ιστορίας του ανθρώπινου πολιτισμού.¹⁷⁻²⁰



Εικόνα 1.3. Οι τεράστιες βιομηχανικές εγκαταστάσεις και η αυτοματοποιημένη βιομηχανική παραγωγή αποτελούν τα «στολίδια» της τεχνολογικής εικόνας των βιομηχανικών χωρών

1.2. Μπορούν τα Σχέδια για την Παγκόσμια Ανάπτυξη να Συμβαδίσουν με την Αειφόρο Ανάπτυξη;

Η παγκοσμιοποίηση της οικονομίας και η συνεχιζόμενη βιομηχανική ανάπτυξη σίγουρα αποτελούν ισχυρές κινητήριες δυνάμεις τροφοδότησης της παγκόσμιας οικονομικής μεγέθυνσης, το ερώτημα όμως είναι αν μπορεί συγχρόνως να διατηρήσει τους αυξητικούς ρυθμούς για την αντιμετώπιση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Οι επιστήμονες θεωρούν ότι οι δυνάμεις της αγοράς δημιουργούν και οξύνουν τις ανισότητες και τον κοινωνικό αποκλεισμό και μπορούν να προκαλέσουν ανεπανόρθωτες ζημιές στο περιβάλλον. Η παγκοσμιοποίηση πρέπει επομένως να συνοδεύεται από μέτρα που αποβλέπουν στην αποφυγή ή στο μετριασμό αυτών των επιπτώσεων. Η ενίσχυση της αειφορίας πρέπει να αποτελεί δεδομένο σε κάθε σχεδιασμό και τεχνολογικές βελτιώσεις.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) εδώ και δεκαετίες έχει μεταβάλλει στάση και έχει καθορίσει ότι η αειφορία πρέπει να είναι ο στόχος των μελλοντικών αναπτυξιακών σχεδίων στον πρωτογενή και δευτερογενή τομέα. Η στρατηγική της ΕΕ για την αειφόρο ανάπτυξη (Sustainable Development) καθορίζει και την πορεία για την υλοποίηση οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών θεμάτων. Η συνοχή των κοινοτικών πολιτικών και της διακυβέρνησης σε όλα τα επίπεδα έχουν σημαντικό χαρακτήρα. Οι στόχοι αυτοί περιλαμβάνουν της τithάσευσης της παγκοσμιοποίησης (εμπόριο για την αειφόρο ανάπτυξη)· της καταπολέμησης της φτώχειας, της βιώσιμης διαχείρισης των φυσικών και περιβαλλοντικών πόρων (αντιστροφή της τάσης απώλειας των περιβαλλοντικών πόρων έως το 2015). Επίσης, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει προτείνει την προώθηση ενδιαμέσων στόχων αειφορίας στους τομείς του νερού, του εδάφους, της ενέργειας και της βιοποικιλότητας.

Η ανακοίνωση «Επανεξέταση της στρατηγικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την αειφόρο ανάπτυξη 2005: Πρώτος απολογισμός και μελλοντικές κατευθύνσεις» [COM(2005) 37, Commission of the European Communities, The 2005 Review of the EU Sustainable Development Strategy: Initial Stocktaking and future orientation.]), συνιστά το πρώτο βήμα της Επιτροπής προς την αναθεώρηση της στρατηγικής αειφόρου ανάπτυξης. Η έκθεση παρέχει μια αρχική εκτίμηση της προόδου που σημειώθηκε από το 2001 και αναφέρει επιγραμματικά ορισμένους μελλοντικούς προσανατολισμούς. Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο προτείνει μεταξύ άλλων, νέες και καινοτόμες περιβαλλοντικές τεχνολογίες που μπορούν να συμβάλουν την οικονομική ανάπτυξη αλλά και να δώσουν τη δυνατότητα για μεγαλύτερη περιβαλλοντική προστασία Έτσι, η ΕΕ προσχωρεί στην τάση για πράσινη τεχνολογία/μηχανική και προώθηση των αρχών της πράσινης χημείας στην παραγωγή προϊόντων.

Παρόμοια σχέδια για πράσινη χημεία και τεχνολογία έχουν αρχίσει να εφαρμόζονται σε πολλές περιοχές του πλανήτη. Ο μελλοντικός σχεδιασμός βιομηχανικής, αστικής και τεχνολογικής ανάπτυξης σε πολλές χώρες γίνεται με νέα περιβαλλοντικά πρότυπα και με απώτερο σκοπό την αειφόρο πορεία.

1.3. Η Αειφορία Απαιτεί και Ριζοσπαστικές Λύσεις στο Σχεδιασμό και την Παραγωγή. Ο Ρόλος της Πράσινης Χημείας και Πράσινης Μηχανικής/Τεχνολογίας

Ο όρος **Πράσινη Χημεία (Green Chemistry)** προτάθηκε για πρώτη φορά το 1991 από τον χημικό Paul T. Anastas σε ένα εξειδικευμένο πρόγραμμα που ξεκίνησε από την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency, EPA).

Η EPA στις ΗΠΑ από την ίδρυσή της το 1970 δημιούργησε ένα κεντρικό πυλώνα που συντονίζει μεγάλο αριθμό κρατικών υπηρεσιών, ερευνητικών κέντρων και ομοσπονδιακά γραφεία ελέγχου και προστασία του περιβάλλοντος σε κάθε πολιτεία. Η EPA καλύπτει όλους τους τομείς της περιβαλλοντικής ρύπανσης (αέρας, υδάτινα συστήματα, έδαφος), τους εσωτερικούς χώρους και την πράσινη τεχνολογία, ενώ χρηματοδοτεί μεγάλο αριθμό ερευνητικών προγραμμάτων.



Εικόνα 1.4. Η Υπηρεσία προστασία του Περιβάλλοντος στις ΗΠΑ προώθησε την ιδέα της Πράσινης Χημείας από το 1990.

Το 1996 η οργάνωση **International Union of Applied and Pure Chemistry** (Zürich, Switzerland. The administrative office, known as the "IUPAC Secretariat", is located in Research Triangle Park, North Carolina, USA) ίδρυσε μια ομάδα εργασίας για την Πράσινη Χημεία (Working Party on Green Chemistry).

Το 1997 ιδρύθηκε το **Ινστιτούτο Πράσινης Χημείας (The Green Chemistry Institute)** από την Αμερικανική Χημική Εταιρεία (American Chemical Society). Ένα Ινστιτούτο με μεγάλη επιρροή και δραστηριότητες για εφαρμογές της πράσινης χημείας. Το Ινστιτούτο έχει επιτελέσει σημαντικό έργο στην ενημέρωση των χημικών, και στην διάδοση των ερευνητικών και τεχνολογικών πρωτοβουλιών και νέας μεθοδολογίας. Επίσης, έχει κάνει σημαντικές επεμβάσεις στις χημικές βιομηχανίες για να εφαρμόσουν πρακτικές πράσινης χημείας. Το Ινστιτούτο διοργανώνει διεθνή συνέδρια σε θέματα πράσινης χημείας, εκδίδει βιβλία και προωθεί εκπαιδευτικά προγράμματα,.

Το 1997 έγινε η πρώτο διεθνές συνέδριο για την Πράσινη Χημεία στην Washington DC, ΗΠΑ. (First International Green Chemistry Conference) υπό την

αιγίδα της IUPAC. Την τελευταία δεκαετία άρχισαν να κυκλοφορούν εξειδικευμένα επιστημονικά περιοδικά για τα θέματα πράσινης χημείας και «καθαρής» τεχνολογικές διεργασίες και προϊόντα. 1997-2010.

Journal of Clean Processes and Products (Springer-Verlag),

Green Chemistry (υποστηριζόμενη από την Royal Society of Chemistry,

Environmental Science and Technology (ΗΠΑ)

Το περιοδικό **Journal of Chemical Education** (ΗΠΑ) άρθρα για την Π. Χημεία.

Green Chemistry for Sustainability (Open Access, Springer),

Journal of Green Engineering (River Publishers, 2010),

International Journal of Green Energy (Taylor & Francis).

Στην Ιταλία το 1993 ιδρύθηκε η Ενδοπανεπιστημιακή συνεργασία (κονσόρτιουμ) για τη Χημεία και το Περιβάλλον [**Interuniversity Consortium Chemistry for the Environment** (INCA)] με σκοπό να προωθήσει θέματα συνεργασίας μεταξύ των χημικών των πανεπιστημίων. Το 1993 στη Βενετία έγινε η πρώτη συνάντηση με τίτλο «Processi Chimici Innovativie Tutela dell' Ambiente». Οργανώσεις Πράσινης Χημείας έχουν ιδρυθεί στην Ιαπωνία, στην Σουηδία, Δανία, Αυστραλία, Καναδάς, Ν. Κορέα και σε άλλες βιομηχανικές χώρες.

1.4. Επιστημονικά Βραβεία Πράσινης Χημείας

Το 1995 η EPA καθιέρωσε τα βραβεία Presidential Green Chemistry Challenge Awards. Τα ετήσια αυτά βραβεία παρουσιάζει ο πρόεδρος των ΗΠΑ (ή ο αντιπρόεδρος).



Εικόνα 1.5. Τα βραβεία Presidential Green Chemistry Challenge Awards

Τα βραβεία είναι 5 ειδών (νέες συνθετικές μέθοδοι, πράσινες συνθήκες, σχεδιασμός πράσινων χημικών, βραβείο για μικρές επιχειρήσεις και ακαδημαϊκό βραβείο (Greener Synthetic Pathway Award, Greener Reaction Conditions

Award, Designing Greener Chemicals Award, Small Business Award & Academic Award).²¹

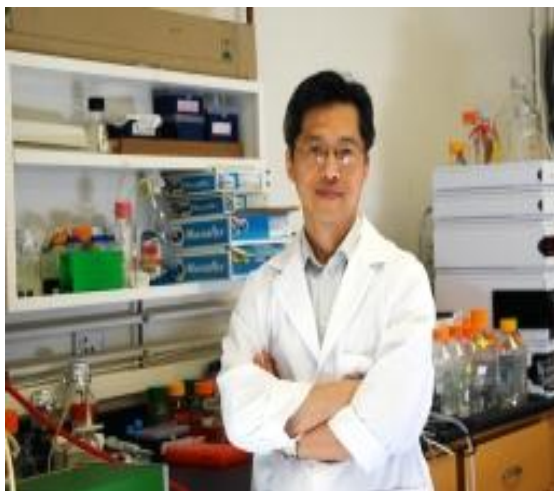
Παρακάτω παρουσιάζονται τίτλοι και θέματα διαφόρων βραβείων Πράσινης Χημείας που έχουν απονεμηθεί στις ΗΠΑ για τον πρώτο χρόνο (1996) και για το 2010.

1996 Βραβευμένοι (Award Recipients)

- **Greener Synthetic Pathways Award**
Monsanto Company Catalytic
- Dehydrogenation of Diethanolamine
- **Greener Reaction Conditions Award**
The Dow Chemical Company 100 Percent Carbon Dioxide as a Blowing Agent for the Polystyrene Foam Sheet Packaging Market (summary)
- **Designing Greener Chemicals Award**
Rohm & Haas (now a subsidiary of Dow Chemical Company)
- Designing an Environmentally Safe Marine Antifoulant
- **Small Business Award**
Donlar Corporation (now NanoChem Solutions, Inc.)
- Production and Use of Thermal Polyaspartic Acid (summary)
- **Academic Award**
Professor Mark Holtzapple, Texas A&M University
Conversion of Waste Biomass to Animal Feed, Chemicals, and Fuels .

2010 Βραβευμένοι (Award Recipients)

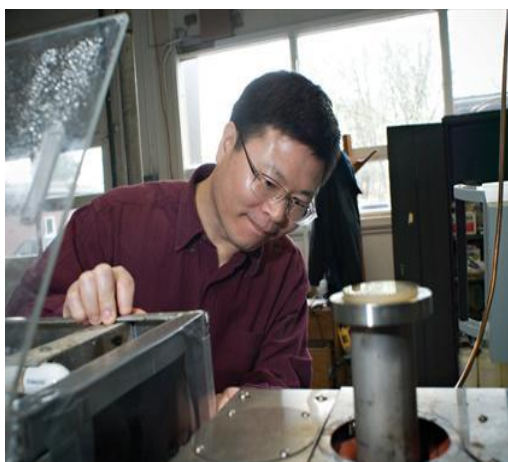
- **Greener Synthetic Pathways Award**
The Dow Chemical Company
- BASF Innovative,
Environmentally Benign Production of Propylene Oxide via Hydrogen Peroxide
- **Greener Reaction Conditions Award**
Merck & Co., Inc.
- Codexis, Inc.
- Greener Manufacturing of Sitagliptin Enabled by an Evolved Transaminase
- **Designing Greener Chemicals Award**
Clarke
- Natular™ Larvicide: Adapting Spinosad for Next-Generation Mosquito Control
- **Small Business Award**
LS9, Inc.
- Microbial Production of Renewable Petroleum™ Fuels and Chemicals
- **Academic Award**
James C. Liao, Ph.D. Easel Biotechnologies, LLC
- University of California, Los Angeles
- Recycling Carbon Dioxide to Biosynthesize Higher Alcohols



Dr James C. Liao, Presidential G.C. Award, UCLA (2010)



Professor Krzysztof Matyjaszewski
Carnegie Mellon University (2009)



Professor Kaichang Li, winner of 2007 presidential GCCAward, Oregon State University, vegetable based pressure sensitive glue that is environmentally benign, cheap and is produced from vegetables



Presidential Green Chemistry Challenge Award for 2008. Οι ερευνητές **Rob Maleczka** and **Mitch Smith** και οι φοιτητές τους, Michigan State University

Εικόνα 1.6. Βραβευμένοι ερευνητές για την Πράσινη Χημεία

1.5. Βραβεία Πράσινης Χημείας σε Ανεπτυγμένες Βιομηχανικές Χώρες

Βραβεία Πράσινης Χημείας και Εκπαίδευσης απονέμονται σε διάφορες χώρες εδώ και αρκετά χρόνια.

α) Στην **Αυστραλία**, η **The Royal Australian Chemical Institute (RACI)** παρουσιάζει βραβεία παρόμοια με αυτά που δίδονται στις ΗΠΑ, αλλά και επιπλέον για την εκπαίδευση στην πράσινη χημεία.

β) Στον **Καναδά**, απονέμεται κάθε χρόνο το βραβείο **The Canadian Green Chemistry Medal** σε άτομα ή ομάδες επιστημόνων που επιτυγχάνουν ερευνητικές βελτιώσεις ή προωθούν διεθνώς τα επιτεύγματα της Πράσινης Χημείας.

γ) Στην **Ιταλία**, τα βραβεία απονέμει η ενδοπανεπιστημιακή οργάνωση **INCA (Interuniversity Consortium Chemistry for the Environment)** με σκοπό να προωθήσει θέματα Πράσινης Χημείας. Ξεκινώντας από το 1999, η INCA δίνει τρία βραβεία σε βιομηχανίες για εφαρμογές πράσινης χημείας. has given three awards annually to industry for applications of green chemistry.

δ) Στην **Ιαπωνία**, τα βραβεία απονέμει η **The Green & Sustainable Chemistry Network**, (ιδρύθηκε το 1999) και αποτελείται από εκπροσώπους της χημικής βιομηχανίας και ερευνητές. Από το 2001 η οργάνωση απονέμει βραβεία σε ερευνητές, ομάδες ερευνητών και χημικές βιομηχανίες για τη συνεισφορά τους στις πρακτικές της Πράσινης χημείας. Τα βραβεία γίνονται σε επίσημες τελετές με παρουσία Υπουργών και διευθυντών κρατικών τεχνολογικών ινστιτούτων.

ε) Στη **Μεγάλη Βρετανία** (United Kingdom), τα ετήσια βραβεία απονέμει η **the Crystal Faraday Partnership**, μία μη κερδοσκοπική οργάνωση που ιδρύθηκε το 2001. για ερευνητές και βιομηχανίες που έχουν επιτύχει σε τομείς πράσινης χημείας. **The Green Chemical Technology Awards** απονέμονται από την Crystal Faraday από το 2004 και παρουσιάζονται από την **Royal Society of Chemistry**.

ζ) Η Επιτροπή των Βραβείων Νόμπελ (**The Nobel Prize Committee**) έχει αναγνωρίσει την αξία της πράσινης χημείας και το 2005 το Βραβείο Νόμπελ Χημείας απονεμήθηκε στους επιστήμονες Yves Chauvin, Robert H. Grubbs και R.R. Schrock «ανάπτυξη της μεθόδου της μετάθεσης στην οργανική σύνθεση» ("the development of the metathesis method in organic synthesis.") με το σκεπτικό ότι η μέθοδος αποτελεί ένα βήμα προς την πράσινη χημεία (The Nobel Prize Committee states, "this represents a great step forward for 'green chemistry', reducing potentially hazardous waste through smarter production. Metathesis is an example of how important basic science has been applied for the benefit of man, society and the environment.")

Η Πράσινη Χημεία και η Πράσινη Τεχνολογία/Μηχανική δεν είναι ένα ευχολόγιο θεωρητικών εννοιών αλλά η πρακτική πλευρά εφαρμοσμένης επιστήμης και έρευνας για τη βιομηχανία, τη βιοτεχνία και το ερευνητικό εργαστήριο. Η έρευνα για θέματα Πράσινης Χημείας και πρακτικών έχει επιτελέσει σημαντικά βήματα. Πολλές βιομηχανίες εφαρμόζουν ήδη τις αρχές της Πράσινης Χημείας και Πράσινης Τεχνολογίας/Μηχανικής. Η επιστημονική βιβλιογραφία των τελευταίων ετών έχει σημαντικό αριθμό ερευνητικών αποτελεσμάτων σε θέματα Πράσινης Χημείας, νέων τεχνικών, νέων προϊόντων και συνθετικών διεργασιών με πράσινες πρακτικές.²²⁻³¹

Βιβλιογραφία

1. Schumacher EF. *Small is Beautiful*. Harper and Row, New York, 1973.
2. Commoner B. *Science and Survival*. Ballantine, New York, 1968.
3. MIT(scientists). *Man's Impact on the Global Environment*. Report of the Study of Critical Environmental Problems. MIT Press, Cambridge, Mass, 1970.
4. Council of Environmental Quality. *First Report of the Council of Environmental Quality*. GPO, Washington DC, 1970.
5. The Ecologist. *A Blueprint for Survival*. Penguin, London, 1972.
6. Ward B, Dubos R. *Only One Earth. The Case and Maintenance of a Small Planet*. Pelican, London, 1973.
7. Meadows DH, Meadows DL, Randers J, Behrens WWW, III. *The Limits to Growth*. (Universe Books, New York), and Pan books, London, 1972.
8. Meadows DL (Ed). *Alternatives to Growth*. Ballinger, Cambridge, 1977.
9. Report of the Council of Environmental Quality (President Carter Commission). *The Global 2000 Report to the President. Entering the Twenty-First Century*. Penguin Books & Allen Lane, London, 1982
10. World Commission on Environment and Development. *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford, 1987.
11. Komarov B. Destruction on nature in the Soviet Union. *Society* (Springer) 18(5): 39-49, 1981.
12. Pryde PR. *Environmental Management in the Soviet Union*. Cambridge University Press, Cambridge, 1991.
13. Massey Stewart J.(Ed) *The Soviet Environmental Problems, Policies and Politics*. 2009
14. Petersen DJ. *Troubled Lands: The Legacy of Soviet Environmental Destruction*. Westview Press, New York, 1993.
15. Βαλαβανίδης Α. Υπαρκτός σοσιαλισμός και περιβάλλον. *Νέα Οικολογία* No. 11, Σεπτέμβριος 1985 24-27.
16. Βαλαβανίδης Α. Περιβάλλον: Δεινοπαθεί εξίσου σε Δύση και Ανατολή. *Ταχυδρόμος* 10.3.1988, σς.69-71, 1988.
17. Pomeratz K. *The Great Divergence: China, Europe, and the Making of a Modern World Economy*. Princeton University Press, Princeton, 2000.
18. Simmons IG. *Environmental History; A Concise Introduction*. Blackwell, Oxford, 1993.
19. McNeill JR. *Something New Under the Sun: An Environmental History of the Twentieth Century*. WW Norton, New York, 2000.
20. Burke E, III, Pomeranz K (Eds). *The Environment and World History*. University of California Press, Berkeley, 2009.
21. Environmental Protection Agency (EPA): Presidential Green Chemistry Challenge Awards. (<http://www.epa.gov/gcc/pubs/pgcc/presgcc.html>)
22. Constable DJC, Dunn PJ, Hayler JD, et al. Key green chemistry research areas- a perspective for pharmaceutical manufacturers. *Green Chem* 9:411-420, 2007.

23. Kirchhoff MM. Promoting green engineering through green chemistry. *Environ Sci Technol* 37(23): 5349-5353, 2003.
24. Lan Key RL, Anastas PT. Life-cycle approaches for assessing green chemistry technologies. *Ind Eng Chem Res* 41(18): 4498-4502, 2002.
25. Anastas PT, Beach ES. *Changing the Course of Chemistry*. ACS Symposium Series vol. 1011. Chapter 1, pp 1-18. American Chemical Society Publications, Washington DC, 2009.
26. Horvath IT, Anastas PT. Innovations and green chemistry. *Chem Rev* 107(6): 2169-2173, 2007.
27. Climent MJ, Corma A, Iborra S. Heterogeneous catalysts for the one-pot synthesis of chemicals and fine chemicals. *Chem Rev* 111(2):1072-1133, 2011.
28. Warner JC, Cannon AS, Dye KM. Green Chemistry. *Environ Impact Assess Rev* 24(7-8):775-799, 2004.
29. Manley JB, Anastas PT, Cue BW. Frontiers in green chemistry: meeting the grand challenges for sustainability in R & D and manufacturing. *J Cleaner Product* 16(6):730-750, 2008.
30. Anastas PT. Green Chemistry. principles and practice. *Chem Soc Rev* 39:301-312, 2010.
31. Dunn PJ, Wells AS, Williams MT (Eds). *Green Chemistry in the Pharmaceutical Industry*. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2010.

.....

2. Πράσινη Χημεία και Τεχνολογία για την Αειφόρο Ανάπτυξη. Βασικές Αρχές και Εφαρμογές

2.1. Πράσινη Χημεία : Από την Θεωρία στην Πράξη

Η **Πράσινη Χημεία (Green Chemistry)** ήταν μία αφηρημένη έννοια επί δεκαετίες τόσο για τις πρακτικές και προτεραιότητες των χημικών στην χρήση και παραγωγή χημικών ουσιών, όσο και στην τεχνολογία χημικών προϊόντων. Αναφέρεται σε χημικούς ερευνητές, εκπαιδευτικούς διαφόρων βαθμίδων και χημικούς παραγωγής στις χημικές βιομηχανίες.. Βασικός στόχος της ήταν να περιορισθεί η περιβαλλοντική ρύπανση, να προστατευθεί η υγεία των εργαζομένων και να εφαρμοσθούν αρχές αειφόρου ανάπτυξης.

Η αλματώδης ανάπτυξη των χημικών τεχνολογιών και των νέων προϊόντων και παρασκευασμάτων τις τελευταίες δεκαετίες δημιούργησε την εντύπωση ότι τα προβλήματα (πρώτες ύλες, ρύπανση περιβάλλοντος, ανακύκλωση, υγιεινή εργαζομένων, κ.λπ) θα έβρισκαν τη λύση τους μέσα από τους κανόνες της αγοράς, δηλαδή μέσα από τη ζήτηση και προσφορά και τις εθνικές και διεθνείς νομοθεσίες.

Τις τελευταίες δεκαετίες όμως παρασκευάζονται χιλιάδες νέες χημικές ουσίες και προϊόντα για ερευνητικούς σκοπούς, αλλά και εκατομμύρια τόνοι χημικών ουσιών και χημικών προϊόντων για διάφορες εφαρμογές (υπολογίζονται σε 600-700 εκατομμύρια τόνους ετησίως) με πολύ μικρό έλεγχο επικινδυνότητας. Τα χημικά προϊόντα μπορεί να έχουν οικιακή ή βιομηχανική χρήση και καλύπτουν μεγάλο φάσμα τεχνολογικών προϊόντων (καύσιμα, λιπάσματα, φυτοφάρμακα, πολυμερή, φάρμακα, καλλυντικά, απορρυπαντικά, πρώτες ύλες ηλεκτρονικών συσκευών, αυτοκινήτων αεροπλάνων, κ.λπ). Τις ίδιες αυτές δεκαετίες η περιβαλλοντική ρύπανση από τις χημικές ουσίες και παρασκευάσματα, αλλά και διάφορα χημικά απόβλητα αυξήθηκαν ανησυχητικά και σε πολλές περιπτώσεις με καταστροφικές συνέπειες για την βιοποικιλότητα και τα ευαίσθητα οικοσυστήματα.

Αν και τα οφέλη στο οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο από τα επιτεύγματα της Χημείας ήταν εντυπωσιακά και συνέτειναν στην καλύτερη ποιότητα ζωής του πληθυσμού των ανεπτυγμένων βιομηχανικών χωρών, η αλόγιστη ανάπτυξη των τελευταίων δεκαετιών είχε πολλές αρνητικές επιπτώσεις. Σύντομα οι επιστήμονες κατανόησαν ότι οι πλουτοπαραγωγικές πηγές μειώνονται δραστικά, τα εδάφη για την παραγωγή τροφίμων εξαντλούνται (ερημοποίηση), οι μεγαλουπόλεις και η αλόγιστη χρήση καυσίμων δημιουργούν επικίνδυνη ατμοσφαιρική ρύπανση και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Παράλληλα, οι κανόνες αειφόρου ανάπτυξης υπέστησαν σοβαρή υποβάθμιση με σημαντικές συνέπειες για τις νέες γενεές και τον πλούτο των οικοσυστημάτων με τα οποία έχει εμπλουτισθεί ο πλανήτης μας.



Σχήμα 2.1. Η Πράσινη Χημεία είναι μία νέα «φιλοσοφία» για πρακτικές εφαρμογές στην έρευνα και στη χημική βιομηχανία. Κύριος σκοπός της είναι να θέσει την επιστήμη της Χημείας στον δρόμο προς την Αειφόρο Ανάπτυξη.

Στα χρόνια μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο σημειώθηκε σημαντική πρόοδος στους διάφορους τομείς της Χημείας. Πρόσφατο όμως ορισμένοι χημικοί άρχισαν να ενδιαφέρονται για την κατάσταση που επικρατούσε στις πρακτικές των χημικών. Οι κλασικές μέθοδοι παρήγαγαν τοξικά απόβλητα, χρησιμοποιούσαν τοξικούς διαλύτες, κατανάλωναν πολύ ενέργεια, δεν ήταν ανακυκλώσιμα υλικά και συνέτειναν στη μείωση των πλουτοπαραγωγικών πηγών. Κατά τη γνώμη τους χρειάζονται ριζοσπαστικές αλλαγές για την προστασία της υγείας του ανθρώπου και τη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Ορισμένοι επιστήμονες θεώρησαν ότι τα προβλήματα αυτά μπορούν να λυθούν με την εφαρμογή των αρχών της Πράσινης ή/και Βιώσιμης Χημείας (Green and Sustainable Chemistry),, μία νέα φιλοσοφία που καλύπτει όλους τους τομείς της επιστήμης της Χημείας.

2.2. Οι Δώδεκα Αρχές της Πράσινης Χημείας

Βασικοί στόχοι της **Πράσινης Χημείας** είναι η μείωση των επικίνδυνων χημικών ουσιών που σχετίζονται με χημικές πρακτικές και χημικά προϊόντα. Αν και υπάρχουν αρκετές αρνητικές επιπτώσεις από την αλόγιστη βιομηχανική ανάπτυξη, δεν πρέπει να αγνοούμε ότι οι κοινωνίες του 20^{ου} και του 21^{ου} αιώνα, μέσω της Χημείας και της Χημικής Τεχνολογίας, έχουν πετύχει σημαντικούς στόχους βελτίωσης της ζωής του ανθρώπου. Η Χημεία έχει συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην οικονομική και τεχνολογική πρόοδο, και σε πολλές περιπτώσεις στην προστασία των πλουτοπαραγωγικών πηγών και στη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Αλλά οι σημερινές συνθήκες δεν πρέπει να μας εφησυχάζουν. Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι πρέπει να γίνουν περισσότερα στα χημικά προϊόντα, στα πρώτα στάδια μέσα από την πορεία παρασκευής τους, και όχι μετά τη σχεδίαση και χρήση των χημικών προϊόντων. Δηλαδή, πρόληψη και όχι θεραπεία των επιβλαβών συνεπειών.

Οι επιστήμονες που προωθούν την Πράσινη Χημεία, θεωρούν ότι η μεθοδολογική προσέγγιση της αειφορίας δεν πρέπει να γίνει με την αποκατάσταση και έλεγχο της ρύπανσης, αλλά κυρίως με την πρόληψη στη βάση της τεχνολογίας και στις πρακτικές που ακολουθούνται. Για το λόγο αυτό καθιέρωσαν **δώδεκα (12) Βασικές Αρχές Πράσινης Χημείας**. Οι

Αρχές αυτές είναι γενικές και σε αυτές θα μπορούσαν να προστεθούν και άλλες πιο εξειδικευμένες ανάλογα με την πρόοδο της επιστήμης.

1. Πρόληψη (Prevention): Όλες οι χημικές πρακτικές που ακολουθούνται σήμερα παράγουν επικίνδυνα και τοξικά απόβλητα. Η Πράσινη Χημεία θεωρεί ότι άμεση προτεραιότητα είναι να προλαμβάνουμε την παραγωγή επικίνδυνων αποβλήτων, σε αντίθεση με το να κατεργαζόμαστε ή να καθαρίζουμε τα απόβλητα αφού σχηματιστούν με τις διάφορες χημικές πρακτικές.

2. Αποδοτικότερη Χρήση των Συνθετικών Μεθόδων (Οικονομία Ατόμων), (Maximise synthetic methods, Atom Economy): Οι μέθοδοι χημικής σύνθεσης πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε όλα τα άτομα των αντιδρώντων ή όσον το δυνατόν περισσότερα να συμμετέχουν στο τελικό προϊόν, ώστε να μην σχηματίζονται υπολείμματα που πρέπει να προστεθούν στα απόβλητα.

3. Λιγότερο επικίνδυνες χημικές συνθέσεις (Less hazardous chemical synthesis): Σε όσες συνθέσεις είναι εφικτό, ο σχεδιασμός των συνθετικών μεθόδων να γίνεται με τρόπο ώστε να χρησιμοποιούνται και να παράγονται χημικές ουσίες που έχουν ελάχιστη ή καθόλου τοξικότητα στον άνθρωπο και στο περιβάλλον.

4. Σχεδιασμός ασφαλέστερων χημικών προϊόντων (Designing safer chemicals): Τα χημικά προϊόντα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να είναι αποτελεσματικά για τον σκοπό που σχεδιάστηκαν και για πρακτικές εφαρμογές. Απαιτείται ελαχιστοποίηση της τοξικότητάς τους για τον άνθρωπο και το περιβάλλον..

5. Ασφαλέστεροι διαλύτες και βοηθητικά μέσα (Safer solvents and auxiliary substances): Η χρήση διαλυτών να αποφεύγεται σε όσο το δυνατόν περισσότερες τεχνικές ή όπου χρησιμοποιούνται να είναι αβλαβείς. Επίσης, οι βοηθητικές χημικές ουσίες και τα υλικά που χρησιμοποιούνται να είναι όσο το δυνατόν ασφαλέστερα για τους εργαζομένους και το περιβάλλον.

6. Σχεδιασμός για ενεργειακή αποτελεσματικότητα (Design for energy efficiency): Οι χημικοί πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους στις διάφορες τεχνικές τον παράγοντα εξοικονόμησης ενέργειας. Απαιτείται μείωση της απαιτούμενης ενέργειας στις διάφορες χημικές διεργασίες και όπου είναι δυνατόν οι συνθέσεις να γίνονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και σε απλή ατμοσφαιρική πίεση.

7. Χρήση ανανεώσιμων πρώτων υλών (Use of renewable feedstocks) : Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στις χημικές διεργασίες πρέπει να είναι μη τοξικές και κυρίως ανανεώσιμες για να επικρατεί η μείωση της χρήσης των μη ανανεώσιμων πλουτοπαραγωγικών πηγών (μέταλλα, καύσιμα, πρώτες ύλες, κ.λπ).

8. Μείωση ενδιάμεσων παραγώγων (Reduce intermediate derivatives): Οι χημικοί πρέπει να επιδιώκουν μείωση της άσκοπης παραγωγοποίησης (όπως προστατευτικές ομάδες, προστασία αποπροστασία, προσωρινές τροποποιήσεις φυσικών και/ή χημικών διεργασιών). Οι πρακτικές αυτές πρέπει να ελαχιστοποιηθούν ή να αποφεύγονται διότι τα στάδια αυτά απαιτούν επιπλέον αντιδραστήρια και δημιουργούν απόβλητα.

9. Κατάλυση. Χρήση καταλυτικών αντιδραστηρίων (Catalysis, catalytic reagents): Οι χημικοί πρέπει να επιδιώκουν τη χρήση καταλυτικών

αντιδραστηρίων, κατά το δυνατόν εκλεκτικά, γιατί υπερτερούν των αντιδραστηρίων που επιβάλλει η στοιχειομετρία της αντίδρασης.

10. Σχεδιασμός προϊόντων που αποικοδομούνται εύκολα (Design products which degrade easily): Τα προϊόντα που παράγονται κατά τις χημικές διεργασίες πρέπει να επιδιώκεται να αποικοδομούνται (να διασπώνται) στο περιβάλλον προς μη τοξικά προϊόντα. Σε αντίθεση με τα σημερινά προϊόντα που διατηρούνται ανέπαφα για μεγάλο χρονικό διάστημα.

11. Ανάλυση πραγματικού χρόνου για πρόληψη της ρύπανσης (Real-time analysis for pollution prevention): Οι αναλυτικές μεθοδολογίες χρειάζονται περαιτέρω ανάπτυξη στην κατεύθυνση της παρακολούθησης μιας διεργασίας σε πραγματικό χρόνο που θα επιτρέπουν τον έγκαιρο έλεγχο των διεργασιών πριν από το σχηματισμό επικίνδυνων ουσιών

12. Πρακτικές ασφαλέστερης χημείας για την πρόληψη ατυχημάτων (Inherently safer chemistry for accident prevention) Οι χρησιμοποιούμενες και παραγόμενες ουσίες και οι τεχνικές σε μία χημική διεργασία πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να υπάρχει ελάχιστη πιθανότητα χημικών ατυχημάτων, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών, των εκρήξεων και της ανάφλεξης.



Σχήμα 2.2. Η Πράσινη Χημεία έχει δημιουργήσει μεγάλες προσδοκίες μεταξύ των επιστημόνων για την ανάπτυξη μεθόδων προστασίας του περιβάλλοντος και της αειφορίας. Η Πράσινη Χημεία προωθεί συγχρόνως αλλαγή νοοτροπίας και πρακτικών στην έρευνα της χημικής βιομηχανίας.

2.3. Πράσινης Χημείας και Αειφόρος Ανάπτυξη. Διεθνείς Οργανισμοί και Χημικές Επιστημονικές Εταιρείες

Η αρχική ιδέα της Πράσινης Χημείας πέρασε από διάφορα στάδια ανάπτυξης. Αρχικά υπήρχε διαμάχη μεταξύ των επιστημόνων με την ορολογία, εάν θα ήταν «πράσινη χημεία» ή «αειφόρος χημεία» (“green chemistry”, “sustainable chemistry”). Στην ουσία οι έννοιες είναι παραπλήσιες. Για την «πράσινη» χημεία θεωρούνταν ότι είχε κάποια πολιτική χροιά καθώς την εποχή εκείνη υπήρχαν «πράσινα» κινήματα και πολιτικά κόμματα «πρασίνων» σε πολλές χώρες. Ο όρος «αειφόρος» ή «βιώσιμη» θα μπορούσε να παραφρασθεί ως «χημεία για ένα βιώσιμο ή αειφόρο περιβάλλον». Τελικά επικράτησε η «πράσινη χημεία», γιατί πέρα από το

επιστημονικό περιεχόμενο περιέχει και την έννοια της ριζοσπαστικής απόρριψης ξεπερασμένων νοοτροπιών και καταστάσεων.

Ο βασικός σκοπός της Πράσινης Χημείας είναι να συμβάλλει όσο το δυνατόν στην βιώσιμη ανάπτυξη του πλανήτη μας, προωθώντας την αλλαγή πρακτικών και μεθοδολογίας που για πολλές δεκαετίες ακολουθούσαν οι χημικοί και οι τεχνολόγοι. Απαιτεί τη χρήση εναλλακτικών χημικών ουσιών με μικρότερη τοξικότητα και μεθόδους που δεν θα παράγουν μεγάλες ποσότητες αποβλήτων. Η υγεία των εργαζομένων και των καταναλωτών είναι σημαντικό μέλημα της πράσινης χημείας. Αλλά θέλει να περιορίσει την περιβαλλοντική ρύπανση και την αλόγιστη εκμετάλλευση των πλουτοπαραγωγικών πηγών, ενώ, συγχρόνως επιθυμεί τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.



California Green Chemistry



Green Chemistry Network,
University of York, England



Canadian Green Chemistry



Industrial Green Chemistry World (IGCW) is a
global platform for the Chemical Industry

Σχήμα 2.3. Λογότυποι και σήματα Πράσινης Χημείας. Οι χημικές οργανώσεις και τα πανεπιστήμια με το κύρος και τις δραστηριότητές τους έπαιξαν σημαντικό ρόλο την προώθηση των αρχών της πράσινης χημείας και πρακτικές στη χημική έρευνα και την χημική βιομηχανία

Η Πράσινη Χημεία θέτει ως βασικό στόχο την πρόληψη της ρύπανσης. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομεί υλικά και ενέργεια για την χημική βιομηχανία και παράγει λιγότερα και ασφαλέστερα χημικά προϊόντα με χαμηλή επιβάρυνση του περιβάλλοντος. .

Η Χημική Βιομηχανία στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στις Η.Π.Α. έχει υιοθετήσει αρκετές μεθοδολογίες της Πράσινης Χημείας τα τελευταία χρόνια. Επίσης, έχει εντάξει στην έρευνα και ανάπτυξη (research & development) την προώθηση «πράσινων» προϊόντων, «πράσινους» διαλύτες, όπως το υπερκρίσιμο CO₂, που αντικαθιστά τους πτητικούς οργανικούς και «πράσινες» καταλυτικές διεργασίες που περιορίζουν τα απόβλητα και μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας. Η χημική βιομηχανία τις τελευταίες δεκαετίες έχει γίνει εξαιρετικά προσεκτική στα θέματα περιβαλλοντικής ρύπανσης και έχει

επενδύσει σε νέες τεχνολογίες που δεν εκπέμπουν ρύπους και προστατεύουν την υγεία των εργαζομένων και των καταναλωτών.

Η Πράσινη Χημεία, ως μέρος της επιστήμης για την προστασία του περιβάλλοντος και της υγείας του ανθρώπου, εμπεριέχει τον όρο της «επικινδυνότητας» (“hazardous”), χημικών ουσιών, προϊόντων και τεχνολογίας. Στην ουσία η Πράσινη Χημεία πηγαίνει στην «καρδιά» της αποτελεσματικής μείωσης του κινδύνου και στην πρόληψη της ρύπανσης.

Ο κίνδυνος (risk) είναι ακρογωνιαίος όρος για τα χημικά προϊόντα και χημικές διεργασίες και είναι αποτέλεσμα της επικινδυνότητας και του βαθμού έκθεσης (ή δόσης κατά την τοξικολογία)

$$\text{Κίνδυνος} = \text{Επικινδυνότητα} \times (\text{Βαθμός}) \text{ Έκθεση} \\ (\text{Risk} = \text{Hazard} \times \text{Exposure})$$

Αυτοί είναι κλασικοί όροι τοξικολογίας. Όταν μία χημική ουσία παρουσιάζει τοξικότητα (ή άλλη επιβλαβή επίδραση, όπως καρκινογόνο δράση, διαβρωτική, καυστική, κ.λπ), τότε πρέπει να λάβουμε υπόψη μας και την **ποσοτική έκθεση ή δόση και τον τρόπο πρόσληψης** (εάν έχει παραληφθεί με την τροφή ή έχει γίνει εισπνοή της).

Το γινόμενο των δύο αυτών ποσοτικών παραγόντων μας επιτρέπει να μετρήσουμε ή να υπολογίσουμε τον κίνδυνο. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο όλες σχεδόν οι τεχνικές πρόληψης ή προφύλαξης από επικίνδυνες ουσίες εντοπίζουν το ενδιαφέρον τους αρχικά στο βαθμό της έκθεσης (δηλαδή στην δόση και στην χρονική διάρκεια της έκθεσης). Στην πρακτική υγιεινής και ασφάλειας των εργαζομένων στη βιομηχανία για παράδειγμα απαιτεί τεχνικές ελέγχου και προστασίας (γάντια, αναπνευστική μάσκα, εξαιρισμός, κ.λπ).

Η Πράσινη Χημεία προσεγγίζει με ριζοσπαστικό τρόπο τη μείωση του κινδύνου, το κόστος της πρόληψης και την πιθανή αποτυχία των τεχνικών και ελέγχων να αποτρέψουν την έκθεση. Η Πράσινη Χημεία ενδιαφέρεται και καλύπτει ένα μεγάλο φάσμα επικινδυνοτήτων. Κυρίως βέβαια χημικών ουσιών και χημικών διεργασιών, αλλά και ρύπανση περιβάλλοντος, είτε αφορά τοπικές μορφές ρύπανσης είτε παγκόσμιες (όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου). Αλλά και στον τομέα της ενέργειας και της οικονομίας, η Πράσινη Χημεία προσπαθεί να αντιμετωπίσει με ριζοσπαστικές αλλαγές τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και να κατευθύνει τη χημική βιομηχανία στην πορεία για την αειφορία και της καλύτερη διαχείριση των οικονομικών όρων παραγωγής, ανακύκλωσης και μείωση των αποβλήτων κ.λπ.

2.4. Ιστορικό Πλαίσιο για την Ανάπτυξη της Πράσινης Χημείας

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1990, με την άνθιση του κινήματος των πολιτών για την προστασία του περιβάλλοντος, αλλά και των επιστημόνων που εργάζονταν στην έρευνα και ανάπτυξη χημικών βιομηχανιών και ερευνητικών κέντρων, αναπτύχθηκε η ιδέα της Πράσινης Χημείας. Τότε ο **Paul Anastas**, ο οποίος εργάζονταν στην Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος, (Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics), πρότεινε και καθιέρωσε τον όρο “Green Chemistry”. Σε μια εποχή που μεγάλοι αριθμοί επιστημόνων και τεχνολόγων έκαναν σημαντικές αλλαγές σε καθιερωμένες πρακτικές για τον περιορισμό της

ρύπανσης και την προστασία των εργαζομένων και καταναλωτών. Ο Paul Anastas (ο οποίος είναι ελληνικής καταγωγής) θεωρείται ως ο «πατέρας» της **πράσινης χημείας** και σημαντικός επιστήμονας με εκδόσεις δέκα βιβλίων για την πράσινη χημεία στις ΗΠΑ.

Οι επιστήμονες που έκαναν αυτές τις ριζοσπαστικές προτάσεις για την Πράσινη Χημεία είχαν σπουδάσει ως χημικοί και εργάστηκαν ερευνητικά για πολλά χρόνια σε χημικά εργαστήρια ή σε χημικές βιομηχανίες. Παρατήρησαν λοιπόν να ξοδεύονται τεράστια ποσά για απαρχαιομένες συνθετικές μεθόδους και πρακτικές που χρησιμοποιούσαν πολλά συνθετικά στάδια και χρονοβόρες μεθόδους καθαρισμού με τοξικούς διαλύτες. Ήδη ορισμένοι επιστήμονες σε άρθρα τους είχαν επισημάνει τις πρακτικές, αυτές και με την αφύπνιση του περιβαλλοντικού κινήματος και της ιδέας της αειφορίας, άρχισαν να προετοιμάζουν το έδαφος για τις απαιτούμενες αλλαγές. Έτσι άρχισαν διάφορες πρωτοβουλίες.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 η **Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ** (Environmental Protection Agency, EPA) ξεκίνησε ένα πρόγραμμα πράσινης χημείας, εκπαίδευσης και πρακτικών σε διεθνές επίπεδο για να περάσει το μήνυμα στην επιστημονική κοινότητα. Το 1995 στις ΗΠΑ καθιερώθηκαν τα ετήσια βραβεία πράσινης χημείας που απονέμει ο Πρόεδρος των ΗΠΑ στους βραβευμένους (**Presidential Green Chemistry Challenge Awards**). Με τα βραβεία αυτά καθιερώθηκε η συμβολική αλλά και η καθοριστική επιβράβευση των επιστημόνων που παράγουν τις πιο σημαντικές ανακαλύψεις και εφαρμογές στον τομέα της πράσινης χημείας στις ΗΠΑ.

Αντίστοιχα στην Ιταλία, το 1993 ιδρύθηκε η Ενδοπανεπιστημιακή συνεργασία (κονσόρτιουμ) για τη Χημεία και το Περιβάλλον [**Interuniversity Consortium Chemistry for the Environment** (INCA)] με σκοπό να προωθήσει θέματα συνεργασίας μεταξύ των χημικών των πανεπιστημίων για περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος και λιγότερα απόβλητα στα χημικά εργαστήρια. Το 1993 στη Βενετία έγινε η πρώτη συνάντηση με τίτλο «Processi Chimici Innovativie Tutela dell' Ambiente»..

Η Διεθνής Οργάνωση για την Βασική και Εφαρμοσμένη Χημεία [**International Union for the Pure and Applied Chemistry**, IUPAC, Παρίσι] το 1996 αποφάσισε να ιδρυθεί ομάδα ειδικών για την Πράσινη Χημεία. Το 1997 στη Βενετία έγινε το Πρώτο Διεθνές Συνέδριο για την Πράσινη Χημεία (First International Green Chemistry Conference) υπό την αιγίδα της IUPAC.

Το 1997 ιδρύθηκε το **Ινστιτούτο Πράσινης Χημείας (The Green Chemistry Institute)** από την Αμερικανική Χημική Εταιρεία. Ένα Ινστιτούτο με μεγάλη επιρροή και δραστηριότητες για εφαρμογές της πράσινης χημείας. Το Ινστιτούτο έχει επιτελέσει σημαντικό έργο στην ενημέρωση των χημικών, και στην διάδοση των ερευνητικών και τεχνολογικών πρωτοβουλιών και νέας μεθοδολογίας. Επίσης, έχει κάνει σημαντικές επεμβάσεις στις χημικές βιομηχανίες για να εφαρμόσουν πρακτικές πράσινης χημείας. Το Ινστιτούτο διοργανώνει διεθνή συνέδρια σε θέματα πράσινης χημείας, εκδίδει βιβλία και προωθεί εκπαιδευτικά προγράμματα,.



Σχήμα 2.4. Το Green Chemistry Institute έχει παίξει σημαντικό ρόλο για την ανάπτυξη και διάδοση των αρχών της Πράσινης Χημείας

Η Ευρωπαϊκή Ένωση χρηματοδότησε και ξεκίνησαν μαθήματα στο Διεθνές Καλοκαιρινό Σχολείο Πράσινης Χημείας (**International Green Chemistry Summer School**) στη Βενετία από το 1998 με την πρωτοβουλία της οργάνωσης των Ιταλών επιστημόνων της INCA.. (www.unive.it/inca, Professor Pietro Tundo).

Το 2001 επιτεύχθηκε η χρηματοδότηση στη Μεγάλη Βρετανία από το EPSRC Engineering and Physical Sciences Research Council) και από την Royal Society of Chemistry (RSC) για την ίδρυση ενός δικτύου επιστημόνων και ερευνητών για θέματα πράσινης χημείας (GCRN, **Green Chemistry Research Network**) με έδρα το πανεπιστήμιο York της Αγγλίας. Το Πανεπιστήμιο του Γυόρκ έχει ένα σημαντικό ερευνητικό κέντρο Πράσινης Χημείας (καθ. James Clark) με πολύπλευρες δραστηριότητες (www.chemsoc.org/networks/gcn/discuss.htm). Στο πανεπιστήμιο του Γυόρκ λειτουργεί και αναπτύσσεται ραγδαία το κέντρο

Το **Green Chemistry Centre of Excellence** έχει προπτυχιακές και μεταπτυχιακές σπουδές και πολυάριθμες δραστηριότητες (εκπαίδευση, έρευνα, συνέδρια και εκδόσεις σε θέματα Π.Χ.. Επίσης από το 1999 εκδίδει το περιοδικό (μηνιαίο) **Green Chemistry** της Βασιλικής Ένωσης Χημείας (Royal Society of Chemistry), το οποίο αποτελεί ένα από τα δημοφιλή επιστημονικά περιοδικά στον τόμο της πράσινης χημείας.

Επίσης, διεθνείς ή Ευρωπαϊκοί οργανισμοί ανέπτυξαν προγράμματα έρευνας πάνω στις αρχές της πράσινης χημείας. Η European Directorate for R & D (DG Research) έβαλε στόχους πράσινης χημείας και αειφορίας στη χρηματοδότηση ερευνητικών και αναπτυξιακών προγραμμάτων με το 5^ο Ευρωπαϊκό Πλαίσιο Προγραμμάτων (European Fifth Framework Programme). Το Διεθνές Κέντρο Επιστήμης και Υψηλής Τεχνολογίας των Ηνωμένων Εθνών UNIDO-ICS (**International Centre for Science and High Technology of the United Nations Industrial Development Organization**) ανέπτυξε προγράμματα πράσινης χημείας και χρηματοδότησε ιδέες για καθορέτερη τεχνολογία. Επίσης, η Οργάνωση για την Οικονομική Συνεργασία και Ανάπτυξη (ΟΟΣΑ) (OECD, Organization for Economical Cooperation and Development) προώθησε προγράμματα πράσινης χημείας μεταξύ των βιομηχανικών χωρών που αντιπροσωπεύει.



Καθηγητής Paul Anastas (Yale)



Καθηγητής James Clark (York)



Καθηγητής Pietro Tundo (Venice)



Καθηγ. Michael Braungart (Germany)

Σχήμα 2.5. Διάφορες προσωπικότητες της Πράσινης Χημείας. Ο Paul Anastas «πατέρας» Πράσινης Χημείας, ο Καθ. James Clark (University of York, England), ο καθ. Pietro Tundo (Βενετία) και ο Καθ. Michael Braungart (Process Engineering, Suderburg University), Ο τελευταίος με τον αρχιτέκτονα William McDonough έγραψαν το βιβλίο “Cradle-to-Cradle. Remaking the **Way We Make Things**”. North Point Press, New York, 2002 που έγινε μπέστσέλερ σε όλο τον κόσμο για τις καινοτόμες ιδέες στην κατασκευή αντικειμένων.

Την τελευταία δεκαετία έχουν δημιουργηθεί πολλά ινστιτούτα πράσινης χημείας σε διάφορες χώρες (Ιαπωνία, Ιταλία, Κίνα, Αυστραλία, Σουηδία, Γερμανία, Ισπανία, Ταϊβάν, κ.ά.). Για παράδειγμα Canadian Green Chemistry Network, Centre for Green Chemistry (Australia), Green and Sustainable Chemistry Network (Japan).

Στην Ελλάδα υπάρχει το **Ελληνικό Δίκτυο Πράσινης Χημείας** (συμμετέχουν διάφοροι ερευνητές κυρίως πανεπιστημίων, με συντονιστή τον Καθηγητή Κωνσταντίνο Πούλο, στο Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Πατρών, C.Poulos@chemistry.upatras.gr, <http://www.chemistry.upatras.gr>). Κάθε δύο χρόνια το ΕΔΠΧ διοργανώνει συνέδρια Π.Χ. στην Ελλάδα (2004 1^ο Συνέδριο Π.Χ. Αθήνα, 2007 2^ο Συνέδριο Π.Χ. Πατρα, 2008 Θερινό Σχολείο: Πράσινη και Βιώσιμη Χημεία, Πάτρα, 2009 3^ο Συνέδριο Πράσινης Χημείας, Θεσσαλονίκη, 2010 2nd International Symposium on GC for Environment and Health , Mykonos, Greece). Οι καθηγητές Α. Μαρούλης και Κ. Χατζηαντωνίου-Μαρούλη (Τμ. Χημείας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης) διατηρούν επιστημονική και εκπαιδευτική δραστηριότητα σε θέματα Πράσινης χημείας με επιστημονικές φοιτητικές εργασίες. Επίσης, διατηρούν ενδιαφέρουσα ιστοσελίδα www.gcex.gr με πειράματα και άρθρα Πράσινης Χημείας.

Τα τελευταία χρόνια, σε πολλά πανεπιστήμια προπτυχιακές και μεταπτυχιακές σπουδές με θέμα την Πράσινη Χημεία. Για παράδειγμα: Green Chemical Engineering Material Framework, University of Texas, Austin, USA, Green Chemistry for Process Engineering, University of Nottingham, England, Industrial. and Applied Green Chemistry, University of York, England, Center for Green Chemistry and Green Engineering, Yale University, Greener Education materials for Chemists, University of Oregon).

Επίσης, αρκετές χημικές βιομηχανίες λαμβάνουν ενεργό μέρος στην προώθηση των στόχων της πράσινης χημείας στη βιομηχανία. Για παράδειγμα Goodrich Corporation, Dow Chemical Company, E.I. DuPont de Nemours, Eastman Kodak Company, κ.λπ.

2.5. Ο Σχεδιασμός Προϊόντων με την Έννοια “Cradle-to-Cradle” («από την κούνια σε κούνια»)

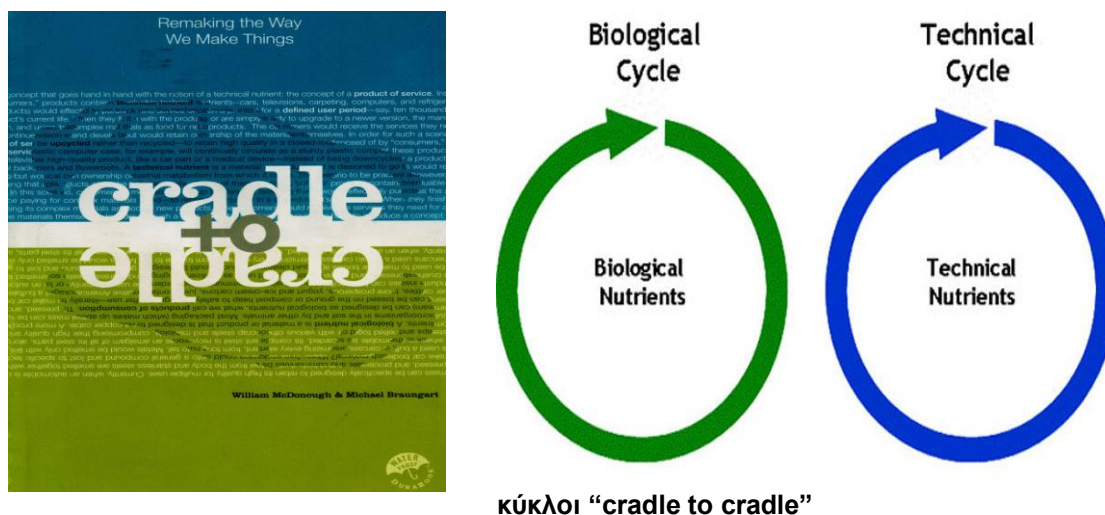
Ο σχεδιασμός «Cradle-to-Cradle» αφορά την κατασκευή προϊόντων μέσω μιάς επαναλαμβανόμενης ανακύκλωσης βιολογικών και τεχνολογικών υλικών, δηλαδή τα προϊόντα να σχεδιάζονται ώστε να κατασκευάζονται από απλά συστατικά που είναι εύκολο να αποσυντεθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν με βιολογικούς και τεχνολογικούς κύκλους για πολλές φορές. Φυσικά τέτοια προϊόντα θέλουν συστηματικό σχεδιασμό.

Η φράση "**Cradle-to-Cradle**" πρωτοχρησιμοποιήθηκε από τον Walter Stahel τη δεκαετία του 1970, ενώ έγινε ευρύτερα γνωστή από τον Αμερικανό αρχιτέκτονα William McDonough και τον Γερμανό χημικό, καθηγητή, Δρ. Michael Braungart. Το 2002 έκαναν την έκδοση του καινοτόμου βιβλίου με τίτλο "**Cradle-to-Cradle: Remaking the Way We Make Things**", όπου εξέθεταν με απλό αλλά κατανοητό τρόπο την ριζοσπαστική τους ιδέα.

Η έννοια "Cradle-to-Cradle" υπογραμμίζει ότι δεν υπάρχει επιλογή μεταξύ οικονομικής και οικολογικής ευημερίας. Η οικονομία και η οικολογία του πλανήτη μας μπορούν κάλλιστα να συνυπάρξουν. Για την επίτευξη όμως του στόχου αυτού απαιτείται να σχεδιάσουν τα προϊόντα με ριζοσπαστικές αλλαγές και έξυπνες-μελετημένες ιδέες, το ίδιο όπως τα κτίρια και οι αστικές περιοχές που ζουν οι περισσότεροι άνθρωποι.

Αν οι άνθρωποι ακολουθήσουν τις αρχές της έννοιας "Cradle-to-Cradle", οι διαδικασίες παραγωγής θα είναι «καθαρές», τα οικοσυστήματα θα μπορέσουν να ενσωματωθούν στα κτίρια και τις πόλεις που κατασκευάζουμε

και τα προϊόντα θα μπορούν να αποσυναρμολογούνται σε πρώτες ύλες, με αποτέλεσμα οι καταναλωτές να μην είναι πλέον αναγκασμένοι να συμβάλλουν στη ρύπανση της φύσης μέσω της αγοράς και της χρήσης των προϊόντων. Η φιλοσοφία "Cradle-to-Cradle" επομένως, δεν καθιστά απλά μια νέα επαναστατική οικολογική έννοια, αλλά και ένα ολοκαίνουργιο επιχειρηματικό μοντέλο. Τα υλικά πρέπει να μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκ νέου ως βιολογικές θρεπτικές ουσίες ή ως πρώτες ύλες χωρίς απώλειες ποιότητας.



Σχήμα 2. 6. Η ιδέα για το σχεδιασμό προϊόντων «Cradle to cradle» (δηλαδή, από την κοιτίδα στην κοιτίδα» ή από την «κούνια στην κούνια» έχει καθιερώσει νέες ιδέες για το σχεδιασμό και τη διάθεση προϊόντων με πράσινες αρχές χημείας.

Το 2002 ένα βιβλίο "**Cradle to Cradle. Remaking the Way We Make Things**" (North Point Press, New York, 2002) των William McDonough & Michael Braungart . Το βιβλίο είχε εκπληκτικές πωλήσεις διεθνώς (έγινε μπεστσέλερ) για τις καινοτόμες ιδέες στο σχεδιασμό καταναλωτικών προϊόντων. Επιπλέον ο καθηγητής Braungart καθιέρωσε ετήσιο κατάλογο των καλύτερων προϊόντων πράσινης χημείας και σχεδιασμού καταναλωτικών προϊόντων.

2.6. Επιστημονικές Περιοχές Εφαρμογών της Πράσινης Χημείας

Από τη δεκαετία του 1960 οι χημικές βιομηχανίες προχώρησαν σε προγράμματα εξοικονόμησης ενέργειας και προστασίας των εργαζομένων και του περιβάλλοντος γιατί υπήρχαν σαφώς οικονομικά οφέλη. Οι τεχνολογίες που εφαρμόστηκαν δεν ήταν μόνο φιλικές στο περιβάλλον αλλά και πιο αποδοτικές. Ορισμένες χημικές διεργασίες και πρακτικές διατηρήθηκαν (για παράδειγμα στην οργανική σύνθεση) επί δεκαετίες, με μικρές αλλαγές πρώτων υλών και εναλλακτικές καταλυτικές τεχνικές. Οι χημικοί πιστεύουν ότι μπορούν να επιτευχθούν οι ίδιοι ή καλύτεροι στόχοι και λιγότερο τοξικά προϊόντα και απόβλητα με τις αρχές της πράσινης χημείας.

Το 1998 με τη συνεργασία της OECD, μέσω του προγράμματος “Risk Management Programme”, προωθήθηκε μία νέα δραστηριότητα είχε ονομασθεί «Βιώσιμη Χημεία» (“Sustainable Chemistry”), με σκοπό να προωθήσει νέες εναλλακτικές πρακτικές στη χημική βιομηχανία φιλικότερες στο περιβάλλον. Δημιουργήθηκε λοιπόν μία επιτροπή και με εκπροσώπους πολλών βιομηχανικών χωρών (Ιαπωνία, Γερμανία, Καναδάς, Σουηδία, κ.λπ) που έθεσε τις βάσεις για τις περιοχές εφαρμογών της πράσινης χημείας.

Οι περιοχές εφαρμογής της πράσινης χημείας προσδιορίστηκαν, και έχουν επιλεγεί με γνώμονα την οικονομία και την αειφόρο ανάπτυξη.

1. **Χρησιμοποίηση εναλλακτικών πρώτων υλών** (use of alternative feedstocks). Στον τομέα αυτό υπάρχουν ήδη σημαντικές εξελίξεις και μεγάλος αριθμός νέων τεχνολογιών. Οι πρώτες ύλες στη χημική βιομηχανία πρέπει να είναι ανανεώσιμες σε αντίθεση με τις πρώτες ύλες της πετροχημικής βιομηχανίας που έχουν περιορισμένο χρονικό πλαίσιο. Επίσης, να είναι λιγότερο τοξικές για την υγεία των εργαζομένων και καταναλωτών και συγχρόνως φιλικές προς το περιβάλλον.
2. **Χρήση χημικών αντιδραστηρίων που έχουν μικρό βαθμό επικινδυνότητας** (use less hazardous reagents). Από τις γνώσεις μας μέσω των τοξικολογικών και οικοτοξικολογικών ερευνών, είναι γνωστά τα δεδομένα και ο βαθμός τοξικότητας πολλών αντιδραστηρίων. Άρα η χημική βιομηχανία και οι ερευνητές γνωρίζουν και δύνανται να αντικαταστήσουν ορισμένα αντιδραστήρια, ιδιαίτερα με νέες καταλυτικές τεχνικές, στη σύνθεση νέων προϊόντων.
3. **Εφαρμογή νέων φυσικών διεργασιών** (use of natural processes). Οι επιστήμονες τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αναπτύξει νέες βιοσυνθετικές οδούς παρασκευής χημικών ουσιών και βιοκαταλυτικές μεθόδους που έχουν μεγάλη εκλεκτικότητα και δίνουν καλύτερες αποδόσεις στη σύνθεση πολλών χρήσιμων χημικών υλικών. Άρα, η πράσινη χημεία και νέες μέθοδοι μπορούν να ανατικαταστήσουν τις παλαιές πρακτικές.
4. **Χρησιμοποίηση εναλλακτικών διαλυτών** (use of alternative solvents). Για πολλές δεκαετίες χρησιμοποιούνται διαλύτες με τοξικές ιδιότητες και σε μερικές περιπτώσεις επικίνδυνοι στο περιβάλλον (όταν καταστούν απόβλητα μετά από χρήση). Η χημική βιομηχανία και οι ερευνητές μπορούν να επενδύσουν σε εναλλακτικούς διαλύτες και τεχνικές (π.χ. συνθέσεις χωρίς διαλύτες η/και διαλύτη νερό). Στον τομέα αυτό έχουν επιτευχθεί πολλές νέες ανακαλύψεις. Η σημαντική μείωση των αποβλήτων στην οργανική σύνθεση είναι ακόμη μία πλευρά της ίδιας προσπάθειας.
5. **Σχεδιασμός ασφαλέστερων χημικών ουσιών και χημικών προϊόντων** (design of safer chemicals and products). Υπάρχουν ήδη πολλές εξελίξεις και μεθοδολογίες στην επιστήμη της τοξικολογίας για την εκτίμηση του κινδύνου, ακόμη και με βάση τη δομή των ενώσεων (**Quantitative structure-activity relationships, QSARs**), Επίσης, είναι γνωστοί οι τοξικολογικοί μηχανισμοί δράσης. Άρα, οι χημικοί μπορούν να παρασκευάσουν λιγότερο τοξικά προϊόντα και να συνθέσουν χημικές ουσίες που να έχουν χαμηλότερη τοξικότητα.



Σχήμα 2. 7. Εικόνα χημικού εργαστηρίου σε χημική βιομηχανία. Η Πράσινη Χημεία επιδιώκει την ριζοσπαστική αλλαγή στις μεθοδολογίες και στην παραγωγή χημικών προϊόντων. Οι χημικές βιομηχανίες μπορούν να επιλέξουν καινοτόμες μεθοδολογίες με λιγότερη ενεργειακή κατανάλωση και με λιγότερα απόβλητα.

6. **Ανάπτυξη εναλλακτικών συνθηκών αντιδράσεων** (developing alternative reaction conditions). Οι χημικοί έχουν ανακαλύψει πολυάριθμες συνθήκες για μεγάλο αριθμό αντιδράσεων. Φωτοχημικές αντιδράσεις, ηπέρηχοι, μικροκύματικές συνθήκες, χαμηλές θερμοκρασίες έχουν αποδειχθεί ότι εφαρμοζόμενες δίνουν καλύτερες αποδόσεις και καθαρά προϊόντα που δεν απαιτούν διαλύτες για διαχωρισμό ή πολύπλοκες διαχωριστικές τεχνικές και ξήτρανση. Άρα θα μπορούσαν να εφαρμοσθούν στη χημική βιομηχανία.
7. **Δραστική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας** (minimizing energy consumption). Η χημική βιομηχανία έχει επενδύσει σε νέες τεχνολογίες για τη μείωση της ενέργειας σε πολλές διεργασίες. Επειδή η κατανάλωση ενέργειας είναι ακρογωνιαίος παράγοντας οικονομίας και μείωσης της περιβαλλοντικής ρύπανσης, πρέπει να γίνουν επιπλέον προσπάθειες για να γενικευθεί η μείωση της ενέργειας σε όλες τις διαδικασίες παραγωγής, συσκευασίας, εμπορικής διάθεσης και ανακύκλωσης των προϊόντων.

Η παρουσίαση αυτή ήταν πολύ συνοπτική για τους κρίσιμους τομείς όπου οι αρχές της πράσινης ή αειφόρου χημείας βρίσκουν εφαρμογές. Οι περιοχές αυτές έχουν ήδη διερευνηθεί και έχουν γίνει πολλές πρόοδοι για να εφαρμοσθούν.



Σχήμα 2.8. Εικόνα ερευνητικού χημικού εργαστηρίου. Στα χημικά εργαστήρια χρησιμοποιούνται πολλοί διαλύτες και τοξικά αντιδραστήρια. Η Πράσινη Χημεία θεωρεί ότι οι πρακτικές αυτές πρέπει να αλλάξουν με λιγότερο τοξικούς διαλύτες και πρακτικές με ελάχιστη παραγωγή αποβλήτων. Η διαχείριση των χημικών αποβλήτων είναι πολυέξοδη.

2.7. Χρησιμοποίηση Εναλλακτικών Πρώτων Υλών και Διεργασιών Σύνθεσης στην Έρευνα και την Χημική Βιομηχανία

Οι πρώτες ύλες είναι σημαντικό τμήμα της οργανικής σύνθεσης και της βιομηχανικής παρασκευής χημικών προϊόντων. Ανάλογα με τις πρώτες ύλες παράγονται και αντίστοιχα προϊόντα.

Μέχρι τώρα γνωρίζουμε ότι η πετροχημική βιομηχανία είναι ο πυρήνας πρώτων υλών για τη χημική βιομηχανία, αλλά και των 20-25.000 χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται στην έρευνα (πανεπιστήμια, ερευνητικά κέντρα, ινστιτούτα και εργαστήρια αναλύσεων). Η αλλαγή αυτή όμως πρέπει να λάβει υπόψη της οικονομικές παραμέτρους, ενεργειακή κατανάλωση, στάδια σύνθεσης, απόβλητα, καθαρισμούς, ποιότητα και τοξικότητα προϊόντων και με απώτερο σκοπό τη ρύπανση ευαίσθητων οικοσυστημάτων. Η Πράσινη Χημεία προτείνει.

α) **Ανανεώσιμες πρώτες ύλες (Renewable feedstocks).**

Οι πρώτες ύλες πρέπει να είναι **ανανεώσιμες**. Η δεύτερη ιδιότητα που ενδιαφέρει την πράσινη χημεία είναι η **χαμηλότερη τοξικότητα** ώστε να ανταποκρίνεται στην προστασία των εργαζομένων και του περιβάλλοντος. Η χημική βιομηχανία πρέπει να αναζητήσει προοδευτικά νέες πρώτες ύλες. Η πράσινη χημεία προτείνει στροφή προς βιολογικές πρώτες ύλες σε αντίθεση

με τις πρώτες ύλες της πετροχημικής βιομηχανίας. Είναι γνωστό σε όλους ότι αυτό δεν είναι εύκολο ούτε πολλές φορές εφικτό.. Στον τομέα αυτό όμως έχουν επιτευχθεί σημαντικές πρόοδοι και ορισμένες βιομηχανίες χρησιμοποιούν εναλλακτικές και ανανεώσιμες πηγές πρώτων υλών.

β) Ελαιοχημεία (Oleochemistry).

Τα φυτικά έλαια και ζωικά λίπη (κτηνοτροφία) μπορούν να καταστούν πηγή πρώτων υλών. Ήδη υπάρχουν αρκετές ερευνητικές και εφαρμοσμένες μελέτες για την χρήση φυτικών ελαίων και λιπών από φυτικά και ζωικά προϊόντα για την παρασκευή καλλυντικών, πολυμερών, λιπαντικών και άλλων προϊόντων.

γ) Φωτοχημεία (Photochemistry).

Μία άλλη διάσταση που προσθέτει η Πράσινη Χημεία στη σύνθεση χημικών ουσιών είναι το φως στην ευρύτερη έννοιά του. Το φως (ορατό και υπεριώδες) μπορεί να παίξει ρόλο ενεργειακού καταλύτη σε αντίθεση με τοξικούς μεταλλικούς καταλύτες που χρησιμοποιούνται τώρα. Το φως, και ιδιαίτερα η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και μέσω της Φωτοχημείας μπορεί να αποβεί χρήσιμο. Σήμερα έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμες δυνατότητες, μετά από ερευνητικές εργασίες, για τη χρήση του άφθονου ηλιακού φωτός στις οργανικές συνθέσεις χημικών ουσιών.

δ) Φωτοκαταλυτική σύνθεση με οξείδιο του Τιτανίου.

Τα τελευταία χρόνια έχουν σημειωθεί σημαντικές πρόοδοι στη χρήση φωτοχημικών αντιδράσεων παρουσία οξειδίου του Τιτανίου (TiO_2) σε συνθήκες ορατού φωτός για βιομηχανικές συνθέσεις. Η κατανάλωση ενέργειας είναι περιορισμένη και περιορίζονται οι διαλύτες και τα απόβλητα.

ε) Φωτοκαταλυτικές οξειδωτικές μέθοδοι διάσπασης. Εξουδετέρωση αποβλήτων

Η φωτοκατάλυση (με τιτάνιο και άλλα οξείδια μετάλλων) μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την γρήγορη διάσπαση ή εξουδετέρωση τοξικών και επικίνδυνων ουσιών και αποβλήτων. Οι μέθοδοι αυτοί χρησιμοποιούν διάφορα οξειδωτικά μέσα [υπεροξείδιο του υδρογόνου, όζον, TiO_2 , αντιδραστήρια Fenton ($Fe^{2+} + H_2O_2$), κ.λπ.]. Στις μεθόδους αυτές δεν χρησιμοποιούν άλλες χημικές ουσίες, δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον και τα προϊόντα διάσπασης είναι μη τοξικές μικρού μοριακού βάρους χημικές ουσίες. Οι μέθοδοι καλούνται Προχωρημένες Οξειδωτικές Διεργασίες (**Advanced Oxidation Processes, AOP**) και με τη βοήθεια του φωτός (κυρίως υπεριώδες) έχουν επεκταθεί στην τεχνολογία απορρύπανσης και εξουδετέρωσης τοξικών και υγρών βιομηχανικών αποβλήτων.

ζ) Βιομάζα ως πρώτη ύλη και Βιοκαύσιμα. (Waste Biomass as chemical feedstock, biomaterials and biofuels).

Τις τελευταίες δεκαετίες πολλές αγροτικές και κτηνοτροφικές παραγωγικές διεργασίες καταλήγουν να παράγουν τεράστιες ποσότητες φυτικών και ζωικών αποβλήτων βιολογικής προέλευσης. Η βιομάζα με κατάλληλη κατεργασία μπορεί να συνεισφέρει στην παραγωγή πρώτων χημικών υλών (biomaterials) στη χημική βιομηχανία.

η) Βιοαποικοδόμηση της βιομάζας.

Κατ' αρχάς η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας (βιοαέριο). Επίσης με φυσικές και χημικές διεργασίες μπορεί η βιομάζα να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή βιοκαυσίμων (βιοντήζελ). Το 2005 η εκμετάλλευση της βιομάζας συνεισέφερε περίπου, το 19% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας. Ενώ τα βιολογικά καύσιμα αντιστοιχούν, περίπου, στο ~4% της βενζίνης που καταναλώνεται στα οχήματα.



Σχήμα 2.9. Η Βιομάζα μπορεί να αποτελέσει πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου ή υγρών καυσίμων, όπως επίσης και πρώτων υλών για τη χημική βιομηχανία.

θ) Βιοκατάλυση και Βιομετασχηματισμοί (Biocatalysis, Biotransformations).

Η βιοκατάλυση θεωρείται κατεξοχήν πράσινη τεχνική. Τα ένζυμα χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια σε πολλές βιομηχανικές παραγωγικές διεργασίες για παραγωγή χημικών ουσιών και πρώτες ύλες για την φαρμακευτική και την χημική βιομηχανία. Η βιοκατάλυση βρίσκεται στο μεταίχμιο των διεργασιών ζύμωσης (για την παρασκευή αλκοολούχων ποτών και άλλων προϊόντων) και της πετροχημικής βιομηχανίας. Οι βιομετατροπές που μπορούν να επιτευχθούν μέσω της βιοκατάλυσης είναι πράσινες πρακτικές που θα μπορούσαν να διευρύνουν τις μεθόδους βιομετατροπής οργανικών ενώσεων σε χρήσιμα προϊόντα.

Η βιοκατάλυση έχει εφαρμοσθεί σε πολλές βιομηχανικές πρακτικές.

ι) Δέσμευση του Διοξειδίου του Άνθρακα μέσω Βιομηχανικών Διεργασιών.

Η δέσμευση ή σύμπλεξη με διάφορα συμπλεκτικά μέσα (sequestering) του CO₂ μέσω χημικών διεργασιών που χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση και παραγωγή προϊόντων έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας. Επειδή το CO₂ είναι σημαντικό αέριο του θερμοκηπίου, οι χημικοί ερευνούν τρόπους να εφαρμόσουν πρακτικές πράσινης χημείας. Σημαντικός αριθμός ερευνών επεξεργάζονται πρώτες ύλες, χημικές διεργασίες και σχεδιασμό προϊόντων ώστε να περιλαμβάνεται και η δέσμευση ή χρήση του CO₂ που παράγεται. .

2.8. Χρησιμοποίηση Μειωμένης Τοξικότητας και Επικινδυνότητας Χημικών Αντιδραστηρίων και Διαλυτών στις Συνθετικές Διεργασίες

Όπως γίνεται και με την επιλογή των πρώτων υλών για την Πράσινη Χημεία, η επιλογή των αντιδραστηρίων στις συνθετικές διεργασίες μπορούν να γίνουν με κριτήρια επικινδυνότητας. Κατ' αρχάς πρέπει να αναλυθεί η καταλληλότητα και τα στάδια σύνθεσης αλλά και οι εναλλακτικές προοπτικές για τον περιορισμό της ρύπανσης και την έκθεση των εργαζομένων.

Σύμφωνα με τις αρχές της Πράσινης Χημείας η επιλογή των αντιδραστηρίων και διαλυτών πρέπει να γίνει με κριτήρια τοξικότητας και να εξετασθεί η πορεία της χρήσης τους (σύνθεση, διαχωρισμός, καθαρισμός, ανακύκλωση, απόρριψη, επαναχρησιμοποίηση, κ.λπ).

Μία από τις διεργασίες που πρέπει να ενδιαφέρει τον χημικό είναι η μείωση των τοξικών αποβλήτων. Αλλά και σε περιπτώσεις δημιουργίας αναπόφευκτων αποβλήτων πρέπει να επιδιώκεται η μείωση της τοξικότητας και η φιλική στο περιβάλλον κατεργασία τους.

Οι χημικοί σύμφωνα με τις τάσεις της πράσινης χημείας πρέπει να μελετήσουν την εκλεκτικότητα των αντιδράσεων ώστε να επιτυγχάνουν μεγαλύτερες αποδόσεις, λιγότερα απόβλητα και μικρής τοξικότητας προϊόντα. Οι νέες καταλυτικές μέθοδοι πιστεύεται ότι θα μπορούσαν να επιτύχουν αυτούς τους στόχους.

α) Οξειδωτικές πορείες και πράσινη χημεία

Υπάρχουν πολυάριθμες έρευνες για χημικές οξειδώσεις με αρχές πράσινης χημείας που απαιτούν μη τοξικούς διαλύτες (όπως νερό, διοξείδιο του άνθρακα) και σε ήπιες συνθήκες. Το υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2) είναι αρκετά καλή οξειδωτική ένωση, με παραγωγή μόνο νερού και υψηλή εκλεκτικότητα. Ωστόσο, η χρήση του είναι περιορισμένη και γίνονται προσπάθειες για νέες ομοιογενείς και ετερογενείς διεργασίες σε συνδυασμό με άλλους καταλύτες. Οι οξειδωτικές συνθέσεις είναι εξαιρετικά σημαντικές στην φαρμακευτική, πετροχημική και αγροτική χημική βιομηχανία. Διάφορες οξειδωτικές ενώσεις, όπως μοριακό οξυγόνο, οξείδια του αζώτου και άλλες ενώσεις συμβαδίζουν με τις αρχές πράσινης χημείας. Οξειδώσεις σε αέρια φάση του βενζολίου, της κυκλοπεντανόνης και του προπυλενίου είναι μερικές από τις εφαρμογές. Η χημική βιομηχανία έχει κάνει σημαντικές προόδους στον τομέα αυτό.

Επίσης, τα τελευταία χρόνια προωθούνται διάφορες καταλυτικές μέθοδοι με τη χρήση νέων υλικών, ιδιαίτερα μεταλλικά σύμπλοκα και συμπλέγματα μεταλλικών συστημάτων. Τα πιο σημαντικά που έχουν μελετηθεί τα τελευταία χρόνια είναι: τα μεταλλο-υπεροξο συστήματα (metal-peroxo systems), τα πολυ-οξομεταλλικά συμπλέγματα (polyoxometal-lates), [Polyoxometallates (POM), οξείδια μετάλλων υπό μορφή συμπλεγμάτων (metal oxide clusters) κυρίως Βολφραμίου], και τα ετερο-ανιόντα (heteroanions). Επίσης, διεξάγονται πολυάριθμες έρευνες με καταλυτικά υλικά που στηρίζονται σε ζεολίτες (zeolitic materials). Οι επιφάνειες των ζεολιτών μπορούν να αποβούν εκλεκτικές σε διάφορες οργανικές συνθέσεις

β) Καταλυτική εκλεκτικότητα στις χημικές συνθέσεις

Οι χημικοί, σύμφωνα με τις τάσεις της πράσινης χημείας πρέπει να μελετήσουν την εκλεκτικότητα των αντιδράσεων ώστε να επιτυγχάνουν μεγαλύτερες αποδόσεις, λιγότερα απόβλητα και μικρής τοξικότητας προϊόντα. Οι νέες καταλυτικές μέθοδοι μπορούν να επιτύχουν αυτούς τους στόχους και η πράσινη χημεία πρέπει να προωθήσει την έρευνα στον τομέα αυτό.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν σημειωθεί πρόοδοι στη συνθετική οργανική χημεία με την ανακάλυψη νέων καταλυτών με μειωμένα στάδια σε συνθετικές πορείες. Αρκετές βιομηχανικές εφαρμογές στηρίζονται σε ανόργανα πολυοξέα (inorganic polyacids) και ετερο-πολυοξέα (heteropolyacids) ως πράσινοι καταλύτες σε οξειδώσεις, την ενυδάτωση μιγμάτων βουτενίου, και πολυμερισμό τετραϋδροφουρανίου. Η ετερογενής κατάλυση έχει δείξει ενδιαφέροντα αποτελέσματα γιατί παράγει καθαρότερα υλικά, μικρότερες ποσότητες αποβλήτων και εύκολο διαχωρισμό. Των προϊόντων Διάφορα πορώδη υλικά (μικρής διαμέτρου πόρους) έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται με τη δυνατότητα να ρυθμίζουν τη διάχυση των αντιδρώντων (mesoporous solid acids). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνουν εκλεκτική κατάλυση, ταχύτερες συνθετικές πορείες και καθαρότερα προϊόντα.

Οι χημικές βιομηχανίες πολυμερών και πλαστικών προϊόντων έχουν σημειώσει ριζικές αλλαγές στις μεθοδολογίες τους. Πρόσφατα έχουν επιτευχθεί σημαντικές αλλαγές στις χημικές μεθόδους πολυμερισμού και παραγωγής πολυμερικών υλικών με τις αρχές της πράσινης χημείας. Χρήση νέων πρώτων υλών, μείωση αποβλήτων και βιοκαταλυτικές μέθοδοι χωρίς διαλύτες έχουν εφαρμοσθεί με σημαντικές επιτυχίες για την παραγωγή γνωστών εμπορικών πολυμερών.

2.9. Εφαρμογή Νέων Φυσικών Διεργασιών και Συνθηκών στη Σύνθεση Χημικών Ουσιών

Οι χημικοί στην έρευνα και στη χημική βιομηχανία χρησιμοποιούν εδώ και δεκαετίες νέες συνθήκες και φυσικοχημικές διεργασίες με κανόνες πράσινης χημείας για τη σύνθεση χημικών ουσιών. Τα ιονικά υγρά ως εναλλακτικοί διαλύτες, σύνθεση με διαλύτη νερό, πολυφθοριωμένες φάσεις για σύνθεση, υπερκρίσιμο CO₂, υπέρηχοι και μικροκύματα είναι μερικές από τις εφαρμογές.

α) Ιονικά υγρά (ionic liquids) και οργανική σύνθεση

Τα ιονικά υγρά είναι μίγματα ανιόντων και κατιόντων, τηγμένα άλατα, με σημείο τήξης περίπου 100° C, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικοί διαλύτες στην οργανική σύνθεση. Αν και τα ιονικά υγρά δεν συμβαδίζουν με την ορολογία της πράσινης χημείας, πιστεύεται ότι σε μία δεκαετία θα μπορέσουν να καταστούν αρκετά «πράσινα» για να αποτελέσουν εναλλακτικούς διαλύτες.

β) Οργανική σύνθεση σε υδάτινο περιβάλλον.

Σήμερα το νερό μπορεί να χρησιμοποιείται ως διαλύτης σε πολλές οργανικές συνθέσεις. Οι οργανικές συνθέσεις Diels-Alder είναι ένα παράδειγμα. Το νερό αποτελεί ιδανικό διαλύτη, επιταχύνει την πορεία της αντίδρασης και προωθεί την εκλεκτικότητα, ακόμη και για αντιδραστήρια τα οποία είναι ελάχιστα διαλυτά ή/και αδιάλυτα στο νερό.

γ) Μέθοδοι οργανικής σύνθεσης σε πολυφθοριωμένες φάσεις

Στις τεχνικές αυτές χρησιμοποιούνται πολυφθοριωμένα διφασικά συστήματα διαλυτών, που διαλύουν έναν καταλύτη με μεγάλου μήκους υπερφθοριωμένη αλκυλο- αλυσίδα σε ένα αλειφατικό υπερφθοριωμένο διαλύτη. Τα αντιδραστήρια προστίθενται στον οργανικό διαλύτη που είναι αδιάλυτος στην υπερφθοριωμένη φάση. Κατά τη θέρμανση του μείγματος οι δύο φάσεις αναμιγνύονται και αυτό βοηθάει εξαιρετικά στην επιτάχυνση της αντίδρασης των αντιδρώντων και με πολύ καλή απόδοση.

δ) Υπερκρίσιμο διοξείδιο του άνθρακα και υπερκρίσιμο νερό

Υπερκρίσιμο υγρό είναι η κατάσταση κατά την οποία ένα υγρό βρίσκεται σε θερμοκρασία και πίεση μεγαλύτερη των αντίστοιχων κρίσιμων τιμών και συνήθως σε κατάσταση υπερρευστότητας. Υπάρχει και κατάσταση με υπερκρίσιμα υγρά κατά την εκχύλιση (SFE, supercritical fluid extraction). Οι αντιδράσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες με υπερκρίσιμο διοξείδιο του άνθρακα και νερό έχουν πολλές ιδιότητες που ταιριάζουν με τις αρχές της «πράσινης» χημείας, με υψηλές αποδόσεις και με την χρήση μη τοξικών διαλυτών.

ε) Χρήση Μικροκυμάτων (microwave) στην οργανική σύνθεση

Η χρήση φούρνων μικροκυμάτων (microwave furnace) στην οργανική σύνθεση είναι μία πρακτική που έχει ξεκινήσει εδώ και πολλά χρόνια με εντυπωσιακά αποτελέσματα στη σύνθεση πολλών οργανικών ενώσεων. Οι αντιδράσεις είναι σύντομες, οι αποδόσεις ικανοποιητικές και μπορούν να διεξαχθούν χωρίς τη χρήση διαλυτών.

ζ) Χημεία Υπερήχων (Sonochemistry) στην οργανική σύνθεση

Η χρήση υπερήχων είναι μία άλλη προσέγγιση για τη χρήση ήπιων μορφών ενέργειας στην οργανική σύνθεση. Αν και οι υπέρηχοι χρησιμοποιούνταν επί δεκαετίες στη βιομηχανία και στα ακαδημαϊκά εργαστήρια, η χρήση τους στην οργανική σύνθεση είναι πρόσφατη. Πλεονεκτήματα είναι ότι οι οργανικές συνθέσεις επιτυγχάνονται σε υψηλές αποδόσεις με μικρή χρήση διαλυτών και με περιορισμένα παραπροϊόντα.

Εκτός από τις παραπάνω «πράσινες» πρακτικές που εφαρμόστηκαν με επιτυχία στην οργανική σύνθεση ώστε να αποφευχθεί η χρήση τοξικών οργανικών διαλυτών, υπάρχουν και άλλες μεθοδολογικές προσεγγίσεις, όπως τα Θερμορυθμιζόμενα συστήματα, τα Διαλυτά πολυμερή (χρησιμοποιούνται ως καταλύτες) και οι βιοκαταλύτες (κυρίως ένζυμα) για την υποβοήθηση οργανικών συνθέσεων σε ήπιες συνθήκες.

2.10. Εναλλακτικοί Διαλύτες: Αντικατάσταση Τοξικών Διαλυτών. Λιγότερο Τοξικά Προϊόντα

Η αντικατάσταση ορισμένων κοινών διαλυτών που χρησιμοποιούνταν επί δεκαετίες στην οργανική σύνθεση και έχουν τοξικές ιδιότητες, είναι μία πρακτική που εφαρμόστηκε σε πολλά εργαστήρια. οργανικής σύνθεσης. Παραδείγματα υπάρχουν: τολουόλιο αντί βενζολίου, κυκλοεξάνιο αντί τετραχλωράνθρακα, διχλωρομεθάνιο αντί χλωροφόρμιου, κ.λπ. Στην επιστημονική βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετές έρευνες στις οποίες έγινε

αντικατάσταση διαλυτών χωρίς να μειωθεί η απόδοση και με λιγότερα τοξικά απόβλητα.

Δραστική Μείωση της Κατανάλωσης Ενέργειας. Με την ενεργειακή κρίση των τελευταίων δεκαετιών και με την ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου, οι πρακτικές της πράσινης χημείας αναγκαστικά τείνουν να προσαρμοσθούν στη δραστική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Είναι γνωστό ότι η πετροχημική βιομηχανία χρησιμοποιεί σημαντικές ποσότητες ενέργειας για την παραγωγή χημικών προϊόντων (φάρμακα, πλαστικά, λιπαντικά, απορρυπαντικά, ελαστομερή, λιπάσματα, φυτοφάρμακα, αναλυτικά αντιδραστήρια, κ.λπ). Το καθεστώς αυτό μπορεί να μεταβληθεί με «πράσινες» πρακτικές. Οι σημαντικότερες συνθετικές και παρασκευαστικές τεχνικές στη χημική βιομηχανία πρέπει να εξετασθούν από την αρχή για να διαπιστωθούν οι εναλλακτικές μεθοδολογίες μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας. Προς την κατελυθυσία αυτή έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες.

Μέχρι τώρα η επιστήμη της Χημείας έχει δεχθεί τα πυρά των περιβαλλοντικών οργανώσεων για τα τοξικά και επικίνδυνα προϊόντα της σε σχέση με τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Η λογική του κόστους και της μαζικής παραγωγής πρέπει να αλλάξει ριζικά. Η χημική βιομηχανία πρέπει να υπολογίζει το κόστος όχι μόνο με καταναλωτικά πρότυπα αλλά και με τις επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Η βιομηχανία πρέπει να εστιάσει την προσοχή της στην παραγωγή λιγότερο επικίνδυνων χημικών προϊόντων. Προϊόντα με βιοδιασπασιμότητα ώστε να μην βιοσυσσωρεύονται στην τροφική αλυσίδα, με μικρή λιποδιαλυτότητα για να μην προκαλούν βιοσυσσώρευση και ασθένειες και απλές τεχνικές για την εξουδετέρωσή τους στα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα. Αυτές όμως οι ιδιότητες πρέπει να ενσωματωθούν με το σχεδιασμό, δηλαδή προληπτικά, και όχι μετά τη χρήση τους και την εμφάνιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων.



Σχήμα 2.10. Η Πράσινη Χημεία μπορεί να προσφέρει πολύτιμες υπηρεσίες στην Αειφόρο Ανάπτυξη. Επίσης, η Πράσινη Χημεία και η Πράσινη Μηχανική μπορούν να βελτιώσουν τη χρήση ανανεώσιμων πρώτων υλών, ασφαλέστερων βιομηχανικών προϊόντων και λύσεις σε περιβαλλοντικά προβλήματα.

2.11. Συμπεράσματα: Πράσινη Χημεία και Αειφορία

Η Πράσινη Χημεία δεν είναι απλώς μία νέα θεωρητική εξέλιξη στις χημικές πρακτικές, αλλά ένα σύνθετο σύστημα αρχών και εναλλακτικών κανόνων που θα συμβάλλουν στην αειφορία. Η Πράσινη Χημεία μπορεί να ανατρέψει την αντίληψη του απλού ανθρώπου για τη Χημεία, ώστε το όνομα της χημικής επιστήμης να μην κηλιδώνεται από την εκμετάλλευση των πλουτοπαραγωγικών πηγών και την παραγωγή προϊόντων που ρυπαίνουν το περιβάλλον και έχουν επικίνδυνες επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Η εφαρμογή καινοτόμων μεθοδολογιών και νέων πρακτικών εφαρμογών μπορεί να γίνει σε όλο το φάσμα των χημικών διεργασιών. Νέες πρώτες ύλες που είναι ανανεώσιμες, ηπιότερες χημικές συνθέσεις, σχεδιασμός λιγότερο επικίνδυνων χημικών ουσιών, αντικατάσταση τοξικών διαλυτών και μείωση της κατανάλωσης ενέργειας είναι ορισμένες από τις προτάσεις της Πράσινης Χημείας.

Βιβλιογραφία

Γενικά για την Πράσινη Χημεία

1. Anasats PT, Williamson TC. *Green Chemistry: Designing Chemistry for the Environment*. ACS publications, Washington DC, 1996.
2. Anastas PT, Warner JC. *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford Science Publications, Oxford, 1998.
3. Anastas PT, Williamson TC (Eds). *Green Chemistry: Frontiers in Chemical Synthesis and Processes*. Oxford University Press, Oxford, 1998.
4. EPA. Green Chemistry Program. United States Environmental Protection Agency (EPA), Office of Pollution Prevention and Toxics. Washington DC, (<http://www.epa.gov/gcc>), 1999.
5. Clark JH. Green Chemistry: challenges and opportunities. *Green Chem* 1(1): 1-8, 1999.
6. Tundo P, Anastas P, Black D StC, Breen J, Collins T, Memoli S, Miyamoto J, Polyakoff M, Tumas W. Synthetic pathways and processes in green chemistry. Introductory overview. *Pure Appl Chem* 72: 1207-1228, 2000.
7. Anastas PT, Kirchhoff MM . Origins, current status, and future challenges of Green Chemistry. *Accounts Chem Res* 35(9): 689-694, 2002.
8. Μούγιος Π, Βαλαβανίδης Αθ. Πράσινη Χημεία: μια νέα «φιλοσοφία» με συγκεκριμένες περιβαλλοντικές προσεγγίσεις στο σχεδιασμό και παραγωγή χημικών προϊόντων. *Χημικά Χρονικά* 66(4):16-18, 2004.
9. Nameroff TJ, Garat RJ, et al. Adoption of Green Chemistry. An analysis based on US patents. *Res Policy* 33(6-7): 959-974, 2004.
10. Anastas PT, Warner JC. *Πράσινη Χημεία Θεωρία και Πράξη* (μετάφραση). Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 2007.
11. Anastas PT, Farris CA (Eds). *Benign by Design: Alternative Synthetic Design for Pollution Prevention*. ACS Symposium, Series NO. 577, ACS publications, Washington DC, 1994.
12. Tundo P, Anastas PT (Eds). *Green Chemistry: Challenging Perspectives*. Oxford University Press, Oxford, 2000.
13. Matlack AS. *Introduction to Green Chemistry*. Marcel Dekker, New York, 2001.
14. Lankey RL, Anastas PT. *Advancing Sustainability Through Green Chemistry and Engineering*. ACS publications, Washington DC, 2002.
15. McDonough W, Braungart M. *Cradle to Cradle. Remaking the Way We Make Things*. North Point Press, New York, 2002.
16. Lancaster M. *Green Chemistry: An Introductory Text*. Royal Society of Chemistry publs, RSC, Cambridge, 2004.
17. Anastas PT, Wood-Black F, Masciangioli T, et al. (Eds). *Exploring Opportunities in Green Chemistry and Engineering Education. A Workshop Summary to the Chemical Sciences Roundtable*. National Research Council (US). National Academies Press, Washington DC, 2007.
18. Clark JH, Macquarrie D (Eds). *Handbook of Green Chemistry and Chemical Technology*. Blackwell Science Ltd, Oxford, UK, 2007.

19. Anastas PT, Levy IJ, Parent KE (Eds). *Green Chemistry Education. Changing the Course of Chemistry*, ACS publications, Washington DC, 2009.
20. Grossman E. *Chasing Molecules: Poisonous Products, Human Health, and the Promise of Green Chemistry*. Island Press, New York, 2009.
21. Sharma SK. *Green Chemistry for Environmental Sustainability. Series: Advancing Sustainability Through Green Chemistry and Engineering*. CRC Press, Boca Raton, FL, 2010.

Εναλλακτικές Πρώτες Ύλες, Ελαιοχημεία, Βιομάζα (Alternative Feedstocks, Oleochemistry, Biomass)

22. Hill K. Fats and oils as oleochemical raw materials. *Pure Appl Chem* 72(7):1255-1264, 2000.
23. 5th Euro Fat Lipid Congress. *Oils, Fats, and Lipids: From Science to Application*. Innovations for A Better World, Gothenberg, Sweden, 2007. Dieckelmann G, Heinz HJ. *Basics of Industrial Oleochemistry*. Publs, Peter Pomp GmbH, Germany, 1990.
24. Dewulf J, Van Langenhove H (Eds). *Renewable-Based Technology: Sustainable Assessment*. Wiley-VCH Verlag GmbH, Bognor Regis, West Sussex, England, 2006.
25. Tundo P, Perosa A, Zachini F (Eds). *Methods and Reagents for Green Chemistry: An Introduction*. (Lectures of the Summer School of Green chemistry). Wiley-VCH, West Sussex, 2007.
26. Gutsche B, Roßler H, Wirkerts A. *Heterogeneous Catalysis in Oleochemistry*. Wiley-VCH Verlag GmbH, England, 2008,
27. Hofer R (Ed). *Sustainable Solutions for Modern Economies*. RSC Green Chemistry Series. Royal Society of Chemistry publications, Cambridge, 2009.
28. Clark JH, Deswarte EI. *Introduction to Chemicals from Biomass*. John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, UK, 2008.
29. Demirbas A. *Biorefineries for Biomass Upgrading Facilities*. Springer, Berlin & New York, 2009.
30. Benaglia M. *Renewable and Recyclable Catalysts*. Advancing Green Chemistry Series. Wiley-VCH, Chichester, West Sussex, UK, 2009.
31. Deublein D, Steinhauser A. *Biogas from Waste and Renewable Resources*. Wiley-VCH, Chichester, West Sussex, UK, (2nd ed), 2010.

Φωτοχημεία- Κατάλυση, Οργανική Σύνθεση

32. Albini A, Fagnoni M. Green chemistry and photochemistry were born at the same time. *Green Chem* 6:1-6, 2004.
33. Dunkin IR. Photochemistry. In : Clark JH, Macquarrie D (Eds). *Handbook of Green Chemistry and Chemical Technology*. Blackwell Science Ltd, Oxford, UK, 2007.
34. Ravelli D, Dondi D, Fagnoni M, Albini A. Photocatalysis: A multi-faceted concept for green chemistry. *Chem Soc Rev* 38:1999-2011, 2009.
35. Albini A. *Handbook for Synthetic Photochemistry*. Wiley-VCH, Chichester, West Sussex, UK, 2010.

36. Ballini R (Ed). *Eco-Friendly Synthesis of Fine Chemicals*. RSC Green Chemistry Series, Royal Society of Chemistry publications, Cambridge, 2009.
37. Prott S, Manzini S, Fagnini M, Albini A. The contribution of photochemistry to *Green Chemistry*. In: Ballini R (Ed.). *Eco-Friendly Synthesis of Fine Chemicals*. Royal Society of Chemistry, Green Chemistry. Series, RSC publications, Cambridge, 2009.

Φωτακαταλυτική Αποικοδόμηση, Προχωρημένες Οξειδωτικές Διεργασίες (Photocatalytic Degradation-Advanced Oxidation Processes)

38. Legrini O, Oliveros E, Braun AM. Photochemical Processes for Water Treatment. *Chem Rev* 93:671-698, 1993.
39. Blake DM. *Bibliography of Work on Photocatalytic Removal of Hazardous Compounds from Water and Air*. National Renewable Energy Laboratory, Colorado, USA, 1994.
40. Boule P (Ed.) *Environmental Photo-chemistry. The Handbook of Environmental Chemistry 2L*. Springer-Verlag, Berlin, 1999.
41. Beltran FJ. *Ozone Reaction Kinetics for Water and Wastewater Systems*. CRC Press, Boca Raton, FL, 2003.
42. Oppenlander T. *Photochemical Purification of Water and Air. Advanced Oxidation processes (AOP), Principles, Reaction Mechanisms, Reactor Concepts*. Wiley-VCH, Weinheim, 2003.
43. Parsons S. *Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment*. IWA Publishing, London, 2004.
44. Jones CW. *Applications of Hydrogen Peroxide and Derivatives*. RSC Clean Technology Monographs, RSC Publs, Cambridge, 2005.
45. Ilyas H, Qazi IA. *Titanium Dioxide Nanoparticles in Water Treatment . Phenol Degradation Using AOP Employing Titania Nanoparticles*. VDM Verlag Dr Muller, Weinheim, 2010.

Βιομάζα, Βιοϋλικά Βιοκάυσιμα (Biomass, Biomaterials, Biofuels)

46. Ravindranath NH, Hall DO. *Biomass, Energy, and Environment*. Oxford University Press, Oxford, 1995.
47. Ragauskas AJ, Williams CK, Davison BH, Britovsek G, et al. The Path forward for biofuels and biomaterials. Review. *Science* 311: 484-486, 2006.
48. Turner JA. A realizable renewable energy future. *Science* 285:687-689, 1999.
49. EURACTIV. European Union. Biomass: the miracle solution? 12/12/2005 (<http://www.euractiv.com/Article?tcmuri=tcm:29-150682-16&type=News>).
50. Reisch MS. Fuels of the future. *Chem Eng News* 20/11/2006, 2006.
51. Soetaert W, Vendamme E. *Biofuels*. Wiley-VCH, Weinheim, 2009.

Βιοκατάλυση, Βιομετατροπές (Biocatalysis, Biotransformations)

52. Whittall J, Sutton P. *Practical Methods for Biocatalysis and Biotransformations*. John Wiley and Sons Inc, Bognor Regis, West Sussex, UK, 2009.

53. Ran N, Zhai L, Chen Z, Tao J. Recent application of biocatalysis in developing green chemistry for chemical synthesis at the industrial scale. *Green Chem* 16:361-372, 2008.
54. Cheng H, Gross R (Eds). *Green Polymer Chemistry: Biocatalysis and Biomaterials*. Oxford University Press, Oxford, 2011.
55. Tao J, Kazlauskas RJ (Eds). *Biocatalysis for Green Chemistry and Chemical Process Development*. John Wiley and Sons Inc, Chichester, West Sussex, UK, 2011.

Δέσμευση ή Σύμπλεξη Διοξειδίου του Άνθρακα (CO₂)

56. Allen DJ, Brent GF. Sequestering CO₂ by mineral carbonation stability against acid rain exposure. *Environ Sci Technol* 44:12735-2739, 2010.
57. Hester RE. *Carbon Capture*. Royal Society of Chemistry Green Chemistry Series, RSC publications, Cambridge, 2009.
58. Holtz MH. Optimization of CO₂ sequestered as a residual phase in brine-saturated formations. In: Second Annual Conference on Carbon Sequestration : Developing the Technology Base to Reduce Carbon Intensity. Alexandria, Virginia, May, 2003.
59. Leimkuhler H-J (Ed). *Managing CO₂ Emissions in the Chemical Industry*. Wiley-VCH, Chichestr, West Sussex, UK, 2010.

Αντιδράσεις Πράσινης Χημείας : Οξειδώσεις, Κατάλυση, Ιονικά υγρά

60. Sheldon RA, Arends IW, Habefeld U (Eds). *Green Chemistry and Catalysis*. Wiley-VCH Verlag, Chichester, West Sussex, UK, 2007.
61. Hoelderich WF, Kollmer F. Oxidation reactions in the synthesis of fine and intermediate chemicals using environmentally benign oxidants and the right reactor system. *Pure Appli Chem* 72(7): 1273-1287, 2000.
62. Sanderson WR. Cleaner, industrial processes using hydrogen peroxide. *Pure Appli Chem* 72(7): 1289-1304, 2000.
63. Seddon KR, Stark A. Selective catalytic oxidation of benzyl alcohol and alkylbenzenes in ionic liquids. *Green Chem* 4: 119-123, 2002.
64. Cavani I. Catalytic selective oxidation faces the sustainability challenge: turning points, objectives reached, old approaches revisited and solutions still requiring further investigation. *J Chem Technol Biotechnol* 85(9): 1175-183, 2010.

Εκλεκτική Κατάλυση (ετεροπολυ-οξεία, οξομεταλλικά συμπλέγματα κ.λπ)

65. Pope M. *Heteropoly and Isopoly Oxometalates*. Springer, Berlin, 1983.
66. Misono M, Ono I, Koyano G, Aoshima A. Heteropolyacids. Versatile green catalysts usable in a variety of reaction media. In: Pignataro B (Ed). *Ideas in Chemistry and Molecular Sciences. Advances in Synthetic Chemistry*. RSC+ Wiley-VCH publs, Wiley-VCH, West Sussex, 2010.
67. Romanelli GP, Antino JC. Recent applications of heteropolyacids and related compounds in heterocycles synthesis. *Mini-review Organ Chem* 6: 359-366, 2009.
68. Clark JH. Solid acids for green chemistry. *Acc Chem Res* 35: 791-797, 2002.

69. Wilson K, Clark JH. Solid acids and their use as environmentally friendly catalysts in organic synthesis. *Pure Appl Chem* 72(7): 1313-1319, 2000.

Πράσινη Χημεία και Μέθοδοι Πολυμερισμού

70. Cheng HN, Gross RA (Eds). *Green Polymer Chemistry: Biocatalysis and Biomaterials*. ACS Symposium Series vol. 1043, ACS publs, Washington DC, 2010.
71. Tehfe MA, Lefevre J, Gigmes D, Fouassier JP. Green chemistry: sunlight-induced cationic polymerization of renewable epoxy monomers under air. *Macromolecules* 43: 1364-1378, 2010.
72. Young JL, DeSimone JM. Frontiers in green chemistry utilizing carbon dioxide for polymer synthesis and applications. *Pure Appl Chem* 72(7): 1357-1363, 2000.
73. Mathers RT, Meier MAR (Eds). *Green Polymerization Methods*. Wiley-VCH, Chichester, West Sussex, UK, 2011.

Χημικές Αντιδράσεις σε Εναλλακτικές Συνθήκες και Φυσικές Διεργασίες

74. Clarke D, Ali MA, Clifford AA, et al. Reactions in unusual media. *Curr. Top. Med. Chem.* 4:729-771, 2004.
75. West A. Promising a greener future: Ionic liquids have long been hailed as the future of green chemistry but can they live up to their promise? *Chemistry World*, RSC, March, 33-35, 2005.
76. Wasserscheid P. Volatile times for ionic liquids. *Nature* 439:797-798, 2006.
77. Freemantle M. Alkene metathesis in ionic liquids. *Chem. Eng. News*, 80(4), March 4 : 38-39, 2002.
78. Ranu BC, Banerjee S. Ionic liquid as reagent. A green procedure for the regioselective conversion of epoxides to vicinal-halohydrins using [AcMIm]X under catalyst- and solvent-free conditions. *J Org Chem*.70:4517-4519, 2005.
79. Li C-J, Chen L. Organic chemistry in water. Review. *Chem Soc Reviews* 35:68-82, 2006.
80. Tsukinoki T, Tsuzuki H. Organic reaction in water. Part 5. Novel synthesis of anilines by zinc metal-mediated chemoselective reduction of nitroarenes. *Green Chemistry* 3:37-38, 2001.
81. Li C-J, Chan TH. *Organic Reactions in Aqueous Media*. John Wiley & Sons, New York, 1997.
82. Grieco PA. *Organic Synthesis in Water*. Blackie Academic & Professional, London, 1998.
83. Ritter SK. Designing solvent solutions. Novel reaction systems combine best features of homogeneous and heterogeneous catalysis. *Chem. Eng. News*, 81(4), October 13: 66-68, 2003.
84. Leitner W. Supercritical carbon dioxide as a green reaction medium for catalysis. *Acc. Chem. Res.* 35:717-727, 2002.
85. Sato M, Ikushima Y, Hatakeda K, Zhang R. Applications of environmentally benign supercritical water to organic syntheses. *Anal. Sci.* 22:1409-1416, 2006.

86. Hancu D, Green J, Beckman EJ. H₂O in CO₂: sustainable production and green reactions. Review. *Acc Chem Res* 35:757-764, 2002.
87. Roberts BA, Strauss CR. Toward rapid, "green", predictable microwave-assisted synthesis. Review. *Acc Chem Res* 38:653-661, 2005.
88. Larhed M, Moberg C, Hallberg A. Microwave-accelerated homogeneous catalysis in organic chemistry. *Acc. Chem. Res.* 35:717-727, 2002.
89. Caddick S. Microwave assisted organic reactions. *Tetrahedron* 51:10403-10432, 1995.
90. Lidstrom P, Tierney J, Wathey B, Westman J. Microwave assisted organic synthesis-a review. *Tetrahedron* 57:9225-9283, 2001.
91. Price GJ, (Ed). *Current Trends in Sonochemistry*. Royal Society of Chemistry publications, Cambridge, 1992.
92. Cravotto G, Cintas P. Power ultrasound in organic synthesis: moving cavitation chemistry from academia to innovative and large-scale applications. *Chem. Soc. Reviews* 35:180-196, 2006.

Σχεδιασμό Ασφαλέστερων Χημικών Ουσιών, Διαλυτών και Υλικών

93. DeVito SC, Garrett RL . *Designing Safer Chemicals : Green Chemistry for Pollution Prevention*. ACS publications, Washington DC, 1996.
94. Knochel P, ed. *Modern Solvents in Organic Synthesis*. Springer, Berlin, 1999.
95. Green Solvents for Synthesis. Conference, Bruchsal/Germany, October 3-6, 2004.
96. Rogers RP, Seddon KR (Eds). *Ionic Liquids as Green Solvents. Progress and Prospects*. ACS Symposium Series No. 856, ACS publs, Washington DC, 2003.
97. Freemantle M. *Introduction to Ionic Liquids*. Royal Society of Chemistry Green Chemistry Series, RSC publs, Cambridge, 2009.
98. DeSimone JM. Practical approaches to green solvents. *Science* 297:799-803, 2002.
96. Koel M. *Green Analytical Chemistry*. Royal Society of Chemistry Green Chemistry Series, RSC publications, Cambridge, 2010.
97. Simons S. *Concepts of Chemical Engineering 4 Chemists*. Royal Society of Chemistry Green Chemistry Series, RSC publications, Cambridge, 2007.
98. Winterman N. *Chemistry for Sustainable Technologies*. Royal Society of Chemistry Green Chemistry Series, RSC publications, Cambridge, 2010.
99. Roesky HW. *Experiments in Green and Sustainable Chemistry*. Wiley-VCH, West Sussex, 2009.
100. Kerton FM. *Alternative Solvents for Green Chemistry*. RSC publications, Cambridge, 2009.

Πράσινη Χημεία και Εκπαίδευση. Πειράματα Πράσινης Χημείας

101. Scott R, Hutchison JE. Green chemistry in organic teaching laboratory: an environmentally benign synthesis of adipic acid. *J. Chem. Education* 77:1627-1629, 2000.
102. Lancaster M. Green Chemistry. *Educ Chem* , March 2000: 40-46, 2000.

103. Doxsee K, Hutchinson J. *Green Chemistry, Strategies, Tools and Laboratory Experiments*. Brooks/Cole, New York, 2004.
104. Anastas PT, et al. Exploring Opportunities in Green Chemistry and Engineering Education. A Workshop Summary of the Chemical Sciences Roundtable. National Academies Press, Washington DC, 2007.
105. Anastas PT, Levy IJ, Parent KE (Eds). *Green Chemistry Education. Changing the Course of Chemistry*, ACS publications, Washington DC, 2009.
106. ECTN portal. European Chemistry Thematic Network Association (A website dedicated to the European Higher Education area and the Chemistry Education).
107. American Chemical Society. ACS Summer School on Green Chemistry and Sustainable Energy. June-July, 2012.



3. Πράσινη Μηχανική (Τεχνολογία). Βασικές Αρχές και Εφαρμογές

3.1. Εισαγωγή: Πράσινη Μηχανική (Green Engineering)

Τις τελευταίες δεκαετίες η ανθρωπότητα έχει συνειδητοποιήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αλματώδους και σε πολλές χώρες αλόγιστης ανάπτυξης. Κατά την περίοδο αυτή αναπτύχθηκαν περιβαλλοντικά κινήματα με συγκεκριμένους στόχους, αλλά και τεχνολογικές εφαρμογές για τη μείωση των επιπτώσεων της ρύπανσης, όπως βελτιωμένες πρακτικές στη χημική βιομηχανία, περιορισμός στη χρήση φυτοφαρμάκων στη γεωργία, ανακύκλωση προϊόντων, διαχείριση αποβλήτων, μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, περιορισμοί στη χρήση νερού, κ.λπ.

Από την δεκαετία του 1990 το κίνημα της Πράσινης Χημείας βρήκε πολλούς υποστηρικτές στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις για την παραγωγή βιομηχανικών προϊόντων, ιδιαίτερα μέσα από προγράμματα εφαρμογής των αρχών της πράσινης χημείας και καινοτόμες τεχνολογίες.

Ο όρος **Πράσινη Μηχανική (Green Engineering)** έχει εμφανισθεί σε διάφορες πολυτεχνικές σχολές. Η μετάφραση της αγγλικής λέξης engineering έχει δημιουργήσει κάποια προβλήματα ορολογίας στους μηχανολόγους της Ελλάδας. Το ΤΕΕ αφιέρωσε μία ημερίδα (1/4/2009) για να διευκρινισθούν ορισμένες έννοιες και να προταθούν διάφορες ορολογίες. Για το engineering προτάθηκαν , μηχανική, μηχανική τεχνική, τεχνοεπιστήμη , μηχανολογία και μηχανοτεχνία. Για ορισμένους η πλησιέστερη ορολογία είναι η **μηχανοτεχνία**.



Εικόνα 3.1. Η Πράσινη Μηχανική και οι αρχές της (Green Engineering) είναι φυσικό συμπλήρωμα στις 12 αρχές της Πράσινης Χημείας τόσο για την παραγωγή προϊόντων όσο και για τις βιομηχανικές διεργασίες

Η έννοια της Πράσινης Μηχανικής (Μηχανοτεχνίας) θεωρείται η νέα τάση σχεδιασμού και παραγωγής προϊόντων με ανανεώσιμα υλικά, ελαχιστοποίηση της ρύπανσης και με κύριο σκοπό την επίτευξη της αειφορίας (ή βιώσιμης ανάπτυξης) χρησιμοποιώντας καινοτόμες επιστημονικές μεθόδους και νέες τεχνολογικές πρακτικές.¹⁻³

Όπως και με την Πράσινη Χημεία, η Πράσινη Μηχανική προσδιορίζεται από δώδεκα Αρχές (Principles). Οι 12 Αρχές υπερβαίνουν τις βασικές μηχανολογικές πρακτικές της ποιότητας και της ασφάλειας και επεκτείνονται σε παράγοντες περιβάλλοντος και οικονομίας, αλλά λαμβάνουν υπόψη τους και κοινωνικές παραμέτρους (υγεία και ασφάλεια εργαζομένων, ανθυγιεινές συνθήκες εργασιακών χώρων, κ.λπ). Οι Αρχές αυτές έχουν επιλεγεί με βαθμό προτεραιότητας και με ρεαλιστικές προοπτικές ώστε να μπορούν να εφαρμοσθούν σε τεχνολογικό και οικονομικό επίπεδο και για όσο το δυνατό μεγαλύτερο εύρος βιομηχανικών προϊόντων.

3.2. Οι Δώδεκα Αρχές της Πράσινης Μηχανικής

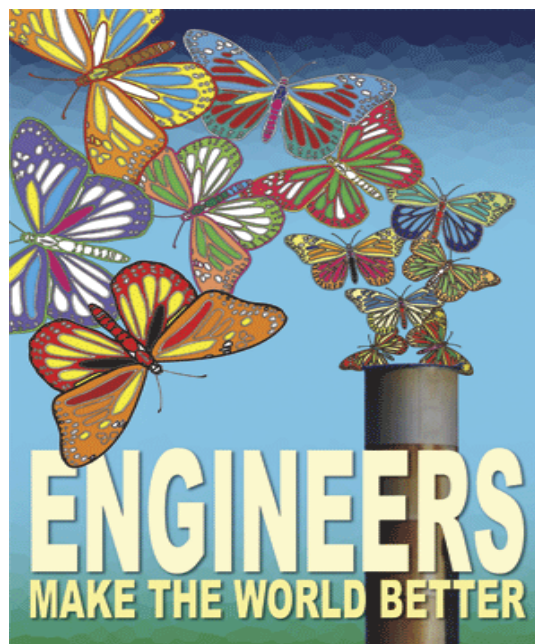
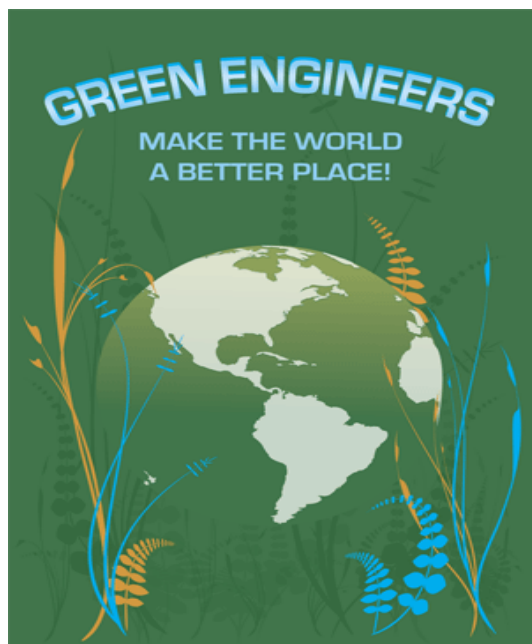
Οι 12 Αρχές της Πράσινης Μηχανικής, όπως τις προσδιορίζει το Green Chemistry Institute της Αμερικανικής Χημικής Εταιρείας (American Chemical Society) είναι οι παρακάτω. Κατά τη μετάφραση των όρων στα ελληνικά έγιναν μερικές απλοποιήσεις γιατί ορισμένοι όροι είναι εξειδικευμένοι στην ορολογία της μηχανικής και της τεχνολογίας και δεν μπορούν να αποδοθούν επακριβώς.

Αρχές Πράσινης Μηχανικής	Principles of Green Engineering
1. Έμφυτη μη επικινδυνότητα, υλικών και προϊόντων, αντί περιστασιακή. Οι σχεδιαστές βιομηχανικών προϊόντων πρέπει να προσπαθήσουν ώστε όλα τα υλικά και οι ενεργειακές εισαγωγές και εξαγωγές να είναι έμφυτα μη επικίνδυνα, όσο το δυνατόν πρακτικά εφικτό.	1. Inherent Rather Than Circumstantial Designers need to strive to ensure that all materials and energy inputs and outputs are as inherently nonhazardous as possible.
2. Πρόληψη αντί Κατεργασία (εκ των υστέρων) Οι τεχνολόγοι πρέπει να προβλέπουν ότι είναι προτιμότερο η πρόληψη δημιουργίας αποβλήτων, αντί να τείνουν στην κατεργασία και καθαρισμό μετά το σχηματισμό του αποβλήτου	2. Prevention Instead of Treatment It is better to prevent waste than to treat or clean up waste after it is formed.
3. Σχεδιασμός και Διαχωρισμός Διεργασίες διαχωρισμού και καθαρισμού πρέπει να σχεδιάζονται για να ελαχιστοποιήσουν την κατανάλωση ενέργειας και υλικών	3.Design for Separation Separation and purification operations should be designed to minimize energy consumption and materials use.
4. Μεγιστοποίηση Αποδοτικότητας Τα προϊόντα, οι διεργασίες και τα συστήματα πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να μεγιστοποιήσουν την αποδοτικότητα σε μάζα, ενέργεια, χώρο και χρόνο	4.Maximize Efficiency Products, processes, and systems should be designed to maximize mass, energy, space, and time efficiency.
5. Υψηλή απόδοση ενάντια στην τάση για αυξημένη εισαγωγή	5. Output-Pulled Versus Input-Pushed Products, processes, and systems should be

<p>ενέργειας και υλικών στην παραγωγή προϊόντων Τα προϊόντα, οι παραγωγικές διεργασίες, και τα συστήματα πρέπει να τείνουν προς καλύτερη απόδοση σε αντίθεση με την τάση για μεγιστοποίηση μέσω της εισαγωγής και χρήσης αυξημένης ενέργειας και υλικών</p>	<p>"output pulled" rather than "input pushed" through the use of energy and materials</p>
<p>6. Συντήρηση της Πολυπλοκότητας (της κατάστασης). Η ενσωματωμένη εντροπία και η πολυπλοκότητα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως μία επένδυση, όταν γίνεται επιλογή σχεδίων για την ανακύκλωση, την επαναχρησιμοποίηση, ή την ωφέλιμη διάθεση (σε χώρους απορριμμάτων).</p>	<p>6. Conserve Complexity Embedded entropy and complexity must be viewed as an investment when making design choices on recycle, reuse, or beneficial disposition.</p>
<p>7. Ανθεκτικότητα σε αντίθεση με την αθανασία των προϊόντων. Ο σκοπός του σχεδιασμού των προϊόντων πρέπει να τείνει στην καλή τους ανθεκτικότητα και όχι την διατήρησή τους για μεγάλο χρονικό διάστημα.</p>	<p>7.Durability Rather Than Immortality Targeted durability, not immortality, should be a design goal.</p>
<p>8. Ανταπόκριση στις Ανάγκες, Ελαχιστοποίηση της Υπερβολής. Ο σχεδιασμός προϊόντων με λύσεις ώστε να ανταποκρίνονται σε μη απαραίτητη ιδιότητα ή ικανότητα (π.χ. «ένα μέγεθος ταιριάζει για όλους») πρέπει να θεωρείται ελάττωμα του σχεδίου</p>	<p>8.Meet Need, Minimize Excess Design for unnecessary capacity or capability (e.g., "one size fits all") solutions should be considered a design flaw.</p>
<p>9. Ελαχιστοποίηση της Ποικιλίας Υλικών. Η ποικιλία υλικών σε προϊόντα με πολυάριθμα συστατικά μέρη πρέπει να ελαχιστοποιείται για να προωθήσει την αποσυναρμολόγηση του και τη διατήρηση της αξίας των επιμέρους υλικών.</p>	<p>9.Minimize Material Diversity Material diversity in multicomponent products should be minimized to promote disassembly and value retention.</p>
<p>10. Ολοκλήρωση Υλικών και Ροών Ενέργειας. Ο σχεδιασμό προϊόντων, διεργασιών, και συστημάτων να περιλαμβάνει την ολοκλήρωση και ενδοσύνδεση με τις διαθέσιμες ροές ενέργειας και υλικών</p>	<p>10. Integrate Material and Energy Flows Design of products, processes, and systems must include integration and interconnectivity with available energy and materials flows</p>
<p>11. Σχεδιασμό για Εμπορική επαναχρησιμοποίηση (μετά το «τέλος ζωής του προϊόντος»). Προϊόντα, διεργασίες, και συστήματα πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μετά το «τέλος ζωής τους»..</p>	<p>11. Design for Commercial "Afterlife" Products, processes, and systems should be designed for performance in a commercial "afterlife."</p>
<p>12. Ανανεώσιμα (υλικά και ενέργεια) αντί εξαντλούμενα. Τα υλικά και οι ενεργειακές εισαγωγές πρέπει να είναι ανανεώσιμες κατά προτίμηση από αυτά που τείνουν να εξαντληθούν..</p>	<p>12. Renewable Rather Than Depleting Material and energy inputs should be renewable rather than depleting</p>

Οι 12 Αρχές της Πράσινης Μηχανικής προσπαθούν να προσδιορίσουν ένα υπόβαθρο βασικών τεχνολογικών αξιών και στοιχείων ώστε να προωθήσουν το σχεδιασμό νέων και ριζοσπαστικών συστημάτων στη βιοτεχνική ή βιομηχανική παραγωγή προϊόντων., των οποίων τελικός σκοπός είναι η αειφόρος ανάπτυξη.

Η ανάλυση των επιμέρους βασικών αρχών Πράσινης Μηχανικής θα μας δώσει ευρύτερη κατανόηση της σημασίας τους και θα μπορέσει να αναζητήσει τις πρακτικές εφαρμογές τους με την υπάρχουσα τεχνολογική πρόοδο.



Εικόνα 3.2. Οι Πράσινοι Μηχανικοί είναι ένας νέος κλάδος μηχανολόγων και τεχνολόγων που καλύπτουν τις νέες πράσινες τεχνολογίες και εφαρμογές

Αρχή 1^η. Έμφυτη μη επικινδυνότητα, υλικών και προϊόντων, αντί περιστασιακή (inherent rather than circumstantial non-hazardous materials)

Πολλές πρώτες ύλες και χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία έχουν επικίνδυνες ιδιότητες. Η σημερινή τάση είναι να μειώνονται οι αρνητικές επιπτώσεις (ρύπανση περιβάλλοντος, επίδραση στην υγεία του ανθρώπου) μέσω της επένδυσης επιπλέον υλικών, χρόνου και ενεργειακών πηγών, που θα καθιστούν τα υλικά και τα προϊόντα λιγότερο τοξικά. Η τάση αυτή φυσικά δεν είναι ούτε οικονομική ούτε βιώσιμη εάν δεν επιτευχθούν σοβαρές αλλαγές.

Η πράσινη τεχνολογία ζητά από τους σχεδιαστές (μηχανολόγοι, χημικοί μηχανικοί, τεχνολόγοι) να επανεκτιμήσουν τις φυσικές ιδιότητες επιλεγμένων υλικών και ενεργειακών πηγών, οι οποίες είναι μη επικίνδυνες σε πρώτο στάδιο για την παραγωγή βιώσιμων προϊόντων, διεργασιών και συστημάτων. Με παρόμοιο τρόπο οι χημικοί που συνθέτουν χημικά υλικά μπορούν να αναπτύξουν μεθόδους που θα δημιουργήσουν μη τοξικές πρώτες ύλες και πηγές ενέργειας. Αλλά ακόμη και εάν είναι απαραίτητο να

χρησιμοποιηθούν επικίνδυνες ουσίες (γιατί η τεχνολογία δεν έχει πετύχει ακόμη δημιουργήσει καλύτερα προϊόντα), τότε να επιδιωχθεί ώστε η επικινδυνότητα να μειώνεται μέσω της διεργασίας παρασκευής ή ο «καθαρισμός» να ενσωματώνεται στο τελικό προϊόν.⁴⁻⁶

Ορισμένοι επιστήμονες και βιομηχανικοί χημικοί προτιμούν να ενσωματώνουν διάφορες επικινδυνότητες σε ένα προϊόν ή διεργασία που μπορούν να ανακυκλώνονται. Η προσέγγιση αυτή όμως απαιτεί έξοδα ελέγχου και μέτρησης της επικινδυνότητας σε όλη τη διάρκεια ζωής του προϊόντος. Τα προϊόντα που σχεδιάζονται με έμφυτη την ιδιότητα της έλλειψης κινδύνου, είναι μία ιδανική κατάσταση αλλά μπορεί να επιδιωχθεί μέσω των αρχών της πράσινης χημείας.

Αρχή 2^η. Πρόληψη αντί κατεργασία (εκ των υστέρων) των αποβλήτων

Ο σχεδιασμός προϊόντων και βιομηχανικών διεργασιών με πρόθεση να έχουν «μηδενικά απόβλητα» έχει δεχθεί έντονες κριτικές από διάφορους επιστήμονες. Τα επιχειρήματά τους επικεντρώνονται κυρίως σε κανόνες φυσικής, δηλαδή ότι αγνοούνται βασικές αρχές της θερμοδυναμικής. [**Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος, «το αλγεβρικό άθροισμα της μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας και του έργου που είτε παράγεται είτε δαπανάται από ένα σύστημα ισούται με το πόσο θερμότητας που εκλύεται ή απορροφάται από το σύστημα αυτό». Ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος είναι απόρροια της Αρχής Διατήρησης της Ενέργειας στη Θερμοδυναμική.. Το Δεύτερο Θερμοδυναμικό αξίωμα, «η εντροπία, δηλαδή η αταξία ενός συστήματος, τείνει, εάν αφαιρεθεί μόνο του, να αυξηθεί».. Δηλαδή δεν μπορεί από μόνο του ένα σύστημα να πάει σε κατάσταση μεγαλύτερης τάξης, αλλά τείνει σε κατάσταση μεγαλύτερης αταξίας]*

Δηλαδή, είναι φυσικό όταν χρησιμοποιείται ενέργεια για την παραγωγή προϊόντων το σύστημα να απορροφάει ενέργεια και η εντροπία του μειώνεται. Με τη χρήση του προϊόντων η «αταξία» αυξάνεται, το προϊόν διασπάται ή μετατρέπεται σε απόβλητο. Οι πράσινοι χημικοί αντιτείνουν ότι ο όρος «απόβλητο» είναι ανθρώπινη έννοια. Δεν υπάρχουν έμφυτες ιδιότητες στην ενέργεια και τα προϊόντα ώστε να καταστούν απόβλητα. Μάλλον είναι αποτέλεσμα έλλειψης χρήσης που δεν έχει ανακαλυφθεί ή εφαρμοσθεί.

Οι επιστήμονες της πράσινης χημείας θέλουν να επαναπροσδιορίσουν το σχεδιασμό προϊόντων και τη χρήση ενέργειας ώστε να μην παράγουν απόβλητα, ούτε να χρειάζεται να ξοδευθούν χρόνος και χρήμα για τον έλεγχο και την αποκατάσταση της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Η προσέγγιση βέβαια αυτή δεν είναι ούτε εύκολη ούτε εφαρμόσιμη σε όλες τις περιπτώσεις. Αλλά επιζητείται να τεθεί μέσα στο πλαίσιο σκέψης των επιστημόνων και τεχνολόγων όταν προχωρούν στο σχεδιασμό βιομηχανικών διεργασιών.

Οι τεχνολογικές εφαρμογές τέτοιων προσπαθειών, με μηδενική παραγωγή αποβλήτων, και ικανοποιητική απόδοση στην παραγωγή προϊόντων έχουν προωθηθεί μέσα από το σχεδιασμό κατάλληλων πρώτων υλών και επιζητούμενων τελικών προϊόντων. Οι έννοιες αυτές έχουν ήδη εφαρμοσθεί στην οργανική σύνθεση χημικών προϊόντων σε μοριακό επίπεδο και αποκαλείται «οικονομία ατόμων» (“atom economy”), δηλαδή σύνθεση χημικών ουσιών με συγκεκριμένες πρώτες ύλες και τελικό προϊόν ώστε να μην παράγονται επιπλέον χημικά απόβλητα ή άχρηστα παράγωγα. Με παρόμοιο τρόπο θα μπορούσαν οι αρχές αυτές να επεκταθούν στην «οικονομία των υλικών» (“material economy”).^{7,8}

Υπάρχουν πολλά παραδείγματα τεχνολογικών εφαρμογών που λειτουργούν με αυτούς τους τρόπους, δηλαδή της παραγωγής αποβλήτων

τα οποία αργότερα γίνεται προσπάθεια να εξουδετερωθούν. Τυπικό παράδειγμα η παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. Το όλο σύστημα από τον αρχικό τεχνολογικό σχεδιασμό του παράγει απόβλητα σε όλο τον κύκλο, εξόρυξη-κατεργασία-καύση- και τελικά εκ των υστέρων γίνεται προσπάθεια να εξουδετερωθούν οι ρύποι και τα απόβλητα. Η τεχνολογία αυτή φαίνεται με τις σημερινές καταστάσεις αναπόφευκτη, όπως και η παραγωγή ρύπων. Ωστόσο, υπάρχουν τρόποι παραγωγής ενέργειας, είτε με πυρηνική σύντηξη είτε με άλλες πράσινες τεχνολογίες (φωτοβολταϊκά πάρκα ή ανεμογεννήτριες, υδρογόνο) κατά τις οποίες δεν παράγονται απόβλητα και ρύποι ή παράγονται σε ορισμένα στάδια της παραγωγής τεχνολογικού εξοπλισμού.⁹⁻¹²

Αρχή 3^η. Σχεδιασμός για απομάκρυνση του προϊόντος (χωρίς κατανάλωση ενέργειας)

Οι παραδοσιακές μέθοδοι παραγωγής βιομηχανικών προϊόντων, έτσι όπως σχεδιάζονταν μέχρι σήμερα, κατανάλωναν σημαντικές ποσότητες ενέργειας για το διαχωρισμό και καθαρισμό των έτοιμων προϊόντων. Συνήθως αυτό επιτυγχάνονταν με τοξικούς διαλύτες και μέσα από διεργασίες που χρησιμοποιούσαν πίεση ή θέρμανση και άλλες ενεργοβόρες διεργασίες.

Η πράσινη τεχνολογία προσπαθεί να αναθεωρήσει τις διεργασίες αυτές μέσα από το σχεδιασμό των τελικών προϊόντων, ώστε να παραλαμβάνονται καθαρά χωρίς την υπερβολική κατανάλωση ενέργειας και υλικών (κυρίως διαλύτες) και να περιορίζεται η παραγωγή αποβλήτων.

Κλασικό παράδειγμα είναι η παραγωγή χημικών ουσιών, οι οποίες μετά απαιτούν διαχωρισμό και καθαρισμό με χρωματογραφία στήλης, απόσταξη ή άλλες ενεργοβόρες διαχωριστικές διεργασίες. Εάν όμως, όπως επιθυμούν οι θιασώτες της πράσινης χημείας γίνει ο κατάλληλος σχεδιασμός ώστε το προϊόν να διαχωρίζεται από μόνο του από το διάλυμα σύνθεσης, τότε θα επιτευχθούν σημαντικές οικονομίες σε ενέργεια και υλικά. Το παράδειγμα της χημείας των πολυμερών έρχεται στο μυαλό των επιστημόνων. Με κατάλληλο σχεδιασμό των μονομερών, της διαλυτότητάς τους, των καταλυτών και των συνθηκών πολυμερισμού, μπορεί να επιτευχθεί διαχωρισμός των καθαρών προϊόντων.¹³⁻¹⁵

Αρχή 4^η. Μεγιστοποίηση της απόδοσης σε μάζα, ενέργεια, χώρο και χρόνο

Μέχρι τώρα οι βιομηχανικές ή βιοτεχνικές διεργασίες παρασκευής προϊόντων κατανάλωναν επιπλέον υλικά, ενέργεια και χρόνο, άρα με τα νέα δεδομένα θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν ανεπαρκείς, αναποτελεσματικές ή σπάταλες.

Οι τεχνικές και διεργασίες που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα στις χημικές βιομηχανίες με μεγάλου μεγέθους αντιδραστήρες απαιτούν επιπλέον ενέργεια, εντατικοποίηση των τεχνικών για να ανεβάσουν την απόδοση. Οι διεργασίες αυτές απαιτούν νέα σχεδίαση των τεχνικών, αντικατάσταση και προσαρμογή στις νέες τεχνολογίες (ιδιαίτερα των μικροϋπολογιστών) και οικολογικές προσαρμογές.¹⁶⁻¹⁸



Εικόνα 3.3. Η Πράσινη Μηχανική και οι 12 Αρχές της θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην παγκοσμιοποίηση των πρακτικών της αειφόρου ανάπτυξης

Αρχή 5^η. Υψηλή απόδοση σε αντίθεση με την τάση για αυξημένη εισαγωγή ενέργειας και υλικών (στην παραγωγή προϊόντων)
(Output-pulled versus input-pushed)

Οι χημικοί γνωρίζουν ότι όταν ένα φυσικό σύστημα υπόκειται σε πίεση, αύξηση θερμοκρασίας κ.λπ, ξεφεύγει από την ισορροπία του και προσπαθεί να αλλάξει σημείο ισορροπίας ώστε να απαλλαχθεί από την «ένταση» που του εφαρμόζεται εξωτερικά (Αρχή του Le Châtelier). Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα στις αμφίδρομες αντιδράσεις. Το ίδιο και ένα σύστημα-διεργασία χημικής παραγωγής, όταν αυξάνεται η εισαγωγή πρώτων υλών «οδηγείται» στην αυξημένη έξοδο προϊόντων για να ελαττώσει την ένταση. Οι τεχνολόγοι με αυτό τον τρόπο αυξάνουν την απόδοση. Αντίθετα, με το κατάλληλο σχεδιασμό, ένα σύστημα μπορεί να απαλλαχθεί από τη συσσώρευση προϊόντων (output) κατά τον χημικό μετασχηματισμό χωρίς να χρειασθεί (“pulled”) να αυξηθεί η θερμοκρασία, ή η πίεση ή οι πρώτες ύλες (“input-pushed”).

Με βάση την αρχή αυτή μπορούν να μεταβληθούν πολλές παραγωγικές διεργασίες, να μειωθεί η επιπλέον κατανάλωση ενέργειας, η άσκοπη παραγωγή προϊόντων, ο συναγωνισμός για μεγαλύτερη απόδοση και αυξημένη χρήση πρώτων υλών. Τα προϊόντα θα μπορούσαν να παραχθούν με ρυθμό που να ανταποκρίνεται στις ανάγκες και στα χρονικά όρια της ζήτησης. Με τον τρόπο αυτό και με την «ακριβώς στο χρόνο που υπάρχει ζήτηση» (just-in-time) μειώνεται η παραγωγή αποβλήτων, η υπερπαραγωγή προϊόντων με αντίστοιχη υπερκατανάλωση πρώτων υλών.¹⁹⁻²¹

Αρχή 6^η. Συντήρηση της πολυπλοκότητας (conservation of complexity)

Όσο πιο απλά είναι τα προϊόντα που παράγονται από μία βιομηχανική διεργασία, τόσο πιο εύκολο είναι να ανακυκλωθούν, να επαναχρησιμοποιηθούν, να επιδιορθωθούν, ή τελικά να πάνε σε χωματερές. Όσο πιο πολύπλοκα είναι μερικά προϊόντα (υψηλής εντροπίας προϊόντα) και υψηλής τιμής, τόσο πιο δύσκολο να ανακυκλωθούν. Μερικά φυσικά προϊόντα έχουν ήδη μεγάλη πολυπλοκότητα που δεν πρέπει να «θυσιασθεί» στη μεταποίησή τους. Για παράδειγμα, οι ψηφίδες πυριτίου (στα μικροκυκλώματα) των υπολογιστών (silicon computer chips) έχουν υψηλή πολυπλοκότητα, και δεν

είναι εύκολο να ανακυκλωθούν. Κάτι παρόμοιο συμβαίνει, εάν το φάξουμε πιο συστηματικά και με το σκουρόχρωμο χαρτί συσκευασίας. Απαιτείται λοιπόν στο σχεδιασμό να προστίθεται και τέλος-της-ζωής (end-of-life) του προϊόντος για ανακύκλωση ή εύκολη εναπόθεση σε χωματερές.^{22,23}

Αρχή 7^η. Ανθεκτικότητα προϊόντων σε αντίθεση με την «αθανασία» τους

Ο σχεδιασμός των προϊόντων σύμφωνα με τις αρχές της Πράσινης τεχνολογίας πρέπει να τείνει στην ανθεκτικότητα από τη φθορά και τη συνεχή χρήση τους, ώστε να μη χρειασθούν να αντικατασταθούν μετά από μικρό χρονικό διάστημα, αλλά αυτό δε σημαίνει ότι πρέπει να είναι και «αθάνατα». Δηλαδή, ο σχεδιασμός είναι επιθυμητό να κατασκευάζει προϊόντα ανθεκτικά για τις αντίστοιχες χρήσεις τους, αλλά να μην είναι δύσκολο τελικά να ανακυκλωθούν ή να διαλυθούν. Στο σχεδιασμό πρέπει να συμπεριληφθεί και η εύκολη επισκευή τους, χωρίς επιπλέον κατανάλωση ενέργειας και υλικών.

Για παράδειγμα, οι παιδικές πάνες μίας χρήσης (single-use disposable diapers), που αποτελούνται από πολλά υλικά και μη βιοδιασπώμενα πολυμερή είναι ένα από τα υλικά που κατακλύζουν τις αστικές χωματερές σε τεράστιες ποσότητες. Αν και η χρήση του είναι σύντομη προκαλεί τεράστιο περιβαλλοντικό πρόβλημα γιατί η αποσύνθεσή του είναι μακροχρόνια. Μία λύση στο πρόβλημα αυτό θα ήταν να παρασκευασθούν οι πάνες από υλικά που έχουν πρώτη ύλη το άμυλο (Eco-fill), ώστε όταν καταλήξουν στα απορρίμματα να αποσυντεθούν εύκολα. Σε αντίθεση με τα συμβατικά προϊόντα πολυστερενίου. Ο νέος αυτός σχεδιασμός προϊόντων περιλαμβάνει καλή ανθεκτικότητα αλλά όχι «αθανασία» σύμφωνα με τις αρχές της πράσινης μηχανικής.^{24,25} Επίσης, τα τελευταία χρόνια υπάρχουν στο εμπόριο και επαναχρησιμοποιούμενες παιδικές πάνες και όχι μίας χρήσης.²⁶

Τέτοια παραδείγματα υπάρχουν συνήθως με τα πολυμερή που είναι μεν ανθεκτικά σε πολυάριθμες χρήσεις αλλά δεν αποσυντίθενται εύκολα στο περιβάλλον για πολλά χρόνια προκαλώντας πολλαπλά προβλήματα ρύπανσης (π.χ. πλαστικές σακούλες, πλαστικά έπιπλα). Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται πολυμερή που παράγονται από βιολογικό πολυλακτικό οξύ (polylactic acid) και όχι από πρώτες ύλες της πετροχημικής βιομηχανίας (που παράγει πολυακρυλικό οξύ). Τα βιοδιασπώμενα πολυμερή στηρίζονται στην παραπάνω αρχή της πράσινης τεχνολογίας.^{27,28}



Εικόνα 3.4. Η κατανάλωση ενέργειας έχει καταστεί πολύ σημαντική έννοια στην Πράσινη Μηχανική και στο σχεδιασμό καινοτόμων προϊόντων

Αρχή 8^η : Ανταπόκριση στις ανάγκες, ελαχιστοποίηση της υπερβολής .

Πολλά προϊόντα τις τελευταίες δεκαετίες σχεδιάζονται, μέσα από τον διεθνή ανταγωνισμό που έχει αναπτυχθεί, με υπερβολικές φιλοδοξίες και πολλές φορές υπερκαλύπτοντας τις ανθρώπινες ανάγκες. Επίσης, σχεδιάζονται πολλά προϊόντα με το σενάριο χειρότερης-κατάστασης (worst-case scenario) ή με ιδιότητες που είναι μη ρεαλιστικές και με αντίστοιχη αυξημένη κατανάλωση υλικών και ενέργειας. Τα προϊόντα αυτά μετά το τέλος της χρήσιμης ζωής τους παρουσιάζουν αυξημένα προβλήματα ανακύκλωσης και διαχείρισης ως απόβλητα.

Υπάρχουν διάφορα παραδείγματα που ανταποκρίνονται στην ελαχιστοποίηση της υπερβολής. Για παράδειγμα, η χλωρίωση του πόσιμου νερού για να απολυμανθεί από παθογόνους οργανισμούς. Αλλά ενώ η τεχνική αυτή είναι χρήσιμη, μπορεί να γίνει και κατάχρηση από υπερβολικές δόσεις χλωρίου (που δημιουργούν χλωριωμένες ενώσεις, τα τριαλογονομεθάνια). Εναλλακτική λύση θα ήταν το σύστημα χλωρίωσης με αυτόματο έλεγχο και ενεργοποίησή του μόνο όταν πέφτει το επίπεδο της αναγκαίας απολύμανσης. Παρομοίως, τα ένζυμα καταλύτες που λειτουργούν σε ήπιες συνθήκες μπορούν να αντικαταστήσουν περισσότερο δραστικές ενώσεις, οι οποίες να μεν είναι καλύτεροι καταλύτες αλλά ρυπαίνουν το περιβάλλον. Είναι πρακτική που επιθυμεί να αντικαταστήσει την υπερβολική δράση καταλυτών (που είναι όμως τοξικοί) με ήπιες μορφές (ένζυμα) και ανάλογα με τις ανάγκες του παραγωγού.²⁹⁻³¹

Αρχή 9^η : Ελαχιστοποίηση της ποικιλίας των υλικών

Η παγκοσμιοποίηση προϊόντων και υλικών είναι γεγονός. Χιλιάδες προϊόντα ευρείας κατανάλωσης περιέχουν μεγάλη ποικιλία υλικών, χημικών ουσιών και μετάλλων με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν πολλαπλά προβλήματα ρύπανσης και ανακύκλωσης. Πολλά προϊόντα, όπως αυτοκίνητα, συσκευασίες τροφίμων, οικιακές συσκευές, ηλεκτρονικά εργαλεία, ηλεκτρονικοί υπολογιστές, χρώματα κ.λπ, περιέχουν διάφορα πλαστικά, χημικές ουσίες, μέταλλα, γυαλί, πλαστικοποιητές, χρωστικές ύλες, κ.λπ.

Όλα αυτά τα προϊόντα λόγω της μεγάλης ποικιλίας υλικών είναι δύσκολο να αποσυναρμολογηθούν, να ανακυκλωθούν και να διατεθούν με σωστό αποτελεσματικό τρόπο στις χωματερές. Τα πολυμερή θα έπρεπε να περιέχουν μικρότερη ποικιλία συστατικών και να σχεδιάζονται με τρόπο που να επιτρέπει την ανακύκλωσή τους. Μερικά προϊόντα θα μπορούσαν να παρασκευασθούν από ένα υλικό αντί για δύο ή τρία. Παράδειγμα οι πόρτες ή τα πάνελ των συσκευών (π.χ. metallocene polyolefins, πολυολεφίνες μεταλλοκενίων που έχουν πολλαπλές ιδιότητες). Το ίδιο και στο μοριακό επίπεδο, οι συνθέσεις “one-pot” ή αυτο-συναρμολογούμενες διεργασίες θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν τις πολυσταδιακές αντιδράσεις.³²⁻³⁴

Αρχή 10^η : Ολοκλήρωση των τοπικών υλικών και ενεργειακής ροής

Οι βιομηχανικές και βιοτεχνικές διεργασίες και η κατασκευή προϊόντων θα διευκολυνθεί και θα καταστεί περιβαλλοντικά ηπιότερη εάν χρησιμοποιηθούν τοπικά υλικά και ενέργεια. Με τον τρόπο αυτό θα αποφευχθεί η εισαγωγή ή μεταφορά υλικών. Εάν οι πηγές ενέργειας είναι

τοπικές τότε μειώνεται το περιβαλλοντικό κόστος και η ρύπανση σε άλλες περιοχές. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα, ενέργειας-παραγωγής-ανακύκλωσης και διαχείρισης αποβλήτων σε βιομηχανικά πάρκα θα περιορίσει το περιβαλλοντικό κόστος. Επίσης, η ανακύκλωση ή επαναχρησιμοποίηση ενέργειας και υλικών μπορεί να αυξηθεί μέσα από την παραγωγική αλυσίδα και να ενσωματωθεί στο σύστημα.³⁵⁻³⁸

Αρχή 11^η : Σχεδιασμός για εμπορική «μετα-χρησιμοποίηση» (afterlife) προϊόντων (μετά το «τέλος της ζωής τους»)

Οι αλματώδεις βελτιώσεις σε υλικά και τεχνολογίες έχουν καταστήσει πολλά προϊόντα παρωχημένα ή ακόμη και άχρηστα. Επίσης, η μόδα και ο μοντέρνος σχεδιασμός προϊόντων έχει παίξει καταλυτικό ρόλο, ιδιαίτερα σε ενδύματα, ηλεκτρονικές και οικιακές συσκευές. Το αποτέλεσμα είναι πολλά εμπορικά προϊόντα παρουσιάζουν μετά από μερικά χρόνια μία κατάσταση που την αποκαλούμε “τέλος ζωής» (end of life) και αναγκαστικά μετατρέπονται σε απόβλητα και μάλιστα τοξικά.

Η Πράσινη τεχνολογία θέλει να αλλάξει ριζικά την κατάσταση αυτή και να εισάγει τον όρο εμπορική “επαναχρησιμοποίηση» (commercial «afterlife”) ώστε πολλά προϊόντα να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να εισάγεται από την αρχή ο όρος εμπορική επαναχρησιμοποίηση (με το τέλος της πρώτης χρήσης). Τέτοια παραδείγματα είναι τα φορητά τηλέφωνα, οι φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές και άλλες μικροηλεκτρονικές συσκευές. Επίσης, είναι γνωστό ότι το 90% των φωτοτυπικών μηχανημάτων Xerox ; έχουν σχεδιαστεί ώστε με το τέλος της ζωής τους να αποσυναρμολογούνται και ορισμένα εξαρτήματα που είναι χρήσιμα να επαναχρησιμοποιούνται ή στο παλιό μηχάνημα να αντικαθίστανται μερικά μέρη του που χάλασαν και να επαναχρησιμοποιούνται. Πολυάριθμες βιομηχανίες έχουν εφαρμόσει πράσινες τεχνικές και σχεδιασμούς προϊόντων με κριτήρια επαναχρησιμοποίησης τις τελευταίες δεκαετίες (AT&T, General Electric, IBM, Procter & Gable, Whirlpool, Xerox, κ.λπ).³⁹⁻⁴¹

Τα τελευταία χρόνια έχουν εισαχθεί και νέοι όροι στην παραγωγή τεχνολογικά αναπτυγμένων προϊόντων, όπως ο **Κύκλος Ζωής του Προϊόντος (Product life cycle, PLC)**. Αναφέρεται ως το σύνολο από τα διαδοχικά και αλληλένδετα στάδια ενός συστήματος προϊόντος, από την απόκτηση των πρώτων υλών ή τη δημιουργία των φυσικών πόρων μέχρι την τελική διάθεση. Τα κύρια στάδια της ζωής κάποιου προϊόντος περιλαμβάνουν: την απόκτηση των πρώτων υλών, τη φάση πριν την κατασκευή, την κατασκευή, τη συσκευασία & τη διανομή, τη χρήση και το τέλος της κρίσιμης ζωής. Είναι ένας αέναος κύκλος της ζωής του προϊόντος που περιλαμβάνει τα στάδια σχεδιασμού-βιομηχανικής παραγωγής – διανομή - πελάτης (που θα το αγοράσει) -τέλος-της-ζωής [Design—Manufacturing—Distribution—Customer—End-of-Life].^{42,43}



Εικόνα 3.5. Κύκλος ζωής του προϊόντος είναι μία εξαιρετικά χρήσιμη έννοια στο σχεδιασμό και παραγωγή νέων προϊόντων

Αρχή 12^η : Ανανεώσιμα υλικά και ενέργεια αντί εξαντλούμενων

Ο 20^{ος} αιώνας του ανθρώπινου πολιτισμού χαρακτηρίστηκε από την ταχύτατη εκμετάλλευση των πλουτοπαραγωγικών πηγών του πλανήτη (ορυκτά καύσιμα, μεταλλεύματα, ενεργειακές πηγές, υδάτινες πηγές, δάση, κ.λπ.). Οι πλουτοπαραγωγικές πηγές εξαντλήθηκαν με ταχύτατους ρυθμούς και έγινε καταστρατήγηση της ιδέας της αειφορίας. Σήμερα πλέον συζητείται η ιδέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και υλικών και η ανάγκη να περιορισθούν οι καταχρήσεις των μη ανανεώσιμων πηγών είναι όλο και πιο επιτακτική. Η εκμετάλλευση των φυσικών πόρων και η αυξανόμενη ρύπανση του περιβάλλοντος έχουν καταστεί τροχοπέδη στην ανάπτυξη.

Ο σχεδιασμός της παραγωγής προϊόντων με τις πράσινες τεχνολογίες πρέπει να προσαρμοσθούν στις ανανεώσιμες πρώτες ύλες. Ορισμένα βιολογικά προϊόντα (βιομάζα) μπορεί να φαίνονται ανανεώσιμα αλλά πρέπει να γίνει σωστός σχεδιασμός και να προστατευθούν τα ευαίσθητα οικοσυστήματα και η βιοποικιλότητα. Η πράσινη τεχνολογία πρέπει να μελετήσει νέες μορφές ανανεώσιμων πρώτων υλών και ενέργειας και στροφή από τις συνήθεις τακτικές του παρελθόντος. Φυσικά οι αλλαγές αυτές είναι δύσκολες και θα χρειασθούν πολλές δεκαετίες για να επιτευχθούν.⁴⁴⁻⁴⁶

Η αναλυτική παράθεση των 12 αρχών της Πράσινης Τεχνολογίας/Μηχανικής δείχνει τους τομείς του νέου σχεδιασμού και των ριζοσπαστικών μεταβολών που πρέπει να γίνουν στη βιομηχανική παραγωγή προϊόντων. Μέχρι σήμερα οι πρακτικές και η λογική της παραγωγής ήταν να μειώσει το κόστος, να κάνει προϊόντα ανθεκτικά σε πολλαπλή χρήση και τεχνολογικά ικανά να ανταποκριθούν στις ανάγκες των καταναλωτών. Στην λογική αυτή δεν υπεισέρχονταν κανόνες τοξικότητα πρώτων υλών, ενεργειακής κατανάλωσης, ανακύκλωσης, χρήση τοξικών διαλυτών για διαχωρισμό, κ.λπ. Σήμερα όμως η νέα Πράσινη Μηχανική και Τεχνολογία απαιτεί να αλλάξουν δραστικά ο αρχικός σχεδιασμός και να ενσωματωθούν νέες προοπτικές στα είδη και την ποιότητα των προϊόντων. Απώτερος σκοπός η αειφορία, η χρήση ανανεώσιμων πρώτων υλών, λιγότερο τοξικών διαλυτών, κατανάλωση μικρότερης ενέργειας, εύκολη αποσυναρμολόγηση για ανακύκλωση, κ.λπ.

Η εκπαίδευση θεωρείται ένας άλλος πολύτιμος τομέας για το ευρύτερο κοινό αλλά και των νέων μηχανικών και τεχνολόγων. Η Αμερικανική Εταιρεία Μηχανικών έχει ιδρύσει ένα πρόγραμμα εκπαίδευσης σε θέματα Πράσινης Μηχανικής.



American Society for Engineering Education: Green Engineering Program (funded by EPA) (<http://nebula.rowan.edu:82/home.asp>)

Σχήμα 3.6. Η Αμερικανική Εταιρεία για την Εκπαίδευση Μηχανικών επικεντρώνει πρόσφατα τα εκπαιδευτικά της προγράμματα στην πράσινη μηχανική (τεχνολογία)

Συμπερασματικά η Πράσινη Μηχανική μαζί με την Πράσινη Χημεία είναι οι δύο αλληλοσυμπληρούμενες τάσεις της πράσινης τεχνολογίας. Οι Αρχές των δύο αυτών επιστημονικών τάσεων θα μπορούσαν να προσφέρουν πολύτιμα εργαλεία αειφόρου ανάπτυξης στην ανθρωπότητα και στην παραγωγή προϊόντων. Ανανεώσιμες πρώτες ύλες, μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, σχεδιασμός για ανακύκλωση και χρήση μη τοξικών υλικών είναι μερικές από τις αρχές και της Πράσινης Χημείας. Η Πράσινη Μηχανική όμως επεκτείνεται και σε άλλους τομείς της επιστήμης και τεχνολογίας που έχουν να κάνουν με το τεχνολογικές διεργασίες και μηχανολογικό εξοπλισμό που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανική παραγωγή προϊόντων.

Τα βιβλία των Allen και Shonnard για την Πράσινη Μηχανική θεωρούνται σημαντικά για την διδασκαλία σε πανεπιστημιακό επίπεδο των αρχών και πρακτικών της Πράσινης Μηχανικής.^{47,48}

Βιβλιογραφία

1. Anastas, P.T., and Zimmerman, J.B.. Design through the twelve principles of Green Engineering. *Env Sci Tech.* 37 (March): 94A-101A, 2003.
2. Allen DT, Shonnard DR. *Green Engineering: Environmentally Conscious Design of Chemical Processes*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey (NJ), 2001.
3. Fiksel J. *Design for Environment: Creating Eco-Efficient Products and Processes*. McGraw-Hill, New York, 1998.
4. Anastas PT, Williamson TC (Eds). *Green Chemistry: Designing Chemistry for the Environment*. American Chemical Society Press, Washington DC, 1996.
5. Devito SC, Garrett RL. *Designing Safer Chemicals: Green Chemistry for Pollution Prevention*. American Chemical Society Press, Washington DC, 1996.
6. Anastas PT, Boethling R, Voutchkova A (Eds). *Handbook of Green Chemistry. Green Processes. Volume 9- Designing Safer Chemicals*. Wiley-VCH Verlag, Bognor Regis, West Sussex, 2013.
7. Trost B.M. Atom economy- a search for synthetic efficiency. *Science* 254: 1471-1477, 1991.
8. Li C-J, Trost NM. Green Chemistry for chemical synthesis. *Proc Natl Acad Sci USA* 108: 13197-13202. 2008.
9. Bromberg JL. *Fusion: Science, Politics, and the Invention of a New Energy Source*. MIT Press, Boston, 1982.
10. Howard G. *Energy Revolution. Policies for a Sustainable Future*. Island Press, New York, 2002.
11. Randolph J, Masters G. *Energy for Sustainability. Technology, Planning, Policy*. Island Press, New York, 2008.
12. Zuttel A, Borgschulte A, Schlapbach D (Eds). *Hydrogen as a Future Energy Carrier*. Wiley, West Sussex, 2008.
13. Bergbreiter DE. Using polymers to control substrate, ligand, or catalyst solubility. *J Polymer Sci Part A. Polym Chem* 39 :2351-2363, 2001.
14. Green Chemistry Institute. Purification in Green Chemistry applications. Council of Chemical Research. Annual Meeting, April 2010. Jennifer Young (www.ccrhq.org/userfiles/file/members/am10/young.pdf).
15. Keith LH, Gron LU, Young JL. Green analytical methodologies. *Chem Rev* 107:2695-2708, 2007.
16. Malone MF, Huss RS, Doherty MF. Green chemical engineering aspects of reactive distillation. *Environ Sci Technol* 37:5325-5329, 2003.
17. Poliakoff M, Licence P. Sustainable technology: Green chemistry. *Nature* 450:810-812, 2007.
18. Jenck JF, Agterberg F, Droescher MJ. Products and processes for sustainable chemical industry: a review of achievements and prospects. *Green Chem* 6:544-556, 2004.
19. Mazumber J, Schifferer A, Choi A. Direct materials deposition designed macro and microstructure. *Mater Res Innov* 3:118-131, 1999.
20. Morrow WR, Qi H, Kim L, Mazumber J, Skerlos SJ. Environmental aspects of laser-based and conventional tool die manufacturing. *J Cleaner Prod* 15:932-943, 2007.

21. Cheng TC, Podolsky J. *Just-in-Time Manufacturing-An Introduction*. Chapman and Hall, London, 1993.
22. Thurston DL, Srinivasan S. Constrained optimization for green engineering decision-making. *Environ Sci Technol* 37 (23):5389-5397, 2003.
23. Thurston DL. Engineering economic decision issues in environmentally conscious design. *Eng Econom* 44:1-12, 1999.
24. Ottman JA. The five simple rules of green marketing. *Design Manag Rev* 19(4): 65-69, 2008.
25. Kurane R. Environmentally friendly products and processes for the 20th century. *Studies Environ Sci* 66:7590-769, 1997.
26. Zwane PE. Product development: reusable diaper. *AUTEX Res J* 10(1): 31-33, 2001.
27. Drumright RE, Gruber PR, Henton DE. Polylactic acid technology. *Advanced Mater* 12:1841-1846, 2000.
28. Garlotta D. A literature review of Poly(lactic acid). *J Polymer Environ* 9(2):63-84, 2001.
29. Davis AP. Green engineering principles promote low-impact development. *Environ Sci Technol* 39(16):338A-344A, 2005.
30. Marteel AE, Davies JA, Olson WW, Abraham MA. Green chemistry and engineering: drivers, metrics, and reduction to practice. *Ann Rev Environ Resourc* 28 :401-428, 2003.
31. Jenk JF, Agterberg F, Driescher MJ. Products and processes for a sustainable chemical industry: a review of achievements and prospects. *Green Chem* 6(11):544-556, 2004.
32. Gagnon B, Leduc R, Sarard L. Sustainable development in engineering: a review of principles and definitions of a conceptual framework. *Environ Engin Sci* 26(10):1459-1472, 2009.
33. McAuley JW. Global sustainability and key needs in future automobile design. *Environ Sci Technol* 37(23):5414-5416, 2003.
34. Diwekar UM. Greener by design. *Environ Sci Technol* 37(23):5432-5444, 2003.
35. Cote RP, Cohen-Rosenthal E. Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences. *J Cleaner Produc* 6(3-4); 181-188, 1998.
36. Harber H, Fischer-Kowalski M, Krausmann F, Winiwarter V. Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer. *Land Use Policy* 21(3):198-213, 2004.
37. Albino V, Kuhtz S. Enterprise input-output model for local sustainable development-the case of a tile manufacturer in Italy. *Resourc Conserv Recycling* 41(3):165-176, 2004.
38. Korhonen J. A material and energy flow model for co-production of heat and power. *J Cleaner Produc* 10(6):537-544, 2002.
39. Boks C, Stevels A. Essential perspectives for design for environment. Experiences from the electronics industry. *J Prod Res* 45(18-19): 4021-4039, 2007.
40. Garcia-Serna J, Perez-Barrigon L, Cocero MJ. New trends for design towards sustainability in chemical engineering: Green engineering. Review. *Chem Engin J* 133(1-3): 7-30, 2007.

41. Oakley BT. Total quality product design-How to integrate environmental criteria into the product realization process. *Environ Quality Manag* 2(3): 309-321, 1993.
42. Brink G-JT, Avends IWCE, Sheldon RA. Green, catalytic oxidation of alcohols in water. *Science* 287: 1636-1639, 2000.
43. Srivastava SK. Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *Int J Manag Rev* 9(1):53-80, 2007.
44. Carnahan JV, Thurston DL. Tradeoff modeling for product and manufacturing process design for the environment. *J Ind Ecol* 2:1-10, 1998.
45. Kim K-J, Smith RL. Systematic procedure for designing processes with multiple environmental objectives. *Environ Sci Technol* 39(7):2394-2405, 2005.
46. Woodhouse EJ. Green Chemistry as social movement. *Sci Technol Human Values* 30:199-202, 2005.
47. Allen D, Shonnard DR. *Green Engineering: Environmentally Conscious Design of Chemical Processes*. 1st edition, Prentice Hall (Pearson Education), Upper Saddle River, New Jersey, 2001.
48. Allen D, Shonnard DR. *Sustainable Engineering. Concepts, Design and Case Studies*. (new title, 2nd edition), Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2012.

.....

4. Πράσινη Χημεία : Νέες Μεθοδολογίες στην Οργανική Σύνθεση και Εφαρμογές

4.1. Οργανική Σύνθεση: Καινοτομίες και Προοπτικές

Η Οργανική σύνθεση για την παραγωγή νέων οργανικών ενώσεων και χημικών προϊόντων είναι ένας σημαντικός κλάδος της χημικής βιομηχανίας. Η Πράσινη Χημεία έχει επιφέρει σημαντικές αλλαγές στις πρακτικές των χημικών κατά τη σύνθεση νέων χημικών ουσιών.

Σύμφωνα με τις Αρχές της Πράσινης Χημείας η οργανική σύνθεση πρέπει να πετύχει τη μείωση των παραπροϊόντων, την οικονομία ατόμων και τη χρήση λιγότερο τοξικών χημικών ουσιών. Επίσης, κατά την οργανική σύνθεση πρέπει να χρησιμοποιηθούν ασφαλέστεροι και λιγότερο επικίνδυνοι διαλύτες για το περιβάλλον, ανανεώσιμες πρώτες ύλες, ενεργειακή αποτελεσματικότητα και κατάλυση.^{1,3}

Η Πράσινη Χημεία επιπλέον ενδιαφέρεται για τη διαχείριση τοξικών εργαστηριακών αποβλήτων και διαλυτών και μεθόδους διάσπασης και εξουδετέρωσής τους για την προστασία των εργαζομένων και του περιβάλλοντος.⁴⁻⁶

Η Οργανική σύνθεση είναι πολύτιμο κεφάλαιο για τη χημική βιομηχανία (παραγωγή φαρμάκων, φυτοφαρμάκων, πολυμερών, απορρυπαντικών, κ.λπ) και η σύνθεση νέων και δραστικών χημικών ουσιών για διάφορους σκοπούς αποτελούσε σημαντικό βήμα νέων προϊόντων. Μέχρι σήμερα γνωρίζουμε ότι στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέχρι το 1981 υπήρχαν περίπου 100.000 χημικές ενώσεις και παρασκευάσματα που έχουν συγκεκριμένες χημικές εφαρμογές και παράγονται για σε ποσότητες 100 κιλών και άνω. Από τότε έχουν προστεθεί 20-25.000 χημικές ενώσεις (600-700 περίπου κάθε χρόνο υπολογίζονται οι νέες βιομηχανικές χημικές ενώσεις που εισάγονται στο εμπόριο). Από το 2007 η ΕΕ έχει καθιερώσει το νέο σύστημα ταξινόμηση και καταγραφής REACH.

Τα στατιστικά στοιχεία για τις χώρες που είναι έχουν τις μεγαλύτερες χημικές βιομηχανίες και οι μεγαλύτερες χημικές επιχειρήσεις στον πλανήτη είναι γνωστές από διαδικτυακούς τόπους.

Τα στατιστικά στοιχεία για το 2009 (American Chemical Council) δείχνουν ότι η αξία παραγωγής χημικών προϊόντων ήταν της τάξης των 3.700 δισεκατομμυρίων δολαρίων (\$). Οι χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή ήταν: ΗΠΑ (689 δισεκατ. \$), Κίνα (549), Ιαπωνία (300), Γερμανία (263), Γαλλία (158), Κορέα (133), Βραζιλία (126), Μ. Βρετανία (123), Ιταλία (122), Ολλανδία (81), Ρωσία (77), κ.ά.⁷

Οι μεγαλύτερες χημικές βιομηχανίες στον κόσμο για το 2007 [ICIS.com, The Top 100 global chemical companies, London, www.icis.com/home/]: BASF (65 δισεκατ. \$, πωλήσεις Γερμανία), Dow Chemicals (53 δισεκατ. \$, ΗΠΑ), INEOS (43 δισεκατ. \$, Μ. Βρετανία), Lyondell Basell (42 δισεκατ. \$, ΗΠΑ), Formosa Plastics (32 δισεκατ. \$, Κορέα),

Du Pont (28 δισεκατ. \$, ΗΠΑ), BAYER (Γερμανία), Mitsubishi (Ιαπωνία), Akzo Nobel/Imperial Chemical Industries (ICI) (Ολλανδία/Μ. Βρετανία).

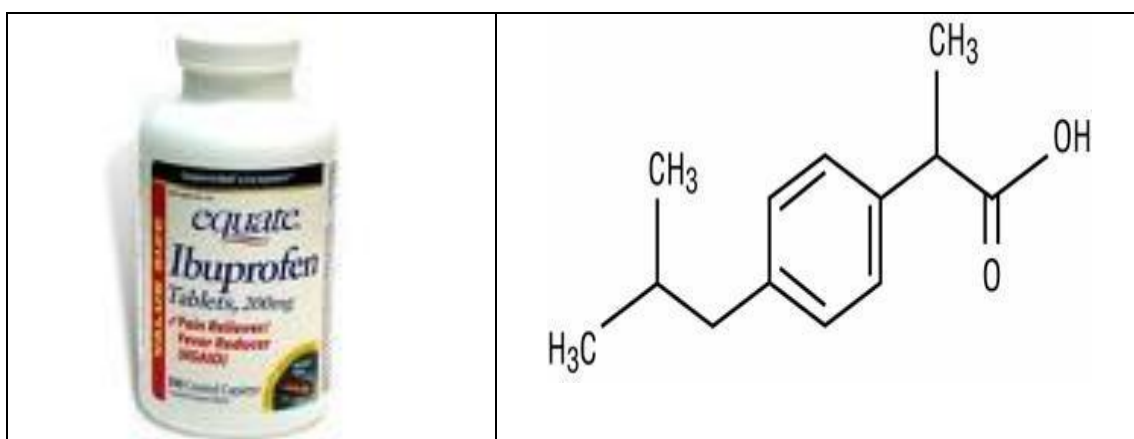
Κλασικά παραδείγματα νέων συνθέσεων που ακολουθούν τις αρχές της Πράσινης Χημείας, είναι η σύνθεση του φαρμάκου Ιμποπρουφέν (Ibuprofen, Ιβουπροφαίνη), του αδιπτικού οξέος που παρασκευάζεται ως πρώτη ύλη για την σύνθεση του Νάυλον και της κατεχόλης (που με τη σειρά της χρησιμοποιείται για τη σύνθεση φαρμάκων) και του ανυδρίτη του μηλεϊνικού οξέος (πρώτη ύλη για σύνθεση πολυεστέρων και χρωμάτων). Οι παλαιές μέθοδοι είχαν πολλά στάδια και χρησιμοποιούσαν τοξικούς διαλύτες, αλλά οι χημικές βιομηχανίες, μέσα από την προσπάθειά τους να εξοικονομήσουν υλικά και ενέργεια βελτίωσαν σημαντικά τις συνθετικές μεθόδους με απλούστερα στάδια και με καλύτερη απόδοση.

4.2. Παλαιά και Νέα Σύνθεση του Φαρμάκου Ibuprofen

Η Φαρμακευτική βιομηχανία και η παραγωγή φαρμάκων έχει καθιερωθεί ως ένας από τους δυναμικότερους κλάδους στον 21^ο αιώνα και οι πωλήσεις φαρμάκων έχουν τετραπλασιασθεί από το 1985. Τα αναλγητικά (παισιπίνα) είναι μία κατηγορία φαρμάκων που παράγοντα σε τεράστιες ποσότητες κάθε χρόνο.

Τέτοια παισιπίνα με εξαιρετικά μεγάλες πωλήσεις είναι η ασπιρίνη (**aspirin**) (ακετυλοσαλικυλικό οξύ), η **ακεταμινοφαινόνη** (acetaminophen) (Tylenol, paracetamol) και το **ibuprofen** (Ιβουπροφαίνιο). Το Ibuprofen ανήκει στα μη στεροειδή αντιφλεγμονώδη φάρμακα.

Η παραδοσιακή βιομηχανική σύνθεση του Ibuprofen έγινε από την Αγγλική εταιρεία Boots Co (1960s) που ανακάλυψε το φάρμακο και το καθιέρωσε με τα εμπορικά ονόματα Aspro, Panadol, Nurofen. Η σύνθεση αυτή περιλάμβανε μία πορεία έξι σταδίων, που είχε ως αποτέλεσμα να παράγονται συγχρόνως και μεγάλες ποσότητες δευτερευόντων προϊόντων και αποβλήτων. Εκείνο που παρατήρησαν οι επιστήμονες ότι η σύνθεση του Ibuprofen είχε πολύ κακή «οικονομία ατόμων» («poor atom economy»).⁸

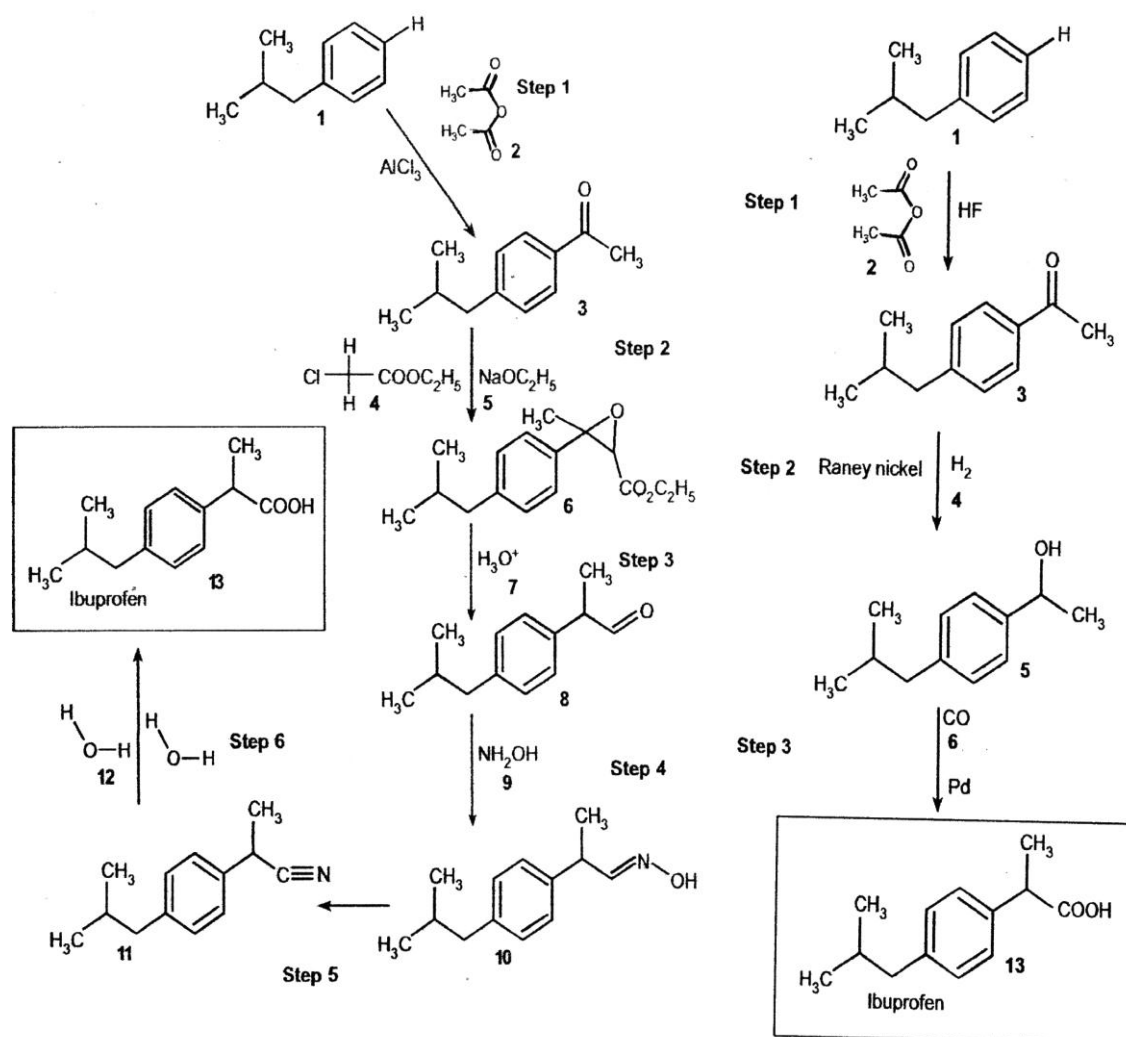


Σχήμα 4.1. Το Ibuprofen (ιβουπροφαίνη) , είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα μη στεροειδή αντιφλεγμονώδη φάρμακα.

Η αρχική σύνθεση ξεκινούσε από πρώτες ύλες που δεν ενσωματώνονταν στο τελικό προϊόν σε μεγάλο βαθμό και το αποτέλεσμα ήταν

πολλά παραπροϊόντα. Το πρόβλημα αυτό στην ορολογία της Πράσινης Χημείας ονομάζεται «οικονομία ατόμων». Η οργανική σύνθεση να πρέπει να επιδιώκει ώστε οι πρώτες ύλες να συμβάλλουν αποτελεσματικά στην παραγωγή του ζητούμενου προϊόντος με υψηλή απόδοση.

Το 1990 η εταιρεία BHC Co ανέπτυξε μία νέα συνθετική πορεία για το ibuprofen που είχε αντί έξι στάδια, μόνο τρία. Με τον τρόπο αυτό παράγονται λιγότερα παραπροϊόντα και η αντίδραση έχει μεγαλύτερη απόδοση. Αυτό επιτυγχάνεται γιατί τα άτομα των αντιδρώντων ενσωματώνονται στο προϊόν, ενώ συγχρόνως δεν παράγονται απόβλητα. Και στις δύο μεθόδους η αρχική πρώτη ύλη είναι το 2-μεθυλοπροπυλοβενζόλιο, το οποίο παρασκευάζεται από την πετροχημική βιομηχανία. Στη νέα μέθοδο χρησιμοποιείται στο δεύτερο στάδιο καταλύτης Νικελίου (Raney nickel) επιτυγχάνοντας μειωμένα στάδια. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.2. το τελικό προϊόν με τη νέα σύνθεση επιτυγχάνει τους στόχους της Πράσινης Χημείας.⁹



Σχήμα 4.2. Οι Δύο οργανικές συνθέσεις για το Ibuprofen. Η παλαιά μέθοδος των έξι (6) σταδίων ήταν στη δεκαετία του 1960. Η νέα οργανική σύνθεση με τις αρχές της Πράσινης Χημείας έχει μόνο τρία στάδια (1991).

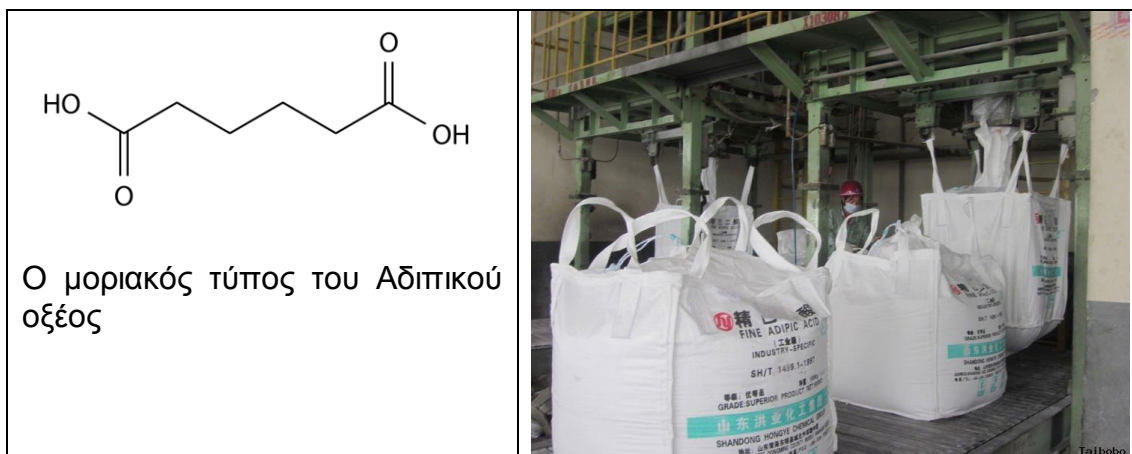
Η παλαιά σύνθεση είχε βασικό πρόβλημα τα πολλά στάδια, τα οποία με απόδοση σε κάθε στάδιο της τάξης του 90% (δηλαδή στο δεύτερο στάδιο $90 \times 90 = 81\%$) είχε ως τελικό αποτέλεσμα η συνολική απόδοση να είναι περίπου 40%. Οι αντιδράσεις είχαν μεγάλη απώλεια πρώτης ύλης και αρκετά παραπροϊόντα.

Όταν υπολογίσουμε ότι το φάρμακο αυτό παράγεται σε 3.000 τόνους ετησίως (μόνο στη Μ. Βρετανία) τότε μπορεί να γίνει αντιληπτό πόσο μεγάλες ποσότητες χημικών υλικών πάνε χαμένες και το κόστος των απωλειών αυτών. Με την Πράσινη συνθετική πορεία η «οικονομία ατόμων» φθάνει το 77%, ενώ ο καταλύτης Raney (Nickel, CO/Pd) μπορεί να ανακυκλωθεί μετά τη χρήση του και να επαναχρησιμοποιηθεί. Ενώ στην παλιότερη σύνθεση το τριχλωριούχο αργίλιο (AlCl_3) δεν ήταν «πραγματικός» καταλύτης και χρειαζόνταν να πάει στα απόβλητα της μεθόδου. Η Μέθοδος αυτή από την άποψη πρώτων υλών και κατανάλωσης ενέργειας ήταν πιο ακριβή.

Με το παράδειγμα αυτό (που αποτελεί κλασικό δείγμα της μεταβολής που επέρχεται με νέες μεθοδολογικές προσεγγίσεις στην οργανική σύνθεση) γίνεται κατανοητό τα σημαντικά οφέλη της Πράσινης Χημείας. Για να παραμείνει η γνώση σε φοιτητές χημείας των αρχών της Πράσινης Χημείας θα ήταν ενδιαφέρον να πειραματισθούν με τη σύνθεση του αδιπικού οξέος

4.3. Η Σύνθεση του Αδιπικού Οξέος. Διαφορές και Συγκρίσεις μεταξύ Συμβατικής και Πράσινης Μεθόδου

Το αδιπικό οξύ παράγεται σε ποσότητες άνω των 2.000 εκατομμυρίων κιλών κάθε χρόνο γιατί αποτελεί την πρώτη ύλη για την παραγωγή Νάυλον 6,6, αλλά και κατεχόλης για την παραγωγή φαρμάκων και φυτοφαρμάκων.

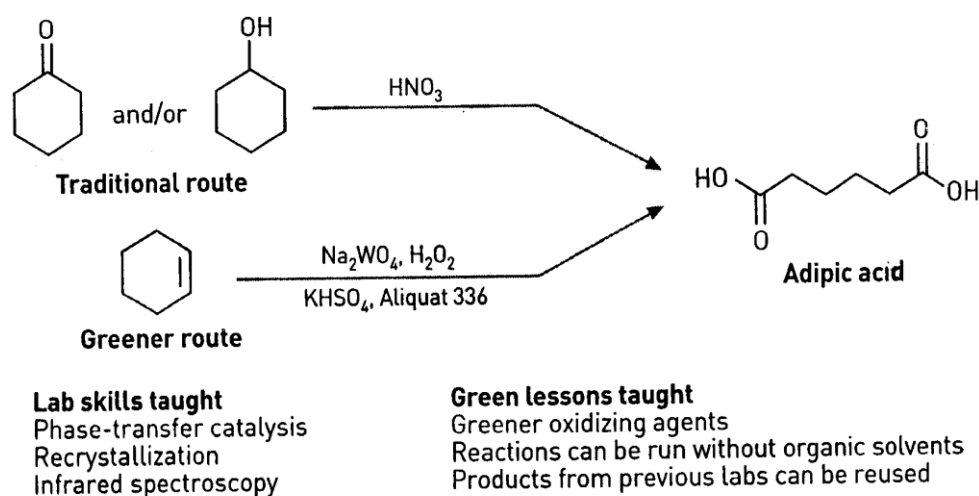


Σχήμα 4.3. Το αδιπικό οξύ παράγεται διεθνώς σε εκατομμύρια τόνους γιατί αποτελεί την πρώτη ύλη για τη βιομηχανία πλαστικών και τη φαρμακευτική βιομηχανία.

Στο παρελθόν η βιομηχανική σύνθεση του αδιπικού οξέος επιτυγχάνονταν όταν η πρώτη ύλη ήταν το βενζόλιο, που είναι μία κλασική χημική ένωση της πετροχημικής βιομηχανίας και είναι γνωστή για την καρκινογόνο δράση της στον άνθρωπο. Αργότερα, η μέθοδος αυτή άλλαξε και βιομηχανικά η παρασκευή της ξεκινούσε με την κυκλοεξανόνη ή μίγμα

κυκλοεξανόνης/κυκλοεξανόλης. Για την οξειδωση χρησιμοποιούνταν πυκνό νιτρικό οξύ και ήταν αναπόφευκτό να σχηματισθούν ατμοί οξειδίων του αζώτου (NO_x), οι οποίοι είναι τοξικοί αλλά και συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στην καταστροφή της στιβάδας του στρατοσφαιρικού όζοντος. Η σύνθεση αυτή απαιτούσε μία ριζική αλλαγή στο σχεδιασμό της.

Τα τελευταία χρόνια η βιομηχανική μέθοδος παραγωγής αδιπικού άλλαξε ριζικά για να αποτραπούν οι εκπομπές τοξικών ουσιών για το περιβάλλον και τους εργαζόμενους. Η «πράσινη» σύνθεση του αδιπικού οξέος πραγματοποιείται καταλυτικά με νέα γενιά καταλυτών. Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιείται κυκλοεξένιο αλλά η οξειδωση γίνεται με 30% υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) παρουσία καταλύτη που είναι διαλυμένος σε οργανικό καταλύτη-διαλύτη (Aliquat 336). Ο καταλύτης είναι από άλας Βολφραμίου [Tungsten catalysts (Na_2WO_4 / KHSO_4 / Aliquat 336)].¹⁰⁻¹²



Σχήμα 4.4. Η παραδοσιακή (“traditional route”) συνθετική μέθοδος και η νέα (“greener route”), «πράσινη» συνθετική μέθοδος με λιγότερα απόβλητα, χωρίς διαλύτες και ανακύκλωση. Στη δεύτερη μέθοδο χρησιμοποιείται καταλύτης Βολφραμίου σε ειδικό οργανικό διαλύτη [**Aliquat 336** (*Stark's catalyst*) είναι ένα μίγμα ουσιών οκτυλίου of C_8 (octyl) και δεκυλίου C_{10} (decyl) ανθρακικές αλυσίδες με κύριο συστατικό το C_8 Ο καταλύτης είναι τεταρτοταγές αμμωνιακό άλας, και ο διαλύτης χρησιμοποιείται για μεταφοράς φάσης και αντιδραστήριο εκχύλισης μετάλλου]

Αν και η μέθοδος οξειδωσης με υπεροξειδίου του υδρογόνου ήταν επιτυχής και «πράσινη» σε σημαντικό βαθμό, ορισμένοι ερευνητές βελτίωσαν ακόμη περισσότερο τη μέθοδο με τη χρησιμοποίηση καλύτερων μεταλλικών καταλυτών, σύμπλοκα με Βολφράμιο (οχροεγοχο tungsten complexes) και Μολυβδένιο. Η πρώτη ύλη παρέμεινε το κυκλοεξένιο ή κυκλοεξανόνη ή 1,2-κυκλοεξανεδιόλη, με αποδόσεις που κυμαίνονται από 45% μέχρι 86%.¹³

Άλλοι επιστήμονες βελτίωσαν ακόμη περισσότερο την απόδοση με νέα βιοκαταλυτική μέθοδο σύνθεσης του αδιπικού οξέος από D-γλυκόζη. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση γενετικά τροποποιημένων βακτηρίων *Klebsiella pneumoniae* (ένα είδος μη τοξικών στελεχών *Escherichia coli*)

[Το *Escherichia coli* (συντομογραφία *E. coli*) είναι ένα αρνητικό κατά Gram, ραβδοειδούς σχήματος κολοβακτήριο (*Enterobacteriaceae*). Συνήθως βρίσκεται στο έντερο των θερμόαιμων οργανισμών, τα περισσότερα στελέχη του είναι αβλαβή και αποτελούν μέρος της φυσικής χλωρίδας του εντέρου.]

Ο επιστήμονας που ανέπτυξε την βιοκαταλυτική μέθοδο σύνθεσης του αδιπικού οξέος βραβεύθηκε με το επιστημονικό βραβείο «Presidential Green Chemistry Challenge Awards Program» το 1998 στις ΗΠΑ.¹⁴⁻¹⁷

Η περίπτωση της οργανικής σύνθεσης του αδιπικού οξέος από κυκλοξένιο έχει γίνει κλασικό παράδειγμα «πράσινης» σύνθεσης και διδάσκεται σε φοιτητικά εργαστήρια. Τα αντιδραστήρια και η μέθοδος είναι απλά και μπορεί η σύνθεση να πραγματοποιηθεί σε ένα τυπικό χημικό πανεπιστημιακό εργαστήριο.¹⁸

4.3.1. Μέθοδος, Αντιδραστήρια και Συνθήκες για τη «Πράσινη» Σύνθεση του Αδιπικού Οξέος στο Εργαστήριο

Η συνθετική μέθοδος του αδιπικού μπορεί να γίνει σε ένα απλό χημικό εργαστήριο. Σε μία ξερή κωνική φιάλη των 25 mL που έχει βιδωτό πώμα προστίθεται μαγνητικός αναδευτήρας και προστίθενται με τη σειρά οι ποσότητες των αντιδραστηρίων.¹⁸

0.25 g sodium Tungstate dehydrate (άλας βολφραμίου),

0.25 g του καταλύτη Aliquat 336 (phase transfer catalyst) που είναι ένα παχύρευστο υγρό, μπορεί να προστεθεί σε μικρές ποσότητες με πιπέτα Παστέρ (Pasteur pipette). (Aliquat 336, Methyltrioctylammonium

chloride),

$$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CH}_2(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3}{\text{N}^+}}-\text{Cl}^-$$

6.0 g (5.5 mL) διαλύματος 30% H₂O₂ (προσοχή γιατί σταγόνες του στο δέρμα προκαλούν φλυκτένες)

0.19 g KHSO₄ (potassium hydrogen sulphate),

και τέλος με συνεχή ανάδευση μέσα σε 10 δευτερόλεπτα 1.0 g κυκλοξένιο.

Η κωνική φιάλη συνδέεται με κάθετο ψυκτήρα και το μίγμα ανακατεύεται με τον μαγνητικό αναδευτήρα, αρχικά με αργό ρυθμό και μετά από ένα λεπτό πιο γρήγορα επί 45 λεπτά της ώρας. Αφήνεται το μίγμα για 3 λεπτά να πέσει η θερμοκρασία του και το γαλακτώδες υγρό το θερμαίνεται ελαφρά για λίγα λεπτά.

Στο επάνω τμήμα σχηματίζει μία υδάτινη στοιβάδα ενώ το πηκτό (ελαιώδες) υγρό του διαλύτη-καταλύτη Aliquat 336 (Starks' catalyst) παραμένει στο κάτω μέρος. Με τη βοήθεια σιφωνίου (πιπέτας) Παστέρ απομακρύνεται προσεκτικά την επιφανειακή στοιβάδα και τη μεταφέρουμε σε υάλινη φιάλη (beaker). Ψύχεται η φιάλη μέσα σε πάγο για 10 λεπτά. Το προϊόν αρχίζει να καταβυθίζεται ως λευκό κρυσταλλικό στερεό. Τρίβετε ελαφρά τα τοιχώματα της φιάλης με υάλινη ράβδο, για να υποβοηθήσουμε την κρυστάλλωση. Ψύχεται ξανά και το στερεό διηθείται με διήθηση με χωνί Büchner (funnel) και με κενό. Συγκεντρώνονται τα υπολείμματα από τη φιάλη με 2-3 mL παγωμένου νερού και το διατηρούνται επί 5 λεπτά. Ανακρυστάλλωση με αποσταγμένο νερό (1 mL νερού για κάθε 2,3 g προϊόντος). Αναδεύεται και θερμαίνεται το μίγμα στους 80-100 °C. Προστίθεται περισσότερο νερό και εάν δεν διαλυθεί το οξύ θερμαίνεται ξανά. Ψύχεται για 10 λεπτά, το αδιπικό οξύ αρχίζει να καθιζάνει και διηθείται με χωνί Büchner (funnel). Το στερεό πλένεται με κρύο νερό, τοποθετείται σε ύαλο

ωρολογίου και τοποθετείται σε φούρνο 115 °C για; 10-15 λεπτά (min). Ψύχεται το στερεό και προσδιορίζεται το σημείο τήξεως της ουσίας.

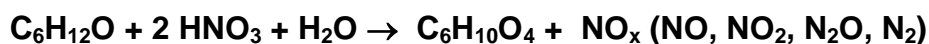


Σχήμα 4.5. Παρασκευή του αδιπικού οξέος στο χημικό εργαστήριο. Καθίζηση, γαλακτώδες λευκό ίζημα από υδατικό διάλυμα σε φιάλη, διήθηση με χωνί Büchner (funnel) και λευκοί κρύσταλλοι αδιπικού οξέος.

4.3.2. Η Απόδοση Παραδοσιακής και «Πράσινης» Μεθόδου

Η σύνθεση του αδιπικού οξέος, τόσο η παραδοσιακή όσο και η 'πράσινη' μέθοδος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την "οικονομία των ατόμων" (atom or mass efficiency).

A. Η παραδοσιακή παρασκευή του αδιπικού Οξέος από μίγμα κυκλοεξανόλη/κυκλοεξανόνη με οξειδωτικό το νιτρικό οξύ και παρουσία καταλύτη χαλκού/βαναδίου [Cu(0.1-0.5% & V (0.02-0.1%)] Η αντίδραση είναι:



Στη μέθοδο αυτή παράγονται τοξικά οξειδία αζώτου. Η απόδοση της αντίδρασης είναι 92,96%. Η μάζα είναι αποτέλεσμα του αριθμού των ατόμων επί το ατομικό τους βάρος.

Μάζα προϊόντος (Product mass) = (6C)(12) (10H)(1) (4O)(!6) = 146 g

Μάζα αντιδρώντων (Reactant mass) = (6C)(12) (18H)(1) (9O)(16) (2N)(14) = 262 g

Απόδοση ή αποδοτικότητα μάζας (Mass efficiency) είναι το πηλίκο προϊόντος/αντιδρώντων $\times 100 = 146/262 \times 100 = 55,7\%$

B. Η νέα «πράσινη» μέθοδος παρασκευής από κυκλοεξένιο με υπεροξείδιο του υδρογόνου (H₂O₂) και καταλύτη άλας βολφραμίου Na₂WO₄·2H₂O (1%) και διαλύτη Aliquat 336 [CH₃(n-C₈H₁₇)₃N] HSO₄ (1%)].

Βιβλιογραφία. Sato K, Aoki M, Noyori R. A "green" route to adipic acid: direct oxidation of cyclohexenes with 30 percent hydrogen peroxide. *Science*, 281: 1646-1647, 1998 ; Usui Y, Sato K. A green method of oxidation of cycloalkanones with 30% hydrogen peroxide. *Green Chem* 5:373-375, 2003.



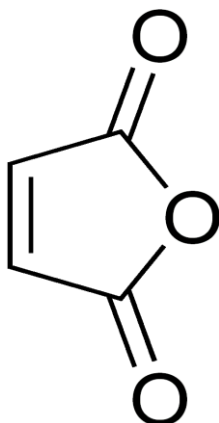
Η νέα μέθοδος δεν παράγει τοξικές ουσίες και η απόδοση είναι 90%.
Μάζα προϊόντος (Product mass) = (6C)(12) (10H)(1) (4 O)(16) (2N)(14) = 146 g
Μάζα αντιδρώντων (Reactant mass) = (6C)(12) (18H)(1) (8 O)(16) = 218 g
Απόδοση μάζας (Mass efficiency) = $146/218 \times 100 = 67\%$

Από τους υπολογισμούς αυτούς προκύπτει ότι η αποδοτικότητα σε μάζα αντιδρώντων/προϊόντων είναι 11% μεγαλύτερη για την δεύτερη «πράσινη» μέθοδο σε σχέση με την παραδοσιακή μέθοδο..

4.4. Η Σύνθεση του Μηλεϊνικού Ανυδρίτη (Maleic Anhydrite) με τις Αρχές της Πράσινης Χημείας

Μία άλλη μέθοδος σύνθεσης που είναι χρήσιμη για τη διδασκαλία της «Πράσινης Χημείας», τόσο από περιβαλλοντική άποψη όσο και την πλευρά της καλύτερης απόδοσης σε σχέση με την παραδοσιακή «παλαιά» μέθοδο είναι η σύνθεση του μηλεϊνικού ανυδρίτη.

Ο μηλεϊνικός ανυδρίτης (MA) (Maleic Anhydride (MA) (cis-butenediol acid, C₄H₄O₄). Είναι μία χημική ένωση που χρησιμοποιείται ευρύτατα για την παρασκευή πολυεστερικών ρητινών και πλαστικών χρωμάτων. Επίσης, είναι χρήσιμο ενδιάμεσο στην παραγωγή 1,4-βουτανεδιόλης (που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία πολυουρεθάνης και βουτυρολακτόνης (διαλύτης χρωμάτων). Η παγκόσμια παραγωγή μηλεϊνικού ανυδρίτη υπολογίζεται σε περίπου ένα εκατομμύριο τόνους ετησίως.

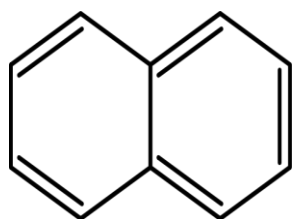


Σχήμα 4.6. Ο χημικός τύπος του μηλεϊνικού ανυδρίτη. Είναι λευκή κρυσταλλική ένωση και παράγεται σε ~1 εκατομμύριο τόνους ετησίως.

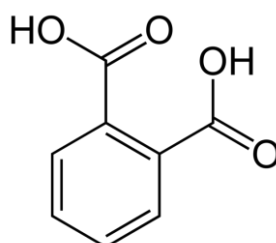
Οι παραδοσιακές μέθοδοι βιομηχανικής παρασκευής μηλεϊνικού ανυδρίτη χρησιμοποιούσαν ως πρώτη ύλη βενζόλιο, βουτένιο ή βουτάνιο και το οξειδωτικό αέριο ήταν συνήθως αέρας που περνούσε μέσα από καταλύτη πεντοξειδίου του Βαναδίου (V₂O₅, Vanadium pentoxide) σε πίεση 3-5 bar και θερμοκρασία 350-450 °C. .

Την δεκαετία του 1970 υπήρξε η πετρελαϊκή κρίση της εποχής και οι βιομηχανικοί χημικοί μελετούσαν την αλλαγή της μεθόδου για τη βιομηχανική παραγωγή του MA με πρώτη ύλη που καθιερώθηκε τότε ήταν το βουτάνιο. Την δεκαετία του 1990 υπήρξε η περιβαλλοντική αφύπνιση και η μέθοδος έπρεπε να βελτιωθεί ως προς την παραγωγή αποβλήτων και τη καλύτερη αποδοτικότητα. Οι δυο μεγάλες χημικές βιομηχανίες UCB Chemicals (Βέλγιο)

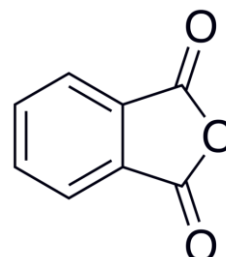
και η BASF (Γερμανία), άρχισαν να παρασκευάζουν τον MA ως παραπροϊόν της οξειδωσης του ναφθαλινίου σε φθαλικό οξύ και σε φθαλικό ανυδρίτη. Η διεργασία είναι πιο «πράσινη» από την αρχική μέθοδο, αφού η σύνθεση έχει απαλλαγή από το τοξικό βενζόλιο και η «οικονομία ατόμων» είναι καλύτερη χωρίς απόβλητα (μείωση της εκπομπής CO₂). Αλλά η αλλαγή που επήλθε με πρώτη ύλη του βουτάνιο είναι πιο σημαντική σε ότι αφορά τις αρχές της πράσινης χημείας.¹⁹



Ναφθαλίνιο



Φθαλίκό οξύ



Φθαλίκός ανυδρίτης

Σχήμα 4.7. Το ναφθαλίνιο είναι πρώτη ύλη για την παρασκευή βιομηχανικών χημικών προϊόντων.

4.4.1. Σύνθεση του Μηλεϊνικού Ανυδρίτη. Παλαιά και Νέα «πράσινη» Μέθοδος

A. Η Παλαιά Μέθοδος με πρώτη ύλη Βενζόλιο και καταλύτες οξειδία βαναδίου και μολυβδενίου, V₂O₅ and MoO₃ (fixed bed reactor)



Η αντίδραση έχει απόδοση 95%

Μάζα Προϊόντων (Product mass) = 2(4)(12) 2(3)(16) 2(2)(1) = 196

Μάζα αντιδρώντων (Reactant mass) = 2(6)(12) 9(2)(16) 2(6)(1) = 444

Αποδοτικότητα μάζας (Mass efficiency) = 196/444 (X 100) = 44.4%

B. Η Νέα Μέθοδος με πρώτη ύλη βουτάνιο, με καταλύτες (VO)₂P₂O₅ (fixed bed reactor)



Η αντίδραση έχει απόδοση 60%

Μάζα Προϊόντων (Product mass) = (4)(12) (3)(16) (2)(1) = 98

Μάζα Αντιδρώντων (Reactant mass) = (4)(12) 3.5(2)(16) (10)(1) = 170

Αποδοτικότητα μάζας (Mass efficiency) = 98/170 (X100) = 57,6%.

Η βιομηχανική παραγωγή του μηλεϊνικού ανυδρίτη βελτιώθηκε με τη χρησιμοποίηση διαφόρων καταλυτών, βανάδιο-φωσφόρος και σύμπλοκα βαναδίου-φωσφόρου σε θερμοκρασίες 0-200 °C, χωρίς τη χρήση διαλύτη. Η μέθοδος είναι πατέντα της Standard Oil Company (Indiana).²⁰

Επίσης, η μεγάλη αμερικανική χημική βιομηχανία Ντι Πόν ντε Νεμούρ [E.I du Pont de Nemours and Co (Wilmigton, Delaware, USA)], μετά από 10

χρόνια ερευνών ανέπτυξε νέα βιομηχανική συνθετική μέθοδο του MA από την οξειδωση βουτανίου με τη χρήση κυκλοφορούσας ρευστοποιημένης καταλυτικής κλίνης -αντιδραστήρα (circulating fluidized bed reactor).²¹

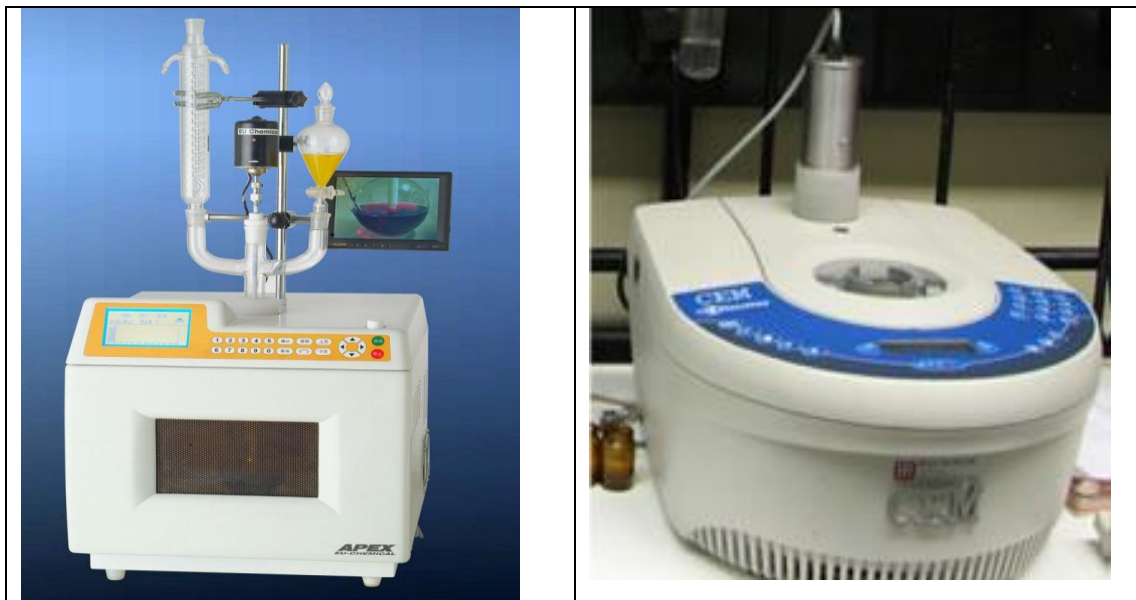
Επίσης, και στη Ρουμανία το Ινστιτούτο Μακρομοριακής Χημείας (Institute of Macromolecular Chemistry, Iasi, Romania) ανέπτυξε εναλλακτική «πράσινη» μέθοδο σύνθεσης συμπολυμερών MA με τη χρήση μικροκυμάτων. Η μέθοδος αυτή δημιουργεί ελεύθερες ρίζες βοηθάει στο συμπολυμερισμό του MA με μονομερή βινυλίου.²²

4.5. Νέες Μέθοδοι Οργανικής Σύνθεσης με Μικροκύματα. Εφαρμογή Αρχών Πράσινης Χημείας

Οι μέθοδοι της Οργανικής Σύνθεσης μπορούν να ακολουθήσουν τις αρχές της πράσινης Χημείας εφόσον προσαρμοσθούν σε «καθαρές» πρακτικές, με ανανεώσιμη και μη τοξικές πρώτες ύλες, μικρότερη χρήση διαλυτών, μειωμένη χρήση ενέργειας και μειωμένα απόβλητα. Με βάση αυτές τις αρχές αναπτύχθηκαν μέθοδοι σύνθεσης που υποβοηθούνται με την επίδραση μικροκυμάτων (Microwave-assisted eco-friendly organic synthesis).

Οι οργανικές συνθέσεις κάτω από συνθήκες μικροκυματικής ακτινοβολίας (microwave irradiation, MWT) έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους. που απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες.

Οι συνθέσεις με μικροκύματα απαιτούν μικρότερη διάρκεια αντίδρασης, έχουν καλύτερη εκλεκτικότητα και παράγουν υψηλότερες αποδόσεις. Επιπλέον οι οργανικές συνθέσεις με μικροκύματα είναι «καθαρότερες» σε σχέση με τις συμβατικές γιατί δεν παράγουν παραπροϊόντα και απόβλητα, δεν απαιτούν διαλύτες, είναι πιο αποτελεσματικές (απόδοση) και δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον.²³



Σχήμα 4.8. Ειδική συσκευή για οργανικές συνθέσεις με την επίδραση μικροκυμάτων (ομοιάζουν με τους απλούς φούρνους μικροκυμάτων) αλλά φέρουν ειδική εσωτερική διαρρύθμιση και εξωτερικούς ψυκτήρες.

Τα τελευταία χρόνια έχουν εκδοθεί πολλά βιβλία με πρακτικές μικροκυματικής οργανικής σύνθεσης και έχουν κατασκευασθεί ειδικά μηχανήματα για εργαστηριακή χρήση σε συνθέσεις με μικροκύματα.²⁴⁻²⁹



Σχήμα 4.9. Πολυάριθμες εκδόσεις των τελευταίων χρόνων καλύπτουν τις ποικίλες εφαρμογές της χημείας μικροκυμάτων για την οργανική σύνθεση.

Σε πολλά Τμήματα Χημείας Πανεπιστημίων έχουν εγκατασταθεί οι σχετικά φθηνές συσκευές μικροκυμάτων και ορισμένες οργανικές συνθέσεις πραγματοποιούνται κάτω από συνθήκες φούρνων μικροκυμάτων. Στην επιστημονική βιβλιογραφία έχουν δημοσιευθεί πολυάριθμες ανασκοπήσεις σε θέματα οργανικών συνθέσεων σε μικροκυματικές συνθήκες.³⁰⁻³⁴

4.6. Νέες Μέθοδοι Οργανικής Σύνθεσης με Υπερήχους. Είναι Μέθοδοι Πράσινης Χημείας;

Τα τελευταία χρόνια μία άλλη μέθοδος οργανικής σύνθεσης που έχει τα χαρακτηριστικά της πράσινης χημείας και χρησιμοποιείται ευρύτατα, είναι αυτή κατά την οποία τα αντιδραστήρια αντιδρούν με την επίδραση υπερήχων (Ultrasound-assisted organic synthesis). Οι υπέρηχοι μπορούν να παραχθούν με πολύ απλές συσκευές και έχουν εξαιρετικά υψηλό ενεργειακό επίπεδο που μπορεί να ξεκινήσει και να ολοκληρώσει οργανικές συνθέσεις. Οι χρησιμοποιούμενοι συχνότητες καλύπτουν την περιοχή 20 kHz έως 1MHz.

Η χημεία υπερήχων (Sonochemistry, ηχοχημεία) εφαρμόζεται ολοένα και πιο συχνά στην οργανική σύνθεση. Οι υπέρηχοι περικλείουν υψηλή ενέργεια και μπορούν να επιταχύνουν μία αντίδραση χημικών αντιδραστηρίων. Ο μηχανισμός που προκαλεί την ενεργειακή έκλυση μέσα σε υγρά καλείται φαινόμενο της ακουστικής σπηλαιώσης και κατάρρευσης (cavitation collapse). [*σπηλαιώση, είναι η δημιουργία, ανάπτυξη, και εσωτερική κατάρρευση φυσαλίδων σε ένα υγρό. Η σπηλαιώδη κατάρρευση παράγει έντονη τοπική θέρμανση (~ 5000 K), υψηλή πίεση (~ 1000 atm), τεράστια θέρμανση και ψύξη και υγρά ρεύματα].³⁵⁻³⁷



Σχήμα 4.10. Την τελευταία δεκαετία έχουν εκδοθεί πολλά συγγράμματα με θέματα χημείας υπερήχων στην οργανική σύνθεση.

Οι υπέρηχοι επιτρέπουν τον ταχύτατο διασκορπισμό στερεών και διάσπαση των οργανικών χημικών ουσιών, με αποτέλεσμα να επενεργούν

στην αντίδρασή τους. Οι αποδόσεις είναι υψηλές , δεν απαιτούνται διαλύτες, ο χρόνος αντίδρασης είναι σύντομος , δεν υπάρχουν απόβλητα. Όλα αυτά συμβαδίζουν με τις αρχές της πράσινης χημείας.

Οι οργανικές συνθέσεις με τη βοήθεια υπερήχων εφαρμόζεται σε πολλές οργανικές συνθέσεις. Η επιστημονική βιβλιογραφία περιλαμβάνει σημαντικό αριθμό επιστημονικών βιβλίων με μεθοδολογίες και πρακτικές εφαρμογές σε μεγάλο αριθμό αντιδράσεων.³⁸⁻⁴²

4.7. Βιβλιογραφικές Πηγές: Παραδείγματα Οργανικών Συνθέσεων με τις Αρχές της Πράσινης Χημείας

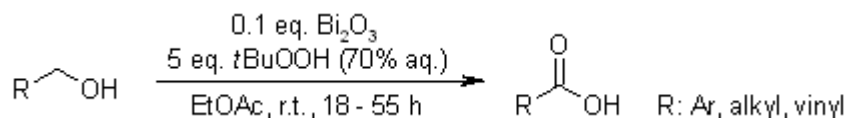
Η επιστημονική βιβλιογραφία έχει πλέον σημαντικό αριθμό δημοσιευμάτων σε επιστημονικά περιοδικά και μεγάλο αριθμό συγγραμμάτων για την Οργανική Σύνθεση και τις Αρχές της Πράσινης Χημείας. Ένας κεντρικός διαδικτυακός ιστότοπος για θέματα πράσινης χημείας είναι : **Green Chemistry**

(URL: <http://www.organic-chemistry.org/topics/green-chemistry.shtml>)

Η Διεθνής βιβλιογραφία εμπλουτίζεται με νέα βιβλία Πράσινης Χημείας.⁴³

4.6.1. Επιλογή από Πρόσφατες Οργανικές Συνθέσεις με Αρχές της «Πράσινης» Χημείας

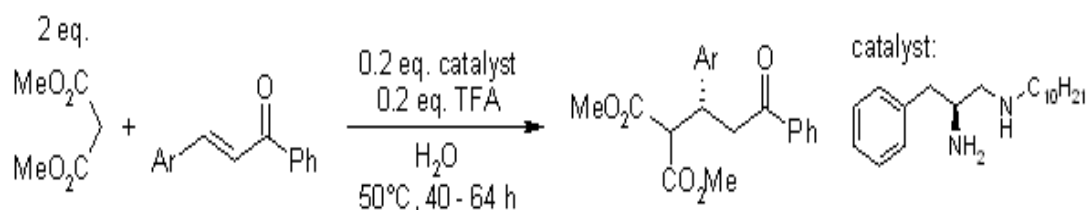
1. Μετατροπή αρωματικών και αλειφατικών αλκοολών σε αντίστοιχα καρβοξυλικά οξέα και κετόνες. Πράσινη συνθετική μέθοδος



Various aromatic, aliphatic and conjugated alcohols were transformed into the corresponding carboxylic acids and ketones in good yields with aq 70% *t*-BuOOH in the presence of catalytic amounts of bismuth (III) oxide. This method possesses does not involve cumbersome work-up, exhibits chemoselectivity and proceeds under ambient conditions. is **The overall method green**.

Malik P., D. Chakraborty D. Bismuth (III) oxide catalyzed oxidation of alcohols with tert-butyl hydroperoxide. , *Synthesis*, **2010**, 3736-3740.

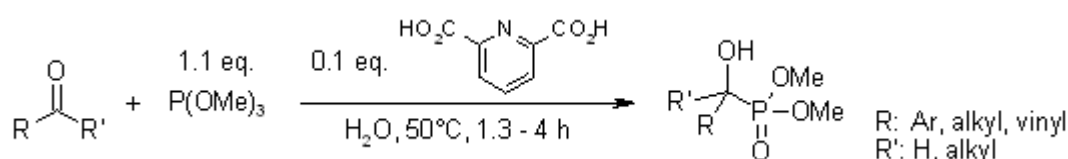
2. Εναντιοεκλεκτική προσθήκη Michael



A highly enantioselective Michael addition of malonates to α,β -unsaturated ketones in water is catalyzed by a primary-secondary diamine catalyst containing a long alkyl chain. This asymmetric Michael addition process allows the conversion of various α,β -unsaturated ketones.

Z. Mao, Y. Jia, W. Li, R. Wang, *J. Org. Chem.*, **2010**, *75*, 7428-7430.

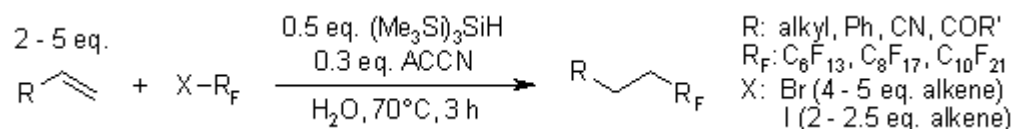
3. Οργανοκαταλυτική άμεση σύνθεση α -υδροξυ-φωσφονικών



An organocatalytic, direct synthesis of α -hydroxy phosphonates via reaction of aldehydes and ketones with trimethylphosphite in the presence of catalytic amounts of pyridine 2,6-dicarboxylic acid in water is simple, cost-effective and environmentally benign.

F. Jahani, B. Zamenian, S. Khaksar, M. Taibakhsh, *Synthesis*, **2010**, 3315-3318.

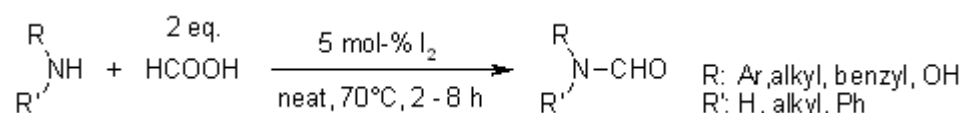
4. Ενδομοριακή προσθήκη υπερφθοροαλκυλο- ελ. ριζών σε αλκένιο



Intermolecular addition of perfluoroalkyl radicals on electron rich alkenes and alkenes with electron withdrawing groups in water, mediated by silyl radicals gives perfluoroalkyl-substituted compounds in good yields. The radical triggering events employed consist of thermal decomposition of 1,1'-azobis(cyclohexanecarbonitrile) (ACCN) or dioxygen initiation.

S. Barata-Vallejo, A. Postigo, *J. Org. Chem.*, **2010**, *75*, 6141-6148.

5. N-φορμλίωση με καταλυτική μέθοδο χωρίς διαλύτη

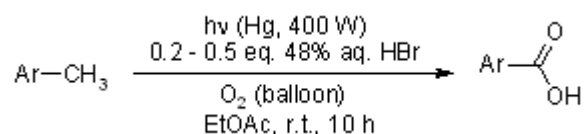


A simple, practical, and catalytic method for the N-formylation in the presence of molecular iodine as a catalyst under solvent-free conditions is applicable to a wide variety of amines. α -Amino acid esters can be converted without

epimerization.

J.-G. Kim, D. O. Jang, *Synlett*, **2010**, 2093-2096.

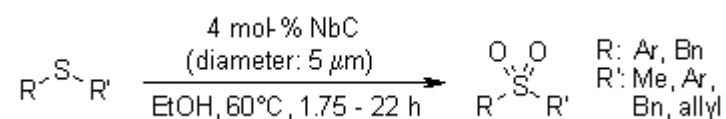
5. Άμεση οξείδωση μεθυλίου σε αντίστοιχο καρβοξυλικό οξύ



A methyl group at an aromatic nucleus is oxidized directly to the corresponding carboxylic acid in the presence of molecular oxygen and catalytic hydrobromic acid under photoirradiation.

S.-I. Hirashima, A. Itoh, *Synthesis*, **2006**, 1757-1759.

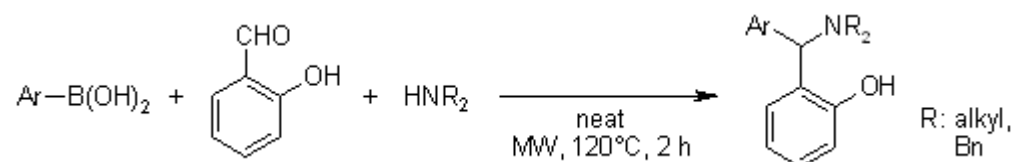
7. Οξείδωση σουλφιδίων με υπεροξειδίο του υδρογόνου



Oxidation of sulfides with 30% hydrogen peroxide catalyzed by tantalum carbide provides the corresponding sulfoxides in high yields, whereas niobium carbide as catalyst efficiently affords the corresponding sulfones. Both catalysts can easily be recovered and reused without losing their activity.

M. Kiriara, A. Itou, T. Noguchi, J. Yamamoto, *Synlett*, **2010**, 1557-1561.

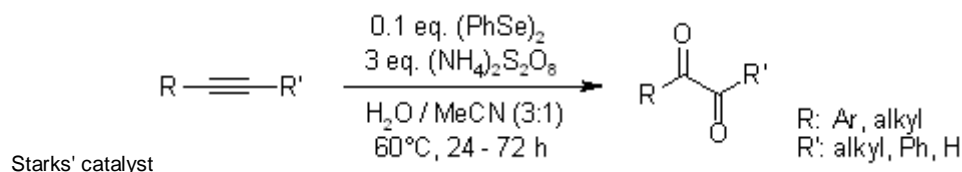
8. Αντιδράσεις Borono-Mannich χωρίς διαλύτη με μικροκύματα



Borono-Mannich reactions can be performed in solvent-free conditions under microwave irradiation with short reaction time. Full conversion of the starting materials towards the expected product was achieved, starting from stoichiometric quantities of reactants, avoiding column chromatography. No purification step other than an aqueous washing was required.

P. Nun, J. Martinez, F. Lamaty, *Synthesis*, **2010**, 2063-2068.

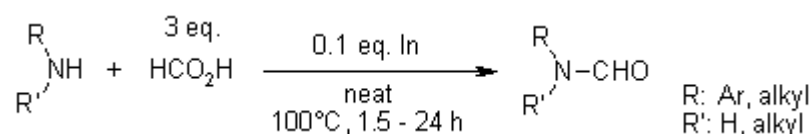
9. Οξείδωση αλκυνίων με ammonium persulfate [υπερθειϊκού αμμωνίου, (NH₄)₂S₂O₈]



Oxidation of alkynes using ammonium persulfate and diphenyl diselenide as catalyst in aqueous media leads to 1,2-unprotected dicarbonyl derivatives or to hemiacetals starting from terminal alkynes.

S. Santoro, B. Battistelli, B. Gjoka, C.-w. S. Si, L. Testaferri, M. Tiecco, C. Santi, *Synlett*, **2010**, 1402-1406.

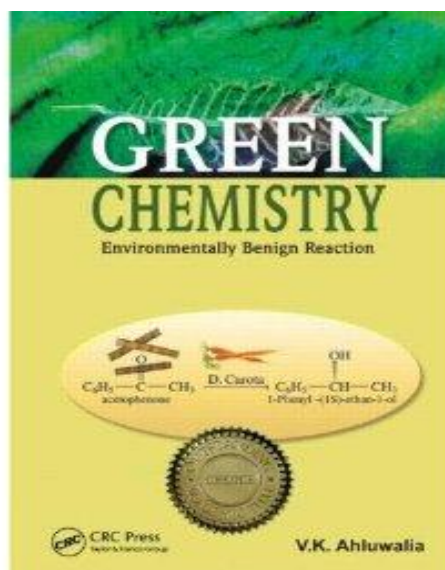
10. Απλή N-φορμλίωση χωρίς διαλύτη



A simple, mild method for *N*-formylation in the presence of indium metal as a catalyst under solvent-free conditions is applicable to the chemoselective reaction of amines and α -amino acid esters without epimerization.

J.-G. Kima, D. O. Jang, *Synlett*, **2010**, 1231-1234.

Σημαντικές εφαρμογές της Πράσινης Χημείας έχουν γίνει την τελευταία δεκαετία στη **χημεία των πολυμερών**. Η Βιοκατάλυση και τα βιο-υλικά είναι πλέον μέρος των τεχνικών σε πολυάριθμους πολυμερισμούς. Πρόσφατο συνέδριο της Αμερικανικής Χημικής Εταιρίας (2010) και αντίστοιχη έκδοση προσφέρουν εκτεταμένη ποικιλία εφαρμογών και νέων ανακαλύψεων.⁴⁴



V.K. Ahluwalia (Ed). *Green Chemistry. Environmentally Benign Reaction*. CRC Press, Boca Raton, FL, 2007

Βιβλιογραφία

1. Anastas PT, Warner JC. *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press, New York, 1998.
2. Warren D. *Green Chemistry. A Teaching Resource*. Royal Society of Chemistry publications, Cambridge, UK, 2001.
3. Clark J, Macquarrie D. *Handbook of Green Chemistry and Technology*. Blackwell Publishing, Abingdon, Oxfordshire, 2002.
4. Poliakoff M, Licence P. Green Chemistry. *Nature* 450: 810-812, 2007.
5. Tundo P, Anastas PT (Eds). *Green Chemistry: Challenging Perspectives*. Oxford University Press, Oxford, UK, 2000.
6. Sheldon RA, Arends I. *Green Chemistry and Catalysis*. Wiley-VCH, Indianapolis, USA, 2006.
7. American Chemical Council. Global Business of Chemistry (www.americanchemistry.com/jobs/EconomicStatistics/Industry-Profile/Global-Business-of-chemistry)
8. Royal Society of Chemistry (RSC). Ibuprofen- a case study in green chemistry. RSC, Cambridge, UK (<http://www.rsc.org/education/teachers/learnnet/ibuprofen/ibuprofen.pdf>)
9. The BHC Company Synthesis of Ibuprofen. From Cann MC, Connelly ME. Real World Cases in Green Chemistry. American Chemical Society, Washington, DC, 2000. (<http://alpha.chem.umb.edu/chemistry/orgchem/greensynthiboprufercasestudy.pdf>)
10. Anastas PT, Kirchhoff MM, Williamson TC. Catalysis as a foundational pillar of green chemistry. *Appl Catal A: General*, 221: 3-13, 2001.
11. Sato K, Aoki M, Noyori R. A "green" route to adipic acid: direct oxidation of cyclohexene with 30 percent hydrogen peroxide. *Science* 281:1646-1647, 1998.
12. Usui Y, Sato K. A green method of adipic acid synthesis: organic solvent- and halide-free oxidation of cyclohexanones with 30% hydrogen peroxide. *Green Chem* 5, 373-375, 2003.
13. Li H, Zhu W, He X, Pan J, Shu H, Guo J, et al. Green synthesis of adipic acid with hydrogen peroxide catalyzed by oxoperoxo tungsten complexes. The 10th Annual Green Chemistry and Engineering Conference, June 26-30, 2006.
14. Draths CM, Frost JW. Environmentally compatible synthesis of adipic acid from D-glucose. *J Am Chem Soc* 116(1):399-400, 1994.
15. Draths CM, Frost JW. *Microbial catalysis. Synthesis of adipic acid from D-glucose*. ACS Symposium Series, vol. 577, Chapter 3, pp 32-45. ACS publications, Washington DC, Nov. 1994.
16. Draths KM, Frost JW. The Presidential Green Chemistry Challenge Awards Program. Summer of 1998 Award. EPA 744-R-98-001. US Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics, Washington DC, 1998, p. 3.
17. 1998 Academic Award. Green Chemistry. Dr. K. M. Draths and Prof. J.W. Frost (Michigan State University) (<http://www.epa.gov/greenchemistry/pubs/pgcc/winners/aa98b.html>)
18. Reed SM, Hutchison JE. Green Chemistry in the organic teaching laboratory: an environmentally benign synthesis of adipic acid. *J Chem Educ* 77:1627-1628, 2000.

19. Maleic Anhydride Synthesis
[<http://www.webelements.com/nexus/node/152>]
20. Patent No. 4515904, 30.9.1983 (Robert C. Edwards, Standard Oil Company, Indiana, USA). Catalysts for the production of maleic anhydride by the oxidation of butane.
21. Contractor RM, Gemett DI, Horowitz HS, Bergna HE, Patience GS, Schwartz JT, Sisler GM. A new commercial scale process for n-butane oxidation to Maleic Anhydride using a circulating fluidized bed reactor. *Studies Surf Sci Catalysis* 82:233-242, 1994.
22. Popescu I, Chitanu GC. Synthesis of Maleic Anhydride copolymers by conventional and non-conventional methods. 2nd International IUPAC Conference on Green Chemistry, 14-19 September, 2008, Moscow, Russia.
23. Lidstrom P, Tierney J, Wathey B, Microwave assisted organic synthesis: a review. *Tetrahedron* 57:9225-9283, 2001.
24. Desai KR, Kanetkar VR. *Green Chemistry Microwave Synthesis*. Global Media, New York, 2010.
25. Bogdal D (Ed). *Microwave-assisted Organic Synthesis*. Vol. 25. One Hundred Reaction Procedures. (Tetrahedron Organic Chemistry). Elsevier, New York, 2006.
26. Loupy A (Ed). *Microwaves in Organic Synthesis*. Wiley-VCH, West Sussex, 2002 (1st), 2006 (2nd ed).
27. Kappe CO, Dallinger D, Murphree SS. *Practical Microwave Synthesis for Organic Chemistry. Strategies, instruments, and protocols*. Wiley-VCH, Bognor Regis, West Sussex, UK, 2009.
28. Tierney JP, Lidstrom P. *Microwave Assisted Organic Synthesis*. Wiley-Blackwell, London, 2005.
29. Larherd M, Olofsson (Eds). *Microwave Methods in Organic Synthesis*. Springer, Berlin, 2006.
30. Roberts BA, Strauss CR. Toward rapid "green" predictable microwave-assisted synthesis. Review. *Acc. Chem. Res.* 38:653-661, 2005.
31. Nuchter M, Ondruschka B, Bonrath W, Gum A. Microwave assisted synthesis- a critical technology overview. *Green Chem.* 6:128-141, 2004.
32. Santagada V, Frecentese F, Perissuti E, et al. Microwave assisted synthesis: a new technology in drug discovery. Review. *Mini Rev Med Chem* 9:340-358, 2009.
33. Martinez-Palou R. Microwave-assisted synthesis using ionic liquids. Review. *Mol Divers* 14:3-25, 2010.
34. Alcazar J, Oehlich D. Recent applications of microwave irradiation to medicinal chemistry. Review. *Future Med Chem* 2:169-178, 2010.
35. Cintas P, Luche J-L. Green Chemistry: The sonochemical approach. *Green Chem* 1:115-125, 1999.
36. Mason TJ. Ultrasound in synthetic organic chemistry. Review. *Chem Soc. Rev.* 26:443-451, 1997.
37. Cravotto G, Cintas P. Power ultrasound in organic synthesis: moving cavitation chemistry from academia to innovative and large-scale applications. *Chem. Soc. Rev.* 35:180-196, 2006.
38. Mason TJ. *Sonochemistry*. Oxford University Press, Oxford, 1999.
39. Luche J-L, Bianchi C. *Synthetic Organic Sonochemistry*. Springer, Berlin, 1998.

40. Mason TJ, Peters D. *Practical Sonochemistry. Power Ultrasound Uses and Applications*, Hoorwood Publicatios, New York, 2nd edition, 2003.
41. Mason TJ, Lorimer JP. *Applied Sonochemistry*. Wiley-VCH, West Sussex, 2002.
42. Tuulmets A, Salmar S, Jarv J. *Sonochemistry in Water Organic Solutions*. Nova Publs, New York, 2010.
43. Ahluwalia VK, Kidwai M. *New Trends in Green Chemistry*. Springer, Berlin, 2004.
44. Cheng HH, Gross RA. Green Polymer Chemistry: Biocatalysis and Biomaterials. ACS Symposium Series, Vol. 1043, *Green Polymer Chemistry: Biocatalysis and Biomaterials*. ACS publications, Washington DC, (August) 2010, chapter 1, pp. 1-14.

.....

5. Πράσινη Χημεία και Τοξικοί Οργανικοί Διαλύτες Αντικατάσταση και Εναλλακτικές Τεχνικές

5.1. Εισαγωγή: Πράσινη Χημεία και Τοξικοί Οργανικοί Διαλύτες

Η χρήση τοξικών οργανικών διαλυτών στα εργαστήρια χημείας της βιομηχανίας, των ερευνητικών εργαστηρίων και των πανεπιστημίων αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, αλλά και της υγείας και ασφάλειας των εργαζομένων. Η **Πράσινη Χημεία** έχει καθιερώσει ως έναν από τους σημαντικούς στόχους της την κατάργηση ή αντικατάσταση των τοξικών και επικίνδυνων οργανικών διαλυτών στα χημικά εργαστήρια.

Οι οργανικοί διαλύτες είναι απαραίτητες χημικές ουσίες για μεγάλο αριθμό εφαρμογών (εκχύλιση, εκπλυση, ξήρανση και διαχωρισμό των χημικών ενώσεων). Μεγάλες ποσότητες οργανικών διαλυτών χρησιμοποιούνται στην οργανική σύνθεση και σε διάφορες φάσεις της παραλαβής και καθαρισμού χημικών ενώσεων και παρασκευασμάτων. Η ικανοποιητική διαλυτότητα των χημικών αντιδραστηρίων σε οργανικούς διαλύτες, η ουδέτερη φύση πολλών οργανικών διαλυτών, η εύκολη απομάκρυνση μετά το τέλος της σύνθεσης και διάφορες φυσικοχημικές ιδιότητες καθιστούν τους οργανικούς διαλύτες ιδανικά μέσα για την Οργανική σύνθεση πολλών κατηγοριών χημικών ενώσεων. Οι οργανικοί διαλύτες έχουν όμως και διάφορες αρνητικές πλευρές, όπως η υψηλή τοξικότητα, η πτητικότητα κατά την αντίδραση σε υψηλές θερμοκρασίες, και ιδιαίτερα τα υπολείμματα που παραμένουν μετά τη χρήση.^{1,2}

Το θέμα της τοξικότητας των διαλυτών και των πιθανόν προβλημάτων στην υγεία των χημικών και των ερευνητών στους εργασιακούς χώρους (χημικά, βιοχημικά και βιολογικά εργαστήρια) έχει μελετηθεί με πολυάριθμες επιδημιολογικές έρευνες.^{3,4}

Σε πολλά εργαστήρια Οργανικής σύνθεσης συσσωρεύονται μεγάλες ποσότητες χρησιμοποιημένων διαλυτών που είναι δύσκολο να ανακλυκλωθούν και η απόρριψή τους εμπεριέχει κινδύνους για το περιβάλλον (π.χ. πολυχλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, βενζόλιο).^{5,6}

Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί μία αξιόλογη στροφή στην οργάνωση της συνθετικής χημείας και στην παραγωγή χημικών ουσιών. Η «**Πράσινη Χημεία**» είναι στην ουσία μία νέα «φιλοσοφία» για την ποιότητα των συνθετικών χημικών παρασκευασμάτων και προϊόντων, και η μεθοδολογία με την οποία παράγονται οι χημικές ουσίες. Με την «πράσινη χημεία» δίνεται ιδιαίτερη έμφαση ώστε να μην επηρεάζεται αρνητικά η υγεία και η ασφάλεια των εργαζομένων και να μην ρυπαίνεται το περιβάλλον σε ολόκληρο τον «κύκλο» παρασκευής, διάθεσης και χρήσης των χημικών προϊόντων.^{7,8}

Η θεωρία και πρακτική της «πράσινης χημείας» έχει επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό και την οργανική συνθετική χημεία, με έμφαση στη χρήση μη τοξικών διαλυτών ή με την αλλαγή της μεθοδολογίας στις συνθήκες της σύνθεσης, τα υλικά και την ανακύκλωση των απορριμμάτων.⁹



Σχήμα 5.1. Οι οργανικοί διαλύτες αποτελούν σημαντικό μέρος των εργαστηριακών και βιομηχανικών τεχνικών οργανικής σύνθεσης. Χρησιμοποιούνται επίσης για καθαρισμούς και διαχωρισμούς χημικών ουσιών. Οι περισσότεροι οργανικοί διαλύτες είναι τοξικοί και τα απόβλητά τους μπορούν να ρυπάνουν το περιβάλλον.

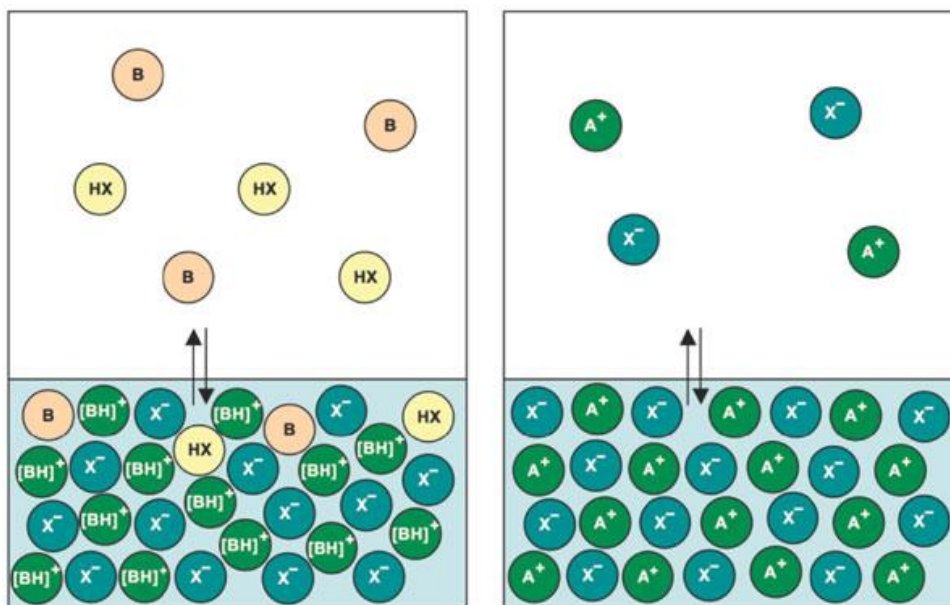
5.2. Πράσινη Χημεία χωρίς Διαλύτες. Εναλλακτικές Τεχνικές Οργανικής Σύνθεσης

Η οργανική σύνθεση με τις αρχές της «πράσινης χημείας» περιορίζει δραστικά τις ποσότητες διαλυτών, χρησιμοποιεί μη τοξικούς οργανικούς διαλύτες αλλά και ήπιες συνθήκες με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.¹⁰ Τα τελευταία έχουν διοργανωθεί συνέδρια με θέμα τους εναλλακτικούς «πράσινους» διαλύτες στην οργανική σύνθεση.¹¹ Επίσης, ο τομέας των νέων διαλυτών στην οργανική σύνθεση έχει ήδη παρουσιασθεί από το 1999 σε επιστημονικές εκδόσεις.¹²

Μερικές από τις μεθόδους αυτές με νέους «πράσινους» διαλύτες και οι αντίστοιχες τεχνικές είναι:

5.2.1. Ιονικά Υγρά για Οργανική Σύνθεση. Είναι Πράσινη Χημεία;

Τα ιονικά υγρά (ionic liquids) είναι μίγματα ανιόντων και κατιόντων, τηγμένα άλατα, με σημείο τήξης περίπου 100°C, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικοί διαλύτες στην οργανική σύνθεση. Αν και τα ιονικά υγρά δεν συμβαδίζουν με την ορολογία της πράσινης χημείας, πιστεύεται ότι στην επόμενη δεκαετία θα μπορέσουν να καταστούν αρκετά «πράσινα» για να αποτελέσουν εναλλακτικούς διαλύτες.¹³ Στην επιστημονική βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετά ενδιαφέροντα άρθρα και μεθοδολογίες χρησιμοποίησης ιονικών υγρών στην οργανική σύνθεση.^{14,15}



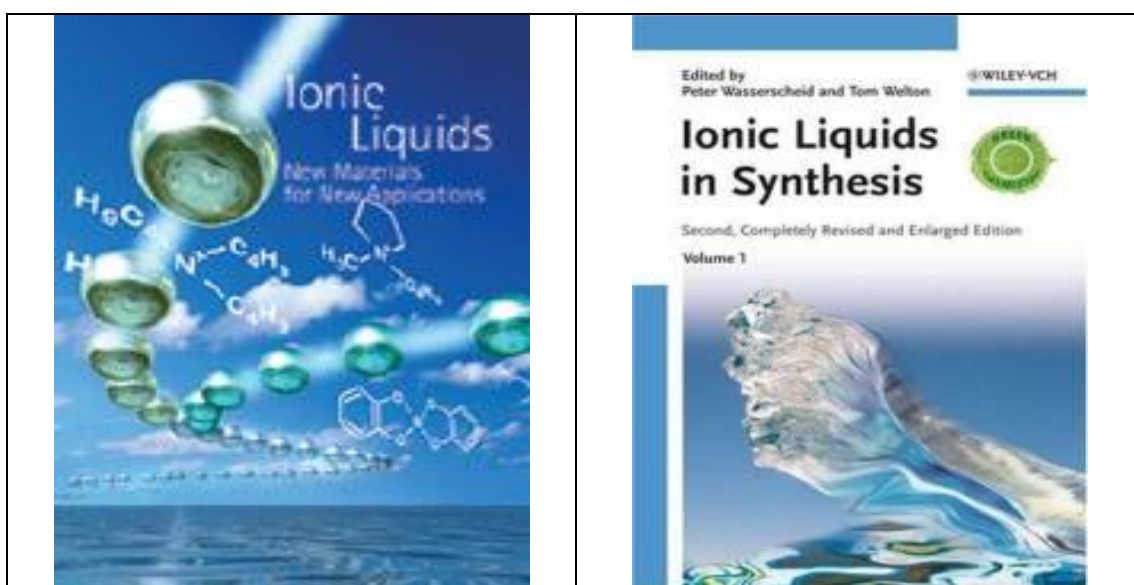
Protic ionic liquid

Aprotic ionic liquid

[Για τα πρωτικά ιονικά υγρά, υπάρχει δυναμική ισορροπία μεταξύ ιονικής μορφής και της μορφής διάστασης $[BH]^+X^-(l) \rightleftharpoons B(l) + HX(l) \rightleftharpoons B(g) + HX(g)$. Οι πράσινοι κύκλοι αντιπροσωπεύουν κατιόντα, οι μπλέ κύκλοι αντιπροσωπεύουν ανιόντα, και οι άλλοι έγχρωμοι κύκλοι αντιπροσωπεύουν ουδέτερα μόρια.; *l*, υγρή φάση (liquid phase); *g*, αέρια φάση (gaseous phase). Για την αέρια φάση στα απρωτικά ιονικά υγρά, η αντιπροσώπευση είναι απλά σχηματική και δεν αφορά τον πραγματικό βαθμό συσσωμάτωσης.]

Σχήμα 5.2. Σχηματική εικόνα για πρωτικά ιονικά υγρά και απρωτικά ιονικά υγρά στην υγρή και στην αέρια φάση

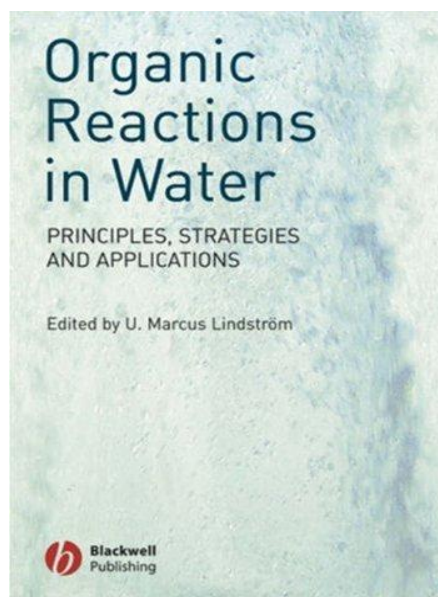
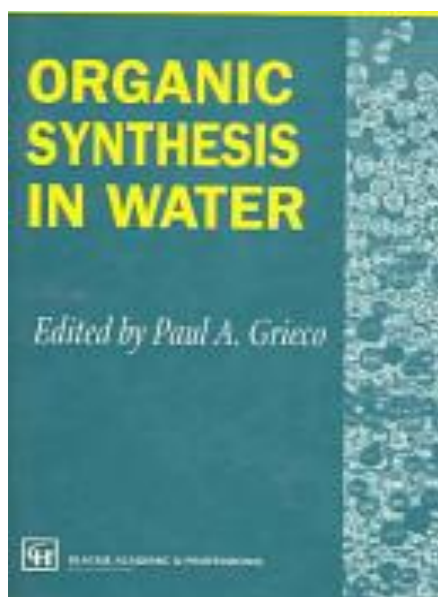
Αρκετά πρόσφατα συγγράμματα αφιερώνονται σε ιονικά υγρά και τη χρησιμοποίησή τους στην οργανική σύνθεση.



Σχήμα 5.3. Συγγράμματα για τη χρήση ιονικών υγρών ως διαλυτών

5.2.2. Οργανικές Συνθέσεις στο Νερό

Το νερό έχει αρχίσει εδώ και αρκετά χρόνια να χρησιμοποιείται ως διαλύτης σε πολλές οργανικές συνθέσεις αντί οργανικών διαλυτών. Η οργανικές συνθέσεις Diels-Alder είναι ένα παράδειγμα, αλλά λόγω των υδρόφοβων ιδιοτήτων πολλών χημικών ουσιών, το νερό αποτελεί ιδανικό διαλύτη, επιταχύνει την πορεία της αντίδρασης και προωθεί την επιλεκτικότητα, ακόμη και για αντιδραστήρια τα οποία είναι ελάχιστα διαλυτά και και αδιάλυτα στο νερό. Επίσης, η χαμηλή διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό είναι μία ενδιαφέρουσα ιδιότητα που υποβοηθεί τα αντιδραστήρια που είναι ευαίσθητα στον αέρα, όπως την κατάλυση μέσω μετάλλων.¹⁶⁻¹⁹



Σχήμα 5.4. Επιστημονικά συγγράμματα για χημικές αντιδράσεις με διαλύτη το νερό. Το νερό πιστευόταν ότι παρεμποδίζει τις αντιδράσεις, ενώ τελευταία θεωρείται συμβάλλει στις αποδόσεις των οργανικών συνθέσεων.

5.2.3. Τεχνικές Οργανικής Σύνθεσης σε Πολυφθοριωμένες Φάσεις

Στις τεχνικές αυτές χρησιμοποιούνται πολυφθοριωμένα διφασικά συστήματα διαλυτών, που διαλύουν έναν καταλύτη με μεγάλου μήκους υπερφθοριωμένη αλκυλική αλυσίδα σε ένα αλειφατικό υπερφθοριωμένο διαλύτη. Τα αντιδραστήρια προστίθενται στον οργανικό διαλύτη που είναι αδιάλυτος στην υπερφθοριωμένη φάση. Κατά τη θέρμανση του μείγματος οι δύο φάσεις αναμιγνύονται και αυτό βοηθάει εξαιρετικά στην επιτάχυνση της αντίδρασης των αντιδρώντων με πολύ καλή απόδοση. Με την ψύξη του μείγματος η φθοριωμένη και η οργανική φάση διαχωρίζονται και έτσι μπορεί να ληφθεί σε καθαρή μορφή. Ο καταλύτης που είναι διαλυμένος στον φθοριωμένο διαλύτη ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται.²⁰



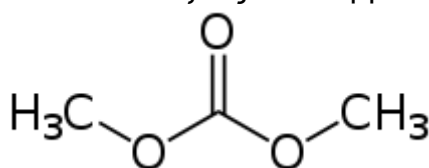
Σχήμα 5.5. Υπάρχουν αρκετά επιστημονικά συγγράμματα για «Πράσινους» διαλύτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην οργανική σύνθεση.

5.2.4. Υπερκρίσιμο Διοξείδιο του Άνθρακα και Υπερκρίσιμο Νερό

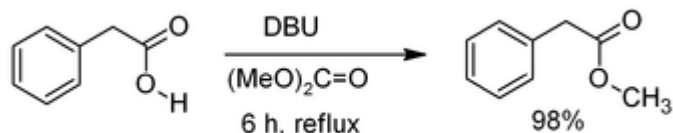
Υπερκρίσιμο υγρό είναι η κατάσταση κατά την οποία ένα υγρό βρίσκεται σε θερμοκρασία και πίεση μεγαλύτερη των αντίστοιχων κρίσιμων τιμών και συνήθως σε κατάσταση υπερρευστότητας. Για παράδειγμα για το CO₂ η πίεση είναι μεγαλύτερη ή ίση με 72,8 m και η θερμοκρασία σε 31,3°C. Υπάρχει και κατάσταση με υπερκρίσιμα υγρά κατά την εκχύλιση (SFE, supercritical fluid extraction) Οι αντιδράσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες με υπερκρίσιμο διοξείδιο του άνθρακα και νερό έχουν πολλές ιδιότητες που ταιριάζουν με τις αρχές της «πράσινης» χημείας, με υψηλές αποδόσεις μη χρήση τοξικών διαλυτών. Υπάρχουν αρκετά παραδείγματα οργανικών συνθέσεων στην διεθνή βιβλιογραφία με υπεκρίσιμα υγρά.²¹⁻²³

5.2.5. Οργανικές Συνθέσεις με Καρβονικούς Εστέρες

Οι καρβονικοί εστέρες, όπως ο διμεθυλο καρβονικός εστέρας (DMC dimethyl carbonate) (CH₃OCOOCH₃) είναι αντιδραστήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεθυλιώσεις, αντικαθιστώντας μεθυλοχλωρίδια και διμεθυλο θειικούς εστέρες, που είναι τοξικές και διαβρωτικές ουσίες.²⁴

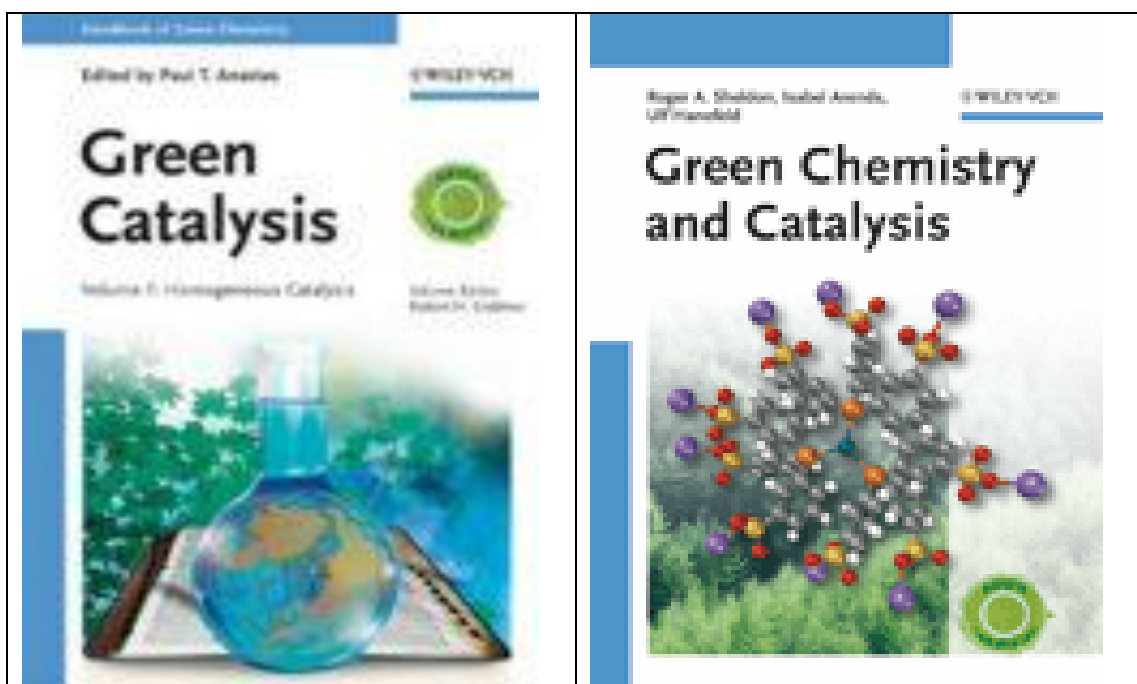


Το DMC είναι ικανό να μεθυλιώσει ανιλίνες, φαινόλες και καρβοξυλικά οξέα αλλά απαιτεί ένα αυτόκλειστο σύστημα. Μία εναλλακτική μέθοδος είναι η χρήση του DBU που επιτρέπει μεθυλιώσεις σε φαινόλες, ινδόλες και βενζιμιδαζόλες.^{25,26}



5.2.6. Η Χρήση Καταλυτών στην Υπηρεσία της «Πράσινης» Οργανικής Σύνθεσης

Η χρήση καταλυτών με αντίστοιχο περιορισμός της ενέργειας, υψηλή απόδοση, και μειωμένα απόβλητα διαλυτών είναι μία ακόμα «πράσινη» κατεύθυνση στην οργανική σύνθεση. Με τη χρήση καταλυτών στην οργανική σύνθεση επιτυγχάνονται οι αρχές της «πράσινης» χημείας, δηλαδή μεγάλη οικονομία πρώτων υλών, μειωμένη παραγωγή παραπροϊόντων, ικανοποιητικές αποδόσεις και ελαχιστοποίηση των διαλυτών.²⁷⁻²⁹

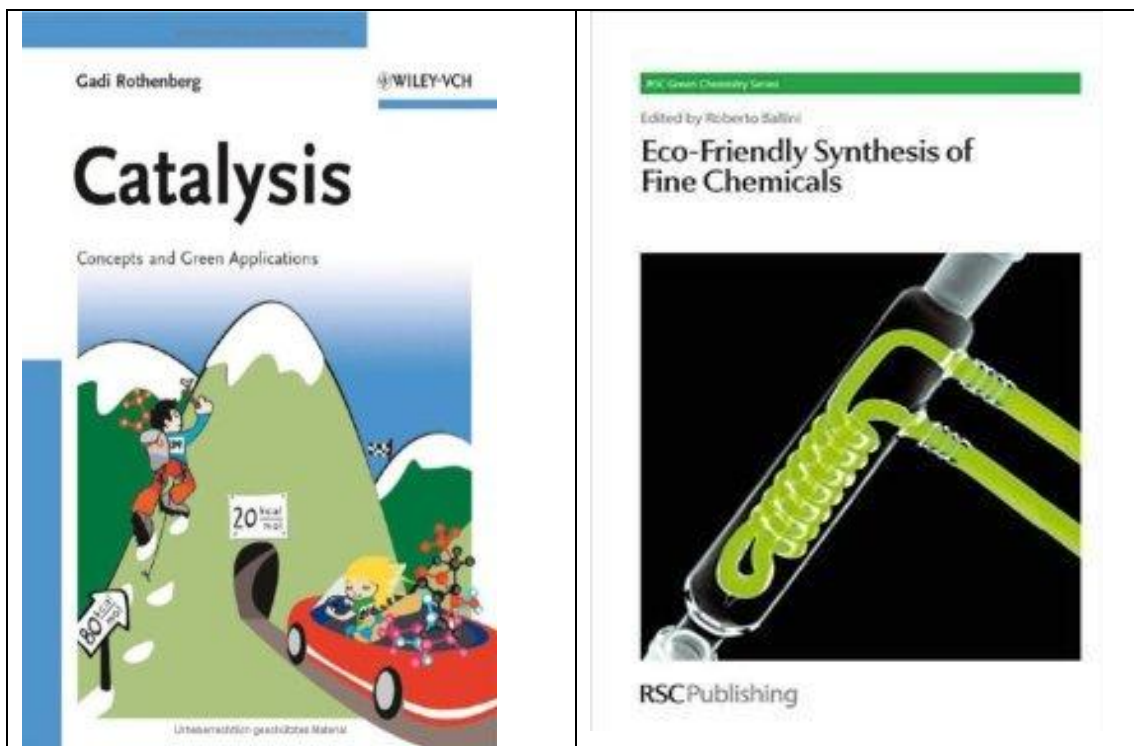


Σχήμα 5.6. Επιστημονικά συγγράμματα για τη χρήση καταλυτών σε «πράσινες» οργανικές συνθέσεις

5.2.7. Αντικατάσταση Τοξικών Διαλυτών με Λιγότερο Τοξικούς

Η αντικατάσταση ορισμένων κοινών διαλυτών που χρησιμοποιούνταν επί δεκαετίες στην οργανική σύνθεση και είχαν τοξικές ιδιότητες, είναι μία πρακτική που εφαρμόστηκε σε πολλά εργαστήρια. Οργανικής σύνθεσης.

Παραδείγματα υπάρχουν: τολουόλιο αντί βενζολίου, κυκλοεξάνιο αντί τετραχλωράνθρακας, διχλωρομεθάνιο αντί χλωροφόρμιο, κ.λπ. Στην επιστημονική βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετές έρευνες στις οποίες έγινε αντικατάσταση διαλυτών χωρίς να μειωθεί η απόδοση και με λιγότερα τοξικά απόβλητα.^{30,31}



Σχήμα 5.7. Επιστημονικά συγγράμματα με παραδείγματα και πρακτικές σε οργανικές συνθέσεις με πράσινες αρχές και περιβαλλοντικά φιλικές μεθόδους.

5.2.8. Η Χρήση Μικροκυμάτων (microwave) στην Οργανική Σύνθεση

Η χρήση φούρνων μικροκυμάτων (microwave furnace) στην οργανική σύνθεση είναι μία πρακτική που έχει ξεκινήσει εδώ και πολλά χρόνια με εντυπωσιακά αποτελέσματα στη σύνθεση πολλών οργανικών ενώσεων σε μικρό χρονικό διάστημα και χωρίς την χρήση διαλυτών. Στην επιστημονική βιβλιογραφία υπάρχουν πολυάριθμες έρευνες με οργανικές συνθέσεις όπου χρησιμοποιήθηκαν μικροκύματα με εξαιρετικά αποτελέσματα και με ελάχιστη παραγωγή καταλοίπων.³²⁻³⁴

5.2.9. Η Χρήση Υπερήχων στην Οργανική Σύνθεση (Sonochemistry)

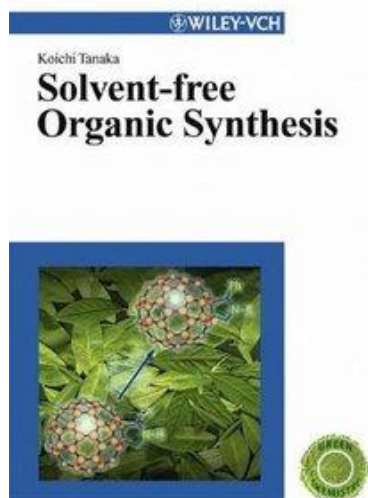
Η χρήση υπερήχων είναι μία άλλη προσέγγιση για τη χρήση ήπιων μορφών ενέργειας στην οργανική σύνθεση. Αν και οι υπέρηχοι χρησιμοποιούνταν επί δεκαετίες στη βιομηχανία και στα ακαδημαϊκά εργαστήρια, η χρήση τους στην οργανική σύνθεση είναι πρόσφατη. Τα πλεονεκτήματα είναι σημαντικά και οι οργανικές συνθέσεις επιτυγχάνονται σε υψηλές αποδόσεις με μικρή χρήση διαλυτών και με περιορισμένα παραπροϊόντα.³⁵⁻³⁸

Εκτός από τις παραπάνω «πρασινες» πρακτικές που εφαρμόστηκαν με επιτυχία στην οργανική σύνθεση ώστε να αποφευχθεί η χρήση τοξικών οργανικών διαλυτών, υπάρχουν και άλλες μεθοδολογικές προσεγγίσεις, όπως τα Θερμορρυθμιζόμενα συστήματα, τα Διαλυτά πολυμερή (χρησιμοποιούνται ως καταλύτες) και οι βιοκαταλύτες (κυρίως ένζυμα) για την υποβοήθηση οργανικών συνθέσεων σε ήπιες συνθήκες.³⁸

Οι αρχές της **Πράσινης Χημείας** έχουν διαδόσει τη νέα έμφαση σε λιγότερο τοξικούς οργανικούς διαλύτες, αλλά και μικρότερη χρήση διαλυτών στην οργανική σύνθεση. Οι πρακτικές αυτές χρησιμοποιούνται ήδη στην οργανική σύνθεση με επιτυχία, καλές αποδόσεις και με μειωμένη έκθεση των εργαζομένων στα εργαστήρια, αλλά και χαμηλή περιβαλλοντική ρύπανση από εκπλύματα των εργαστηριακών πρακτικών.^{39,40}

5.3. Οργανικές Συνθέσεις Χωρίς Διαλύτες. Διαλύτες από Φυτικά Έλαια

Οι οργανικές συνθέσεις χωρίς διαλύτες δεν είναι κάτι καινούργιο στις τεχνικές και μεθόδους της οργανικής χημείας. Τα τελευταία χρόνια με την προσπάθεια να γίνουν πιο «πράσινες» οι οργανικές συνθέσεις και να αποφευχθούν οι τοξικοί διαλύτες και τα χημικά απόβλητα, έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές έρευνες για συνθέσεις χωρίς διαλύτες. Ένα κλασικό βιβλίο για το θέμα αυτό είναι του Koichi Tanaka "Solvent-Free Organic Synthesis:.. Wiley-VCH, 2003 .



Σχήμα 5.8. Οργανικές συνθέσεις χωρίς διαλύτες είναι δυνατές κάτω από νέες μεθοδολογικές αλλαγές που έχουν πετύχει οι χημικοί με την έρευνά τους για πράσινες χημικές αντιδράσεις

Τα φυτικά έλαια θεωρούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή χημικών διαλυτών σε αντίθεση με την πετροχημική βιομηχανία. Οι χημικοί αυτοί διαλύτες πιστεύουν οι επιστήμονες θα μπορούσε να δημιουργηθεί ειδικός τύπος διαλυτών που να έχει από τη μια μεριά τις ιδιότητες των οργανικών διαλυτών, αλλά συγχρόνως να παρουσιάζει μικρότερη τοξικότητα και σε περίπτωση αποβλήτων να μην είναι τόσο επιβλαβή για το περιβάλλον

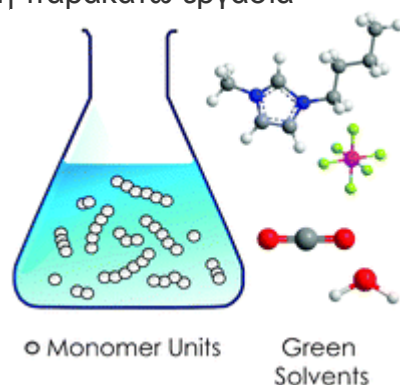
Για τη χρήση διαλυτών από φυτικά έλαια έχουν δημοσιευθεί διάφορες επιστημονικές εργασίες. Για παράδειγμα, εκχύλιση ανανεώσιμων φυτικών ελαίων και διαλυτών από τη σόγια. Η εργασία των Spear SK, Griffin ST, Granger KS, et al. Renewable plant-based soybean oil methyl esters as alternatives to organic solvents. *Green Chemistry* 9:1008-1015, 2007.



Σχήμα 5.9. Τα φυτικά έλαια θα μπορούσαν να αποτελέσουν πρώτη ύλη για την παρασκευή οργανικών διαλυτών που θα είναι λιγότερο τοξικοί από τους οργανικούς διαλύτες της πετροχημικής βιομηχανίας

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των ελαίων από σόγια και οι μεθυλοεστέρες του έχουν αποδειχθεί ικανοποιητικές για να αντικαταστήσουν οργανικούς διαλύτες διαφόρων χημικών ουσιών.

Τα τελευταία χρόνια οι επιστήμονες εξετάζουν ερευνητικά τη χρήση «πράσινων» διαλυτών σε πολυμερισμούς με μεγάλη επιτυχία. Η χημική βιομηχανία των πολυμερών χρησιμοποιεί μεγάλες σχετικές ποσότητες οργανικών διαλυτών για τους πολυμερισμούς και την παρασκευή βιομηχανικών πλαστικών υλικών. Με τη χρήση μη τοξικών ή φιλικών στο περιβάλλον διαλυτών η χημική βιομηχανία των πολυμερών προσπαθεί να εφαρμόσει τις αρχές της πράσινης χημείας και τη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Παράδειγμα η παρακάτω εργασία



Σχήμα 5.10. Τα πολυμερή μπορούν να παρασκευασθούν με τη χρήση «πράσινων» διαλυτών και με τον τρόπο αυτό μπορεί να μειωθούν οι επιπτώσεις στη ρύπανση του περιβάλλοντος

[Erdmenger T, Guerrero-Sanchez C, Vitz J, et al. Recent developments in the utilization of green solvents in polymer chemistry. *Chem Soc Rev* 39:3317-3333, 2010].

Βιβλιογραφία

1. Bretherick L, ed. *Hazards in the Chemical Laboratory*, 6th edition. Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1994.
2. Βαλαβανίδης Α. *Βασικές Αρχές Υγιεινής και Ασφάλειας σε Χημικά και Βιοχημικά Εργαστήρια*. Τμήμα Χημείας, Παν/μιο Αθηνών, Αθήνα, 2006.
3. Βαλαβανίδης Α. Προσωπικό χημικών, ερευνητικών και βιοϊατρικών εργαστηρίων. Εκτίμηση κινδύνου από διάφορα επαγγελματικά νοσήματα και επαγγελματικό καρκίνο. *Αρχεία Ελληνικής Ιατρικής* **13**(6):488-503, 1996.
4. Dick FD. Solvent neurotoxicity. *Occup. Environ. Med.* 63:221-26, 2006.
5. Pipitone DA. *Safe Storage of Laboratory Chemicals*, 2nd edition. Wiley-Interscience, New York, 2004.
6. Hutchinson TH, Shillabeer N, Winter MJ, Pickford DB. Acute and chronic effects of carrier solvents in aquatic organisms: a critical review. *Aquat. Toxicol.* 76:69-92, 2006.
7. Anastas PT, Williamson TC (Eds). *Green Chemistry: Designing Chemistry for the Environment*. ACS Symposium Series 626. American Chemical Society Washington DC, 1996.
8. Anastas PT. *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press, New York, 1998.
9. Μούγιος Π, Βαλαβανίδης Α. Πράσινη Χημεία: μια νέα “φιλοσοφία” με συγκεκριμένες περιβαλλοντικές προσεγγίσεις στο σχεδιασμό και την παραγωγή χημικών προϊόντων. *Χημικά Χρονικά* **65**(1):16-18, 2004.
10. Clarke D, Ali MA, Clifford AA, et al. Reactions in unusual media. *Curr. Top. Med. Chem.* 4:729-771, 2004.
11. Green Solvents for Synthesis. Conference. Bruchsal/Germany, October 3-6, 2004.
12. Knochel P(Ed). *Modern Solvents in Organic Synthesis*. Springer, Berlin, 1999.
13. West A. Promising a greener future: Ionic liquids have long been hailed as the future of green chemistry but can they live up to their promise? *Chemistry World*, RSC, March : 33-35, 2005.
14. Wasserscheid P. Volatile times for ionic liquids. *Nature* 439:797-798, 2006.
15. Freemantle M. Alkene metathesis in ionic liquids. *Chem. Eng. News*, 80(4), March 4: 38-39, 2002 ; Ranu BC, Banerjee S. Ionic liquid as reagent. A green procedure for the regioselective conversion of epoxides to vicinal-halohydrins using [AcMIm]X under catalyst- and solvent-free conditions. *J. Org. Chem.* 70:4517-4519, 2005.
16. Li C-J, Chen L. Organic chemistry in water. Review. *Chemical Society Reviews* **35**:68-82, 2006.
17. Tsukinoki T, Tsuzuki H. Organic reaction in water. Part 5. Novel synthesis of anilines by zinc metal-mediated chemoselective reduction of nitroarenes. *Green Chemistry* **3**:37-38, 2001.
18. Li C-J, Chan TH. *Organic Reactions in Aqueous Media*. John Wiley & Sons, New York, 1997.
19. Grieco PA. *Organic Synthesis in Water*. Blackie Academic & Professional, London, 1998.

20. Ritter SK. Designing solvent solutions. Novel reaction systems combine best features of homogeneous and heterogeneous catalysis. *Chem. Eng. News*, 81(4), October 13: 66-68, 2003.
21. Leitner W. Supercritical carbon dioxide as a green reaction medium for catalysis. *Acc. Chem. Res.* 35: 717-727, 2002.
22. Sato M, Ikushima Y, Hatakeda K, Zhang R. Applications of environmentally benign supercritical water to organic syntheses. *Anal. Sci.* 22:1409-1416, 2006.
23. Hancu D, Green J, Beckman EJ. H₂O in CO₂: sustainable production and green reactions. Review. *Acc. Chem. Res.* 35:757-764, 2002.
24. Ono Y. Dimethyl carbonate for environmental benign reactions. *Pure & Appl. Chem.* 68:367-375, 1996.
25. Shieh W-C, Dell S; Repič O. Nucleophilic catalysis with 1,8-diazabicyclo [5.4.0]undec-7-ene (DBU) for the esterification of carboxylic acids with dimethyl carbonate. *J. Org. Chem.* 67 (7): 2188–2191, 2002..
26. Shieh W-C; Dell S; Repič O. 1,8-12, 2002.Diazabicyclo[5.4.0] undec-7-ene (DBU) and microwave-accelerated green chemistry in methylation of phenols, indoles, and benzimidazoles with dimethyl carbonate. *Org Letters* 3 (26): 4279–81, 2001.
27. Sheldon RA. Atom efficiency and catalysis in organic synthesis. *Pure & Appl. Chem.* 72:1233-1246, 2000.
28. Scott R, Hutchison JE. Green chemistry in organic teaching laboratory: an environmentally benign synthesis of adipic acid. *J. Chem. Education* 77:1627-1629, 2000.
29. Tanaka K, Toda F. *Solvent-Free Organic Synthesis*. Wiley-VCH, New York, 2003.
30. DeSimone JM. Practical approaches to green solvents. *Science* 297: 799-803, 2002.
31. Sharman J, Chin B, Huibers PDT, et al. Solvent replacement for green processing. *Environ. Health Perspect.* 106 (Suppl.1):253-271, 1998.
32. Roberts BA, Strauss CR. Toward rapid, "green", predictable microwave-assisted synthesis. Review. *Acc. Chem. Res.* 38:653-661, 2005.
33. Larhed M, Moberg C, Hallberg A. Microwave-accelerated homogeneous catalysis in organic chemistry. *Acc. Chem. Res.* 35:717-727, 2002.
34. Caddick S. Microwave assisted organic reactions. *Tetrahedron* 51:10403-10432, 1995.
35. Lidstrom P, Tierney J, Wathey B, Westman J. Microwave assisted organic synthesis-a review. *Tetrahedron* 57:9225-9283, 2001.
36. Price GJ, ed. *Current Trends in Sonochemistry*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, 1992.
37. Cintas P, Luche J-L. Green Chemistry: the sonochemical approach. *Green Chem.* June: 115-125, 1999.
38. Cravotto G, Cintas P. Power ultrasound in organic synthesis: moving cavitation chemistry from academia to innovative and large-scale applications. *Chem. Soc. Reviews* 35:180-196, 2006.
39. Alcalde M, Ferrer M, Plou FJ, Ballesteros A. Environmental biocatalysis: from remediation with enzymes to novel green processes. *Trends in Biotechnol* 24:281-287.

40. Bruggink A, Straathof AJ, van der Wielen LA. A “fine” chemical industry for life science products: green solutions to chemical challenges. *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.* 80:69-113, 2003.

ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ: ΠΡΑΣΙΝΗ ΧΗΜΕΙΑ και ΔΙΑΛΥΤΕΣ

1. Freemantle M. *Introduction to Ionic Liquids*. RSC publishing, Cambridge, 2009.
2. Veeramaneni VR. *Green Chemistry-Organic Synthesis in Water*. Indus BioSciences, New Dehli, 2008.
3. Ballini R. *Eco-Friendly Synthesis of Fine Chemicals*. RSC Publishing, Cambridge, 2009.
4. Lindstrom UM (Ed). *Organic Reactions in Water. Principles, Strategies and Applications*, Wiley-Blackwell, London, 2007.
5. Grieco PA (ed). *Organic Synthesis in Water*. Blackie Academic and Professional, London, 1998.
6. Crabtree R, Anastas PT (Eds). *Handbook of Green Chemistry-Green Catalysis*. (Set of e books Homogeneous Catalysis, Heterogeneous catalysis and Biocatalysis). Wiley-VCH, West Sussex, 2009.
7. Rothenberg G. *Catalysis. Concepts and Green Applications*. Wiley-VCH, West Sussex, 2008.
8. Li C-J, Chan T-H. *Comprehensive Organic Reactions in Aqueous Media*. Wiley-Interscience, London, 2nd ed. 2007.
9. Benaglia M. *Recoverable and Recyclable Catalysts*. Wiley, 2009.
10. Capello C, Fischer U, Hungerbuhler K. What is a green solvent? A comprehensive framework for the environmental assessment of solvents. *Green Chem* 9: 927-934, 2007.
11. Ali M, Inammudin (Eds). *Green Solvents I. Properties and Applications in Chemistry*. Springer, Berlin, March 2012.
12. Sigma-Aldrich. Greener Solvent Alternative (brochure) (www.sigmaaldrich.com/medialib/docs/Sigma/Brochure/greener_solvent_alternatives.....pdf).
13. Carlo Erba. Sustainable (Green) Chemistry. Green Solvents (www.carloerbareagenti.comn).
14. Hemaiz MJ, Alcantara AR, Garcia JI, Sinisterra JV. Applied biotransformations in green solvents. *Chemistry Europ J* 16(21): 9422-9427, 2010.

6. Ανάλυση του Κύκλου Ζωής Βιομηχανικών Προϊόντων και ο Ρόλος της Πράσινης Χημείας

6.1. Εισαγωγή : Τι είναι Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ);

Η βιομηχανική Επανάσταση του 18^{ου} αιώνα είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεθόδων μαζικής παραγωγής πρώτων υλών και τελικών βιομηχανικών προϊόντων για τις ανάγκες των καταναλωτών. Η χημική βιομηχανία χρησιμοποιεί τεράστιο αριθμό πρώτων υλών και διάφορες βιομηχανικές κατεργασίες για την παρασκευή προϊόντων μέσω της κατανάλωσης ενέργειας και τη δημιουργία αποβλήτων. Η σύγκριση υλικών και διεργασιών για να προσδιοριστεί το βέλτιστο από περιβαλλοντική άποψη είναι μία σύνθετη εργασία. Με τον ίδιο τρόπο, η πιστοποίηση κατά πόσο ένα προϊόν είναι φιλικό στο περιβάλλον, όπως και ότι χρησιμοποιεί τη μικρότερη δυνατή ενέργεια και δεν θα προκαλέσει προβλήματα κατά τη χρήση του, μεταφορά και την απόρριψή του, είναι επίσης αρκετά δύσκολη και πολύπλοκη τεχνική διεργασία. Η πράσινη χημεία μπορεί να παίξει καθοριστικό ρόλο ώστε τα νέα προϊόντα να είναι περισσότερο φιλικά στο περιβάλλον και στην υγεία του ανθρώπου.

Για μια ολιστική προσέγγιση του ζητήματος αυτού, οι επιστήμονες καθιέρωσαν την επιστημονική μέθοδο που καλείται **Ανάλυση του Κύκλου Ζωής**, ΑΚΖ, (**Life Cycle Analysis**, LCA), όπως επικράτησε στη διεθνή βιβλιογραφία.¹

Η κλασική διατύπωση του ΑΚΖ είναι «... *Ανάλυση Κύκλου Ζωής είναι η διαδικασία καταγραφής και ανάλυσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά την παραγωγή ενός προϊόντος. Δηλαδή, τις πρώτες ύλες, την ενέργεια που καταναλώθηκε για την παραγωγή του, τη ρύπανση του περιβάλλοντος (έδαφος, νερά, ατμόσφαιρα) που προκλήθηκε κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του, από την παρασκευή του μέχρι την τελική απόρριψη (απόβλητα)*».

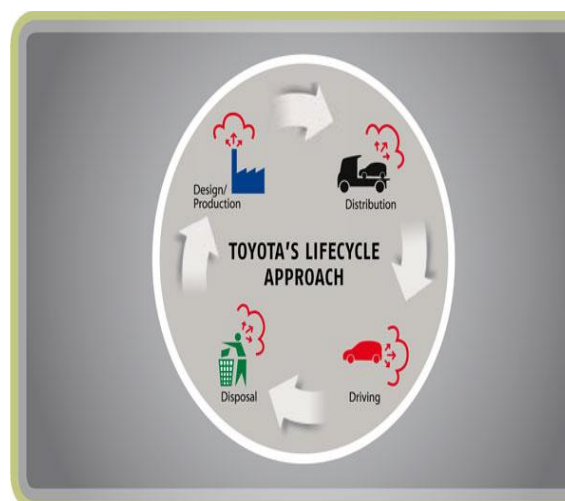
Ο παραπάνω ορισμός χρησιμοποιεί τον όρο «προϊόν» με την ευρύτερη έννοια, γιατί στον κύκλο ζωής μπορούν να συμπεριληφθούν πολλές και διαφορετικές «υπηρεσίες» και δραστηριότητες της μετα-βιομηχανικής κοινωνίας μας. Ο σημερινός άνθρωπος είναι αποδέκτης μεγάλης ποικιλίας μοντέρνων καταναλωτικών προϊόντων, αλλά και προϊόντων πληροφορικής και καθημερινών πρακτικών της ζωής που δεν έχουν την έννοια του υλικού προϊόντος αλλά είναι απαραίτητα για τη οικονομική, κοινωνική και παραγωγική πορεία μας.

Η ρύπανση του περιβάλλοντος και οι αρνητικές επιπτώσεις στην αειφόρο ανάπτυξης (ζητούμενο στη σημερινή κατάσταση της εξέλιξης του πλανήτη μας) μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε στάδιο της ζωής ενός προϊόντος. Αλλαγές τις οποίες μπορούν οι τεχνολόγοι και οι σχεδιαστές προϊόντων να εισάγουν σε διάφορα στάδια της ζωής του προϊόντος, μπορεί να έχει θετικές αλλά και αρνητικές επιπτώσεις. Ενώ, οι επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον από διάφορα είδη ρύπανσης, την κατανάλωσης ενέργειας

και τη χρήση μη ανανεώσιμων πρώτων υλών είναι ένα άλλο σημαντικό μέρος της ανάλυσης.

Σύμφωνα με την επιστημονική οργάνωση Society for Environmental Toxicology and Chemistry (**SETAC**), η ΑΚΖ παρέχει ένα τρόπο αξιολόγησης των περιβαλλοντικών κινδύνων που σχετίζονται με ολόκληρο τον κύκλο ζωής κάποιου προϊόντος ή υπηρεσίας, από την «κούνια στον τάφο» (“cradle to cradle”). Η έννοια αυτή αρχίζει από την απόκτηση των πρώτων υλών που απαιτούνται για τη δημιουργία του προϊόντος και τελειώνει στο σημείο όπου όλα τα υλικά επιστρέφονται ξανά στο φυσικό τους υπόβαθρο. Η μεθοδολογία της ΑΚΖ αξιολογεί όλα τα στάδια της ζωής κάποιου προϊόντος από άποψη αλληλεξάρτησης με την επόμενη χρήση του και τη επιστροφής στη φυσική κατάσταση.^{2,3}

Η ΑΚΖ επιτρέπει την εκτίμηση αθροιστικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος, περιλαμβάνοντας επιπτώσεις που δεν λαμβάνονται υπόψη σε παραδοσιακές αναλύσεις (για παράδειγμα, απόκτηση πρώτων υλών, μεταφορά υλικών, τελική διάθεση προϊόντος, κ.λπ.). Όταν περιληφθούν όλες οι επιπτώσεις του Κύκλου Ζωής κάποιου προϊόντος, η ΑΚΖ παρέχει μια συνολική εκτίμηση των περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών του προϊόντος ή της διεργασίας και μια πιο ακριβή εικόνα των πραγματικών αλληλεπιδράσεων στην επιλογή του.⁴



Σχήμα 6.1. Σχηματικές παραστάσεις για το κύκλο ζωής ενός προϊόντος. Στον κύκλο ζωής περιλαμβάνονται, οι πρώτες ύλες (raw materials), η βιομηχανική παραγωγή (manufacturing), οι μεταφορές (transport), η συναρμολόγηση, συσκευασία (assembly, packaging), η χρήση (use), η ανακύκλωση (recycling), η διάθεση ως απόβλητο (disposal) , και η επαναχρησιμοποίηση (reuse)

6.2. Ποια είναι τα Οφέλη από την Ανάλυση του Κύκλου Ζωής Προϊόντων

Με την παγκοσμιοποίηση της οικονομίας, των μεταφορών και του εμπορίου, η μεγάλη ποικιλία προϊόντων καθιστά επιτακτική την πρωτοτυπία, την ποιότητα και το σωστό σχεδιασμό για τις χρήσεις. Οι επιστήμονες

πιστεύουν ότι ξεκινώντας από την AKZ μπορούν να επιτευχθούν σημαντικά οφέλη στην παραγωγική διαδικασία, τόσο για τις πρώτες ύλες, την ενέργεια και την ανακύκλωσή του, αλλά και για την ποιότητα, την αντοχή, την πρωτοτυπία και τον διεθνή ανταγωνισμό. Μερικά από τα πιο σημαντικά οφέλη παρουσιάζονται παρακάτω:

α) Οικονομικά οφέλη:

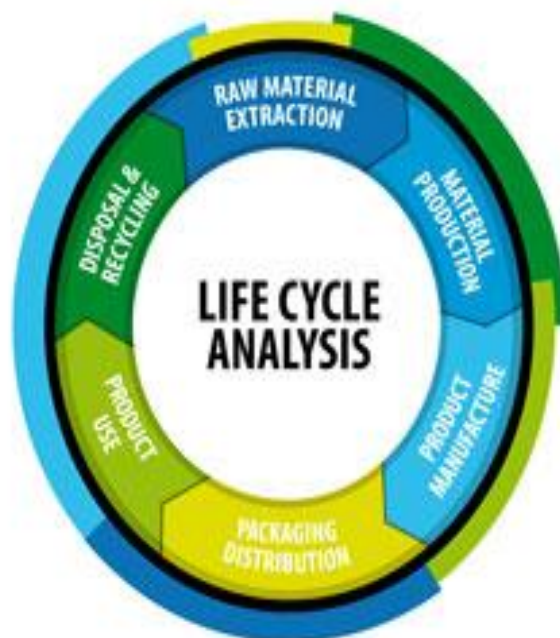
Η AKZ εξετάζει ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος εντοπίζοντας τις κυριότερες περιβαλλοντικές συνέπειες, οι οποίες μπορούν συνήθως να μειωθούν από την αύξηση της αποτελεσματικότητας (κατά τη βιομηχανική παραγωγή του) με την οποία χρησιμοποιούνται οι φυσικοί και ενεργειακοί πόροι. Εάν αυξηθεί η αποτελεσματικότητα των εισροών σημαίνει και αυτόματη μείωση κόστους του προϊόντος..

β) Οφέλη από το Σχεδιασμό του Προϊόντος:

Η AKZ μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο στάδιο του σχεδιασμού, όπου δείχνει τα ενδογενή προβλήματα, και τότε μπορεί να οδηγήσει στον σωστότερο επανασχεδιασμό ενός προϊόντος. Σε αυτό το στάδιο μπορεί να προσδιορίσει κατά πόσο υπάρχουν πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα μεταξύ διαφορετικών μεθόδων παραγωγής.

γ) Η AKZ μπορεί να Ενισχύσει την Ανταγωνιστικότητα:

Οι κατασκευαστικές επιχειρήσεις μπορούν να χρησιμοποιήσουν την AKZ για σκοπούς που βοηθούν στην καλύτερη διάθεση του προϊόντος και στην αγορά του. Αποτελεί βασικό μέσο για τη στήριξη διαφημιστικών ισχυρισμών έναντι ανταγωνιστικών προϊόντων, απαιτεί όμως απόλυτη διαφάνεια στην εκτίμηση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων.⁵



Σχήμα 6.2. Η Ανάλυση του Κύκλου Ζωής προϊόντος όπως παρουσιάζεται συνοπτικά και σχηματικά σε επιστημονικά άρθρα.

6.3. Πως γίνεται η Ανάλυση του Κύκλου Ζωής Προϊόντων

Η Ανάλυση του Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) ενός προϊόντος είναι μία σύνθετη διεργασία που λαμβάνει υπόψη της το σύνολο των διαδικασιών παραγωγής. Ξεκινάει ουσιαστικά από την παραγωγή της πρώτης ύλης και τα χαρακτηριστικά της (ανανεώσιμη και μη, παράγωγο της πετροχημικής βιομηχανία, κ.λπ), μετά περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο της παραγωγικής διαδικασίας κατασκευή του (χρήση διαλυτών, παραπροϊόντα, απόβλητα, καθαρισμός, κ.λπ), τη χρήση του προϊόντος σε διάφορες πρακτικές εφαρμογές, το χρόνο ωφέλιμης ζωής, την επισκευή του κ.λπ. Τέλος, κλείνει η ανάλυση με την απόθεση ενός προϊόντος στα απορρίμματα ή την ανακύκλωσή του. Η ΑΚΖ είναι ιδιαίτερα λεπτομερής διαδικασία που πρέπει, για να είναι επιτυχής και ολοκληρωμένη, να ακολουθήσει τα παρακάτω στάδια.⁶

α) Καθορισμός Κλίμακας και Αντικειμενικού Σκοπού:

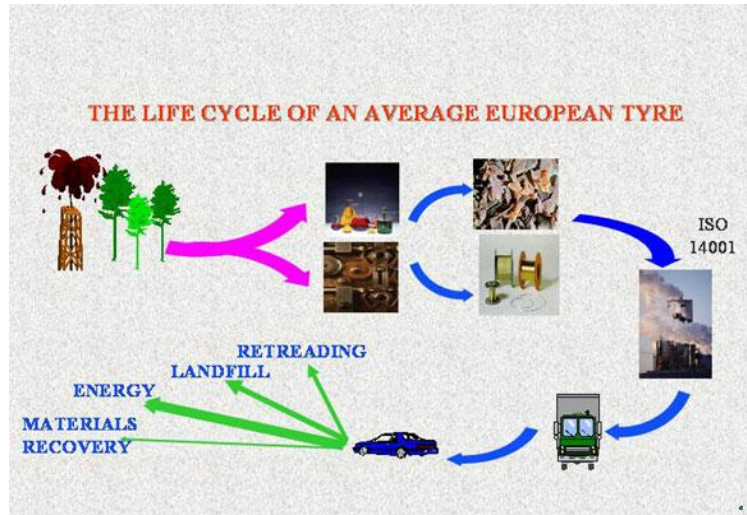
Περιλαμβάνει αρχικές παραδοχές και καθορισμό δεδομένων όπως ο στόχος της εκτίμησης, η λειτουργική μονάδα, ο καθορισμός των ορίων της έρευνας, ο χρόνος και ο χώρος της μελέτης κ.λπ. Ο καθορισμός της κλίμακας είναι σημαντικός γιατί πιθανή μελέτη όλων των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στον κύκλο ζωής πολλών προϊόντων μπορεί να δημιουργήσει μεγάλο όγκο δεδομένων και να δημιουργήσει προβλήματα στην εκτίμησή τους και σύγκυση για τους πραγματικούς στόχους της ΑΚΖ. Επιβάλλεται συνεπώς η θέσπιση κάποιων αρχών και ορίων για την απλοποίηση της διαδικασίας.

β) Συγκέντρωση και Αποτίμηση των Δεδομένων του Κύκλου Ζωής:

Αφού καθορισθούν τα όρια της μελέτης μπορεί ο ερευνητής να αρχίσει τη συγκέντρωση των δεδομένων της έρευνάς του. Τα δεδομένα μπορεί να είναι σε τομείς περιβαλλοντικής ρύπανσης, επιπτώσεων στην υγεία εργαζομένων και καταναλωτών, μη ανανεώσιμων πρώτων υλών, κ.λπ. Η περιβαλλοντική υποβάθμιση που προκύπτει από κάθε δραστηριότητα για την παραγωγή ενός προϊόντος είναι πολύ δύσκολο να αποτιμηθεί από την αρχή. Για να μπορέσει ο ερευνητής να προσεγγίσει και να απλοποιήσει τις διαδικασίες αυτές μπορεί να χρησιμοποιήσει υποδείγματα προσομοίωσης μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών.

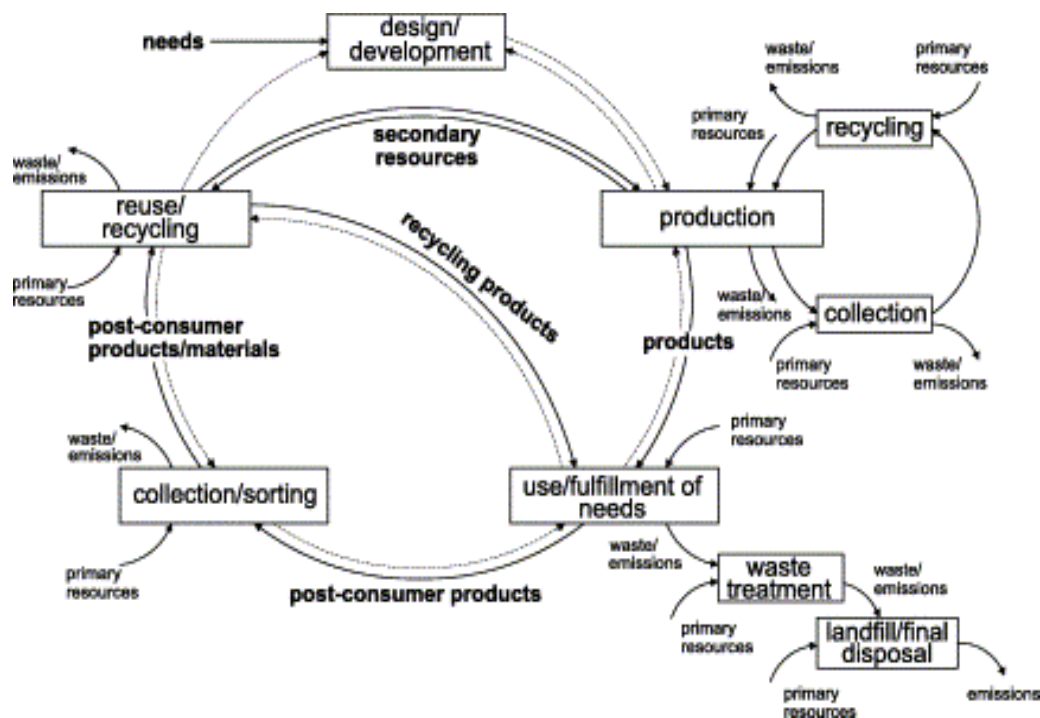
γ) Εκτίμηση (Assessment) των Αποτελεσμάτων της Μελέτης :

Το τελικό στάδιο της έρευνας για την ΑΚΖ αφορά στην κατηγοριοποίηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων της μελέτης. Η εκτίμηση κανονικά θα υποδείξει ποιοι είναι οι βασικότεροι παράγοντες περιβαλλοντικής υποβάθμισης που υπεισέρχονται κατά την πορεία βιομηχανικής παραγωγής, την κατανάλωση ενέργειας και τη δημιουργία αποβλήτων. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών δεν είναι «απόλυτα», κάθε μέθοδος έχει τα θετικά και τα αρνητικά στοιχεία. Τα τελικά αποτελέσματα σύγκρισης και εκτίμησης απαιτούν ιεράρχηση των σημαντικότερων συνεπειών (περιβαλλοντικών, αειφορίας, κ.λπ) και προτάσεις για να επιτευχθεί η ελαχιστοποίησή τους με πρακτικές αλλαγές στο σχεδιασμό της δομής του προϊόντος και στην παραγωγική διεργασία.



Σχήμα 6.3. Παράδειγμα AKZ ελαστικών αυτοκινήτου. Πρώτες ύλες (πετροχημικά καουτσούκ), παραγωγή, ενίσχυση με μεταλλικά σύρματα, χρήση, χωματερές (landfill), ανακύκλωση (recycle), ανάκτηση πρώτων υλών (material recovery), ενέργεια από καύση (energy).

Η μελέτη και ολοκλήρωση της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής ενός προϊόντος είναι εργασία εξειδικευμένη και με υψηλό κόστος για όλες τις προδιαγραφές.⁷



Σχήμα 6.4. Σχηματική παράσταση των σταδίων AKZ προϊόντος. Περιλαμβάνει τα πιο σημαντικά στάδια και κύκλους που συνδέονται μεταξύ τους. **Needs** (ανάγκη), **design** (σχεδιασμός), **development** (ανάπτυξη), **production** (παραγωγή), **use/fulfillment of needs** (χρήση- εξυπηρέτηση αναγκών), **collection/sorting** (παραλαβή/ διαλογή), **reuse/recycling** (επαναχρησιμοποίηση/ ανακύκλωση), **waste treatment** (διαχείριση αποβλήτων), **landfill/final disposal** (χωματερές/ τελική απόθεση).

6.4. Ποσοτική Εκτίμηση του Συνόλου Επιπτώσεων από τον Κύκλο Ζωής Προϊόντος

Μετά από τη συγκέντρωση όλων των στοιχείων της ΑΚΖ, των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (εκπομπές, ανάλωση πρώτων υλών, κ.λπ), που αποκαλείται Life Cycle Inventory (LCI), πλήρης κατάλογος ή καταγραφή του Κύκλου Ζωής (προϊόντος), ο ερευνητής είναι υποχρεωμένος να κάνει μερικούς ποσοτικούς προσδιορισμούς. Πρέπει όμως και να ερμηνεύσει σωστά τους δείκτες και τις δυνητικές περιβαλλοντικές επιδράσεις με το φυσικό περιβάλλον, πράγμα που δεν είναι εύκολο. Απαιτεί λοιπόν εμπειρία, στατιστικές, περιβαλλοντικές μελέτες. Το ολοκληρωμένο αυτό οργανόγραμμα καλείται Life Cycle Impact Assessment (LCIA) , Καταγραφή Κύκλου Ζωής (ΚΚΖ).⁸

Για την εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων και γενικά επιπτώσεων στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον από προϊόντα χρησιμοποιούνται διάφορες ορολογίες. Στον Πίνακα 1, δίδονται ορισμένες ορολογίες ανάλυσης κύκλου ζωής και εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην αγγλική, γαλλική και στην ελληνική.

Πίνακας 6.1. Ορολογίες για μελέτες εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων και Ανάλυσης Κύκλου Ζωής προϊόντων

Ελληνική	Αγγλική	Γαλλική
Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ)	Life Cycle Analysis (LCA)	Analyse du cycle de Vie
Ανάλυση Κόστους Ωφέλειας	Cost Benefit Analysis	Analyse Cout Benefice
Οικολογικό Ισοζύγιο	Eco-Balance	Ecobilan
Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Προϊόντων	Environmental Impact Analysis for Products (EIA,P)	Analyse des impacts environment produits
Καταγραφή Κύκλου Ζωής	Life Cycle Inventory (LCI)	Comptabilite du cycle de vie
Ισοζύγιο Υλικών και Ενέργειας	Material and Energy Accounts	Bilans matiere et energie
Ανάλυση Γραμμής Προϊόντος	Product Line Analysis	Analyse de ligne produit
Ανάλυση Αξίας Χρήσης	Use Value Analysis	Analyse de la valeur d' usage
Ανάλυση οικολογικού «προφίλ» φυσικών πόρων	Resource & Environmental Profile Analysis (REPA)	Analyse des impacts environment d'utilisation des ressources

Ο ερευνητής μπορεί να αναλύσει και να συγκρίνει προϊόντα μέσω της τεχνικής της ανάλυσης του κύκλου ζωής (ΑΚΖ) και της εκτίμησης των περιβαλλοντικών και άλλων επιπτώσεων μπορεί να χρησιμοποιήσει ορισμένα διαγράμματα και πίνακες όπου συγκεντρώσει τα στοιχεία για πρώτες ύλες, ενεργειακή κατανάλωση, κύκλο ζωής, απόβλητα, ανακύκλωση, επιπτώσεις στο περιβάλλον, κ.λπ.

Στον παρακάτω Πίνακα 6.2 παρουσιάζεται το πλαίσιο των απαιτούμενων μελετών για την σύγκριση περιβαλλοντικών και άλλων

επιπτώσεων Ο πίνακας μπορεί να χρησιμεύσει για την τοποθέτηση συμβόλων στα διάφορα τετραγωνίδια του πίνακα, για τα διάφορα χαρακτηριστικά της μελέτη και ανάλογα με το είδος, από 1 μέχρι 8 (διάφορα είδη χαρακτηριστικών μελετών), καθώς και με την ένδειξη πλήρους ή μερικής εφαρμογής της μελέτης με τα σύμβολα □ και ■. Η εικόνα του πίνακα είναι το πρώτο «ποιοτικό» αποτύπωμα.

Η ΑΚΖ ενός προϊόντος δεν είναι μόνο ποιοτική αλλά απαιτεί και ποσοτικές εκτιμήσεις (quantitative assessment). Ο πίνακας περιλαμβάνει τα βασικότερα στάδια του ΑΚΖ: πρώτες ύλες, κατανάλωση ενέργειας, παραγωγή απορριμμάτων, ρύπανση αέρα, νερών και εδάφους. Επίσης, τα στάδια : απόκτηση πρώτων υλών, παραγωγή, διανομή, χρήση προϊόντος, τελική διάθεση, ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση. Με βάση όλα αυτά διαμορφώνεται το «προφίλ» του προϊόντος.

Πίνακας 6.2. Σύγκριση μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων προϊόντων μέσω της καταγραφής του κύκλου ζωής και των παραμέτρων της μελέτης. (Οι στήλες 1,2,3,4,5,6,7 και 8 αντιπροσωπεύουν διάφορα είδη μελετών με συγκεκριμένο περιεχόμενο, δες παρακάτω)

Είδος μελέτης	Χαρακτηριστικά	1 **	2	3	4	5	6	7	8
Αντικείμενο μελέτης	Τεχνολογικό Υλικό & προϊόν Κατασκευαστικό έργο Επιχείρηση		■	□					
Εμβέλεια μελέτης	Μερική Κύκλος ζωής								
Επιπτώσεις (εκτίμηση)	Περιβαλλοντικές Κοινωνικές Οικονομικές								
Εκτίμηση αποτελεσμάτων	Μονοδιάστατη (φυσική) Μονοδιάστατη (οικονομική) Πολυδιάστατη								
Τελικές παράμετροι αποτελέσματος	Μία Αρκετές Πολλές								
Εμπλεκόμενοι φορείς	Μελετητικό γραφείο Κρατική Υπηρεσία								
Χρόνος μελέτης	Εκ των Υστέρων Εκ των προτέρων								
Υπεύθυνοι μελέτης	Επιστήμονες, κρατικές υπηρεσίες								
Αποδέκτες μελέτης	ΜΜΕ, Ελεγκτικοί φορείς, πολίτες, ένωση καταναλωτών								

Μελέτες **1=οικολογικό σήμα, 2= οικολογική εξέταση, 3 = εκτίμηση περιβαλλοντικών. επιπτώσεων, 4=ανάλυση κύκλου ζωής, 5=ισοζύγιο υλικών & ενέργειας, 6=εκτίμηση τεχνολογίας, 7=ανάλυση γραμμής προϊόντος, 8 = οικολογική λογιστική. Σύμβολα: ■ Πλήρης εφαρμογή, □ Μερική εφαρμογή.

Πίνακας 6.3.. Ανάλυση Κύκλου Ζωής Προϊόντος (απλοποιημένη μήτρα καταγραφής σταδίων ΚΖ). Στα τετράγωνα καταγράφεται ποιοτικά και ποσοτικά η κατανάλωση, ρύπανση ή επίδραση των διαφόρων σταδίων ΚΖ.

Περιβαλλοντικά Πεδία	Στάδια της πορείας του Κύκλου Ζωής Προϊόντος						
	Απόκτηση πρώτων υλών	Παραγωγή	Διανομή	Χρήση	Τελική Διάθεση	Ανακύκλωση	Επαναχρησιμοποίηση

Κατανάλωση πρώτων υλών							
Κατανάλωση ενέργειας							
Παραγωγή απορριμμάτων							
Ρύπανση νερών							
Ρύπανση εδάφους & αέρα							
Επίδραση σε οικοσύστημα							

6.4.1. Εφαρμογές της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής Προϊόντος. Φιάλη εμφιαλωμένου νερού

Με την ολοκλήρωση των επιμέρους μελετών και με τη συγκέντρωση των ποιοτικών και ποσοτικών στοιχείων για ένα προϊόν πρέπει να δημιουργηθεί ένας πίνακας με ποσοτικά στοιχεία, ανάλογα με το είδος του προϊόντος και με τις «διαδρομές» που πραγματοποιεί ή το βαθμός (%ποσοστό) ανακύκλωσης. Παράδειγμα η υάλινη (ή πλαστική) φιάλη εμφιαλωμένου νερού. Η υάλινη φιάλη είναι καταναλωτικό προϊόν (για εμφιαλωμένο νερό) και μετά την χρήση μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί (πλύσιμο) ή να ανακυκλωθεί. Οι δύο διαφορετικές προοπτικές δημιουργούν και διαφορετικό κύκλο ζωής. Η πλαστική φιάλη εμφιαλωμένου νερού συνήθως μετά τη χρήση της μετατρέπεται σε απόβλητο, συλλέγεται και μετά από καθαρισμό και θραυσματοποίηση μπορεί να μετατραπεί σε πρώτη ύλη πλαστικού για νέες φιάλες εμφιαλωμένου νερού.



Σχήμα 6.5. Οι πλαστικές φιάλες εμφιαλωμένου νερού αποτελούν προϊόν με σημαντικές περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις. Η υάλινη φιάλη ανακυκλώνεται.

Η Ανάλυση του Κύκλου Ζωής υάλινων φιαλών (εμφιαλωμένο νερό, αναψυκτικά ή αλκοολούχα ποτά) και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον, πρώτες ύλες και ενέργεια είναι ένα ενδιαφέρον παράδειγμα ΑΚΖ. Οι υάλινες φιάλες είναι πλήρως ανακυκλώσιμες και σε πολλές χώρες η επιστροφή τους είναι υποχρεωτική με ανταποδοτικό τέλος για τον καταναλωτή. (στις Σκανδιναβικές χώρες η ανακύκλωση φιαλών πλησιάζει το 95%, ενώ σε άλλες χώρες ξεπερνάει το 60%. Επίσης οι υάλινες φιάλες μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν (στις αναπτυσσόμενες χώρες) μετά από καλό πλύσιμο (αλλά απαιτείται νερό και παράγονται αρκετά υγρά απόβλητα). Οι υάλινες φιάλες θεωρούνται περιβαλλοντικά ηπιότερες σε σχέση με τις πλαστικές. Η ενέργεια όμως για την παραγωγή τους είναι αρκετά υψηλή και παράγονται αέριοι ρύποι και υγρά απόβλητα.

Πίνακας 6.4. Μέθοδος-εφαρμογή ΑΚΖ για επιπτώσεις στο περιβάλλον υάλινης φιάλης [(εμφιαλωμένου νερού, αναψυκτικού ή αλκοολούχου ποτού) σε συνάρτηση με το ποσοστό επαναπλήρωσης (αριθμός διαδρομών). Τα ποσοτικά δεδομένα είναι αποτέλεσμα συγκεκριμένων μελετών, αλλά διαφέρουν από χώρα σε χώρα και ανά βιομηχανία]

Ποσοστό επαναπλήρωσης	0	50	80	90	95	96	98	100
Αριθμός διαδρομών	1	2	3	5	10	15	25	30
Κατανάλωση ενέργειας (MJ/1000 L, Νερού/kg/1000 L)								
Ενέργεια/Νερό	36656/644*	21810/322	---	---	---	--	--	---
Εκπομπές αερίων ρύπων								
CO ₂ /CO								
HC/NO _x								
SO ₂ /VOCs								
σωματίδια								
Παραγωγή υγρών (cm ³ /1000 L) και στερεών αποβλήτων (g/1000 L)								
Αιωρούμενα σωματίδια								
Διαλυμένα σωματίδια								
Biological Oxygen Demand (BOD)								
Chemical oxygen demand (COD)								
Στερεά απόβλητα								

*οι αριθμοί είναι απλώς ενδεικτικοί, προσδιορίζονται από ποιοτικές και ποσοτικές έρευνες στη βιομηχανία παραγωγής εμφιαλωμένου νερού. Οι εκπομπές αυτές μπορεί να είναι μικρότερες με καλύτερη τεχνολογία και πρακτικές πράσινης μηχανικής και πράσινης χημείας.

Οι πλαστικές φιάλες εμφιαλωμένου νερού (και άλλων αναψυκτικών και ποτών) είναι ένα ακόμη καταναλωτικό προϊόν που έχει δημιουργήσει τεράστια

περιβαλλοντικά προβλήματα, σημαντικές εκπομπές αερίων ρύπων και παραγωγή υγρών αποβλήτων. Υπολογίζεται ότι σε παγκόσμια κλίμακα καταναλώθηκαν, περίπου, 200 δισεκατομμύρια λίτρα εμφιαλωμένου πόσιμου νερού το 2007. Στις ΗΠΑ μόνο καταναλώνονται 1,5 εκατομ. βαρέλια πετρελαίου κάθε χρόνο για παραγωγή πλαστικών φιαλών και μεγάλες ποσότητες για τις μεταφορές τους στα σημεία πωλήσεων. Στην περίοδο 1990-2005 η κατανάλωση εμφιαλωμένου νερού παγκοσμίως τετραπλασιάστηκε. Μέρος των πλαστικών φιαλών ανακυκλώνεται. Στις ΗΠΑ υπολογίζεται σε 27% η ανακύκλωση πλαστικών φιαλών (περίπου 1,2 δισεκατομμύρια kg πλαστικού, το 2008) και στις Ευρωπαϊκές χώρες περίπου στο 30-40%. Τα πλαστικά μπουκάλια ρυπαίνουν το περιβάλλον, ιδιαίτερα τις θάλασσες. Τα πλαστικά μπουκάλια (όπως και οι σακούλες) χρειάζονται πολλά χρόνια για να αποσυντεθούν στο φυσικό περιβάλλον.^{9,10}



Σχήμα 6.6. Οι πλαστικές φιάλες έχουν αποτελέσει ένα χρήσιμο προϊόν συσκευασίας υγρών (νερού, αναψυκτικών, κ.λπ), αλλά και αποτελούν σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα. Η μελέτη του ΑΚΖ θα μπορούσε να βελτιώσει στη βελτίωση του περιβαλλοντικού τους αποτυπώματος.

6.5. Η Ανάλυση και Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής και Διεθνή Δίκτυα Τυποποίησης

Μετά από τη συγκέντρωση των στοιχείων, τις προκαταρκτικές μελέτες, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (εκπομπές, κατανάλωση ενέργειας και πρώτων υλών, κ.λπ), που αποκαλείται Ανάλυση Γραμμής Προϊόντος (LCI), ο ερευνητής είναι υποχρεωμένος να μελετήσει, αλλά και να ερμηνεύσει διάφορους δείκτες και παράγοντες που συνδέονται με πιθανές επιπτώσεις στο περιβάλλον (**life cycle impact assessment, LCIA**). Στην προσπάθειά

του αυτή θα συναντήσει ορισμένα πρότυπα και αρχές που έχουν ήδη καθιερωθεί από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης¹¹



Σχήμα 6.7. Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO)

Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) είναι ένα δίκτυο από εθνικές οργανώσεις τυποποίησης σε 162 χώρες με την Κεντρική του Γραμματεία στη Γενεύη της Ελβετίας, που συντονίζει το σύστημα. Το ISO είναι μη κυβερνητική οργάνωση που σχηματίζει τη γέφυρα ανάμεσα στους κρατικούς και ιδιωτικούς τομείς της οικονομίας.

Η αντίστοιχη οργάνωση στην Ελλάδα είναι ο Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛΟΤ), που ιδρύθηκε το 1976 ως ένα μη κερδοσκοπικό νομικό πρόσωπο ιδιωτικού δικαίου, επιδοτούμενη από το κράτος και εποπτευόμενη από το Υπουργείο Βιομηχανίας. Από το 1997, ο ΕΛΟΤ λειτουργεί ως «Ανώνυμη Εταιρεία», με διακριτικό τίτλο "ΕΛΟΤ Α.Ε.» υπό την εποπτεία του Υπουργείου Ανάπτυξης. Πρωταρχικός στόχος του ΕΛΟΤ είναι η ανάπτυξη, προώθηση και εφαρμογή της Τυποποίησης στην Ελλάδα. Οι κύριες δραστηριότητες του Οργανισμού : α) την εκπόνηση και διάδοση των προτύπων, β) τη χορήγηση των σημάτων συμμόρφωσης και πιστοποιητικών για τα προϊόντα, γ) την πιστοποίηση των συστημάτων διαχείρισης, δ) την εκτέλεση των εργαστηριακών δοκιμών και επιθεωρήσεων, ε) την παροχή των προγραμμάτων κατάρτισης και πληροφορίες σχετικά με την τυποποίηση και τις συναφείς δραστηριότητες, όπως καθώς και για τους τεχνικούς κανονισμούς (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης : 50, Κηφισού GR-121 33 Περιστέρι, E-mail: info@elot.gr ,Web: www.elot.gr/).

6.5.1. Διάφορα πρότυπα περιβαλλοντικής διαχείρισης και ΑΚΖ

Υπάρχουν αρκετά πρότυπα περιβαλλοντικά πρότυπα διαχείρισης τα οποία πιστοποιούν τις ορθές πρακτικές περιβαλλοντικής και ελέγχους για να ελαχιστοποιηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η σειρά ISO 14000 είναι από τις πιο γνωστές. Το ISO 14001 είναι διεθνώς αναγνωρισμένο πρότυπο για την περιβαλλοντική διαχείριση από τις επιχειρήσεις. Παρέχει οδηγίες και απαιτούμενα σημεία ελέγχων που πρέπει να εφαρμόζονται στις δραστηριότητες εκείνες που έχουν επίδραση στο περιβάλλον. Τέτοιες δραστηριότητες είναι εκείνες όπως η χρήση φυσικών πόρων (π.χ. νερό κτλ), χειρισμός και διάθεση των απορριμμάτων, και κατανάλωση ενέργειας. Όπως όλα τα διεθνή πρότυπα έτσι και το ISO 14001 έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να εφαρμόζεται για την διαχείριση περιβάλλοντος των επιχειρήσεων σε οποιοδήποτε μέρος του κόσμου.

Υπάρχουν και διάφορα διεθνή πρότυπα, όπως το ISO 14021 (1999) για περιβαλλοντικά σήματα (environmental labels, declarations) ISO 14024 (1999) (environmental labeling-principles & procedures) ISO/TR 14025 (2000) (Type III, environmental declarations-guiding principles & procedures). Ο

κανονισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το σύστημα Οικολογικής Διαχείρισης και οικολογικού Ελέγχου (Eco Management and Audit Scheme, EMAS) από το 1993 (ΕΚ 1836/93) δέχθηκε την εθελοντική συμμετοχή των επιχειρήσεων σε κοινοτικό σύστημα διαχείρισης οικολογικού ελέγχου των προϊόντων τους και των βιομηχανικών διεργασιών., ενώ από το 1992 (ΕΚ 880/92) υπάρχει ο κανονισμός για το Σύστημα Απονομής Οικολογικού Σήματος (Eco Label Scheme).



Σχήμα 6.8. Το Οικολογικό σήμα προϊόντων της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Επίσης υπάρχουν και διάφορα πρότυπα, όπως το 14040 (1997) για τους σκοπούς και την έκταση της γραμμής ανάλυσης προϊόντος [on goal and scope definition and inventory analysis]. Για την εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής υπάρχει το πρότυπο ISO 1402 (2000) (on life cycle impact assessment), και το πρότυπο ISO 14043 (2000) για την ερμηνεία του κύκλου ζωής (ISO 14043, on life cycle interpretation). Επίσης, υπήρξαν εξελίξεις για την τυποποίηση των μεθόδων και εφαρμογών της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής (LCA, International Standard/TR ISO TR 14062 (2000), το πρότυπο ISO 14040 (1997) για τις βελτιώσεις της ανάλυσης του Κύκλου Ζωής και της εκτίμησης και το ISO/TR 14062 (2000) των εφαρμογών της LCA για σχεδιαστικούς σκοπούς.



Σχήμα 6.9. Η Ανάλυση του Κύκλου Ζωής ενός προϊόντος (όπως για ένα παντελόνι Lewis) είναι σημαντική για το διεθνοποιημένο εμπόριο και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε διεθνή κλίμακα.

6.5.2. Τράπεζες Πληροφοριών της Βιομηχανίας για ΑΚΖ Προϊόντων

Μέχρι τώρα, πολλές βιομηχανίες έχουν ανταποκριθεί στη δημιουργία τράπεζας πληροφοριών (data bank) για τα προϊόντα τους ώστε να μπορούν να γίνουν Εκτιμήσεις Κύκλου Ζωής (LCAs) από ανεξάρτητους ερευνητές. Η Συνομοσπονδία Βιομηχανιών Πλαστικών στην Ευρώπη (The Association of Plastics Manufacturers in Europe, APME, www.apme.org) πρωτοστατεί στο θέμα αυτό και έχει παραδώσει ηλεκτρονικές και συστηματικές τράπεζες πληροφοριών για τα προϊόντα τους. Επίσης, και άλλες βιομηχανικές ομάδες επιχειρήσεων έχουν καταθέσει τράπεζες πληροφοριών για τα προϊόντα τους. Όπως, η Ευρωπαϊκή Ομοσπονδία Αλουμινίου (European Aluminium Association, www.aluminium.org). Ευρωπαϊκή τράπεζα αυλακωτών σανίδων και άλλων υλικών (European database, Europe for Corrugated Board - live cycle studies, www.fefco.org), Διεθνής Οργάνωση Προϊόντων Νικελίου (LCA, International Nickel Products, www.nidi.org), Βιομηχανία Χάλυβα (steel industry LCA, www.worldsteel.org/env_lca.hp).¹²

Για τις μελέτες ΑΚΖ οι περισσότεροι ερευνητές χρησιμοποιούν εξειδικευμένα ηλεκτρονικά προγράμματα (dedicated software) που έχουν δημιουργηθεί για να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των μελετών Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής:

- α) **Γενικά λογισμικά προγράμματα** (Generic LCA software, typically intended for use by researchers, consultants and other LCA specialists,
- β) **Εξειδικευμένα για ΑΚΖ προγράμματα** (Specialized LCA-based software of various types for specific decision makers, typically intended for use by designers in engineering or construction, the purchasing department, or environmental and,
- γ) **Λογισμικά πακέτα προσαρμοσμένα** στις ανάγκες του πελάτη (tailor made / custom software), που έχουν ως στόχο την εφαρμογή αξιόπιστων και προσαρμοσμένων στις ανάγκες του πελάτη σε συνδυασμό με λογισμικά που αφορούν τη διαχείριση και τον εμπορικό κύκλο της επιχείρησης.¹³

Η ΑΚΖ για προϊόντα μίας πολυεθνικής επιχείρησης γίνεται πιο πολύπλοκη γιατί εμπλέκονται χώρες και συστήματα με διαφορετικές περιβαλλοντικές και εργασιακές πολιτικές. Από την άλλη μεριά όμως οι πολυεθνικές έχουν το εξειδικευμένο προσωπικό και τις δυνατότητες για σχεδιασμό και μελέτη (μέσω των εργαστηρίων έρευνας και ανάπτυξης που διαθέτουν) του ΚΖ προϊόντων. Στις περισσότερες πολυεθνικές επιχειρήσεις υπάρχουν ειδικά τμήματα που είναι αποκλειστικά εξουσιοδοτημένα για έρευνες σε διάφορες ηπείρους και χώρες σε ότι αφορά τον ΚΖ των προϊόντων τους και των διαφορετικών προτύπων που επικρατούν.¹⁴ Πολλές γνωστές αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν μελετήσει και εκτιμήσει τους ΚΖ των προϊόντων τους σε διεθνή κλίμακα και κάτω από διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες.¹⁵⁻¹⁸ Αν και κάθε βιομηχανικό προϊόν έχει ιδιαιτερότητες στον κύκλο ζωής του, οι μελέτες ΑΚΖ έχουν μερικές σταθερές παραμέτρους. Παράδειγμα η συγκριτική εκτίμηση ΚΖ για οικοδομικά υλικά μόνωσης.¹⁹

Η Ευρωπαϊκή Ένωση εκτός από νομοθεσία έχει και αρκετές έρευνες για τον κύκλο ζωής βιομηχανικών προϊόντων.²⁰⁻²² Επίσης, η United Nations Environment Programme UNEP σε συνεργασία με την SETAC είχαν την πρωτοβουλία (2002) και έθεσαν τις βάσεις για επιστημονική εκτίμηση των μελετών κύκλου ζωής βιομηχανικών προϊόντων (ΑΚΖ).²³⁻²⁵

Βιβλιογραφία

1. Baumgartner T, Rubik F. Evaluation techniques for eco-balances and life cycle assessment. *Europ Environment* 318-322, 1993.
2. Consoli F, et al. *Guidelines for Life Cycle Assessment: A code of practice*. SETAC Workshop, Sesimbra, Portugal, 31 March, 1993.
3. Fava J, Denison R, Jones B, Curran M, Vigon B, Selke S, Barnum J, editors. *A Technical Framework for Life-Cycle Assessment*. Pensacola (FL): SETAC Press, 1991.
4. Hunt R, Franklin W. Life Cycle Assessment (LCA) - How it came about. personal reflections on the origin and the development of LCA in the USA. *Int J LCA* 1:4-7, 1996.
5. Curran MA. Broad-based environmental Life Cycle Assessment. *Environ Sci Technol* 27:430-436, 1993.
6. Fouhy K. Life Cycle analysis sets new priorities. *Chemical Engin* 100 (7): 30-39, 1993.
7. Rebitzer G, Ekvall T, Frischknecht R, et al. Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope, definition, inventory analysis, and application. *Environ Intern* 30 (5): 701-720, 2004.
8. Γεωργακέλλος ΔΑ. Ανάλυση κύκλου ζωής: ένα συστηματικό όργανο στη διαχείριση του περιβάλλοντος. *Σπουδαί* (Παν/μιο Πειραιώς), τ.49, τευχ. 1^ο-4^ο, 1999; Παπανικολάου Μ, Γεμενετζής Π, Ζουμπούλης Α. Εκτίμηση κύκλου ζωής (LCA): Περιγραφή ενός σημαντικού εργαλείου πράσινης χημείας. *Χημικά Χρονικά* 68(6): 27-32, 2006.
9. Ling L. Bottled water consumption jumps. Worldwatch Institute, New York, Nov. 7, 2007.
10. Gleick PH, Cooley HS. Energy implication of bottled water. *Environ Res Lett* 4(1):014009, 28.1.2009.
11. International Organization for Standardization (ISO) .(www.iso.org). *ISO has developed over 18 500 International Standards on a variety of subjects and some 1100 new ISO standards are published every year. The full range of technical fields can be seen from the listing International Standards. Users can browse that listing to find bibliographic information on each standard and, in many cases, a brief abstract. The online ISO Standards listing integrates both the ISO Catalogue of published standards and the ISO Technical programme of standards under development.*
12. Matthews V, Fink P. . Database generation for olefin feedstocks and plastics. *J. Clean. Prod.* 1:173–180, 1994.
13. Jönbrink AK., Wolf-Wats C., Erixon M, Olsson P. Wallén E. LCA Software Survey, IVL report No B 1390, Swedish Environmental Research Institute, Stockholm, 2000.
14. Schmidt WP. Strategies for environmentally sustainable products and services. *Int. J. Corp. Sustain.* 8: 118–125, 2001.
15. EUCAR, Automotive LCA guidelines—Phase 2, Total Life Cycle Conference and Exposition, Society of Automotive Engineers, Graz, Austria; December 1998.
16. Sullivan, J.L. William RL, Yester S., et al. A Life cycle inventory of a generic U.S. family sedan—Overview of results, USCAR AMP project. In Proceedings of Total Life Cycle Conference and Exposition, Society of Automotive Engineers, Graz, Austria, 1998.

17. Kobayashi, O et.al. Life cycle analysis of a complex product, application of ISO 14040 to a complete car. In: *Proceeding of Total Life Cycle Conference and Exposition*, Society of Automotive Engineers, Graz, Austria, 1998.
18. Pennington, D.W., Potting, J., Finnveden, G., Lindeijer, E., Jolliet, O., Rydberg, T. *et al.*, 2004. Life cycle assessment—part 2: current impact assessment practice. *Environ. Int.* 30(5): 721-739, 2004.
19. Schmidt AC, Jensen AA, Claussen AU, et al. A comparative life cycle assessment of building insulation products made of stone wool, paper wool and flax. Part 1. *Intern J Life Cycle Assess* 9(1):53-66, 2004.
20. European Commission, Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on establishing a framework for Eco-design requirements for Energy-Using Products and amending Council Directive 92/42/EEC.
(<http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/lip/latest/doc/2003/com2003>)._.
21. Schmitz B. LCAs in EU infringements so far. Paper presented at “Use of life cycle assessment in policy-making” in the context of Directive 94/62/EC, DG Environment/EUROPEN Workshop, 2002-06-20, 2003. Brussels,
(www.europen.be/issues/lca/LCA_workshop/Presentations/Schmitz,%20Bob.doc).
22. Christensen, FM, Olsen, S.I., 2004. The Potential Role of Life Cycle Assessment in Regulation of Chemicals in the European Union. *Int. J. Life Cycle Assess.* 9(5):327-332, 2004.
23. Töpfer, K.. Editorial for Int. J. LCA on the launch of the UNEP-SETAC life cycle initiative. *Int. J. Life Cycle Assess.*7: 191-191., 2002..
24. Udo de Haes HA, Jolliet O, Norris G, Saur K. UNEP/SETAC life cycle initiative: background, aims and scope. *Int. J. Life Cycle Assess.*7:192–195, 2002.
25. Solgaard A, de Leeuw B.. UNEP/SETAC life cycle initiative: promoting a life-cycle approach. *Int. J. Life Cycle Assess.* 7:199–202, 2002.

Επιπλέον Βιβλιογραφία για την Ανάλυση και Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής Προϊόντων

1. Curran, MA. (Ed). *The History of Life Cycle Assessment (LCA)*. McGraw-Hill, New York, USA, 1996.
2. Curran MA. *Environmental Life-Cycle Assessment*. McGraw-Hill, New York, 1966.
3. Ciambone DF. *Environmental Life Cycle Analysis*. CRC Press, Boca Raton, FL, 1997.
4. Marcus PA, Willig JT (Eds). *Moving Ahead with ISO 14000: Improving Environmental Management and Advancing Sustainable Development*. (Wiley Series in Environmental Quality Management). Wiley, New York, 1997.
5. Frankl P, Rubik F. *Life Cycle Assessment in Industry and Business*. Springer-Verlag, Berlin, 2000.
6. Fleischer G, Gerner K, Kunst H, Lichtenvort K, Rebitzer G. A semi-quantitative method for the impact assessment of emissions within a simplified life cycle assessment. *Int. J. Life Cycle Assess.*6:149–156, 2001.

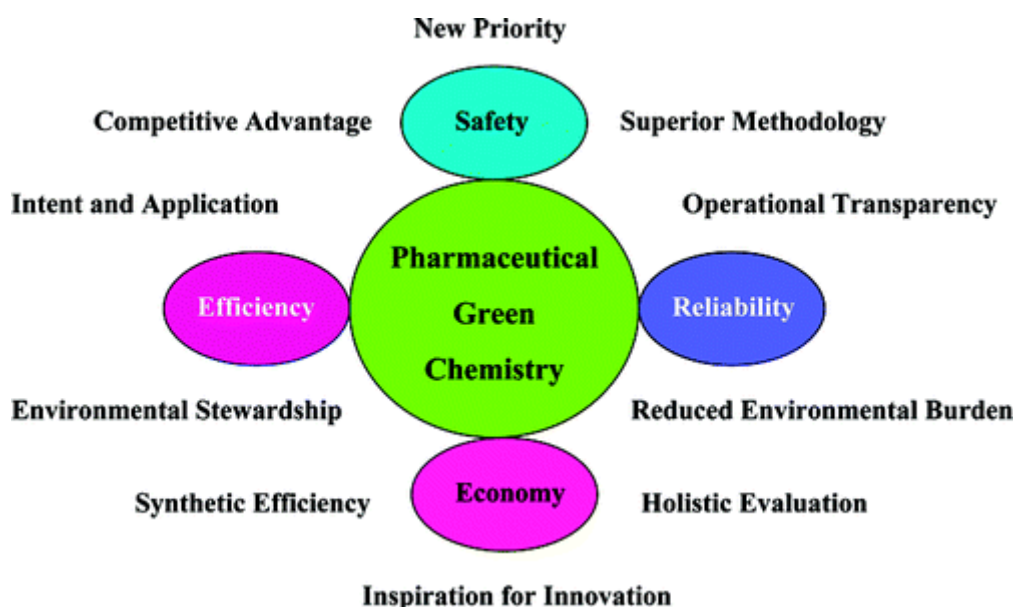
7. Humdal MS. *Mechanical Life Cycle Handbook-Good Environmental Design and Manufacturing*. Marcel Dekker, Boca Raton, FL, 2001.
8. Schmidt, W.P. and Sullivan, J.L. Weighting in life cycle assessments in a global context. *Int. J. Life Cycle Assess.*7: 5–10, 2002.
9. Heijunga R, Sangwon S. *The Computational Structure of Life Cycle Assessment*. Series Eco-Efficiency in Industry and Science, vol. 11. Springer, Berlin, 2002.
10. Schmidt, W.P. Life cycle costing as part of design for environment–environmental business cases. *Int. J. Life Cycle Assess.* 8 :167–174, 2003.
11. Sonnemann G, Castells F, Schuhmacher M. *Integrated Life-Cycle and Risk Assessment for Industrial Processes*. CRC Press, Boca Raton, FL, 2003.
12. Wimmer W, Zust R, Lee K-M, Alliance for Global Sustainability. *ECODESIGN Implementation: A Systematic Guidance on Integrating Environmental Considerations into Product Development*. Springer, Berlin, 2004.
13. Graedel T, Howard-Grenville J (Eds). *Greening the Industrial Facility: Perspectives, Approaches, and Tools*. Springer, Berlin, 2005.
14. Πυροβολάκης ΑΑ, Γεωργακέλλος ΔΑ. Εκτίμηση κύκλου ζωής ηλεκτρικής ενέργειας από τυπική Ελληνικό πετρελαϊκό σταθμό. *Τεχνικά Χρονικά Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ*, 4 (1-20): 67-77, 2005.
15. Hendrickson CT, Lave LB, Matthews HS. *Environmental Life Cycle Assessment of Goods and Services: An Input-Output Approach*. RFF Press (Earthscan inprint, Taylor & Francis), London, 2006.
16. Παπανικολάου Μ, Γεμεντζής Π, Ζουμπούλης Α. Εκτίμηση κύκλου ζωής (LCA): Περιγραφή ενός σημαντικού εργαλείου πράσινης χημείας. *Χημικά Χρονικά* 68(6): 27-32, 2006.
17. Brissault D, Tichkiewitch S, Swolinski P (Eds). *Innovation in Life Cycle Engineering and Sustainable Development*. Springer, Berlin, 2006.
18. Abele E. *EcoDesign: Vonder Theorie in die Praxis*. Springer, Berlin, 2007.
19. Blackburn RS (Ed). *Sustainable Textiles: Life Cycle and Environmental Impact*. Woodhead, Cambridge, UK, 2009.
20. Home R, Brant T, Verghese K. *Life Cycle Assessment: Principles, Practices and Prospects*. CSIRO publications, Sydney, Australia, 2009.
21. Ashby MF. *Material and the Environment: Eco-Informed Material Choice*. Butterworth-Heinemann, London, 2009.
22. Wimmer W, Lee K-M, Quella F, Polak D. *ECODESIGN-The Competitive Advantage*. Springer, Berlin, 2010.
23. Fthenakis VM, Kim HC, Alsema E. Emissions from photovoltaic life cycle. *Environ Sci Technol* 42(6): 2168-2174, 2008.
24. Lardon L, Helias A, Sialve B, et al. Life-cycle of biodiesel production form microalgae. *Environ Sci Technol* 43(17):6475-6481, 2009.

7.. Πράσινη Χημεία και Φαρμακευτική Βιομηχανία

7.1. Η Βιομηχανία Φαρμάκων. Μπορεί να Γίνει «Πράσινη»;

Η Πράσινη Χημεία και οι αρχές της έχουν επηρεάσει τις τελευταίες δεκαετίες τη χημική βιομηχανία, τόσο με τις αλλαγές στις πρώτες ύλες, όσο και στις συνθετικές μεθοδολογίες και τη μείωση των τοξικών αποβλήτων. Αλλά ιδιαίτερα η Φαρμακευτική Βιομηχανία την τελευταία δεκαετία έχει δεχθεί ότι οι εφαρμογές της πράσινης χημείας θα είναι εξαιρετικά ωφέλιμες και θα μεταβάλλουν προς το καλύτερο την εικόνα της βιομηχανίας. Συγχρόνως πιστεύεται από τους επιστήμονες και τους επιχειρηματίες ότι οι αλλαγές θα επιδράσουν θετικά στο κόστος, τη μείωση της ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος.^{1,2}

Η φαρμακευτική βιομηχανία τα τελευταία χρόνια επιθυμεί να μεταβάλλει την εικόνα της βιομηχανίας, με φιλικές προτάσεις προστασίας του περιβάλλοντος, μεγαλύτερη ασφάλεια για τους εργαζόμενους και προϊόντα που είναι παρασκευασμένα με τις αρχές της πράσινης χημείας. Τα σχέδια αυτά έχουν προβληθεί και σε μεγάλο βαθμό εφαρμοσθεί από τις μεγαλύτερες φαρμακευτικές βιομηχανίες στις ανεπτυγμένες χώρες.³



Σχήμα 7.1. Σχηματική παρουσίαση των δράσεων της φαρμακευτικής βιομηχανίας προς την πορεία για εφαρμογές πράσινης χημείας. Οι εφαρμογές της πράσινης χημείας θα επιφέρει οικονομικά οφέλη, νέες προτεραιότητες, πρωτοπορία σε θέματα περιβάλλοντος, ασφάλειας, συνθετικής αποτελεσματικότητας, νέες μεθόδους συνθετικής χημείας, νέες ιδέες και πλεονεκτήματα συναγωνισμού

Η φαρμακευτική βιομηχανία είναι γνωστό από έρευνες και στατιστικά στοιχεία ότι παράγει μεγάλες ποσότητες αποβλήτων λόγω τις πολυπλοκότητας των συνθετικών μεθόδων φαρμάκων και της καθαρότητας που πρέπει να έχουν. Για συνθέσεις με 6-8 στάδια υπολογίζεται ότι δημιουργούνται 25-100 kg αποβλήτων για κάθε κιλό φαρμάκου που παρασκευάζεται.^{4,5}

Επίσης, μεταξύ των άλλων βιομηχανιών, η φαρμακευτική βιομηχανία χρησιμοποιεί τις μεγαλύτερες ποσότητες οργανικών διαλυτών και μεγάλο αριθμό χημικών πρώτων υλών. Οι οργανικοί διαλύτες είναι γνωστό ότι είναι τοξικοί στο εργασιακό περιβάλλον αλλά και η διαχείρισή τους ως αποβλήτων είναι αρκετά ακριβή για την προστασία του περιβάλλοντος. Έχει υπολογισθεί από μεγάλη φαρμακευτική εταιρεία (GlaxoSmithKline, GSK) ότι οι οργανικοί διαλύτες αποτελούν το 85-90% των μη υδατικών αποβλήτων που παράγει κατά τη βιομηχανική σύνθεση φαρμάκων.^{6,7}

Την τελευταία δεκαετία οι μεγάλες φαρμακευτικές θεωρούν ότι η εφαρμογή των αρχών της πράσινης χημείας θα ενισχύσει την πρωτοπορία της ανάμεσα στις χημικές βιομηχανίες και θα δώσει ένα «θετικό» πρόσωπο στις δραστηριότητές της. Η φαρμακευτική βιομηχανία έχει υψηλό κόστος για την έρευνα και ανάπτυξη νέων φαρμάκων. Υπολογίζεται ότι η ανακάλυψη ενός νέου φαρμάκου κοστίζει , περίπου, 70 εκατομμύρια \$, τόσο για την έρευνα και παραγωγή όσο και για τα τρία στάδια δοκιμασιών για τη δραστηριότητα. Άρα ενδιαφέρει την φαρμακευτική βιομηχανία να εφαρμόσει νέες συνθετικές μεθόδους, λιγότερα απόβλητα, λιγότερους τοξικούς διαλύτες, μειωμένη ενέργεια και περιβαλλοντική προστασία.⁸

Ένα επιπλέον πρόβλημα των φαρμακευτικών βιομηχανιών είναι οι νέες νομοθεσίες για την προστασία του περιβάλλοντος από φάρμακα και σκευάσματα που απορρίπτονται και εισέρχονται στο έδαφος και τα υδάτινα συστήματα. Οι έρευνες των νέων φαρμάκων πρέπει να περιλαμβάνει και μελέτες για βλάβες σε ψάρια και βενθικούς οργανισμούς από τοξικά φάρμακα και τους μεταβολίτες τους. Άλλες προοπτικές είναι να γίνεται κατάλληλη επεξεργασία των υγρών φαρμακευτικών αποβλήτων ώστε να καθαρίζονται πλήρως από απόβλητα φαρμακευτικών ουσιών. Τα υπολείμματα φαρμάκων αποτελούν επίσης πρόβλημα ρύπανσης του πόσιμου νερού.⁹⁻¹¹

7.2. Φαρμακευτική Βιομηχανία, Πράσινη Χημεία και Χρησιμοποίηση Διαλυτών

Η φαρμακευτική βιομηχανία είναι γνωστό από έρευνες στις ΗΠΑ ότι έρχεται πρώτη μεταξύ των χημικών βιομηχανιών σε ποσότητες υγρών αποβλήτων και το 85% των αποβλήτων αυτών είναι μη υδατικά. Το γεγονός αυτό έχει δημιουργήσει ισχυρή τάση μεταξύ των φαρμακευτικών επιχειρήσεων να μειώσουν την ποσότητα των οργανικών διαλυτών και να δρομολογηθούν μέθοδοι με μικρότερη ή μηδενική χρήση οργανικών (τοξικών και μη) διαλυτών. Οι διαλύτες παίζουν σημαντικό ρόλο στη σύνθεση (γιατί αποτελούν το μέσο όπου διαλύονται οι πρώτες ύλες για να αντιδράσουν) και στον καθαρισμό και διαχωρισμό του προϊόντος.¹²

Οι διαλύτες που είναι επιθυμητοί για τις οργανικές συνθέσεις και καθαρισμούς για λόγους χαμηλής τοξικότητάς είναι: νερό, ακετόνη

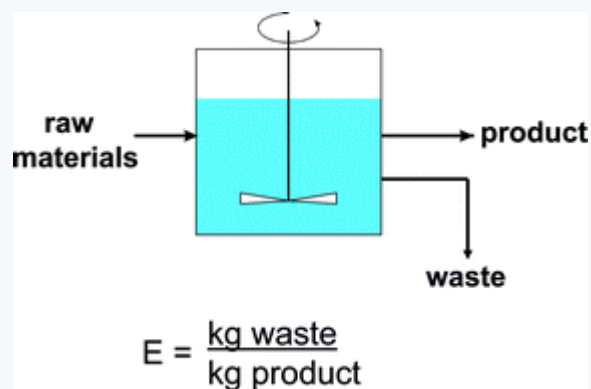
(CH₃COCH₃), αιθανόλη (CH₃CH₂OH), μεθανόλη, 2-προπανόλη, οξικός αιθυλεστέρας, οξικός ισοπροπυλο εστέρας, μεθυλο αιθυλο κετόνη, 1-βουτανόλη και tert-βουτανόλη.

Οι διαλύτες είναι χρήσιμη λόγω της εξαιρετικής ικανότητας διάλυσης χημικών ουσιών (αλλά με υψηλότερη τοξικότητα) είναι: κυκλοεξάνιο (C₆H₁₂), ηεπτάνιο, τολουόλιο (C₆H₅CH₃), μεθυλοκυκλοεξάνιο, μεθυλο t-βουτυλο αιθέρας, ισοοκτάνιο, ακετονιτρίλιο, 2-μεθυλοTHF(τετραϋδροφουράνιο), τετραϋδροξυφουράνιο, ξυλένια, διμεθυλοσουλφοξείδιο (DMSO), οξικό οξύ, αιθυλενο γλυκόλη.

Οι διαλύτες που δεν είναι επιθυμητοί για συνθέσεις λόγω τοξικότητας και περιβαλλοντικών προβλημάτων είναι : πεντάνιο, εξάνια, δι-ισοπροπυλο αιθέρας, διαιθυλαιθέρας, διχλωρομεθάνιο (CH₂Cl₂), διχλωροαιθάνιο, χλωροφόρμιο (CHCl₃), διμεθυλο φορμαμίδιο (DMF), N-μεθυλοπυρρολιδινόνη, Πυριδίνη, Διμεθυλο οξικός εστέρας, Διοξάνιο, Διμεθοξυαιθάνιο, Βενζόλιο (C₆H₆) και Τετραχλωράνθακας (CCl₄).¹³

Η φαρμακευτική βιομηχανία έχει αρκετές ερευνητικές δυνατότητες να βελτιώσει τις μεθόδους σύνθεσης φαρμάκων, να περιορίσει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της βιομηχανίας και να εφαρμόσει «πράσινες» τεχνολογίες σε όλη την διεργασία παρασκευής φαρμάκων.^{14,15}

Ο παράγοντας E (**E factor**) είναι ένας απλός δείκτης που μπορεί να εφαρμοσθεί και στις φαρμακευτικές βιομηχανίες αλλά και σε άλλες χημικές βιομηχανικές. Ο παράγοντας E χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί η πορεία προς τις αρχές της πράσινης χημείας και την αειφορία. Τα απόβλητα που παράγονται (σε kg) σε μία βιομηχανική διεργασία σε σχέση με την ποσότητα των προϊόντων (σε kg) αποτελεί έναν απλό παράγοντα σύγκρισης και μετρήσιμο μέγεθος. Ασφαλώς οι διαλύτες που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή φαρμάκων πρέπει να μειωθούν σημαντικά για να μπορέσει ο παράγοντας E να γίνει «πράσινος».¹⁶



Σχήμα 7.2. Ο παράγοντας E (E factor) αποτελεί ένα απλό πηλίκο (απόβλητα/προϊόντα) με τον οποίο εκτιμάται και συγκρίνεται η πρόοδος βιομηχανιών και βιομηχανικών διεργασιών.

Στην φαρμακευτική βιομηχανία τις τελευταίες δεκαετίες γίνονται σοβαρές προσπάθειες για τη μείωση των ποσοτήτων των οργανικών διαλυτών που χρησιμοποιούνται. Αναπτύσσονται νέες τεχνικές για συνθέσεις με διαλύτη το νερό σε θερμοκρασία δωματίου αλλά και εναλλακτικές σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι φθορισμένες ενώσεις, τα ιονικά υγρά και

υπερκρίσιμα υγρά είναι επίσης νέες μεθοδολογίες που μελετούνται για την εφαρμογή τους σε συνθετικές μεθόδους φαρμάκων. Το υπερκρίσιμο CO₂ διερευνάται συστηματικά ως διαλύτης και το είδος των πρώτων υλών που θα μπορούσαν να προσαρμοσθούν στις νέες αυτές τεχνικές. Τέλος, απαιτείται να βρεθούν «πράσινοι» διαλύτες από ανανεώσιμες πηγές για να μειωθεί το αποτύπωμα των διαλυτών στο περιβάλλον.¹⁷⁻²⁰

7.3. Βιοκατάλυση και οι Εφαρμογές της στη Φαρμακευτική Βιομηχανία.

Μετά από πολλά χρόνια ερευνών η εφαρμογή ενζύμων και άλλων βιολογικών υλικών στην φαρμακευτική βιομηχανία για την κατάλυση οργανικών συνθέσεων φαρμάκων είναι πολύ διαδεδομένη.^{21,22}

Η βιοκατάλυση (biocatalysis) έχει καταστεί κεντρικό τμήμα της πράσινης χημείας. Χρησιμοποιώντας τα ένζυμα (πρωτεΐνες που επιταχύνουν χημικές αντιδράσεις), στην φαρμακευτική βιομηχανία υπάρχουν άμεσα πλεονεκτήματα σε πρώτες ύλες, ενέργεια και σχηματισμό αποβλήτων. Τα ένζυμα είναι εντελώς βιοδιασπώμενα και θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν ως πραγματικά ανανεώσιμοι καταλύτες, και οι φαρμακευτικές βιομηχανίες βελτιώνουν την ποιότητα και το κόστος της παραγωγής τους. Βασικό πλεονέκτημα σε μία σύνθεση είναι ο περιορισμός των συνθετικών σταδίων και η μείωση του καθαρισμού των προϊόντων, δηλαδή μείωση των απαιτούμενων διαλυτών.²³⁻²⁵

Η μέθοδος της βιοκατάλυσης σε γνωστές φαρμακευτικές βιομηχανίες έχει αποδώσει σημαντικά πλεονεκτήματα. Με την βιοκατάλυση, κυρίως μέσω της χρησιμοποίησης ενζύμων για ζυμώσεις και διάφορες βιοτεχνολογικές μεθόδους έχει αυξηθεί η απόδοση και έχουν μειωθεί σε σημαντικό βαθμό η χρήση διαλυτών και η δημιουργία αποβλήτων.

Η γνωστή φαρμακευτική βιομηχανία **Pfizer** έχει κάνει σημαντικές αλλαγές στη διαδικασία για την παραγωγή του δραστικού συστατικού pregabalin. Είναι το ενεργό συστατικό του φαρμάκου Lyrica, φάρμακο για τη θεραπεία της επιληψίας, του νευροπαθητικού πόνου και της γενικευμένης αγγώδους διαταραχής, η ετήσια αξία των πωλήσεων του φαρμάκου είναι περίπου 3 δισεκατομμύρια δολάρια. Το 2007, η Pfizer αντικατέστησε ένα κλασικό βήμα χημικής διεργασίας με πιο αποτελεσματική ενζυμική διεργασία, μειώνοντας κατά 90% τους διαλύτες και κατά 50% την πρώτη ύλη που απαιτούνταν. Ο παράγοντας E της σύνθεσης του φαρμάκου μειώθηκε από το υψηλό 86 στο χαμηλό 9. Υπολογίζεται ότι η εταιρεία θα μειώσει με τον τρόπο αυτό κατά 200.000 μετρικούς τόνους τα χημικά απόβλητα που θα παράγονταν με την παλαιά μέθοδο στην περίοδο 2007-2020.²⁶

Συνθέσεις φαρμάκων με βιοκαταλυτικές μεθόδους υπάρχουν αρκετές και πολύ επιτυχημένες. Η Pfizer παρασκευάζει το αντιπαρασιτικό φάρμακο Doramectin (Pfizer με εμπορικό όνομα Dectomax) με βιοκαταλυτικές μεθόδους, αυξάνοντας την απόδοση κατά 40% και μειώνοντας δραστικά τα παραπροϊόντα. Επίσης, η ίδια εταιρεία μετά από έρευνες παρασκευάζει το φάρμακο atorvasratin με βιοκαταλυτικές μεθόδους, ενώ μετά από την βιοτεχνολογική βελτίωση του σακχαρομύκητα *Saccharomyces cerevisiae* παράγει το αρτεμισινικό οξύ (artemisinic acid) για το ανθελονοσιακό φάρμακο artemisinin.²⁷ Με το ίδιο τρόπο έχει βελτιώσει και την παραγωγή των

φαρμάκων Osetravimир και pelitrexol.^{28,29} Η αμερικανική φαρμακευτική εταιρεία **Merck** έχει μειώσει με βιοκατάλυση δραστικά τη χρήση διαλυτών για το φάρμακο sitagliptin (Januvia) , και βελτίωσε καταλυτικά με ενώσεις παλλαδίου την υδρογόνωση για τη σύνθεση του αντιβιοτικού φαρμάκου gemifloxacin.^{30,31} Παρόμοια αποτελέσματα επιτεύχθηκαν για την ασύμμετρη υδρογόνωση κατά τη σύνθεση του taranabant.³² Μία δεύτερης-γενιάς σύνθεση του φαρμάκου pregabalin σε νερό έχει δημοσιευθεί πρόσφατα από ερευνητές της Pfizer.³³

Οι γνωστές χημικές βιομηχανίες BASF και DSM Pharmaceuticals (New Jersey) έχουν δείξει σημαντικό ενδιαφέρον στην εφαρμογή βιοκαταλυτικών μεθόδων στη σύνθεση φαρμάκων. Η χημική εταιρεία Johnson Matthey πρόσφατα αγόρασε την γερμανική εταιρεία X-Zyme (Dusseldorf) για τις βιοκαταλυτικές μεθόδους που ανέπτυξε στη μετατροπή κετονών και κετονοεστέρες σε χειρομορφικές αμίνες, (chiral amines, chirality) πρώτες ύλες για χημικές ενώσεις και φάρμακα.³⁴

Μία ακόμη επιτυχία της φαρμακευτικής βιομηχανίας είναι η ενζυμική σύνθεση (κατάλυση) ενός δραστικού συστατικού του πολύ γνωστού φαρμάκου Lipitor (μείωση της χοληστερόλης). Θεωρήθηκε σημαντικό βήμα πράσινης σύνθεσης ενός ενδιαμέσου (κλειδί) του δραστικού συστατικού atorvastatin.³⁵

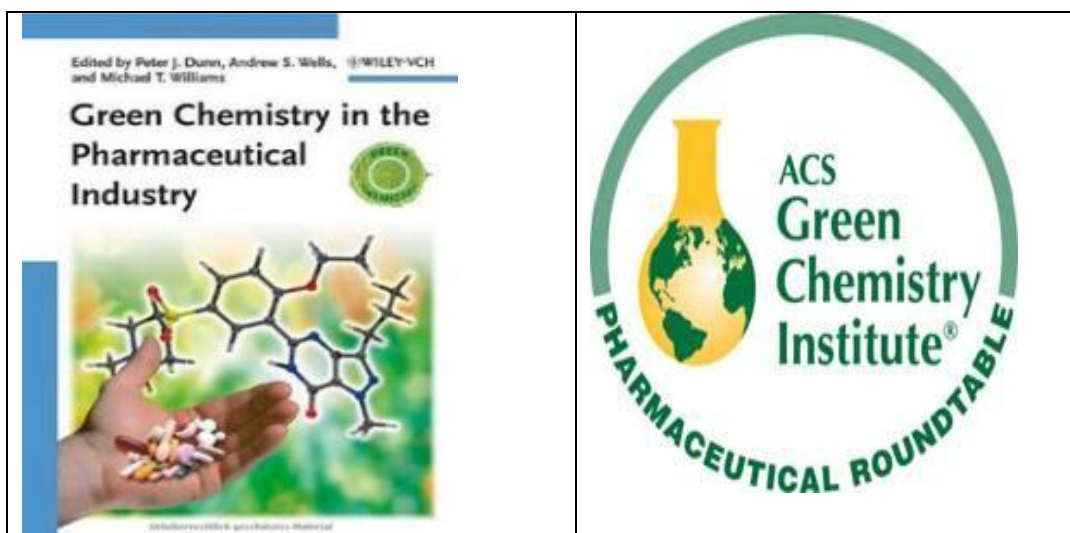


Σχήμα 7.3. Η **Codexis** κέρδισε το 2006 το βραβείο Presidential Green Chemistry Challenge Award με την πράσινη, βιοκαταλυτική, σύνθεση των δραστικών συστατικών του φαρμάκου **Lipitor** (μείωση χοληστερόλης)

Υπάρχουν πολλές «πράσινες» εφαρμογές της βιοκατάλυσης στη φαρμακευτική βιομηχανία και αρκετά παραδείγματα σύνθεσης γνωστών φαρμάκων στις μεγάλες φαρμακευτικές βιομηχανίες. Η Βιοκατάλυση έχει πολλά ελκυστικά χαρακτηριστικά, στο πλαίσιο της πράσινης χημείας, και οι επιπτώσεις της θα γίνουν αισθητά μεγαλύτερες τα επόμενα χρόνια στη φαρμακευτική βιομηχανία.³⁵

7.4. Πράσινη Χημεία και Φαρμακευτικές Βιομηχανίες

Οι ερευνητικές και αναπτυξιακές δραστηριότητες των τελευταίων ετών στις φαρμακευτικές βιομηχανίες προσανατολίζονται στις εφαρμογές των αρχών της πράσινης χημείας. Συγχρόνως βελτιώνεται και η εικόνα τους.



Σχήμα 7.4. Οι εφαρμογές της πράσινης χημείας έχουν φέρει σημαντικά οφέλη στη φαρμακευτική βιομηχανία.

Από τη μία πλευρά οι νέες καταλυτικές και βιοκαταλυτικές μέθοδοι σύνθεσης φαρμάκων βελτίωσαν την απόδοση και την οικονομία των συνθετικών οδών. Αλλά και η μείωση διαλυτών, αποβλήτων και σταδίων καθαρισμού είχαν σημαντική επιτυχία στη δημιουργία καθαρότερων προϊόντων και μικρότερης επιβάρυνσης του περιβάλλοντος. Η φαρμακευτική βιομηχανία με τις εφαρμογές των αρχών της πράσινης χημείας συμβάλλει στην αειφορία και βελτιώνει την εικόνα της απέναντι στους καταναλωτές και στις περιβαλλοντικές οργανώσεις. 'Όταν τα προϊόντα σου είναι για την υγεία του ανθρώπου και την ποιότητα ζωής, τότε πρέπει να ενδιαφέρεσαι για τις συνθήκες εργασίας των εργαζομένων (επαγγελματική υγιεινή, λιγότερο τοξικούς διαλύτες). Τα οφέλη όμως είναι διπλά γιατί γίνεται και εξοικονόμηση ενέργειας και καλύτερες αποδόσεις προϊόντων.³⁷⁻³⁹

Η φαρμακευτική βιομηχανία έχει και ένα επιπλέον πρόβλημα με τα φάρμακα που ως καταναλωτικά προϊόντα (μετά τη χρήση τους) καταλήγουν στις χωματερές ως απορρίμματα και ιδιαίτερα με το να ρυπαίνουν το υδροφόρο ορίζοντα. Το πρόβλημα «Cradle-to-cradle» των φαρμάκων είναι αρκετά δύσκολο. Τα τελευταία χρόνια γίνονται μεγάλες προσπάθειες να προσδιορισθεί η έκταση του προβλήματος και να ληφθούν συγκεκριμένα μέτρα της ρύπανσης των νερών από δραστικά συστατικά και μεταβολίτες των φαρμάκων.^{40,41}

Οι εξελίξεις στις φαρμακευτικές βιομηχανίες και οι εφαρμογές πράσινων μεθοδολογιών είναι αρκετά πρόσφατες και μεγάλος αριθμός ερευνητικών εφαρμογών βρίσκονται σε ιστολόγια διαφόρων οργανισμών για την Πράσινη Χημεία, όπως το Industrial Green Chemistry World, igcw.⁴²

Βιβλιογραφία

1. Dunn P, Wells A, Williams MT (Eds). *Green Chemistry in the Pharmaceutical Industry*. Wiley-VCH, Bognor Regis, West Sussex, UK, 2010.
2. Cavani F, Centi G, Parathoner S, Trifino F (Eds). *Sustainable Industrial Chemistry*. Wiley-VCH, West Sussex, UK, 2009.
3. Tucker JL. Green Chemistry, a Pharmaceutical Perspective. *Organ Process Res Develop* 10(2): 315-319, 2006.
4. Fortunak JM., Confalone PN, Grosso JA. Strength and honor through the pharmaceutical industry's embrace of green chemistry? *Curr Opin Drug Discov Develop* 10(6): 651-653, 2007.
5. Fortunak JM. Current and future impact of green chemistry on the pharmaceutical industry. *Future Med Chem* 1(4):571-575, 2009.
6. Constable DJC, Jinenez-Gonzalez C, Henderson RK. Perspective on solvent use in the pharmaceutical industry. *Organic Process Research & Development* 11(1):133-137, 2007.
7. Slater CS, Savefski M. A method to characterize the greenness of solvents used in the pharmaceutical manufacturing. *Environ Sci Health A Environ Sci Eng Toxic Hazrd Subst Control* 42:1595-1605, 2007.
8. Bruggink A, Straathof AJ, van der Wielen LA. A "fine" chemical industry for life science products: green solutions to chemical challenges. Review. *Adv Biochem Eng Biotechnol* 80:69-113, 2003.
9. Jones OA, Lester JN, Voulvoulis N. Pharmaceuticals: a threat to drinking water? *Trends Biotechnol* 23(4):163-167, 2005.
10. Derksen JG, Rijs GB, Jongbloed RH. Diffuse pollution of surface water by pharmaceutical products. *Water Sci Technol* 49(3):213-222, 2004.
11. Kasprzyk-Hordem B, Dinsdale RM, Guwy AJ. The occurrence of pharmaceuticals, personal care products, endocrine disruptors and illicit drugs in surface water in South Wales, UK. *Water Res* 42(13): 3498-3518, 2008.
12. Sheldon RA. Green solvents for sustainable organic synthesis: state of the art. *Green Chem* 7:267-278, 2005.
13. Alfonsi K, Colberg J, Dunn PJ, Fevig T, et al. Green chemistry tools to influence a medicinal chemistry and research chemistry based organization. *Green Chem* 10:31-36, 2008.
14. Jimenez-Gonzalez C, Curzous AD, Constable DJC, et al. How do you select the "greenests" technology? Development of guidance for the pharmaceutical industry. *Clean Technol Environ Policy* 3(1): 35-41, 2001.
15. Jimenez-Gonzalez C, Constable DJC. Developing GSK's green technology guidance: methodology for case-scenario comparison of technologies. *Clean Technol Environ Policy* 4(1): 44-53, 2002.
16. Sheldon RA. The E factor: fifteen years on. *Green Chem* 9:1273-1283, 2007.
17. Clark JH, Budarin V, Deswarte FEI, et al. Green chemistry and the biorefinery: a partnership for a sustainable future. *Green Chem* 8:853-860, 2006.
18. Park S-E, Lee K-W, Chang J-S (Eds). *Carbon Dioxide Utilization for Global Sustainability*. Elsevier, Amsterdam, 2004.

19. Hough WL, Rogers RD. Ionic liquids then and now: from solvents to materials to active pharmaceutical ingredients. *Bull Chem Soc Japan* 80:2262-2269, 2007.
20. Capello C, Fischer U, Hungerbuhler K. What is a green solvent? A comprehensive framework for the environmental assessment. *Green Chem* 9:927-934, 2007.
21. Woodley JM. New opportunities for biocatalysis making pharmaceutical processes greener. *Trends Biotechnol* 26(6):321-327, 2006.
22. Polard DJ, Woodley JM. Biocatalysis for pharmaceutical intermediates: the future is now. *Trends Biotechnol* 25(2):66-73, 2007.
23. Rasor JP, Voss E. Enzyme-catalyzed processes in pharmaceutical industry. *Appl Catalysis A: General* 221(1-2):145-158, 2001.
24. Straatho AJJ, Panke S, Schmid A. The production of fine chemicals by biotransformation. *Curr Opin Biotechnol* 13(6):548-556, 2002.
25. Yazbeck DR, Martinez CA, Hu S, Tao J. Challenges in the development of an efficient enzymatic process in the pharmaceutical industry. *Tetrahedron: Asymmetry* 15(18):2757-2763, 2004.
26. Biocatalysis (www.bio-catalysis.com/biocatalysis-having-an-impact-on-green-chemistry).
27. Ro DK, Paradise FM, Ouellet M, et al. Production of the antimalarial drug precursor artemisinic acid in engineered yeast. *Nature* 440:940-943, 2006.
28. Harrington PJ, Brown JD, Foderaro T, Hughes RC. Research and development of a second-generation process for oseltamivir phosphate, prodrug for a neuraminidase inhibitor. *Org Process Res Develop* 8(1):86-91, 2004.
29. Hu S, Kelly S, Lee S, Tao J, Flahive E. Efficient chemoenzymatic synthesis of pelitrexol via enzymic differentiation of a remote stereocenter. *Org Lett* 8(8):1653-1655, 2006.
30. Noh H-K, Lee JS, Kim U, et al. Synthesis of the intermediate of gemifloxacin by the chemoselective hydrogenation of 4-cyano-3-methoxymino-1-(n-tert-butoxycarbonyl)pyrrolidine. Part 2.: the palladium catalysts in acidic media. *Org Process Res Develop* 8(5):788-795, 2006.
31. Savile CK, Janey JM, Mundorff EC, et al. Biocatalytic asymmetric synthesis of chiral amines from ketones applied to Sitagliptin manufacture. *Science* 329:305-309, 2010.
32. Wallace DJ, Campos KR, Schultz CS, et al. New efficient asymmetric synthesis of taranabant, a cb1r inverse agonist for the treatment of obesity. *Org Proc Res Develop* 13(1):84-90, 2009.
33. Martinez CA, Hu S, Dumond Y, Tao J, et al. Development of a chemoenzymatic manufacturing process for pregabalin. *Org Process Res Develop* 12(3):392-398, 2008.
34. Sanderson K. Chemistry: enzyme expertise. *Nature* 471: 379-398, 2011.
35. Ma SK, Gruber J, Davis C, et al. A green-by-design biocatalytic process for atorvastatin intermediate. *Green Chem* 12:81-86, 2010.
36. Martinez C. New Trends in the scale-up of biocatalytic reactions for the synthesis of pharmaceutical intermediates. Gordon Research Conferences, Bryant University, Smithfield, RI, July 11-16, 2010 (www.grc.org/programs.aspx?year=2010&program=biocat).

37. Adreus I, Cui J, DaSilva J, Dudiu L, et al. Green Chemistry articles of interest to the pharmaceutical industry. *Org Process Res Develop* 14:19-29, 2010.
38. Federsel H-J. In search of sustainability: process R & D in light of current pharmaceutical industry challenges. *Drug Discovery Today* 11(21-22):966-974, 2006.
39. Federsel H-J. Chemical process research and development in the 21st century challenges, strategies, and solutions from a pharmaceutical industry perspective. *Acc Chem Res* 42(5):671-680, 2009.
40. Daughton CG. Cradle-to-cradle stewardship of drugs for minimizing their environmental disposal while promoting human health. I. Rationale for and avenues toward a green pharmacy. Review. *Environ Health Perspect* 111(5):757-774, 2003.
41. Daughton CG. Cradle-to-cradle stewardship of drugs for minimizing their environmental disposition while promoting human health. II. Drug disposal, waste reduction, and future directions. Review. *Environ Health Perspect* 111(5):775-785, 2003.
42. Mehta NH. Newreka Green Synth Technologies. Green Chemistry in Real World Practice. Case Study from Pharmaceutical Industry (igcw, Industrial Green Chemistry World)
(<http://blog.industrialgreenchem.com/2009.....>)]

.....

8. Πράσινη Χημεία και Βιώσιμη Γεωργία

8.1. Παγκόσμιος Πληθυσμός και η Διατροφική Κρίση

Ο Παγκόσμιος πληθυσμός στη Γη επί χιλιάδες χρόνια παρέμενε αρκετά χαμηλός λόγω των παρασιτικών και λοιμωδών νοσημάτων, τις επιδημίες και τον χαμηλό μέσο όρο προσδόκιμου ζωής, που δεν ξεπέρασε τα 35 έτη. Το 1000 μ.Χ. ο πληθυσμός των ανθρώπων στον πλανήτη Γη ήταν μόλις 275 εκατομμύρια και το 1850 έφτασε τα 1,2 δισεκατομμύρια.

Ο Μεσαίωνας ήταν μία περίοδος με σημαντική εξάπλωση της πείνας και των επιδημιών. Η πείνα και η κακή διατροφή ήταν επίσης σημαντικές αιτία υψηλής θνησιμότητας, ιδιαίτερα για τα νήπια και τα παιδιά. Η πείνα επανέρχονταν περιοδικά σε όλη τη διάρκεια του 14ου αιώνα, ακόμα και στις καλές χρονιές. Η δυσκολία επιβίωσης φαίνεται από το μέσο όρο ζωής για έναν απλό άνθρωπο, που ήταν: 30 χρόνια. Σύμφωνα με τα αρχεία της βασιλικής οικογένειας της Αγγλίας, ο μέσος όρος προσδόκιμου ζωής των πιο καλοζωισμένων ανθρώπων έφτανε τα 35 χρόνια.

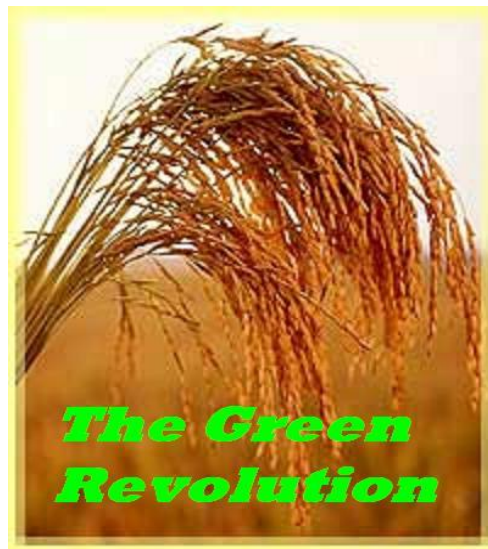
Την περίοδο της Μεγάλης Πείνας (ξεκίνησε το 1315) ο μέσος όρος ζωής έπεσε στα 30 έτη. Εκείνη την εποχή, ασυνήθιστα υψηλές και αδιάκοπες βροχοπτώσεις ταλαιπώρησαν το μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης. Οι βροχές κατέστρεψαν μεγάλο μέρος της αγροτικής παραγωγής. Το ψωμί έγινε δυσεύρετο. Οι τιμές ανέβηκαν υπερβολικά. Τα διάφορα ζώα που είχαν στα σπίτια τους θανατώθηκαν για να φαγωθούν. Παιδιά εγκαταλείπονταν στους δρόμους. Οι άνθρωποι αναζητούσαν στα δάση καρπούς, ρίζες και χόρτα για να τραφούν. Πολλοί πέθαναν από πνευμονία και άλλες αρρώστιες. Άλλοι πέθαναν απλά από την πείνα. Αργότερα υπήρξε μία επιδημία πανώλης (Μαύρος Θάνατος, Black death) και ο μέσος όρος προσδόκιμου ζωής έπεσε στα 17 έτη.

Το 1900 ο πληθυσμός έφτασε τα 1,6 δισεκατ. Η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού τον 20^ο αιώνα ήταν ραγδαία και από 2,55 δισεκατομμύρια το 1950 υπερδιπλασιάστηκε και έφτασε τα 6,8 δισεκατ. το 2008. Τα τελευταία χρόνια ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται κατά 78 εκατομμύρια κάθε χρόνο. Ο πληθυσμός αυτός έχει ολοένα μεγαλύτερες διατροφικές απαιτήσεις και η παραγωγή τροφίμων πρέπει να αυξάνεται αλματωδώς για να ανταποκριθεί οδηγώντας αναπόφευκτα σε διατροφική κρίση ολόκληρη την ανθρωπότητα.^{1,2}

Οι μεγάλες εποχές διατροφικών κρίσεων και πείνας σε παγκόσμια κλίμακα είχαν τις τελευταίες δεκαετίες περιοριστεί μόνο σε ορισμένες Αφρικανικές χώρες. Σε παγκόσμια κλίμακα παράγονται αρκετά τρόφιμα για τις ανάγκες του πληθυσμού, αλλά η κατανομή των τροφίμων είναι άνιση μεταξύ ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών. Πολλές Αφρικανικές χώρες έχουν πρόβλημα πείνας για μεγάλες ομάδες πληθυσμού, με θλιβερές

εξάρσεις σε εποχές υψηλής ξηρασίας ή καταστροφών της σοδειάς από πλημμύρες, επιδρομές εντόμων, κ.λπ.³⁻⁵

Υπολογίζεται ότι στην τελευταία δεκαετία του 20^{ου} αιώνα, ένα δισεκατομμύριο άτομα κάθε χρόνο δεν είχαν αρκετά τρόφιμα για τις ανάγκες τους και 400 εκατομμύρια άνθρωποι είναι χρόνια υποσιτισμένοι. Κάθε χρόνο 11 εκατομμύρια παιδιά (μεταξύ της ηλικίας ενός και πέντε ετών) πεθαίνουν από την πείνα και σειρά ασθενειών που σχετίζονται με τον υποσιτισμό.⁶⁻⁸ Η ποσότητα τροφίμων αν και αυξήθηκε σημαντικά δεν μπορεί να ακολουθήσει την πορεία της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού και η διατροφική ανασφάλεια συνεχίζεται.^{9,10}



Σχήμα 8.1. Η «Πράσινη Επανάσταση» κατάφερε να προσφέρει τα απαιτούμενα τρόφιμα με σημαντική αύξηση της απόδοσης σιτηρών και ρυζιού, αλλά οι επιπτώσεις στο περιβάλλον ήταν αρνητικές

Μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο και ιδιαίτερα στην αρχή της δεκαετίας του 1960, ξεκίνησαν πολυάριθμες έρευνες για βελτίωση των αποδόσεων βασικών διατροφικών καλλιεργειών. Η φάση αυτή είχε την εικόνα της «πράσινης επανάσταση» με τη χρησιμοποίηση ποικιλιών και υβριδικών σπόρων (σιτάρι, ρύζι, σόγια κ.λπ) με μεγάλες αποδόσεις. Η προσπάθεια αυτή είχε εκπληκτικά αποτελέσματα, ιδιαίτερα στην Ινδία και σε άλλες ασιατικές χώρες, που με αυτό τον τρόπο ξεπέρασαν το φάσμα της χρόνιας πείνας μεγάλου τμήματος του πληθυσμού τους. Η κατάσταση αυτή αποκαλείται τώρα «πράσινη επανάσταση» (“Green Revolution”). Φυσικά οι μεγάλης απόδοσης σπόροι και ποικιλίες υβριδίων απαιτούσαν υψηλή χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, επιστημονική διαχείριση καλλιεργειών, εκμηχάνιση με μοντέρνα γεωργική τεχνολογία και συστηματική άρδευση.¹¹

Παρόλα αυτά, ακόμη και σήμερα η πείνα απειλεί περισσότερο από 800 εκατομμύρια ανθρώπους στον πλανήτη Γη. Ο υποσιτισμός, η διατροφική ανασφάλεια και οι άσχημες συνθήκες υγιεινής λόγω ανεπαρκών υποδομών σε αγροτικές περιοχές, είναι τα κύρια χαρακτηριστικά των αναπτυσσόμενων χωρών, ιδιαίτερα στις αποκαλούμενες χώρες του Τρίτου Κόσμου. Αντίθετα, στις ανεπτυγμένες χώρες η υπερκατανάλωση τροφίμων, ιδιαίτερα ζωικών λιπών και κρέατος, και το πρόβλημα της παχυσαρκίας (ορισμένοι επιστήμονες

μιλούν για επιδημία παχυσαρκίας) απειλεί από την αντίθετη πλευρά την υγεία εκατομμυρίων πολιτών. Η εντατικοποίηση του πρωτογενούς τομέα της παραγωγής γεωργικών προϊόντων ζωικής και φυτικής προέλευσης, η ραγδαία ανάπτυξη τεχνολογιών μεταποίησης και συντήρησης τροφίμων και η υπερκατανάλωση «βιομηχανοποιημένων τροφίμων», δημιούργησαν καινούργια πρότυπα διατροφής και διαφοροποίησαν σημαντικά τις διατροφικές συνήθειες των ανθρώπων.^{12,13}

Σύμφωνα με το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα του ΟΗΕ (UNEP), ο συνδυασμός κλιματικών αλλαγών, υποβάθμισης του εδάφους [(διάβρωση, ερημοποίηση (desertification)], μείωση της ποιότητας των καλλιεργημένων εδαφών, παρατεταμένη ξηρασία και ανεπάρκειας υδάτινων πόρων, μπορούν να προκαλέσουν μείωση της παγκόσμιας παραγωγής τροφίμων σε ποσοστό, περίπου, 25% μέχρι το 2050.¹⁴

Η πιθανότητα της υπερθέρμανσης του πλανήτη πιστεύεται ότι θα επιταχύνει την ήδη υπάρχουσα- παγκόσμια διατροφική κρίση, καθώς σύμφωνα με εκτιμήσεις ο πληθυσμός της γης θα έχει αυξηθεί κατά δύο δισεκατομμύρια κατοίκους (περίπου στα 8,5-9 δισεκατ.) μέχρι το 2050.. Σύμφωνα με τις μελέτες και εκτιμήσεις της UNEP, η αύξηση των τιμών των τροφίμων που παρατηρήθηκε παγκοσμίως το 2008, οδήγησε άλλα 110 εκατομμύρια άτομα σε όλο τον κόσμο στην φτώχεια. Τις επόμενες μάλιστα δεκαετίες, οι τιμές των τροφίμων ίσως αυξηθούν δραματικά προσεγγίζοντας ποσοστά της τάξης του 50% σε σχέση με τις σημερινές τιμές.^{15,16}

Επιπλέον, στατιστικές μελέτες και εθνικές έρευνες αναφέρουν ότι τεράστιες καλλιεργημένες εκτάσεις σε παγκόσμια κλίμακα έχουν καταστεί ακατάλληλες για καλλιέργεια. Συγχρόνως και οι κατάλληλες για αλιεία περιοχές των θαλασσών μειώνονται βαθμιαία με πτώση των αλιευμένων ποσοτήτων. Η γεωργική παραγωγή εξαρτάται επάρκεια των υδάτινων πόρων και όλες οι μελέτες εκτιμούν ότι η κλιμακούμενη απώλειά τους θα οδηγήσει σε μείωση της καλλιέργειας των δημητριακών κατά 12%. Ακόμη και τώρα τα παράσιτα προκαλούν σημαντικές καταστροφές. Οι ολοένα και συχνότερες επιζήμιες επιδρομές εντόμων, οι αρρώστιες και οι ιοί στους σπόρους ίσως έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων παγκοσμίως κατά 6%. Άρα μόνο η συστηματική βελτίωση των γεωργικών καλλιεργειών μπορεί να ανταποκριθεί στην αύξηση του πληθυσμού.¹⁷

Η παγκόσμια παραγωγή των κυριότερων τροφίμων έχει αυξηθεί δραματικά για να ανταποκριθεί στη ζήτηση και στις σημαντικές διατροφικές αλλαγές των τελευταίων δεκαετιών. Η κατανάλωση κρέατος και γαλακτοκομικών προϊόντων ολοένα και αυξάνεται. Η παγκόσμια παραγωγή κρέατος αναμένεται να υπερδιπλασιαστεί από τους 229 εκατ. τόνους (1999-2001) σε 465 εκατ. τόνους μέχρι το 2050. Η παραγωγή γάλακτος προβλέπεται να αυξηθεί από του 580 εκατομμύρια τόνους σε 1043 εκατ. τόνους. Στην ίδια περίοδο εκτιμάται σε παγκόσμιο επίπεδο η μείωση της παραγωγής σίτου της τάξης του 5%, αισθητή αύξηση της κατανάλωσης κατά 2% και σημαντική πτώση των αποθεμάτων κατά 10% περίπου, τα οποία ωστόσο αναμένεται να παραμείνουν σε συγκριτικά υψηλά επίπεδα (174 εκατ. τόνοι.). Η παγκόσμια παραγωγή ρυζιού (το 2010) έφθασε τα 456 εκατ. τόνους, έναντι 441 εκατ. τόνων. Παρόμοια διακυμάνσεις για αυξήσεις αλλά και πιθανές μειώσεις έχουν σημειωθεί ή αναμένεται να σημειωθούν λόγω μειωμένων αποθεμάτων νερού, της διάβρωσης εδαφών, της κλιματικής αλλαγής και της ρύπανσης του περιβάλλοντος από λιπάσματα και φυτοφάρμακα.¹⁸⁻²⁰

8.2. Νέες Τάσεις και Γεωργικές Πρακτικές για Βιώσιμη Γεωργία;

Η συμβατική γεωργία των τελευταίων δεκαετιών στηρίχθηκε στην εκμηχάνιση των γεωργικών πρακτικών και την εντατική μονοκαλλιέργεια. Η άφθονη χρήση χημικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων (ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα, μυκητοκτόνα, κ.λπ), οι μοντέρνες τεχνολογίες άρδευσης και το βαθύ όργωμα ήταν οι κλασικές μέθοδοι που επεκτάθηκαν από ανεπτυγμένες σε αναπτυσσόμενες χώρες. Η συμβατική γεωργία ανταποκρίθηκε στις ανάγκες για περισσότερα τρόφιμα, αλλά όπως ήταν φυσικό είχε επιπτώσεις στην υγεία των αγροτών (δηλητηριάσεις από φυτοφάρμακα) και στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Ιδιαίτερα συνέβαλε στη ρύπανση των εδαφών, τη νιτρορύπανση νερών, τη διάβρωση εδαφών, στην υπερβολική χρήση νερού (προκαλώντας αύξηση της αλατότητας ή εναλάτωσης (salinity) υπογείων νερών), υπολείμματα φυτοφαρμάκων στα τρόφιμα και στα υδατικά συστήματα, κ.λπ).

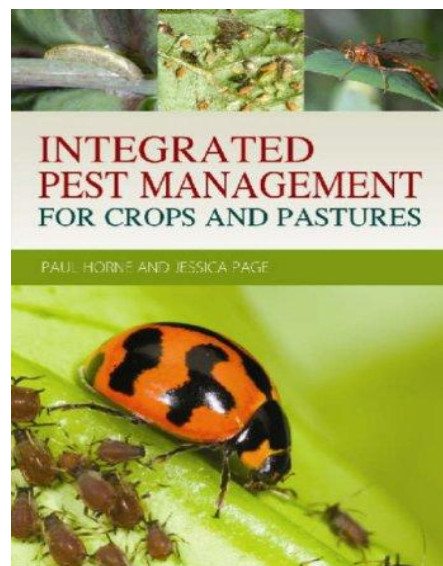
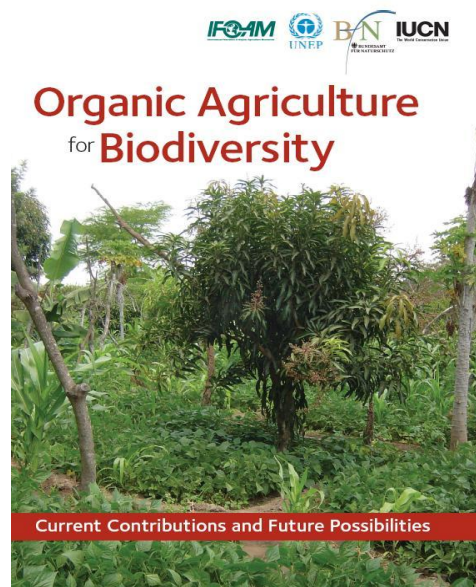
Τα αρνητικά φαινόμενα της συμβατικής γεωργίας είναι γνωστά και τις τελευταίες δεκαετίες έγιναν αρκετές προσπάθειες για να βελτιωθούν ορισμένες πλευρές της. Η Πράσινη Χημεία και η Πράσινη Τεχνολογία πιστεύουν πολλοί επιστήμονες ότι μπορούν να συμβάλλουν αποφασιστικά σε όλα τα στάδια των γεωργικών διεργασιών. Η χρήση λιγότερων λιπασμάτων με τη τεχνολογική βελτίωση του διασκορπισμού τους και της παραμονής τους στο έδαφος, σύνθεση λιγότερο τοξικών χημικών φυτοφαρμάκων αλλά και παρασκευή βιολογικών δραστικών φυτοφαρμάκων (π.χ. φερομόνες, βιολογικές παγίδες), αλλαγές στον τρόπο οργώματος και τεχνολογικές βελτιστοποιήσεις των γεωργικών πόρων, μείωση της διάβρωσης των εδαφών με βελτιωτικά εδάφους (π.χ. πολυακρυλαμίδιο), αλλαγές στις τεχνικές άρδευσης, κ.λπ., είναι μερικές από τις τεχνικές που προτάθηκαν. Οι επιστήμονες και οι ειδικοί σε γεωργικά και περιβαλλοντικά θέματα συμφωνούν ότι απαιτείται να εφαρμοσθούν μεθοδολογίες που να προβάλλουν τη βιώσιμη ή αειφόρος γεωργία (sustainable agriculture).²¹

Τις τελευταίες δεκαετίες έγιναν όμως και σημαντικές αλλαγές στις μεθοδολογίες καλλιεργητικών τεχνικών και κτηνοτροφικών πρακτικών. Παράλληλα με τις βελτιώσεις που εφαρμόστηκαν στη συμβατική γεωργία, αναπτύχθηκαν διάφορες παραλλαγές.

Η **Βιολογική γεωργία** (Organic Agriculture) έδωσε έμφαση στο περιβάλλον και μείωνε σημαντική τη χρήση χημικών ουσιών (με αντίστοιχη χρήση κοπριάς, κομπόστ), ήπιες βιολογικές μέθοδοι αντιμετώπισης παρασίτων και μικρότερης απόδοσης καλλιέργειες. Φυσικά η βιολογική γεωργία έχει περιορισμένες δυνατότητες αλλά προτείνει και ορισμένες «ορθές» πρακτικές που μπορούν να εφαρμοσθούν σε μεγάλες καλλιεργημένες εκτάσεις.^{22,23}

Η άλλη μέθοδος αποκαλείται **Ορθή Γεωργική Πρακτική (ΟΓΠ)**. (Good Agricultural Practices , GAP). Ένα είδος γεωργίας μεταξύ συμβατικής και βιολογικής γεωργίας. Ο «συμβιβασμός» των δύο μεθόδων παραγωγής με την ΟΓΠ έχει στόχο την πλήρη κάλυψη των απαιτήσεων του σύγχρονου καταναλωτή, την επαρκή παραγωγή τροφίμων, την προστασία της υγείας του γεωργού, και την επιστημονική πρόληψη και διαχείριση των επιπτώσεων στο περιβάλλον.

Η ΟΓΠ εφαρμόζει διάφορες πρακτικές όπως το ήπιο όργωμα του εδάφους (ή και μη όργωμα), την αμειψισπορά (εναλλαγή καλλιεργειών στο ίδιο χωράφι και αγρανάπαυση), τον καλύτερο εμπλουτισμός του εδάφους σε θρεπτικά υλικά), την περιορισμένη λίπανση, την προσεκτική διαχείριση υδάτινων πόρων, την φυτοπροστασία με νέα γενιά φυτοφαρμάκων και βιολογικές μεθόδους, τη σωστή διαχείριση αυτοφυούς χλωρίδας, τις ήπιες μορφές συγκομιδής, τη διαχείριση υπολειμμάτων καλλιέργειας, και τη διαχείριση γεωργικών απορριμμάτων.²⁴⁻²⁶



Σχήμα 8.2. Η Βιολογική Γεωργία, η Ορθή Γεωργική Πρακτική και η Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παρασίτων συγκλίνουν προς τη Βιώσιμη ή Αειφόρο Γεωργία. Ο βασικός σκοπός είναι η αντιμετώπιση της διατροφικής κρίσης με ήπιες επιπτώσεις στο περιβάλλον, η προστασία των πλουτοπαραγωγικών φυσικών πόρων και η υγεία των εργαζομένων και των καταναλωτών

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει καθιερώσει το Ευρωπαϊκό πρωτόκολλο πιστοποίησης EUREPGAP επειδή ακριβώς το θέμα της ποιότητας των προϊόντων δημιουργούσε πάντοτε μεγάλη ανασφάλεια στους καταναλωτές. Η «Ορθή Γεωργική Πρακτική» στηρίζεται αποκλειστικά στην παραγωγή προϊόντων, πιστοποιημένων σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρωτόκολλο EUREPGAP. (foodqualityschemes.jrc.ec.europa.eu/eu/..6-Eurepgap_en.pdf) Πρόκειται για ένα παγκοσμίως αναγνωρισμένο εμπορικό πρωτόκολλο, το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο εγγράφων, που σχεδιάστηκε από τη διεθνή συνεργασία ευρωπαϊκών αλυσίδων λιανεμπορίου και αγροτικών φορέων, έτσι ώστε να υπάρχει ένα γενικό μοντέλο ορθής καλλιεργητικής πρακτικής που να εφαρμόζεται διεθνώς.

Τις τελευταίες δεκαετίες εφαρμόζεται διεθνώς και η σωστή διαχείριση των φυτοφαρμάκων. Η **Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παρασίτων** (Φυτοπροστασίας) (Integrated Pest Management, IPM), Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η ΟΔΠ ορίζεται από την Οδηγία EU 2009/128. Η ΟΔΠ σημαίνει προσεκτική θεώρηση όλων των διαθέσιμων μεθόδων φυτοπροστασίας και συγκερασμό των πλέον κατάλληλων μέτρων, που δυσχεραίνουν την ανάπτυξη πληθυσμών παθογόνων οργανισμών. Συγχρόνως προτείνει τη χρήση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων και άλλων μορφών παρέμβασης σε επίπεδα που είναι οικονομικά και οικολογικά αποδεκτά και μειώνουν ή ελαττώνουν τους κινδύνους για την υγεία του ανθρώπου και παράλληλα περιορίζουν τις αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Ολοκληρωμένη διαχείριση στη Φυτοπροστασία δίνει έμφαση στην προστασία μιας καλλιέργειας με την κατά το δυνατόν μικρότερη επιρροή στα αγροσυστήματα και στα οικοσυστήματα, ενθαρρύνοντας φυσικούς μηχανισμούς φυτοπροστασίας. Η ΟΔΠ καλύπτεται με σειρά νομοθετικών μέτρων για τη γεωργία και το περιβάλλον που θέτει αυτές τις έννοιες σε εφαρμογή στο πλαίσιο της κοινής αγροτικής πολιτικής. Η ΟΔΠ προωθεί τη μειωμένη χρήση φυτοφαρμάκων, μικρότερης τοξικότητας και με πρακτικές που δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον και δεν αφήνουν υπολείμματα στα τρόφιμα.

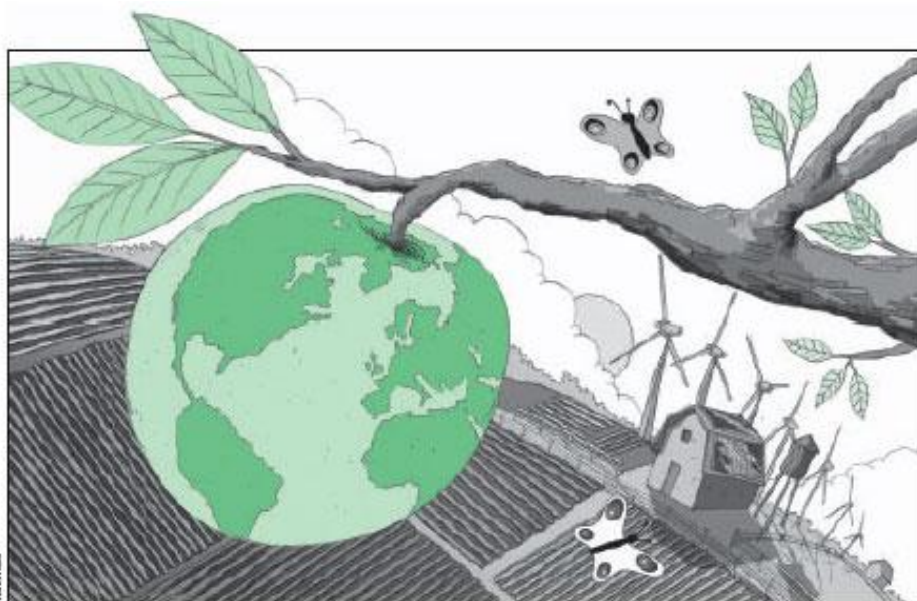
Συγχρόνως, σε όλες τις ανεπτυγμένες χώρες υπάρχει αυστηρό σύστημα παρακολούθησης, ανώτατα όρια φυτοπροστατευτικών ουσιών, έλεγχοι υπολειμμάτων και μικροβιολογικής μόλυνσης τροφίμων²⁷

8.3. Διατήρηση Ποιότητας Εδαφών. Παραγωγή Τροφίμων

Ένα από τα μεγάλα προβλήματα της γεωργίας είναι η διάβρωση των εδαφών. Τα τελευταία χρόνια γίνονται μελέτες διατήρησης της ποιότητας των εδαφών. Ερευνητές μελετούν διάφορες συμπληρωματικές γεωργικές πρακτικές.: α) ελάχιστη διατάραξη του εδάφους (μέσω μειωμένου ή καθόλου οργώματος) για τη συντήρηση της δομής του εδάφους, της πανίδας του εδάφους και της οργανικής ουσίας, β) μόνιμη κάλυψη του εδάφους (προστατευτικές καλλιέργειες, υπολείμματα και προστατευτικά στρώματα) για την προστασία του εδάφους και την εξάλειψη ζιζανίων, γ) διαφοροποιημένες εναλλαγές καλλιεργειών και συνδυασμούς καλλιεργειών, που προωθούν τους μικροοργανισμούς του εδάφους και εμποδίζουν τα παράσιτα, τα ζιζάνια και τις ασθένειες των φυτών.

Η γεωργία διατήρησης της ποιότητας των εδαφών στοχεύει στην αύξηση της γεωργικής παραγωγής με τη βελτιστοποίηση της χρήσης γεωργικών πόρων καθώς και στη μείωση της ευρείας υποβάθμισης του

εδάφους μέσω της ολοκληρωμένης διαχείρισης των διαθέσιμων εδαφικών, υδάτινων και βιολογικών πόρων συνδυάζοντας κατάλληλα τις διαθέσιμες εισροές. Το μηχανικό όργωμα αντικαθίσταται από βιολογική ανάμιξη του εδάφους, μέσω του οποίου οι μικροοργανισμοί του εδάφους, οι ρίζες και η λοιπή πανίδα του εδάφους αναλαμβάνουν τη λειτουργία του οργώματος και την εξισορρόπηση των θρεπτικών ουσιών του εδάφους. Η γονιμότητα του εδάφους (θρεπτικές ουσίες και νερό) διαμορφώνεται μέσω της διαχείρισης της κάλυψης του εδάφους, τις εναλλαγές καλλιεργειών και των έλεγχου των ζιζανίων.



Σχήμα 8.3. Η βιώσιμη ή αειφόρος γεωργία είναι ο μελλοντικός στόχος της ανθρωπότητας. Διατροφή του πληθυσμού με τα αναγκαία τρόφιμα, αλλά με σύγχρονη προστασία του περιβάλλοντος, των φυσικών πόρων, των οικοσυστημάτων και της βιοποικιλότητας (biodiversity).

Στην Ευρώπη (Directorate-General for Agriculture and Rural Development) αποκαλείται **the SoCo project** (η έρευνα διεξάγεται στο Joint Research Centre's, Ispra, Ιταλία, <http://soco.jrc.ec.europa.eu>). Στην Ευρώπη, το σύστημα απευθείας σποράς (no-tillage) αντιπροσωπεύει σχεδόν το ένα δέκατο της χρησιμοποιούμενης γεωργικής έκτασης (ΧΓΕ) της Φινλανδίας και της Ελλάδας, και 5% της Δημοκρατίας της Τσεχίας, της Σλοβακίας, της Ισπανίας και του Ηνωμένου Βασιλείου. Το μειωμένο όργωμα εφαρμόζεται σχεδόν στις μισές ΧΓΕ στη Φινλανδία και στο Ηνωμένο Βασίλειο, και στο ένα τέταρτο της ΧΓΕ της Πορτογαλίας, της Γερμανίας και της Γαλλίας.

Όλες αυτές οι γεωργικές πρακτικές, οι νέες τάσεις και πειραματισμοί που εμφανίζονται σίγουρα θα μπορούσαν να εξασφαλίσουν νέα προϊόντα και τεχνολογικές βελτιώσεις με την βοήθεια της Πράσινης Χημείας και Μηχανικής. Οι εφαρμογές θα μπορούσαν να είναι στην μείωση της διάβρωσης των εδαφών, την καλύτερη εφαρμογή λιπασμάτων, σε νέες φυτοπροστατευτικές ουσίες (λιγότερη τοξικότητα, βιοδιασπασιμότητα), μειωμένη χρήση νερού.

Η τάση που έχει σημειωθεί την τελευταία δεκαετία στη γεωργία είναι η **Πράσινη Ανάπτυξη (Green Growth)**, δηλαδή ανάπτυξη στις επόμενες δεκαετίες για να ανταποκριθεί στις ανάγκες του αυξημένου πληθυσμού, αλλά

με παράλληλη μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον και σε σχέση με την επερχόμενη κλιματική αλλαγή. Είναι γνωστό ότι σε παγκόσμια κλίμακα η καλλιεργούμενη γη στη διάρκεια του 1985-2000 αυξήθηκε μόνο κατά 5,5%, όταν ο πληθυσμός αυξήθηκε κατά 24%. Η αυξημένη παραγωγή τροφίμων όχι μόνο ανταποκρίθηκε στις ανάγκες που πληθυσμού (ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες) αλλά και στην σημαντική απώλεια τροφίμων μέσα από το σύστημα διανομής και κατανάλωσης. Υπολογίζεται ότι το 30% των τροφίμων καταστρέφεται κυριολεκτικά μέσα από τη διεργασία, συγκομιδής, μεταφοράς, συσκευασίας, εμπορικής διανομής και κατανάλωσης (το 50% των τροφίμων «πετιούνται» ως απόβλητα στις χωματερές, π.χ. λόγω ημερομηνιών λήξεως σε συσκευασμένα φρέσκα προϊόντα). Οι επιστήμονες θεωρούν ότι υπάρχει μεγάλη ανάγκη να αναθεωρήσουμε τις τάσεις αυτές και να βρεθούν τρόποι μεγαλύτερης αποδοτικότητας.²⁸⁻³⁰

Το 2050 οι ανάγκες σε τρόφιμα (γεωργικά και κτηνοτροφικά προϊόντα και αλιεύματα) θεωρούνται ότι θα διπλασιαστούν, άρα απαιτούνται να βρεθούν νέοι βελτιωμένοι τρόποι παραγωγής με παράλληλη προστασία του περιβάλλοντος. Η χρήση νερού , που σήμερα είναι της τάξης του 40% για γεωργικούς σκοπούς πρέπει να περιορισθεί. Υπολογίζεται ότι 50-47% του πληθυσμού (ιδιαίτερα σε αναπτυσσόμενες χώρες) θα ζει το 2050 σε περιοχές με μεγάλα προβλήματα έλλειψης νερού. Πάνω από ένα δισεκατομμύριο άτομα στον πλανήτη μας στηρίζεται αποκλειστικά στα ψάρια για την κύρια πηγή πρωτεϊνών. Υπολογίζεται ότι αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3-5°C θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής σιταριού και αραβόσιτου, μειώσεις στην παραγωγή χοιρινού και αγελαδινού κρέατος.³¹

8.4. Μπορεί η Πράσινη Χημεία να Συμβάλλει στη Βιώσιμη Γεωργία;

Η Πράσινη Χημεία έχει θέσει στόχους να συμβάλλει σε όλους τους τομείς που θα μπορούσαν να βοηθήσουν τον γεωργικό τομέα, από τις καλλιέργειες και τις κτηνοτροφικές τεχνικές μέχρι τη συσκευασία και το εμπόριο των αγροτικών προϊόντων, με επεμβάσεις που θα στηρίζονται στις αρχές της πράσινης χημείας και πράσινης μηχανικής. Βασικός στόχος η βιώσιμη γεωργία και η προστασία του περιβάλλοντος, των αγροτών και των καταναλωτών.³²

Η βελτίωση των καλλιεργημένων εδαφών, η προστασία από την διάβρωση και η αναβάθμιση της ποιότητας του εδάφους είναι ένα εξαιρετικά δύσκολο ζητούμενο, αλλά με μεγάλες δυσκολίες για την επίτευξή του. Η χρήση όσο το δυνατό μικρότερων ποσοτήτων λιπασμάτων με παράλληλη χρήση χημικών που θα βοηθήσουν στην ταχύτερη παραλαβή από τις ρίζες των φυτών είναι ένα άλλο ζητούμενο. Η χρήση χαμηλής τοξικότητας φυτοφαρμάκων και νέων τεχνικών αντιμετώπισης των εχθρών των φυτών είναι 'άλλο μεγάλο πρόβλημα για το οποίο έχουν γίνει σημαντικά βήματα. Η ανακάλυψη και εφαρμογή βιολογικών μεθόδων καταπολέμησης παρασίτων είναι διαδεδομένη. Μέχρι τώρα έχουν καταγραφεί πολλά βιο-παρασιτοκτόνα με ικανοποιητική απόδοση και ήπια επίδραση στο περιβάλλον (π.χ. *Bacillus thuringensis*)

Η βιοτεχνολογία μπορεί επίσης να βοηθήσει σε μεγάλο βαθμό προς τον τομέα αυτό. Αν και υπάρχει μεγάλη διαμάχη για τα μεταλλαγμένα φυτά,

πολλοί επιστήμονες δέχονται ;το μέλλον της βιώσιμης γεωργίας πρέπει να στηριχθεί σε βιοτεχνολογικές βελτιώσεις και νέα βιοτεχνολογικά προϊόντα που απαιτούν λιγότερα φυτοφάρμακα, είναι ανθεκτικά στην ξηρασία, και τα συστατικά τους είναι ενισχυμένα σε διάφορες βιταμίνες και ιχνοστοιχεία.

Σε όλες αυτές τις βελτιώσεις που απαιτεί η βιώσιμη γεωργία, η Πράσινη Χημεία μπορεί να συμβάλλει αλλά οι εφαρμογές τους θα απαιτήσουν αρκετά χρόνια για να αποδώσουν.

A) Βελτίωση και διαχείριση της ποιότητας γεωργικών εδαφών.

Οι επιστήμονες προσπαθούν να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα της διάβρωσης των καλλιεργημένων εδαφών. Η τεχνολογία του πολυακρυλαμιδίου είναι μία τεχνική που εφαρμόστηκε μέχρι τώρα.³³ Η χημεία, γενικά, έχει συνεισφέρει σε διάφορες μεθόδους προστασίας του εδάφους και των καλλιεργειών και με τεχνολογικές εφαρμογές προσπαθεί να ανατρέψει το σημαντικό αυτό πρόβλημα.³⁴ Η βιοτεχνολογία έχει προσφέρει επίσης σημαντικές τεχνικές και λύσεις για τη διάβρωση των εδαφών.³⁵

Η διάβρωση καλλιεργήσιμης γης είναι ένα διεθνές φαινόμενο, με ιδιαίτερη έμφαση σε αναπτυσσόμενες χώρες.³⁶ Η Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω του European Soil Bureau, το οποίο ανήκει στο Institute of Environment and Sustainability (Joint Research Centre, Ispra, Milan), ελέγχει και μελετάει λύσεις για το πρόβλημα της διάβρωσης εδαφών στην Ευρώπη.³⁷ Επίσης, υπάρχει και ένα διεθνές δίκτυο επιστημονικών εργαστηρίων (*Soil Erosion Network*) που παρακολουθούν συστηματικά τις περιοχές με τη μεγαλύτερη διάβρωση και τις επιστημονικές εφαρμογές που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν επιτυχώς για την αποτελεσματικά μείωση της διάβρωσης.³⁸

B) Νέα φυτοφάρμακα και βιολογικές εφαρμογές . Βιο-παρασιτοκτόνα

Οι φυτοπροστατευτικές ουσίες έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην προστασία της φυτικής και ζωικής παραγωγής επί πολλές δεκαετίες και βοήθησαν στην αύξηση της παραγωγής τροφίμων. Τα αρχικά πολυχλωριωμένα φυτοφάρμακα αποδείχθηκαν μεν αποτελεσματικά στην καταπολέμηση εντόμων αλλά προκάλεσαν σοβαρές δηλητηριάσεις σε αγρότες και εκτεταμένη ρύπανση του περιβάλλοντος. Πολλά από αυτά απαγορεύθηκαν ή τέθηκαν σε αυστηρούς κανονισμούς χρήσης. Στη σύνθεση νέων φυτοφαρμάκων ο στόχος είναι η χαμηλή τοξικότητα, η μικρή υπολειμματική δράση και τη υδρόλυση με την επίδραση φωτός και υγρασίας. Η Πράσινη χημεία έχει ως στόχο την παρασκευή φυτοφαρμάκων με χαμηλή τοξικότητα και περιορισμένη περιβαλλοντική επιβάρυνση. Τα νέα φυτοφάρμακα, όπως τα πυρεθροειδή (pyrethroids), τα νεονικοτινοειδή (neonicotinoids) και ρυθμιστές ανάπτυξης εντόμων (insect growth regulators) θεωρούνται φιλικά στο περιβάλλον. Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται βιολογικά εντομοκτόνα, όπως τα spinosyns, azadirachtin και παράγωγα, and *Bacillus thuringiensis*.³⁹⁻⁴²

Τα φυσικά αυτά παρασιτοκτόνα είναι κατάλληλα για πολλές δράσεις προστασίας φυτών. Τα **Νεονικοτινοειδή** (ή χλωρονικοτινύλια) είναι διασυστημικά εντομοκτόνα για αντιμετώπιση λεπιδοπτερών και κολεοπτερών σε πολλές καλλιέργειες. Σήμερα στην ομάδα των νεονικοτινοειδών υπάγονται οι ενώσεις acetamiprid, clothianolin, dinotefuran, imidacloprid, thiacloprid και thiamethoxam.

Οι **Σπινোসίνες** (spinosyns). Οι σπινোসίνες είναι δευτερογενείς μεταβολίτες του ακτινομύκητα *Saccharopolysporaspinososa*. Οι σημαντικότερες ενώσεις είναι οι spinosyns A και D, στο εμπόριο με το κοινό όνομα spinosad.

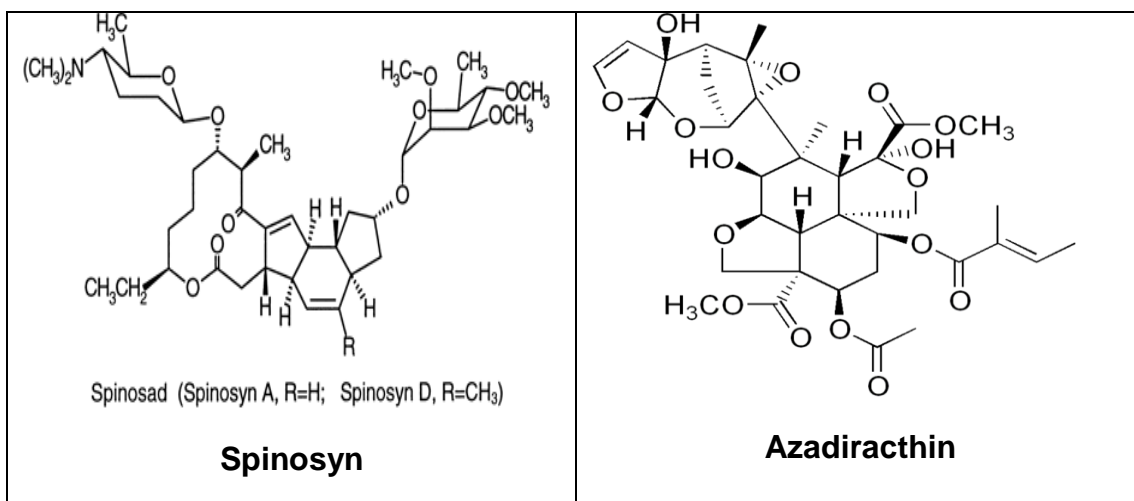
Οι **Αβερμεκτίνες** είναι φυσικά προϊόντα του δευτερογενούς μεταβολισμού ειδών του γένους *Streptomyces* που χαρακτηρίζονται από αξιόλογη ακαρεοκτόνο αλλά και εντομοκτόνο δράση. Οι έρευνες για την ανακάλυψη συνθετικών αναλόγων ουσιών των αβερμεκτινών (avermectin, Abamectin, και doramectin) οδήγησαν στην βιομηχανική σύνθεση ενώσεων όπως η emamectin και ivermectin που χρησιμοποιούνται ως βιο-παρασιτοκτόνα..

Τα ρυάνια (ryanodine) είναι εκχύλισμα αλκαλοειδών του φυτού *Ryania speciosa* που ενδημεί στη Ν. Αμερική. Το δραστικό συστατικό του είναι μίγμα του ryanodine (80%) και άλλων ρυανοειδών (ryanoids).

Το πύρεθρο (φυσική πυρεθρίνη) είναι εντομοκτόνο που χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια ως φυτικό παρασιτοκτόνο.. Ανήκει στην οικογένεια των χρυσάνθεμων τα οποία περιέχουν την δραστική ένωση πυρεθρίνη. Η εξαγωγή του πύρεθρου από τα άνθη του χρυσάνθεμου γίνεται σε εξειδικευμένα εργαστήρια με εκχύλιση με οργανικούς διαλύτες.

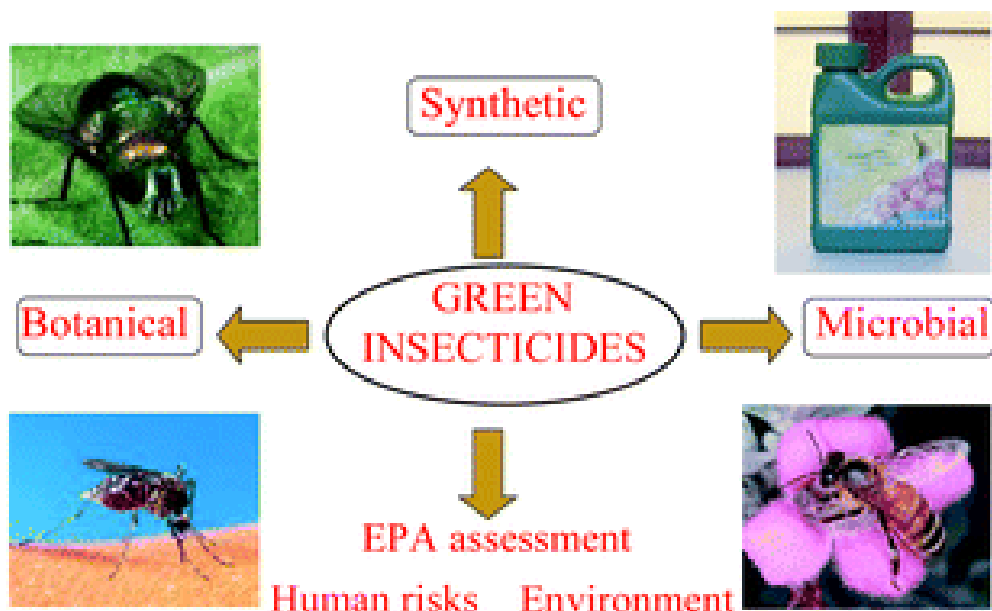
Η **αζαδιραχτίνη** (azadirachtin) προέρχεται από ένα αιθαλής τροπικό δέντρο που ονομάζεται Νήμ (Neem). Η επιστημονική του ονομασία είναι *Azadirachta indica*. Είναι εντομοκτόνο και εντομοαπωθητικό, με διασυστηματική δράση, δηλαδή εισέρχεται και στο εσωτερικό του φυτού μετά των ψεκασμό.

Ο Βάκιλος της Θουριγγίας (*Bacillus thuringiensis*) είναι ένα φυσικό εντομοκτόνο (πιστοποιημένο για βιολογικές καλλιέργειες) για να καταπολεμήσει τις κάμπιες, όπως το πράσινο σκουλήκι της Τομάτας (*Heliothis armigera*) κ.α.. Χρησιμοποιείται μόνο για τις κάμπιες ή σκουλήκια ή σαρανταποδαρούσες. Ο βάκιλος είναι μη τοξικός και με εκλεκτική δράση για τις προνύμφες των λεπιδόπτερω. Οι καρποί μπορούν να κοπούν 5 ημέρες μετά από τον τελευταίο ψεκασμό. Υπάρχουν στο εμπόριο πολλά σκευάσματα.



Σχήμα 8.5. α) **Spinosyn** εντομοκτόνο (φυσικό προϊόν που εκχυλίσθηκε από βακτήριο). Β) **Azadirachtin**, εκχύλισμα από το δένδρο neem, χρησιμοποιείται ως εντομοκτόνο, ενάντια σε κάμπιες, προνύμφες σκαθαριών, αφίδες (μελίγκρα, φυτόφειρα), μικρόβια φυτών, ακρίδες κ.λπ. Το Azadirachtin δεν είναι τοξικό στις μέλισσες.^{43,44}

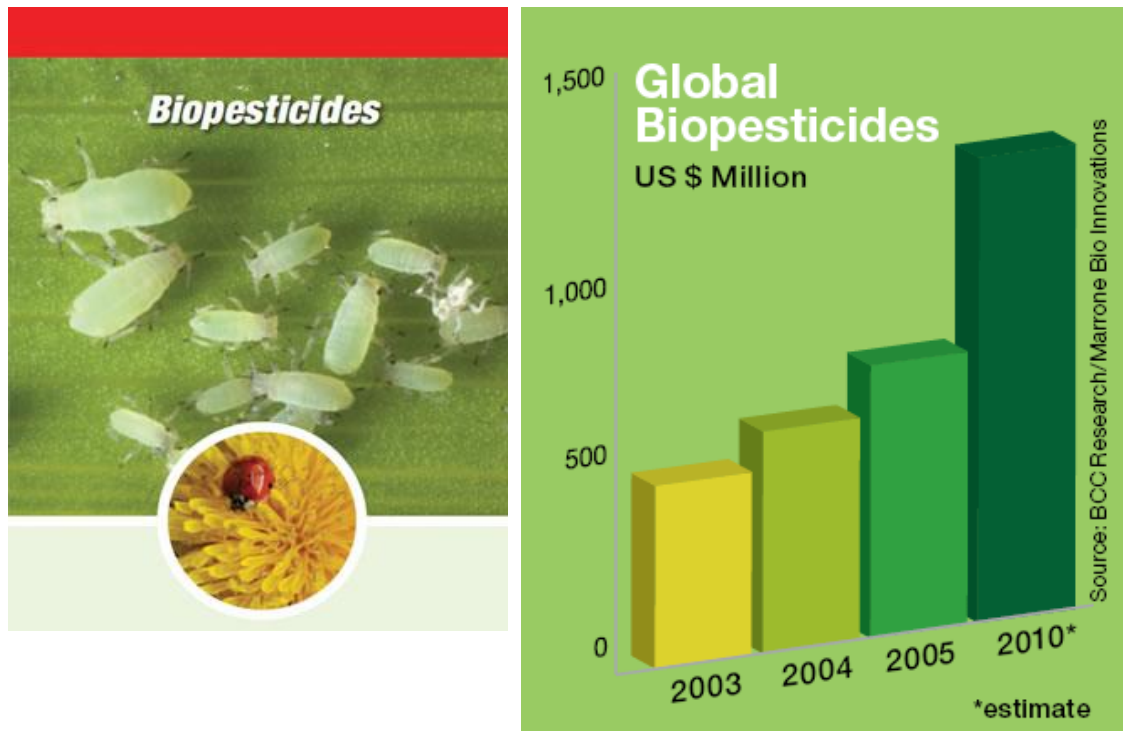
Η Πράσινη Χημεία κατευθύνει τις προσπάθειες των επιστημόνων για την παραγωγή νέων φυτοφαρμάκων με έμφαση στην προστασία των γεωργών και του περιβάλλοντος. Οι νέες ιδιότητες των φυτοφαρμάκων δεν είναι μόνο η δράση τους αλλά να συνδυάζουν αποτελεσματικότητα στην καταπολέμηση των εντόμων ή ζιζανίων και συγχρόνως να είναι φιλικά προς το περιβάλλον.



Σχήμα 8.4. Η Πράσινη Χημεία ενδιαφέρεται για τη σύνθεση νέων λιγότερο τοξικών φυτοφαρμάκων. Όπως και για τη χρήση μικροβιακών και βοτανολογικών εκχυλισμάτων που έχουν εντομοκτόνες ή ζιζανιοκτόνες ιδιότητες. Παράλληλα ελέγχονται οι επιδράσεις στο περιβάλλον και οι πιθανές τοξικές επιπτώσεις στον άνθρωπο (ιδιαίτερα τους αγρότες).

Τα Βιο-παρασιτοκτόνα (biopesticides) που έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται ολοένα και σε μεγαλύτερες ποσότητες σε πολλές χώρες είναι πολλών ειδών και παρασκευάζονται από μεγάλη ποικιλία φυτών, ζώων, μικροβίων, βακτηρίων και μίγματα με ανόργανα άλατα. Για παράδειγμα το λάδι κανόλα (canola oil, γίνεται από σπόρους ελαιοκράμβης με ισχυρές αντιοξειδωτικές ιδιότητες) και η ανθρακική σόδα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για φυτοφαρμακευτικές δράσεις. Την τελευταία δεκαετία έχουν καταχωρηθεί και πήραν άδειες χρήσης πάνω από 200 δραστικές βιο-φυτοφαρμακευτικές ουσίες και περίπου 1000 προϊόντα.^{45,46}

Οι κυριότερες κατηγορίες είναι: α) μικροβιολογικά φυτοφάρμακα των οποίων τα δραστικά συστατικά έχουν απομονωθεί από μικρόβια, βακτήρια, μύκητες, και πρωτόζωα. Υπάρχουν ορισμένοι μύκητες που καταπολεμούν μερικά ζιζάνια, ενώ άλλα είναι ισχυρά εντομοκτόνα. Ένα από τα πιο διαδεδομένα φυτοφάρμακα είναι ένα στέλεχος του βακίλου *Bacillus thuringiensis*, εξειδικευμένο για προνύμφες, μύγες και κουνούπια. β) φυτικά συστατικά με παρασιτοκτόνες ιδιότητες. Είναι γνωστές πολλές φυτοχημικές ουσίες με εντομοκτόνες και μυκητοκτόνες ιδιότητες. Αλλά απαιτείται να παρασκευασθούν με οργανικές συνθέσεις σε μεγάλες ποσότητες για να χρησιμοποιηθούν σε υψηλές συγκεντρώσεις.^{47,48}



Σχήμα 8.5. Τα βιο-παρασιτοκτόνα έχουν αρχίσει να διαδίδονται ολοένα και σε μεγαλύτερες ποσότητες σε πολλές χώρες την τελευταία δεκαετία. Αν και η δράση τους δεν είναι παρόμοια με τα συμβατικά φυτοφάρμακα έχουν ικανοποιητική δραστηριότητα για την καταπολέμηση πολλών κλασικών ασθενειών των φυτών.



Σχήμα 8.6. Πολλές εκδόσεις και επιστημονικά περιοδικά τα τελευταία χρόνια προβάλλουν τα βιο-παρασιτοκτόνα και τις περιβαλλοντικές τους επιδόσεις.

Στην ίδια κατηγορία υπάγονται φυτικές αρωματικές ουσίες (οι οποίες εκχυλίζονται με διαλύτες) που έλκουν έντομα σε παγίδες. Επίσης σεξουαλικές φερομόνες εντόμων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φυτοφάρμακα γιατί διακόπτουν τον κύκλο της αναπαραγωγής εντόμων. Τα περισσότερα βιολογικά φυτοφάρμακα είναι λιγότερο τοξικά από τις χημικές συνθετικές ουσίες και φιλικές στο περιβάλλον. Επίσης, υπάρχουν βιο-παρασιτοκτόνα που έχουν εκχυλισθεί από μικρόβια, ενώ άλλα είναι φυτικής προέλευσης και με διάφορες δράσεις στη αντιμετώπιση παρασίτων^{49,50}

Τα τελευταία χρόνια υπάρχουν και πολλές εκδόσεις, εξειδικευμένα επιστημονικά περιοδικά και συνέδρια για βιολογικά παρασιτοκτόνα και τη σχέση τους με τις αρχές της πράσινης χημείας.⁵¹⁻⁵³

Γ) Η Χρήση Μειωμένων Ποσοτήτων Λιπασμάτων στις Γεωργικές Καλλιέργειες

Η χρησιμοποίηση μικρότερων ποσοτήτων λιπασμάτων στις αγροτικές καλλιέργειες είναι μία ακόμη σημαντική επιστημονική περιοχή που προσπαθεί να μελετήσει και να ανακαλύψει εφαρμογές η Πράσινη Χημεία. Τα λιπάσματα σε μεγάλο βαθμό εξατμίζονται, δεν παραλαμβάνονται εύκολα από τις ρίζες των φυτών ή εκπλύνονται και ρυπαίνουν το έδαφος και το τα υδάτινα συστήματα σε αγροτικές περιοχές.

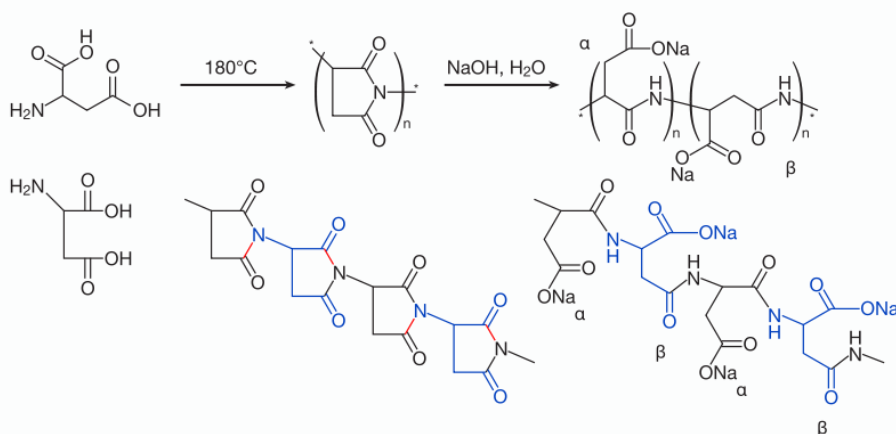
Η παγκόσμια παραγωγή λιπασμάτων υπολογίζεται στους 206 εκατομ. τόνους (2007-2008) και αναμένεται να αυξηθεί σε 241 εκατομ. τόνους το 2011-2012 η άνοδος στην κατανάλωση υπολογίζεται στο ~5%, φτάνοντας Η κατανάλωση λιπασμάτων για την ίδια περίοδο από 197 εκατομ. τόνους το 2010-2011 σε 216 εκατομ. τόνους το 2011-2012. Από αυτούς, οι 107 εκατ. τόνοι αφορούν αζωτούχα λιπάσματα, τα οποία κυριαρχούν μεταξύ των βασικών λιπασμάτων, 42 εκατ. τόνοι αφορούν φωσφορικά λιπάσματα και 29 εκατ. τόνοι είναι καλιούχα λιπάσματα.⁵⁴

Από τα αζωτούχα λιπάσματα η ουρία (NH_2CONH_2), σε παγκόσμια κλίμακα, καταλαμβάνει την πρώτη θέση, λόγω των πολλαπλών πλεονεκτημάτων της το κυριότερο των οποίων είναι ότι αποτελεί την πιο πλούσια πηγή αφομοιώσιμου αζώτου για τις καλλιέργειες. Αλλά, η ουρία έχει το μειονέκτημα εξατμίζεται εύκολα και μπορεί να χάσει μέχρι το 30% του αζώτου της.

Η Πράσινη Χημεία είχε επισημάνει το πρόβλημα εδώ και πολλά χρόνια. Για να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα αυτό η εταιρεία IMC-Agrico Co ανέπτυξε το προϊόν AGROTAIN όπου προστίθεται η χημική ουσία N-n-βουτυλοθειοφωσφορικό τριαμίδιο [N-(n-butyl thiophosphoric triamide), NBPT]. Η ουσία αυτή ενεργεί ως παρεμποδιστής του ενζύμου ουρεάση, μειώνοντας την υδρόλυση της ουρίας και έτσι δεν χάνεται με την εξάτμιση και δεν απαιτείται αυξημένη ποσότητα.⁵⁵



Το 1996 η εταιρεία Donlar Corporation (NanoChem Solutions, Inc) βραβεύθηκε με το βραβείο πράσινης χημείας στη ΗΠΑ, για την ανακάλυψη των βιοδιασπώμενου θερμικού πολυασπαρτικού οξέος (Thermal polyaspartate, TPA). Η ουσία αυτή όταν προστεθεί σε μικρές ποσότητες στο έδαφος (αντικατέστησαν ανάλογα μη βιοδιασπώμενα πολυακρυλικά άλατα) βοήθησε τα φυτά να αυξήσουν την παραλαβή θρεπτικών υλικών και λιπασμάτων. Με τον τρόπο αυτό δεν απαιτούνταν μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων και οι αποδόσεις των φυτών ήταν καλύτερες με μικρότερο κόστος.^{56, 57}



Σχήμα 8.7. Θερμική σύνθεση (180° C) του πολυασπαρτικού οξέος (άλας με νάτριο) που είναι βιοδιασπώμενο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη γεωργία ως ενισχυτικό της παραλαβής θρεπτικών συστατικών και λιπασμάτων από φυτά. .

Πειράματα με φωσφορικά λιπάσματα που περιέχουν τον φωσφόρο σε υδατοδιαλυτή μορφή έχουν πραγματοποιηθεί στον γεωργικό ερευνητικό σταθμό Rothamsted Experimental Station της Αγγλίας και με ανάμιξη μπορούν να αποβούν χρήσιμα στις γεωργικές καλλιέργειες. Ειδικές αναμίξεις με οργανική κοπριά (Phosphate Rich Organic Manure, PROM) και λειτουργεί αποτελεσματικά σε αλατούχα και αλκαλικά εδάφη ως φωσφορικό λίπασμα με μικρή υπολειμματική δράση.⁵⁸

Ορισμένα παραδείγματα ερευνητικών προσπαθειών για βελτιωμένα λιπάσματα ή βιο-υλικά που υποβοηθούν την παραλαβή λιπασμάτων από τα φυτά μπορεί να βρει κανείς στα Προεδρικά βραβεία Πράσινης Χημείας στις ΗΠΑ. Το Βραβείο του 2001 δόθηκε στη εταιρεία EDEN Bioscience Co, για την παραγωγή αγγελιαφόρων πρωτεϊνών (messenger proteins) , μη τοξικές φυσικές πρωτεΐνες που παράγονται με ζύμωση, προκαλούν την ανάπτυξη φυτών και συγχρόνως τα προστατεύουν από ασθένειες και παράσιτα. Το 2001 η εταιρεία Bayer Corporation; Bayer AG (technology acquired by LANXESS) βραβεύθηκε γιατί ανέπτυξε ως βιοδιασπώμενο χηλικό (συμπλεκτικό) αντιδραστήριο (biodegradable chelating agent) (Baypure™ CX iminodisuccinate). Το αντιδραστήριο αυτό προφυλάσσει, διορθώνει και μειώνει ελλείψεις ορυκτών αλάτων στα φυτά. Το 2004 η εταιρεία Jeneil Biosurfactant Company , βραβεύθηκε γιατί ανακάλυψε μία ραμνολιπιδική βιο-επιφανειοδραστική ουσία (Rhamnolipid biosurfactant). Η ουσία αυτή είναι βιοδιασπώμενη και με την επιφανειο-δραστικότητά της αυξάνει τη διείσδυση και διάχυτη των λιπασμάτων και των άλλων χημικών στις καλλιέργειες, τόσο στο έδαφος όσο και στο φύλλωμα. Συγχρόνως η ίδια ουσία είναι ενεργό βιο-μυκητοκτόνο.⁵⁹

8.5. Η Πράσινη Χημεία και Βιοτεχνολογία

Το περιοδικό Economist την 1^η Ιουλίου 2010 είχε άρθρο για τη βιοτεχνολογία και της πράσινη χημεία. Είναι προφανές ότι η Γεωργία και η Πράσινη Χημεία έχουν πολλά κοινά σημεία για ανάπτυξη στο μέλλον. Η βιομηχανική βιοτεχνολογία θεωρεί πλέον ως δεδομένο ότι μέρος της φυτικής και ζωικής παραγωγής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πρώτη ύλη παρασκευής βιοκαυσίμων, χημικών πρώτων υλών, πλαστικών και άλλων χημικών προϊόντων. Το 2020 πιστεύεται ότι τα προϊόντα των βιοδιυλιστηρίων θα εκτοξευθούν σε νέες αγορές της τάξης των 300 δισεκατομ. δολαρίων. Αλλά για να προκληθεί κρίση τροφίμων για τον αυξανόμενο πληθυσμό, πρέπει η γεωργία να βελτιώσει σημαντικά τις αποδόσεις των καλλιεργειών. Γιατί είναι γνωστό ότι οι καλλιεργούμενες εκτάσεις παραμένουν οι ίδιες ή και μικρότερες λόγω της κλιματικής αλλαγής, της διάβρωσης

ECONOMIST (1/7/2010)

Biotechnology

Chemistry goes green

*Behind the scenes, industrial biotechnology is getting going at last IS GREEN chemistry ready for take-off? Delegates at a big conference on "industrial biotechnology" held near Washington, DC, this week by Bio, the industry's umbrella organisation, seemed to think so. **Industrial biotech uses agricultural feedstocks**, rather than petroleum-based ones, to produce chemicals, plastics and fuels. McKinsey, a consultancy, says global industry revenues will grow from €116 billion (\$170 billion) in 2008 to as much as €450 billion by 2020. The World Economic Forum reckons the coming boom in "**biorefineries**" will create new markets worth almost \$300 billion by 2020*

Η Πράσινη Χημεία έχει να παίξει μεγάλο ρόλο για τη βιώσιμη γεωργία αλλά και για την προστασία του περιβάλλοντος και των οικοσυστημάτων. Οι μελλοντικές ανάγκες σε τρόφιμα, αλλά και σε πρώτες ύλες, καθώς οι βασικές πλουτοπαραγωγικές πηγές (υδρογονάνθρακες, άλλα ορυκτά καύσιμα, μέταλλα, κ.λπ) μειώνονται δραματικά, είναι τεράστιες. Η Αειφόρος ανάπτυξη του πλανήτη Γη είναι σε ένα σταυροδρόμι, η τεχνολογία και η επιστήμη μπορούν να λύσουν μερικά προβλήματα, αλλά δεν είναι αρκετό. Η Πράσινη Χημεία η Πράσινη Μηχανική (Τεχνολογία) πρέπει να αντιμετωπίσουν τις τεράστιες προκλήσεις του μέλλοντος, τόσο για την τύχη της ανθρωπότητας όσο και για το περιβάλλον, τα οικοσυστήματα και τη βιοποικιλότητα.⁶⁰⁻⁶²

Βιβλιογραφία

1. Ehrlich PR. *The Population Bomb*. Ballantine Books, New York, 1968.
2. Callendo MA. *Nutrition and the World Food Crisis*. Macmillan, New York, 1979.
3. Ehrlich PR, Ehrlich AH, Daily GC. Food Security, population and the environment. *Popul Develop Rev* 19(1):1-32, 1993.
4. Magdoff F. The world food crisis. *Monthly Review*, May 25, 2008.
5. Conceicao P. Anatomy of the global food crisis. *Third World Quarterly* 30(6):1159-1182, 2009.
6. Rosegrant MW, Cai X, Cline SA. *World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity*. International Food Policy, Policy Research Institute (IFPRI), International Water Management Institute, New York, 2002.
7. Alexandratos N. World food and agriculture: outlook for the medium and longer term. *Proc Natl Acad Sci USA* 96(11):5908-5914, 1999.
8. Brown LR., Jacobson, J.L. *Our Demographically Divided World*. Worldwatch Paper 74, Washington, D.C., Worldwatch Institute, Washington DC, 1986.
9. Rosegrant MW, Clive SA. Global food security: challenges and policy. *Science* 302:1917-1919, 2003.
10. Gilland B. World population and food supply: can food production keep pace with population growth in the next half-century. *Food Policy* 27(1): 47-63, 2002.
11. Chapman GP. *The Green Revolution. The Companion to Development Studies*. Arnold publications, London, 2002.
12. Popkin BM, Doat CM. The obesity epidemic is a worldwide phenomenon. *Nutr Rev* 56(4): 106-114, 1998.
13. Caballero B. The global epidemic of obesity: an overview. *Epidemiol Revs* 29(1): 1-5, 2007.
14. Godfray HCJ, Beddington JR, Crute IR, et al. Food security: the challenges of feeding 9 billion people. *Science* 327:812-818, 2010.
15. Schmidhuber J, Tubiello FN. Global food security under climate change. *Proc Natl Acad Sci USA* 104(5):19703-19708, 2007.
16. Nellemann C. *The Environmental Food Crisis: the environment's role in averting future food crises: a UNEP rapid response assessment*. UNEP/Earthprint publication, London, 2009.
17. Cohen MJ, Clapp J. *The Global Food Crisis*. Centre for International Governance & Innovation. Wilfrid Laurier University Press, Ontario, Canada, 2009.
18. Scherr SJ. *Soil Degradation: a Threat to Developing-country Food Security by 2020?* International Food Policy Institute, Washington DC, 1999.
19. Fedoroff NV, Battisti DS, Beally RN, et al. Radically rethinking agriculture for the 21st century. *Science* 327: 833-834, 2010.
20. Evans A. *The Feeding of the Nine Billion: Global Food Security for the 21st Century*. Chatham House Report, London, 2009 (<http://www.chathamhouse.org.uk/publications/papers/view/-/id/694/>).
21. Hjeresen DL, Gonzales R. Can green chemistry promote sustainable agriculture. *Environ Sci Technol* 36:103A-107A, 2002.

22. Lampkin N. *Organic Farming*. Farming Press, New York, 1990.
23. European Union. Organic Farming. Good for Nature, Good for You. (http://ec.ueropa.eu/agriculture/organic/splash_en).
24. FAO; Good Agricultural Practice, Principles (www.fao.org/prods/GAP/principles_en.htm)
25. FAO. *Report of the Expert Consultation on Good Agricultural Practice (GAP) Approach*. FAO publications, Rome, 2003.
26. Great Britain Department for Environment, Food and Rural Affairs. DEFRA. *Protecting Our Water, Soil and Air: a Code of Good Agricultural Practice for Farmers, Growers and Land Managers*. DEFRA, York, UK, 2009.
27. Dent D, Elliott NC (Eds). *Integrated Pest Management*. Springer, Berlin, 1995.
28. OECD. *Farmland Conversion: The Spatial Dimension of Agricultural and Land-use*. OECD publications, Paris, 2009.
29. OECD, & *OECD-FAO Agricultural Outlook 2010-2019*, OECD, Paris. ; OECD (2010b), *Agricultural Policies and Rural Development: A Synthesis of Recent OECD Work*, OECD publicatytions, 2010 (www.oecd.org/dataoecd/33/40/44668202.pdf)
30. OECD. *Sustainable Management of Water Resources in Agriculture*, OECD publications, Paris, 2010.
31. OECD. Preliminary Report. *A Green Growth: Strategy for Food and Agriculture*. OECD publications, May 2011.
32. Wilkins RJ. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. *Phil Trans Royal Soc B* 363: 517-525, 2008.
33. Bjorneberg DL, Aase JK. Multiple polyacrylamide applications for controlling sprinkler irrigation runoff and erosion. *Appl Engin Agricult* 16(5): 501-504, 2000.
34. Smith K, Evans DA, El-Hiti GA. Role of modern chemistry in sustainable arable crop protection. *Phil Trans Royal Soc B* 363: 623-637, 2008.
35. Gay DH, Sotir RB. *Biotechnical and Soil Bioengineering Slop Stabilisation: A Practical Guide for Erosion Control*. John Wiley & Sons Inc, New York, 1996.
36. Ananda J, Herath G. Soil erosion in developing countries: a socio-economic appraisal. *J Environ Manag* 68(4):343-353, 2003.
37. Grimm M, Jones R, Montanarella L. *Soil Erosion Risk in Europe*. European Soil Bureau. Institute of Environment and Sustainability, JRC, Ispra, European Commission, JRC, (EUR 19939 EN), Ispra, Milan, 2002.
38. Valentin C, Boardman J, Favis-Mortlock D, et al. *The GCTE (Global Change & Terrestrial Ecosystems) Soil Erosion Network*. 12th ISCO Conference, Beijing, 2002.
39. Lopez O, Fernandez-Bolanos JG, Gill MV. New trends in pest control: the search for greener insecticides. *Green Chem* 7:431-442, 2005.
40. Smith S. Combinatorial chemistry in the development of new crop protection products. *Pesticide Outlook* 14:21-26, 2003.
41. Hofer R, Bigorra J. Green chemistry- a sustainable solution for industrial specialties applications. *Green Chem* 9:203-212, 2007.

42. Laber-Warren E. Green chemistry: scientists devise new “benign by design” drugs, paints, pesticides and more. *Scientific American*, May 28, 6-7, 2010.
43. Kirst HA. The spinosyn family of insecticides: realizing the potential of natural products research. *J Antibiot* 63: 101-111, 2010.
44. Dhingra S, Walia S, Kumar J, et al. Field efficacy of azadirachtin-A, tetrahydroazadirachtin-A, NeemAzal and endosulfan against key pests of okra. *Pest Manag Sci* 64(11):1187-1194, 2008.
45. Manker DC. Natural products as green pesticides. In: Clark JM, Ohkawa H (Eds). *New Discoveries in Agrochemicals*. Chapter 27, ACS Symposium , Vol 892, ACS Publs, Washington DC, 2005, pp. 295-303.
46. Hall FR, Menu JJ (Eds). *Biopesticides: Use and Delivery*. Human Press, Totowa, NJ, 1999.
47. Koul O, Dhaliwar GS, Iswan MB, et al (Eds). *Phytochemical Biopesticides*. CRC Press, Boca Raton, FL, 2000.
48. Regnault-Roger C, Philogene BJR, Vincent C (Eds). *Biopesticides of Plant Origin*. Editions Tec & Doc, Paris, 2008.
49. Wackett LP. Microbial green chemistry. *Microb Biotechnol* 4(1):106-107, 2011.
50. Du Z, Sun XB. Experiments of green pesticide on killing moth of *Pinus tabulaeformis*. *Plantations. Adv Mater Res* 113:322-326, 2011.
51. NPCS Board Consultants & Engineers. *Biopesticides Handbook*. Asia Pacific Business Press, Delhi, India, 2008.
52. U.S. EPA. Fact Sheets. Biopesticide Active Ingredients Fact Sheets, WashingtonDC,2008 (www.epa.gov/opp00001/biopesticides/ingredients)
53. Bailey A, Chandler D, Grant WP, Greaves J, Prince G, Tatchell M. *Biopesticides: Past Management and Regulation*. Wallingford, Oxfordshire, UK, 2011.
54. FAO. Global fertilizer Outlook (<http://www.fao.org/newsroom/en/news>)
55. IMC-Agrico Co. Leading phosphate fertilizer manufacturing in U.S.A. (<http://imc-agrico.com/fertilizer/frnitro.htm>). AGROTAIN.
56. Low KC, Wheeler AP, Koskan LP. (1996). *Commercial poly(aspartic acid) and Its uses*. *Advances in Chemistry Series*. Vol.248, 1996.
57. Thombre, S.M.; Sarwade, B.D. (2005). Synthesis and biodegradability of polyaspartic acid: A critical review *J Macromol Sci Part A* 42 (9): 1299–1315, 2005.]
58. Phosphate Rich Organic Manure. More details about PROM Technology may be seen at: (<http://www.promsociety.com/research.htm>)
59. Presidential Green Chemistry Awards (<http://www.epa.gov/gcc/pubs/pgcc/presgcc.html>). U.S. Environmental Protection Agency.
60. *Agricultural Applications in Green Chemistry*. ACS, Symposium Series, 887). New York: An American Chemical Society Publication, 2004.
61. Lichtfouse E, Schwarzbauer J, Didier R. *Environmental Chemistry: Green Chemistry and Pollutants in Ecosystems*. Springer, New York, 2004.
62. Manahan, S E. *Green Chemistry and the Ten Commandments of Sustainability*, 2nd ed, Chemchar Research Inc, Columbia, 2005.

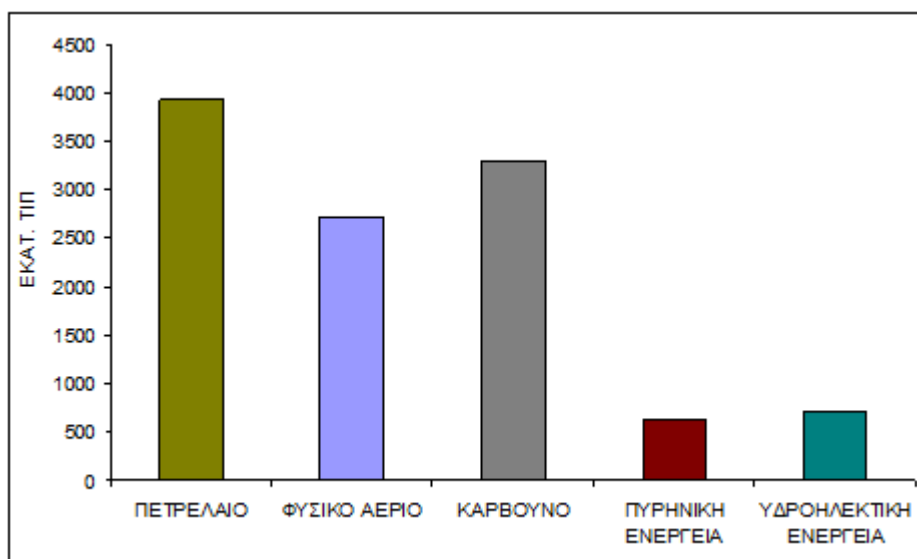
9. Πράσινη Χημεία : Ο Ρόλος της στην Ενεργειακή Κρίση, Βιοκαύσιμα και Βιοϋλικά

9.1. Ενεργειακή Κρίση, Ορυκτά Καύσιμα και Κλιματική Αλλαγή

Ο βιομηχανικός πολιτισμός των τελευταίων 250 ετών στηρίχθηκε σε σημαντικό βαθμό στα ορυκτά καύσιμα, αρχικά το κάρβουνο και τα τελευταία 100 χρόνια στο πετρέλαιο και στο φυσικό αέριο. Τα ορυκτά καύσιμα, παρά τις προόδους εναλλακτικών πηγών ενέργειας, κυριαρχούν στο 85% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στις μεταφορές και άλλες χρήσεις. Τις τελευταίες δεκαετίες η κλιματική αλλαγή και τα περιβαλλοντικά προβλήματα που έχουν δημιουργηθεί από την αυξανόμενη κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, οδήγησε την επιστημονική κοινότητα στην αναζήτηση νέων, εναλλακτικών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που δεν συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

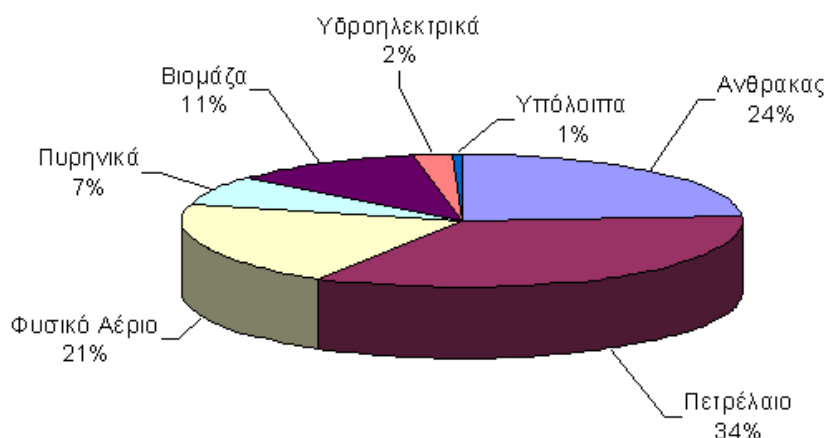
Εάν διερευνήσουμε τα παγκόσμια στατιστικά στοιχεία των διαφόρων πηγών ενέργειας, τα ορυκτά καύσιμα (2007) καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών.: 35% πετρέλαιο, 27% κάρβουνο και 23% φυσικό αέριο. Οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας καλύπτουν το 15% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας: το 6,3% από την υδροηλεκτρική ενέργεια (μεγάλα φράγματα), το 8,5% από την πυρηνική ενέργεια, και όλες οι άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας το υπόλοιπο 1% . Η Πράσινη Χημεία και η Πράσινη Μηχανική (Τεχνολογία) προωθεί με έρευνα και εφαρμογές τις ανανεώσιμες πηγές, όπως η γεωθερμική, η ηλιακή, η αιολική και ενέργεια που θα παράγεται από την παλίρροια ή τα κύματα των θαλασσών. Επίσης, η Πράσινη Χημεία θα επιθυμούσε ένα μεγάλο μέρος της ενέργειας να προέρχεται από βιομάζα που ακόμη και σήμερα χρησιμοποιείται σε μικρό βαθμό.^{1,2}

Μέχρι τα μέσα του 18ου αιώνα η ενέργεια που χρησιμοποιούταν σε ανθρώπινες δραστηριότητες προερχόταν από τους ανεμομύλους ή το νερό στους υδρόμυλους και την καύση των ξύλων. Το κάρβουνο και αργότερα το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά ως καύσιμα. Η ανακάλυψη και χρήση των μηχανών εσωτερικής καύσης και η ανάπτυξη των θερμοηλεκτρικών εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έκαναν τις ανάγκες για ορυκτά καύσιμα ακόμα μεγαλύτερες. Η πετροχημική βιομηχανία με τα αναρίθμητα προϊόντα παράγωγα του πετρελαίου και οι διάφοροι κλάδοι της χημικής, φαρμακευτικής, και των καταναλωτικών ειδών βιομηχανίες, έκαναν ακόμη μεγαλύτερη την εξάρτηση της ανάπτυξης από το πετρέλαιο. Η Πράσινη Χημεία έχει θέσει στόχο να ανατρέψει την εξάρτηση αυτή με ανανεώσιμες και εναλλακτικές τεχνολογικές προοπτικές, που θα οδηγήσουν τμηματικά σε βιώσιμη ανάπτυξη και νέες πρώτες ύλες.



Πίνακας 9.1. Παγκόσμια Κατανάλωση Ενέργειας κατά τύπο καυσίμου (2008) (British Petroleum, Statistical Review of the World Energy, June 2009) (σε εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου σε πετρέλαιο, ΕΤΙΠ (Mtoe))

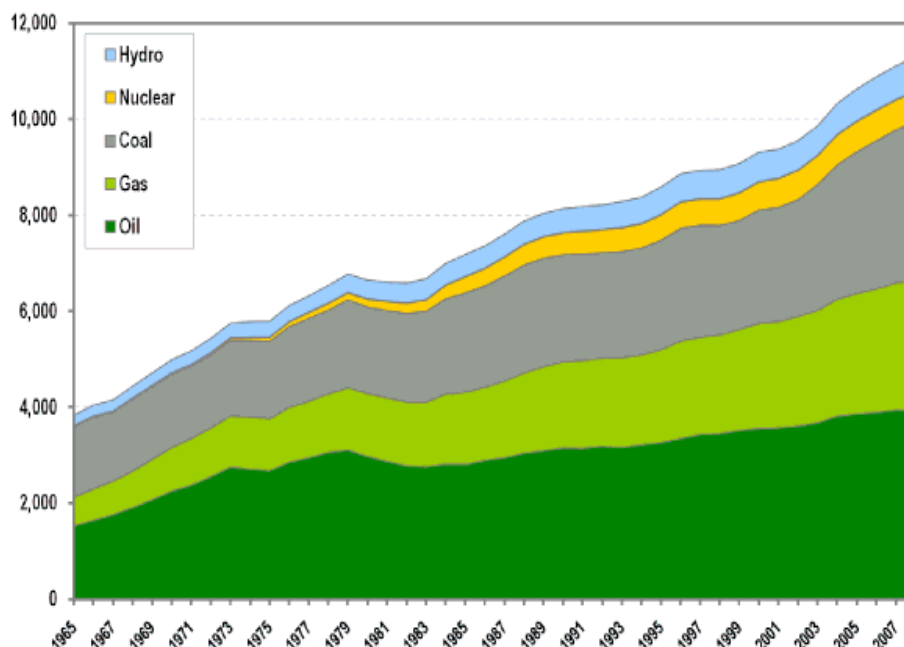
Παγκόσμια Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας (2005)



Σχήμα 9.2. Τα ποσοστά της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Τα ορυκτά καύσιμα καταλαμβάνουν το 80% της πρωτογενούς ενέργειας, Η βιομάζα (11%) χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα σε μεγάλο βαθμό για θέρμανση και οικιακή χρήση στις χώρες του Τρίτου Κόσμου.

Τα ορυκτά καύσιμα χρειάστηκαν εκατομμύρια χρόνια για να σχηματισθούν και η αλματώδης χρήσης τους έχει ως αποτέλεσμα να εξαντλούνται με ταχύτατο ρυθμό καθώς η κατανάλωση βαδίζει αυξανόμενη 3-5% κάθε χρόνο. Η ρύπανση του περιβάλλοντος και το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι οι σοβαρές παρενέργειες της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα. Έχει υπολογισθεί ότι κάθε χρόνο (2007) παράγονται από την καύση ορυκτών καυσίμων 21 εκατομμύρια τόνοι CO₂, εκ των οποίων η μισή ποσότητα απορροφάται από τους ωκεανούς, τα υδατικά συστήματα και τη

βιόσφαιρα της επιφάνειας της Γης και το άλλο μισό παραμένει στην ατμόσφαιρα. Η Πράσινη Χημεία και η Πράσινη Μηχανική (Τεχνολογία) αναπτύσσουν και διερευνούν με εντατικούς ρυθμούς τη βελτίωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Βασικός στόχος είναι η αντικατάσταση με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ιδιαίτερα από αιολική και ηλιακή ενέργεια, από κυματική ενέργεια των ωκεανών και νέες μεθόδους που δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον και δεν συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή.^{3,5}



Σχήμα 9.3. Οι διαχρονικές εξελίξεις της κατανάλωσης ενέργειας κατά κατηγορία καυσίμου στην περίοδο 1965-2008 (με εκατομμύρια τόνους , σε ισοδύναμο πετρελαίου Mtoe, million tons oil equivalent). Το κάρβουνο από 39% to 1965 μειώθηκε σε 29% to 2008, ενώ το πετρέλαιο από 40% σε 34%.

Τα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων όπως έχουν εκτιμηθεί κατά την διάρκεια του 2007 ήταν: Κάρβουνο 905 δισεκατομμύρια τόνοι, Πετρέλαιο 1.119-1.317 δισεκατομμύρια βαρέλια και Φυσικό αέριο 175-181 τρισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Η εκτίμηση για την χρονική στιγμή εξάντλησης των αποθεμάτων με τα μέχρι τώρα εκτιμώμενα αποθέματα και την τρέχουσα κατανάλωση είναι: Κάρβουνο 148 χρόνια, Πετρέλαιο 43 χρόνια και Φυσικό αέριο 61 χρόνια.⁶⁻⁸

Η κατανομή της ενεργειακής κατανάλωσης σε διάφορες χρήσεις αποτελεί ιδιαίτερα σημαντική πληροφορία, καθώς βοηθάει στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τις σημερινές ενεργειακές ανάγκες και προτεραιότητες. Οι μεταφορές κατέχουν ένα σημαντικό ποσοστό του 31% (αυτοκίνητα, φορτηγά, τραίνα, αεροπλάνα, κ.λπ), η βιομηχανία με 28% έρχεται δεύτερη σε κατανάλωση και μετά τα αστικά σπίτια και οι υπηρεσίες (νοσοκομεία, σχολεία, δημόσια κτίρια, κ.λπ) 28%. Οι επιστήμονες θεωρούν ότι πρέπει ενταθούν οι έρευνες για δραστική μείωση στην κατανάλωση ενέργειας σε όλες αυτές τις χρήσεις. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο και να καταστήσουν βιώσιμη την χρήση ενεργειακών πόρων..



Σχήμα 9.4. Κατανομή της ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση (27 χώρες) (www.kee.gr/perivalontiki/img/image53.jpg)

9.2. Βιομάζα και Βιοκαύσιμα, Πόσο Πράσινα Είναι;

Η Πράσινη Χημεία έχει δώσει αρκετά παραδείγματα ερευνητικών προσπαθειών και εφαρμογών την τελευταία δεκαετία για την ανάδειξη των βιοκαυσίμων ως εναλλακτικές πηγές ενέργειας ώστε να αντικαταστήσουν μελλοντικά τα ορυκτά καύσιμα. Τα βιοκαύσιμα θεωρούνται ότι μπορούν να προέλθουν κυρίως από ανανεώσιμες πηγές και διάφορα είδη βιομάζας. Θεωρούνται ότι είναι λιγότερο ρυπογόνα για το περιβάλλον γιατί προέρχονται από υλικά που πρωτογενώς απορροφούν CO₂ από την ατμόσφαιρα.

Στα αρχικά στάδια της χρήσης βιοκαυσίμων υπήρξαν ορισμένες υπερβολές (χρήση καλαμποκιού και σιτηρών που είναι σημαντικές διατροφικές καλλιέργειες) με αποτέλεσμα να γίνει απότομη αύξηση διεθνώς της τιμής των τροφίμων (σε συνδυασμό με καταστροφές της παραγωγής σε ορισμένες χώρες). Επίσης, η ποιότητα των καυσίμων δεν ήταν ικανοποιητική. Η δεύτερη γενιά βιοκαυσίμων βελτίωσε τα προβλήματα της πρώτης γενιάς και οι επιστήμονες αναφέρονται πλέον στην τρίτη γενιά βιοκαυσίμων, νέες πηγές βιομάζας και εκμετάλλευση φυτικών και ζωικών αποβλήτων.⁹⁻¹¹

Η διεθνής και η Ευρωπαϊκή ενεργειακή πολιτική της τελευταίας δεκαετίας στοχεύει αφενός στην ελάττωση των εκπομπών CO₂ και αφετέρου στην εξασφάλιση των πηγών ενέργειας με ταυτόχρονη απεξάρτηση από το πετρέλαιο. Με βάση την ευρύτερη Ευρωπαϊκή ενεργειακή στρατηγική η ΕΕ μέσω της κοινοτικής οδηγίας 2003/30/ΕΚ προώθησε τα βιοκαύσιμα, με στόχο, μέχρι το 2010, το 5,7% των καυσίμων στον τομέα των μεταφορών να αντικατασταθούν από βιοκαύσιμα, κυρίως βιοαιθανόλη και βιοντίζελ.^{12,13}

Η Ελλάδα έχει κάνει σημαντική πρόοδο στη χρήση βιοκαυσίμων για τις μεταφορές. Στατιστικά στοιχεία δείχνουν ότι το έτος 2008 οι καταναλώσεις καυσίμων κίνησης για μεταφορές στην Ελλάδα ανήλθαν σε 2.575.000 εκατομμ. τόνοι (MT) για το πετρέλαιο κίνησης και 4.031.000 MT βενζίνης. Την ίδια χρονική περίοδο, διατέθηκαν 76.255 MT βιοντίζελ από 17 εταιρείες (13 είναι ελληνικές με εγχώρια μονάδα παραγωγής, 2 ελληνικές εταιρείες με εισαγωγή από μονάδα παραγωγής εγκατεστημένη στην Ευρωπαϊκή Ένωση και 2 απευθείας εισαγωγείς). Για την εγχώρια παραγωγή βιοντίζελ στην Ελλάδα, σημαντικό ρόλο έχουν το ηλιέλαιο, το κραμβέλαιο και το βαμβάκελαιο.^{14,15}

9.2.1. Είδη Βιοκαυσίμων και «Πράσινες» Προοπτικές

Βιοκαύσιμα καλούνται υγρά ή αέρια καύσιμα που παράγονται από διάφορα είδη βιομάζας. Με τον όρο **βιομάζα** οι επιστήμονες αποκαλούν οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα της δασικής εκμετάλλευσης, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων, αστικά φυτικά απόβλητα, κ.λπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί, μετά από τεχνολογική επεξεργασία, ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας ή σε μηχανές εσωτερικής καύσης. Τα κυριότερα είδη βιοκαυσίμων είναι:¹⁶

α) **Βιοντίζελ** (πετρέλαιο βιολογικής προέλευσης): Είναι κυρίως μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων που παράγονται από φυτικά ή και ζωικά έλαια και λίπη και είναι ποιότητας πετρελαίου ντίζελ.

β) **Βιοαιθανόλη**: Παράγεται από σακχαρούχα, κυτταρινούχα και αμυλούχα φυτά (σιτάρι, καλαμπόκι, σόργο, ζαχαρότευτλα κ.λπ.). Κύριος τρόπος παραγωγής της είναι η ζύμωση των αμυλούχων-σακχαρούχων συστατικών και ο διαχωρισμός της αιθανόλης με απόσταξη. Χρησιμοποιείται για την αύξηση του αριθμού οκτανίων της βενζίνης. Το καύσιμο αυτό είναι καθαρή αιθανόλη (CH₃CH₂OH).

γ) **Βιοαέριο**: Το καύσιμο αέριο (κυρίως μεθάνιο, CH₄) που παράγεται από βιομάζα ή από το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων. Μπορεί να υποστεί κάθαρση και να αναβαθμισθεί σε ποιότητα φυσικού αερίου..

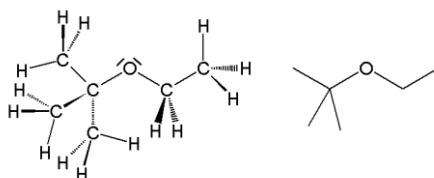
δ) **Βιομεθανόλη**: Είναι καθαρή μεθανόλη (CH₃OH) που παράγεται από διάφορα είδη βιομάζας για χρήση ως βιοκαύσιμο.

ε) **Βιοδιμεθυλαιθέρας**: Ο διμεθυλαιθέρας (CH₃-O-CH₃) που παράγεται από διάφορα είδη βιομάζας.

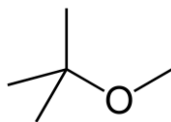
η) **Συνθετικά Βιοκαύσιμα**: Οι συνθετικοί υδρογονάνθρακες ή τα μίγματα συνθετικών υδρογονανθράκων που παράγονται από βιομάζα.

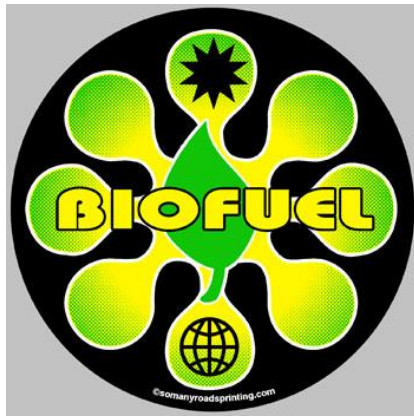
θ) **Βιοϋδρογόνο**: Υδρογόνο που παράγεται από βιομάζα ή βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων.

ι) **Καθαρά Φυτικά Έλαια**: Τα έλαια που παράγονται από ελαιούχα φυτά μέσω συμπίεσης, έκθλιψης ή ανάλογων μεθόδων, φυσικά ή εξευγενισμένα αλλά μη χημικώς τροποποιημένα, όταν είναι συμβατά με τον τύπο του χρησιμοποιούμενου κινητήρα ή εξοπλισμού και τις αντίστοιχες απαιτήσεις εκπομπών αερίων ρύπωνκ) **Βιο-ETBE**: Ο αιθυλο-τριτοταγής-βουτυλαιθέρας (Ethyl *tert*-butyl ether, ETBE) που παράγεται από βιοαιθανόλη, για χρήση ως βιοκαύσιμο.



λ) **Βιο-MTBE**: Ο μεθυλο-τριτοταγής-βουτυλαιθέρας (MTBE, C₅H₁₂O) που παράγεται από βιομεθανόλη..





Σχήμα 9.5. Τα βιοκαύσιμα και η εκμετάλλευσή τους για καύσιμα στις μεταφορές συνεισέφερε περίπου το 9% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας από ενεργειακές πρώτες ύλες (2005).

Η **βιομάζα** πάνω στη Γη είναι τεράστιες ποσότητες βιολογικών υλικών που παράγονται με τη φωτοσύνθεση των φυτών. Η βιομάζα παράγεται από τα φυσικά οικοσυστήματα, αυτοφυή φυτά και δάση, φυτά που καλλιεργούνται ειδικά με σκοπό την παραγωγή ενεργειακής βιομάζας (σόργο το σακχαρούχο, το καλάμι, ο ευκάλυπτος, το καλαμπόκι, κ.ά). Επίσης, ενεργειακή βιομάζα είναι τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, όπως π.χ. τα άχυρα, στελέχη αραβόσιτου, στελέχη βαμβακιάς, κλαδιά δένδρων, φύκη, κτηνοτροφικά απόβλητα, κ.λπ.

Επίσης, βιομάζα είναι και τα υποπροϊόντα που προέρχονται από τη μεταποίηση ή επεξεργασία των φυτικών υλικών, όπως τα ελαιοπυρηνόξυλα, υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, σανός, πριονίδι, κλαδιά δένδρων, κ.λπ. Το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών. μπορεί επίσης να αποτελέσει βιομάζα προς εκμετάλλευση. Η βιομάζα αποτελεί μια σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, που είναι δυνατό να συμβάλλει στην ενεργειακή επάρκεια, αντικαθιστώντας τα εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων.^{17,18}

9.2.2. Μειονεκτήματα και Πλεονεκτήματα από την Αξιοποίηση της Βιομάζας για Διάφορα Βιοκαύσιμα

Μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973, οι εταιρείες καυσίμων και οι επιστήμονες στράφηκαν στη βιομάζα, που έδειξε ότι αποτελεί μια σπουδαία αλλά υποτιμημένη πηγή ενέργειας στον πλανήτη Γη. Η βιομάζα ήταν δυνατό να συμβάλλει στην ενεργειακή επάρκεια μετά την εξάντληση των αποθεμάτων του πετρελαίου, άνθρακα και φυσικού αερίου. Συγχρόνως, η βιομάζα θα οδηγούσε και στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου που συμμετέχουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη και της κλιματικής αλλαγής..

Οι πρώτες φάσεις της παραγωγής βιοντίζελ και άλλων βιοκαυσίμων είχαν διάφορες αρνητικές επιπτώσεις, τόσο περιβαλλοντικές και ενεργειακές όσο και στις τιμές και στην παραγωγή χρήσιμων προϊόντων για τη διατροφή του ανθρώπου. Ιδιαίτερα στις χώρες της Ασίας, παρουσιάσθηκαν αρκετά

κοινωνικά και περιβαλλοντικά προβλήματα από την ανάπτυξη των βιοκαυσίμων μέσω καλλιεργημένων φυτών για την παραγωγή βιομάζας.¹⁹⁻²¹

Αλλά τα βιοκαύσιμα από βιομάζα έχουν και αρκετές τεχνολογικές δυσκολίες για την εκμετάλλευσή τους. Τέτοια μειονεκτήματα είναι: α) ο μεγάλος όγκος της βιομάζας και η υγρασία που περιέχουν ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας (σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα), β) οι δυσκολίες συλλογής, μεταποίησης, μεταφορά και αποθήκευση, γ) οι δαπανηρές βιομηχανικές εγκαταστάσεις που απαιτούνται για την τεχνολογική αξιοποίηση της βιομάζας, δ) η μεγάλη διασπορά και εποχιακή παραγωγή πολλών φυτικών προϊόντων που αυξάνει το κόστος και την περιοδικότητα της βιομηχανικής παραγωγής. Τα ορυκτά καύσιμα ήταν εξαιρετικά πιο φτηνά σε παλαιότερες εποχές, αλλά οι αυξήσεις των τιμών του πετρελαίου μετά το 2005 έχουν καταστήσει την εκμετάλλευση της βιομάζας πιο ελκυστική.^{22,23}



Σχήμα 9.6. Πολυάριθμες εκδόσεις τα τελευταία χρόνια συγκεντρώνουν τις ερευνητικές και τις πρακτικές εφαρμογές των διαφόρων ειδών βιομάζας για την παραγωγή βιοκαυσίμων.

[Sun R-C. *Cereal Straw as a Resource for Sustainable Biomaterials and Biofuels. Chemistry, Extractives, Lignins, Hemicelluloses and Cellulose*. Elsevier, Amsterdam, 2010. Vertès AA, Qureshi N, Blaschek HP, Yukawa H (Eds). *Biomass to Biofuels. Strategies for Global Industries*. Wiley, Chichester, West Sussex, UK, 2010.]

Εάν ληφθούν υπόψη οι περιβαλλοντικές διαστάσεις της βιομάζας και το πρόβλημα των κλιματικών αλλαγών, τότε οι προοπτικές για τη χρήση τους βελτιώνονται σημαντικά. Ακριβώς, αυτό είναι και το σημείο επέμβασης της Πράσινης Χημείας και Μηχανικής, για να παραχθούν τα βιοκαύσιμα 3^{ης} και 4^{ης} γενιάς, όπως καλούνται πρόσφατα. Τα βιοκαύσιμα του μέλλοντος

πιστεύεται ότι θα έχουν μικρότερο κόστος, χαμηλότερες περιβαλλοντικές εκπομπές και καλύτερη θερμική απόδοση.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση της βιομάζας για παραγωγή βιοκαυσίμων και ενέργειας είναι: α) μειωμένη επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα βιοκαύσιμα, αν και εκπέμπουν CO₂ κατά την καύση του, κατά την παραγωγή τους ως φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης δεσμεύουν σχεδόν παρόμοιες ποσότητες CO₂, β) η περιεκτικότητα της βιομάζας σε θείο είναι πρακτικά αμελητέα, άρα δεν δημιουργείται SO₂ κατά την καύση τους όπως με τα ορυκτά καύσιμα, γ) η μείωση της ενεργειακής εξάρτησης, ως αποτέλεσμα της εισαγωγής καυσίμων από άλλες χώρες, με αντίστοιχη εξοικονόμηση συναλλάγματος, είναι για μερικές χώρες εξαιρετικής οικονομικής σημασίας, δ) η εξασφάλιση εργασίας και η συγκράτηση των αγροτικών πληθυσμών στις παραμεθόριες και τις άλλες γεωργικές περιοχές, συμβάλλει δηλαδή μέσω της παραγωγής βιομάζας στην περιφερειακή ανάπτυξη της χώρας.

Οι εμπειρίες με βιοκαύσιμα σε διάφορες χώρες είναι ανάμεικτα. Η παραγωγή φυτών και δένδρων για την παραγωγή βιομάζας και βιοκαυσίμων έχει δώσει αρκετά επιχειρήματα για τα υπέρ και κατά στην παραγωγή βιοκαυσίμων. Πολλοί επιστήμονες θεωρούν ότι πρέπει να γίνουν βελτιώσεις στην παραγωγή βιοκαυσίμων, άλλοι θεωρούν ότι τα περιβαλλοντικά οφέλη είναι περιορισμένα, ενώ άλλοι προτείνουν τη χρησιμοποίηση βιολογικών υπολειμμάτων ή βιολογικών αποβλήτων (γεωργικά, κτηνοτροφικά και αστικά) για την παραγωγή βιοκαυσίμων με σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη.^{24,-27}

9.4. Πράσινη Χημεία και Ενεργειακή Αξιοποίηση της Βιομάζας

Η βιομάζα είναι στο προσκήνιο των προσπαθειών του ανθρώπου για ενεργειακή αξιοποίηση εδώ και πολλές δεκαετίες, αλλά με μειωμένη αποτελεσματικότητα. Ο τομέας που φαίνεται να έλκει τις ερευνητικές και πρακτικές εφαρμογές είναι ο τομέας των μεταφορών. Οι στόχοι είναι να μετατραπεί η βιομάζα με χημικές διεργασίες σε υγρά βιοκαύσιμα που θα είναι φιλικότερα στο περιβάλλον και θα μπορούσαν να υποκαταστήσουν το ντίζελ και την βενζίνη στις μηχανές εσωτερικής καύσης (τροχοφόρα, φορτηγά, αεροπλάνα, πλοία, κ. λπ).

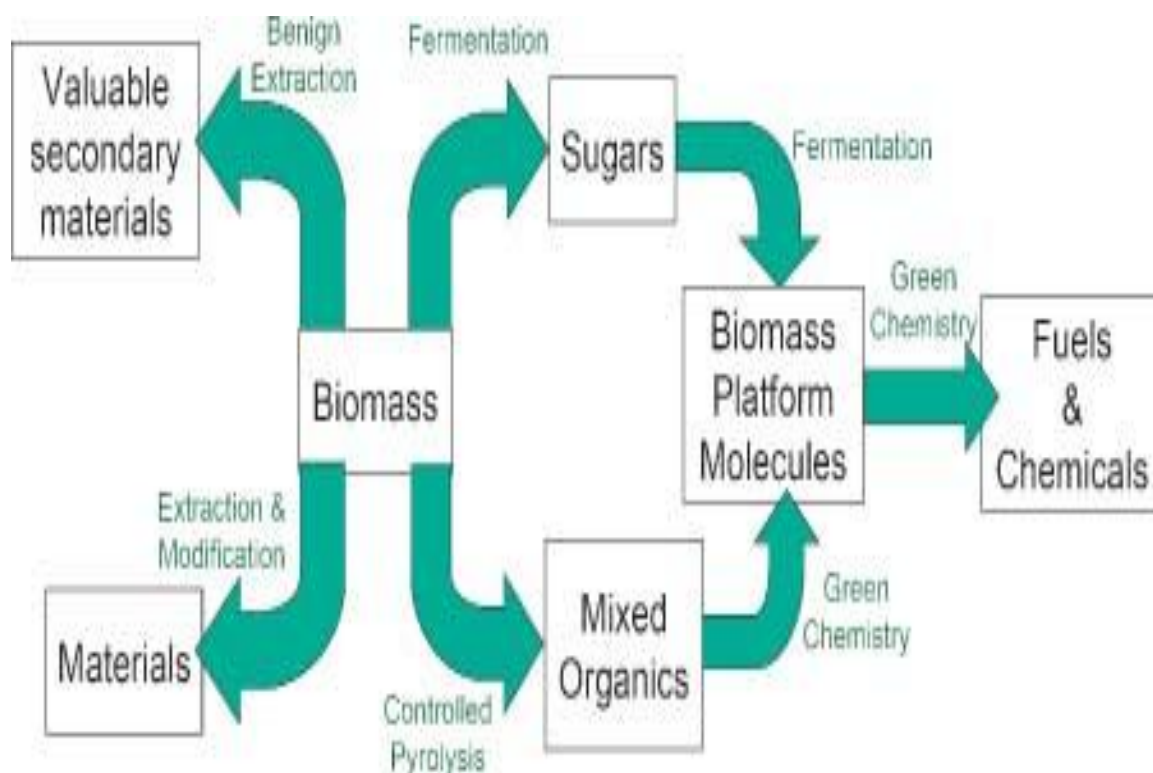
Η ερευνητική στρατηγική που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα, με τη βοήθεια των αρχών της πράσινης χημείας και της μηχανικής, είναι να παραχθούν υδρογονάνθρακες από βιομάζα με τις παρακάτω ιδιότητες: α) μείωση της περιεκτικότητας του οξυγόνου της πρώτης ύλης για να επαυξηθεί η ενεργειακή πυκνότητα, β) το σχηματισμό δεσμών ..C-C μεταξύ της βιομάζας και των ενδιαμέσων προϊόντων ώστε να αυξηθεί το μοριακό βάρος του τελικού υδρογονάνθρακα.

Η βιοαιθανόλη και το βιοντίζελ είναι δύο σημαντικά βιοκαύσιμα που παραδοσιακά παράγονται από αμυλούχα φυτικά προϊόντα και τριγλυκεριδικές (φυτικά και ζωικά λιπίδια) πρώτες ύλες. Η αρχική παραγωγή τους στηρίζονταν βασικά σε παραδοσιακά καλλιεργούμενα φυτά (καλαμπόκι, σιτάρι, σόργο, ζαχαροκάλαμο) με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι τιμές τροφίμων και των ζωοτροφών. Αυτό ήταν ένα σημαντικό αρνητικό γεγονός που επηρέασε την «πράσινη» κατηγοριοποίηση των βιοκαυσίμων.

Οι επιστήμονες προσπαθούν τα τελευταία χρόνια να βελτιώσουν την απόδοση των κυτταρινούχων (lignocellulogic) πρώτων υλών. Η δεύτερη και η

τρίτη γενιά βιοκαυσίμων διερευνάται ως η επόμενη λύση. Με τεχνικές πράσινης χημείας. Η μετατροπή τους επιτυγχάνεται με θερμοχημικές διεργασίες (εξαέρωση, πυρόλυση, υγροποίηση) της βιομάζας. Οι ερευνητές πιστεύουν ότι μπορεί να γίνουν πολλές βελτιώσεις, τόσο με τη χρησιμοποίηση καταλυτικών μεθοδολογιών για βιοκαύσιμα μέσω προ-διεργασιών και υδρόλυσης υδατικών διαλυμάτων σακχάρων, όσο και με αλδολική συμπύκνωση κετονών και ολιγομερίωση αλκενίων ώστε να επιτευχθεί παραγωγή υψηλής ποιότητας βενζίνης και ντίζελ.²⁸

Η Πράσινη Χημεία έχει σημαντικό ρόλο στη μετατροπή της βιομάζας σε χρήσιμα χημικά υλικά και προϊόντα αλλά και στη παραγωγή νέων βιοκαυσίμων με βελτιωμένες ιδιότητες. Μέχρι τώρα η πετροχημική βιομηχανία αποτελεί ακρογωνιαίο κέντρο με πολυάριθμες διακλαδώσεις χημικών υλικών, καυσίμων και παρασκευασμάτων με πρακτικές εφαρμογές. Στο μέλλον, οι επιστήμονες πιστεύουν ότι τα βιοδιυλιστήρια (biorefineries) θα αποτελέσουν στο μέλλον την κεντρική πηγή το δικτύου χημικών προϊόντων, καυσίμων, χρήσιμων δευτερευόντων υλικών και άλλων παρασκευασμάτων.²⁹



Σχήμα 9.7. Πράσινη Χημεία και Βιοδιυλιστήριο. Η βιομάζα μπορεί να αποτελέσει τη βάση για σειρά χημικών διεργασιών που θα δημιουργήσουν σάκχαρα, μίγμα οργανικών ενώσεων, υλικά και δευτερογενή χημικά παράγωγα και ακολούθως με πράσινες τεχνικές να μετατραπούν σε βιοκαύσιμα και χημικά προϊόντα (Clark JH. Green chemistry for the second generation biorefinery, *J Chem Technol Biotechnol* 82(7):603-609, 2007)

Η επιστημονική βιβλιογραφία είναι την τελευταία δεκαετία πλούσια σε επιστημονικές έρευνες και εφαρμογές των αρχών της πράσινης χημείας στην παραγωγή βιοκαυσίμων. Στην πορεία αυτή παρουσιάζονται νέες πρώτες ύλες

βιομάζας, όπως το bana grass (*Pennisetum purpureum*), ένα ψηλό δενδρώδες χόρτο, και του ελαίου *Jatropha curcas* (μη φαγώσιμο φυτικό έλαιο, που παράγεται κυρίως στην Ινδία, Ινδονησία, κ.ά.), που μπορούν να αποτελέσουν πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμων.^{30,31}



Σχήμα 9.8 Το φυτό **Bana grass**, μοιάζει με το ζαχαρότευτλο, αποτελεί τροφή ελεφάντων, φύεται σε Ινδία και Ινδονησία. Το ***Jatropha curcas*** είναι ανθοφόρο φυτό της οικογένειας Euphorbiaceae, ενδημικό των τροπικών της Αμερικής (Μεξικό), οι καρποί του είναι τοξικοί, το δένδρο μπορεί να φθάσει τα 6 μέτρα ύψος. Οι σπόροι του παράγουν φυτικό έλαιο όταν συνθλιθούν.

Μετά τον αρχικό ενθουσιασμό για τα διάφορα είδη βιομάζας και τις δυνατότητες για την παραγωγή βιοκαυσίμων και χημικών πρώτων υλών, που επιτεύχθηκε και με την αφθονία οικονομικών ενισχύσεων που έδωσαν πολλές κυβερνήσεις, οι επιστήμονες στρέφονται σε βαθύτερη επεξεργασία των ειδών βιομάζας. Διερευνούν με μεγαλύτερη σχολαστικότητα τις διεργασίες χημικής επεξεργασίας (εξαέρωση, υδρογόνωση, συμπυκνώσεις, κ.ά., με αρχές πράσινης χημείας), την βιωσιμότητα των πρώτων υλών, τη στροφή στην εκμετάλλευση φυτικών υλικών που δεν είναι βασικά τρόφιμα και στη παραγωγή βιοκαυσίμων φιλικών στο περιβάλλον (λιγότερη ρύπανση, μειωμένες εκπομπές CO₂).³²⁻³⁵

Οι επιστήμονες οραματίζονται και διερευνούν την δεύτερη και τρίτη γενιά βιοκαυσίμων, όπου θα επιτυγχάνεται μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, μονοδιάστατη διεργασία εισαγωγής πρώτων υλών, καλύτερες μετατροπές με καταλυτικές πορείες, μεγαλύτερη απόδοση, οικονομία κλίμακας, κ.λπ, ενώ συγχρόνως θα χρησιμοποιούνται ανανεώσιμες πηγές βιομάζας ή βιοαπόβλητα.³⁶⁻³⁸

9.5. Χημεία Πολυμερών, Πράσινη Χημεία και Βιοϋλικά

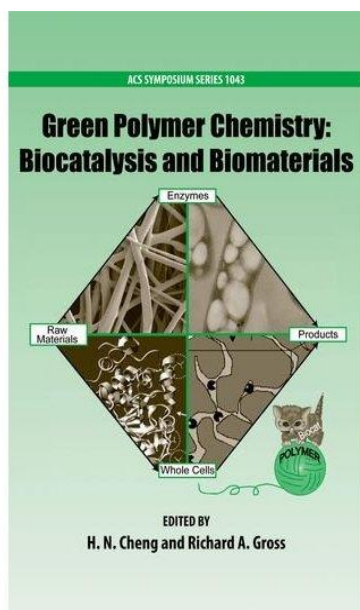
Η αλματώδης έρευνα των χημικών που παράγονται από βιομάζα; και οι εφαρμογές τους για πολυάριθμα βιοϋλικά είναι δύσκολο να καταγραφούν στο σύντομο αυτό κεφάλαιο.

Μία καλή προσέγγιση του θέματος ήταν το πρόσφατο συμπόσιο της Αμερικανικής Χημικής Εταιρείας (ΑΧΕ) με θέμα «**Πράσινη Χημεία Πολυμερών: Βιοκατάλυση και Βιοϋλικά**» (Green Polymer Chemistry: Biocatalysis and Biomaterials», *ACS Symposium Series*, Vol. 1043, 2010). Επίσης, αρκετές εκδόσεις των τελευταίων χρόνων αφιερώνεται στις αναδυόμενες τεχνολογίες και εφαρμογές των βιοϋλικών και βιοϊατρικών υλικών με τις ενδιαφέρουσες, από περιβαλλοντική πλευρά, εφαρμογές τους. Η βιοκατάλυση είναι ένας άλλος τομέας με ενδιαφέροντα αποτελέσματα.³⁹⁻⁴²

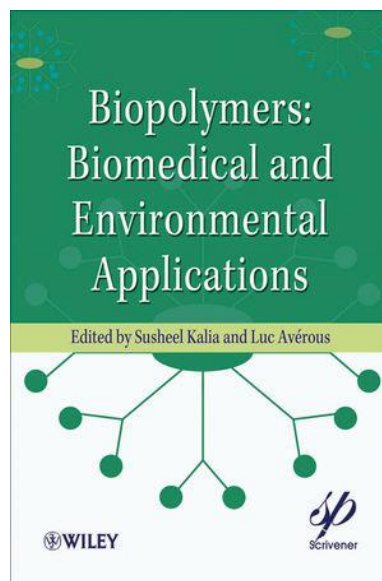
Σημαντικός αριθμός νέων χημικών προϊόντων και νέων υλικών βρίσκονται στα εργαστήρια της χημείας πολυμερών. Η βιομάζα μπορεί να δώσει εξαιρετικής ποιότητας πρώτες ύλες για πολυμερή και βιοκαταλύσεις για νέα βιοϋλικά. Ο τομέας αυτός είναι εξαιρετικού ενδιαφέροντος για την Πράσινη Χημεία και την Πράσινη Μηχανική. Δίνει τις δυνατότητες νέου σχεδιασμού προϊόντος με ενσωμάτωση των αρχών που θα δώσουν τα τελικά προϊόντα τις κατάλληλες ιδιότητες για ανακύκλωση, μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης, κ.λπ. Από το Συμπόσιο της ΑΧΕ, με όλες τις νεότερες εξελίξεις και προοπτικές των νέων βιοϋλικών, οι επιστήμονες ξεχώρισαν οκτώ (8) κατηγορίες πράσινης χημείας, οι οποίες στην πλειοψηφία τους αφορούν πολυμερή και εφαρμογές με τις αρχές της πράσινης χημείας

- 1) πράσινοι καταλύτες (π.χ. βιοκαταλύτες, όπως ένζυμα και ολόκληρα κύτταρα βιολογικών οργανισμών),
- 2) Μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών από τη βιομάζα (ιδιαίτερα αγροτικά προϊόντα, με τις βασικές χημικές δομές από βιολογικά υλικά)
- 3) πράσινοι καταλύτες (π.χ. βιοκαταλύτες, όπως ένζυμα και ολόκληρα κύτταρα βιολογικών οργανισμών),
- 4) Μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών από τη βιομάζα (ιδιαίτερα αγροτικά προϊόντα, με τις βασικές χημικές δομές από βιολογικά υλικά)
- 5) Βιοδιασπώμενα πολυμερή και βιοϋλικά που θα παρουσιάζουν πρόβλημα μειωμένο πρόβλημα αποβλήτων,
- 6) Ανακύκλωση των πολυμερισμένων προϊόντων και των καταλυτών (βιολογική ανακύκλωση)
- 7) Παραγωγή ενέργειας αλλά και μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για τις χημικές διεργασίες,
- 8) Τα υλικά αυτά δίνουν τη δυνατότητα για βελτιστοποίηση του μοριακού σχεδιασμού και των ιδιοτήτων των υλικών,
- 9) Χρησιμοποίηση μη τοξικών διαλυτών (π.χ. νερό, ιονικά υγρά, ή αντιδράσεις χωρίς διαλύτες)
- 10) Σημαντικές βελτιώσεις στις συνθέσεις και τις διεργασίες βιομηχανικής επεξεργασίας (π.χ. οικονομία του ατόμου στις συνθέσεις, υψηλή αποδοτικότητα, μείωση της τοξικότητας των υλικών).

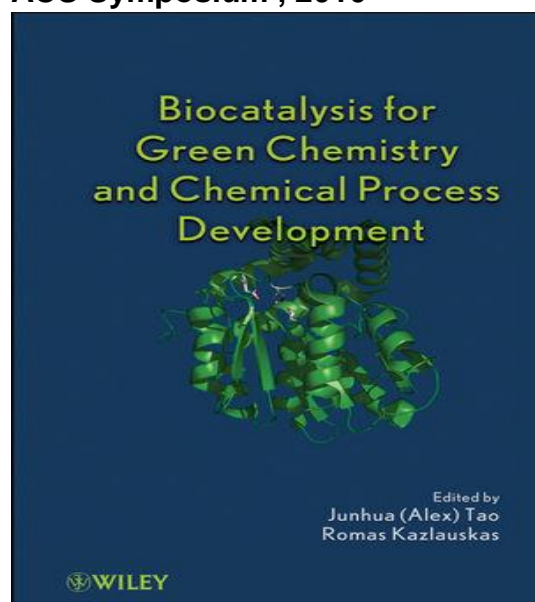
Οι εκδόσεις των τελευταίων ετών δείχνουν τη τεράστια σημασία που απέκτησαν οι βιοκαταλύσεις και τα βιοϋλικά.⁴³⁻⁴⁶



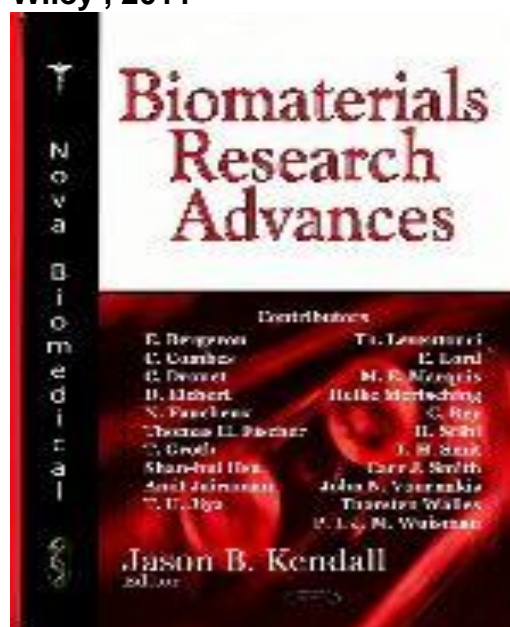
ACS Symposium , 2010



Wiley , 2011



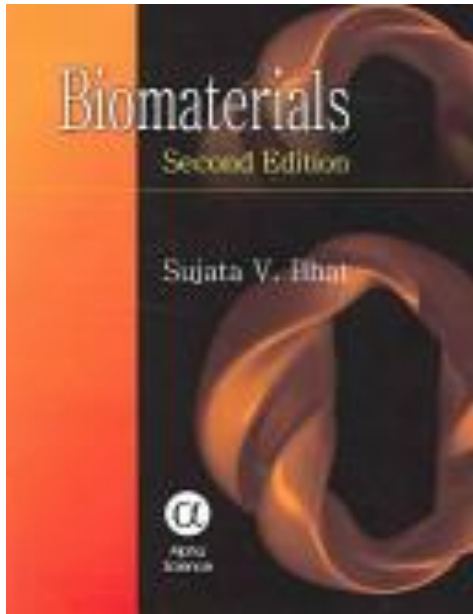
Wiley, Chichester, UK, 2011



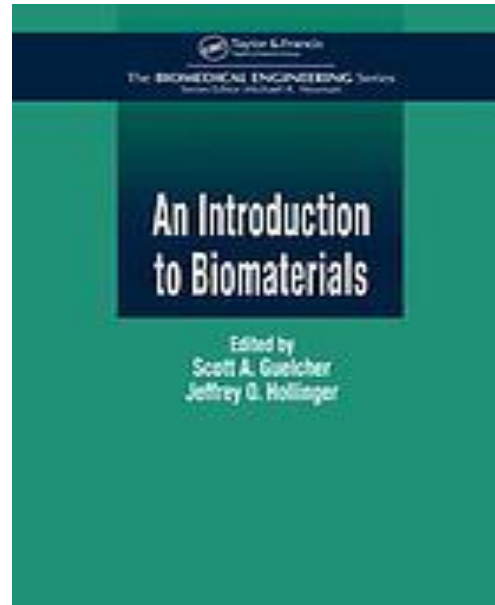
Nova Science Publishers, N.Y., 2008

Σχήμα 9.9. Αρκετές εκδόσεις των τελευταίων χρόνων αφορούν τους αναπτυσσόμενους τομείς της βιοκατάλυσης και των βιοπολυμερών, με τις πολυάριθμες εφαρμογές τους με τους κανόνες της πράσινης χημείας.

Τα βιοϋλικά είναι ένας ανερχόμενος τομέας με πολυάριθμες νέες τεχνολογικές εφαρμογές και μεγάλη ποικιλία εφαρμογών. Αυτός είναι και ο λόγος για τις πολυάριθμες εκδόσεις βιβλίων με θέμα διάφορα είδη βιοϋλικών



Alpha Science International, 2005



CRC/Taylor & Francis, 2006

Σχήμα 9.10. Τα βιοϋλικά έχουν κατακτήσει πολυάριθμες εφαρμογές για διάφορα καταναλωτικά προϊόντα, βιο-ιατρική υλικά, νέα πολυμερή και εξαρτήματα ηλεκτρονικών συσκευών.

9.6. Πράσινη Χημεία: Νέοι Τομείς για Βιοκαταλύτες και Βιοϋλικά

Οι βιοκαταλύτες είναι ένας σημαντικός τομέας με συνεχώς αυξανόμενα ερευνητικά επιτεύγματα και πολυάριθμες εφαρμογές. Οι βιοκαταλύτες επιτυγχάνουν μεγάλες αποδόσεις σε χημικές αντιδράσεις και βιο-μετασχηματισμούς που έχουν σημαντικά οφέλη (κόστος και ενέργεια) για τη χημική βιομηχανία.^{47,48}

Οι βιοκαταλυτικές μέθοδοι, που σε μεγάλο βαθμό εφαρμόζονται στη χημεία των πολυμερών, προωθούν την παραγωγή πολυάριθμων βιοϋλικών. Καθώς οι τιμές των ορυκτών καυσίμων (ιδιαίτερα το πετρέλαιο) αυξάνονται τα τελευταία χρόνια, τα βιοϋλικά από ανανεώσιμες πηγές πρώτων υλών κερδίζουν έδαφος λόγω του χαμηλού οικονομικού κόστους.⁴⁹⁻⁵¹

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των βιοϋλικών που παρασκευάζονται από φυτικές πρώτες ύλες είναι η βιοδιασπασιμότητά τους και με τον τρόπο αυτό έχουν μειωμένες επιδράσεις στο περιβάλλον. Συγχρόνως όμως έχουν και οικονομικά οφέλη. Η βιοκατάλυση για την παρασκευή τους βοηθάει για καλύτερες αποδόσεις και λιγότερα απόβλητα. Η ανακύκλωση είναι ακόμη ένα πρόσθετο πλεονέκτημα σε όλες αυτές τις διεργασίες, τόσο για το τελικό προϊόν, όσο και για τα ακινητοποιημένα (immobilized enzymes, *Novozyme-435-lipase*, *Novozymes A/S*). ένζυμα που χρησιμοποιούνται σε βιοκαταλύσεις.⁵²⁻⁵⁵

Οι τεχνικές της βιοκατάλυσης, της χρήσης φυτικών πρώτων υλών και νέων διεργασιών συνέβαλαν και στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης σε πολλούς τομείς της χημικής βιομηχανίας.^{56,57}

Η χημική βιομηχανία και οι πολυάριθμοι εξειδικευμένοι τομείς της έχουν ενσωματώσει τα τελευταία χρόνια στη λειτουργία τους το σχεδιασμό και τη

δραστικότητα των πρώτων υλών και των προϊόντων που παρασκευάζονται. Τα μοριακά μοντέλα και οι προσομοιώσεις με ηλεκτρονικά υπολογιστικά προγράμματα δίνουν τη δυνατότητα να ελεγχθούν οι ιδιότητες και η τοξικότητα χημικών προϊόντων πριν παρασκευασθούν. Συγχρόνως, οι βιοκαταλυτικές διεργασίες χρησιμοποιούν μη τοξικούς διαλύτες ή μπορούν να γίνουν σε υδατικά διαλύματα.^{58-60.}

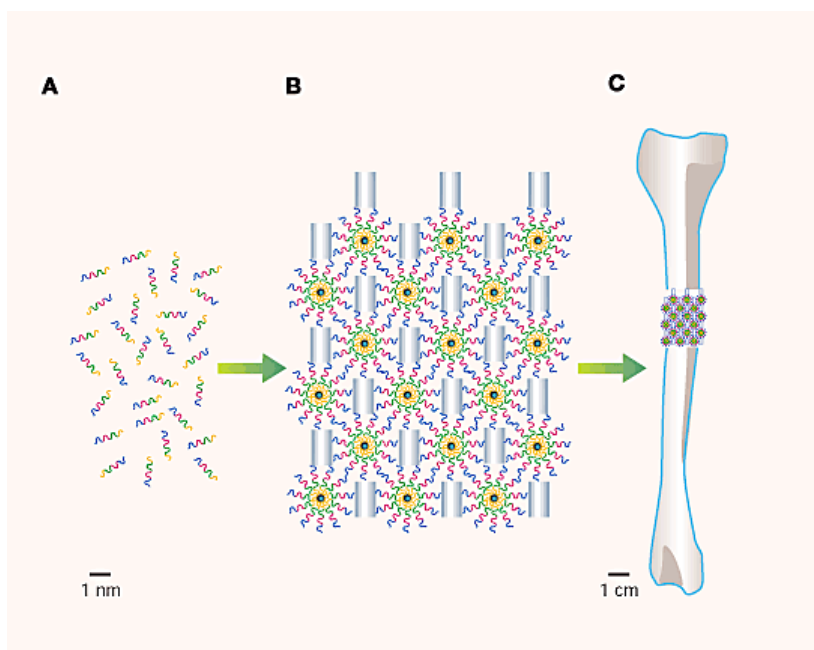
Βελτιώσεις στις αποδόσεις των συνθετικών μεθόδων και στις βιομηχανικές διεργασίες για την παραγωγή νέων υλικών και παρασκευασμάτων είναι μία άλλη πλευρά της επιρροής της πράσινης χημείας στη χημική βιομηχανία των τελευταίων ετών. Η βιοκατάλυση σίγουρα έχει συμβάλει προς την πορεία αυτή. Επίσης, νέες τεχνικές, όπως η χημεία μικροκυμάτων, τόσο στη σύνθεση πολυμερών όσο και στην εκχύλιση και καθαρισμό χημικών ουσιών.⁶¹⁻⁶³

Η ανακύκλωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) είναι ένα σημαντικό θέμα με τις συνθήκες της κλιματικής αλλαγής που επικρατούν τα τελευταία χρόνια. Οι χημικοί θέλουν να συμπεριλάβουν το CO₂ σε χημικές αντιδράσεις ως πρώτη ύλη κατά τη σύνθεση αλλά το μόριό του είναι εξαιρετικά σταθερό (λόγω του διπλού δεσμού με το οξυγόνο, O=C=O) και η αντίδραση δεν γίνεται χωρίς τη χρήση ακριβών μεταλλικών καταλυτών. Πρόσφατα, οι ερευνητές Zhang και Yu κατάφεραν να ενσωματώσουν το CO₂ σε φαινυλο-ακετυλενικό μόριο και μετατροπή του σε καρβοξυλικά οξέα, με παρουσία ανθρακικού καισίου (Cs₂CO₃), σε 2,5 ατμόσφαιρες πίεση και θερμοκρασία 120°C με απόδοση 90%. Επίσης, η ίδια αντίδραση πέτυχαν επιτεύχθηκε με την ανάμιξη φτηνών καταλυτών (N-ετεροκυκλικών καρβενίων με χαλκό) και σε θερμοκρασία δωματίου.



Οι ερευνητές πιστεύουν ότι εάν επιτευχθεί η χρήση του ως πρώτη ύλη σε χημικές αντιδράσεις, με φτηνούς καταλύτες και ήπιες συνθήκες, θα μπορούσε το αέριο να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλη κλίμακα στη χημική βιομηχανία για την παρασκευή χημικών πρώτων υλών.⁶⁵

Το μεγάλο πλεονέκτημα των βιοϋλικών είναι το γεγονός ότι μπορούν να διαμορφωθούν μετά την παρασκευή του ή και κατά τη διεργασία παραγωγής τους σε συγκεκριμένο βιοϋλικό με αποκλειστικές ιδιότητες. σχηματικά παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα, όπου το υλικό αντικαθιστά τμήμα οστού με παρόμοιες ιδιότητες.^{66,67}



Σχήμα 9.11. Πολλά βιοϋλικά μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να μιμηθούν φυσικούς ιστούς και οστά. Σχεδιάζονται και παρασκευάζονται ώστε να ταιριάζουν σε εξειδικευμένες πρακτικές εφαρμογές, όπως μηχανικές ιδιότητες ιστών) (tissue engineering).

Οι τομείς χημείας των πράσινων πολυμερών εξειδικεύονται την τελευταία δεκαετία με διαφορετικές βιοκαταλύσεις και πρώτες ανανεώσιμες ύλες. Χειρίζονται διάφορες στρατηγικές πράσινης χημείας με στόχο να πετύχουν βιοϋλικά με εξειδικευμένες εφαρμογές και που να είναι ανακυκλώσιμα και φιλικά στο περιβάλλον.

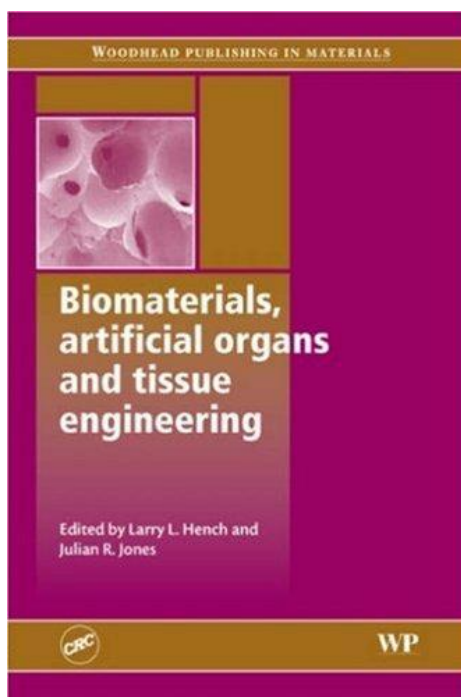
Τα περισσότερα πολυμερή που παρασκευάζονται με τους τρόπους αυτούς βασίζονται : α) σε νέες πρώτες ύλες βιολογικής προέλευσης, β) σε βελτιωμένες βιοκαταλύσεις με πρωτότυπα ένζυμα, γ) σε πρωτότυπες συνθέσεις πολυεστέρων, πολυκαρβονικών πολυμερών, πολυαμιδίων και πολυσακχαριτών ή παραλλαγών πολυσακχαριτών, δ) σε πολυμερισμούς που διεξάγονται με βιοκαταλυτικές οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, ε) ενζυμικές υδρολύσεις και ενζυμικές διασπάσεις, και ζ) σε αντιδράσεις μεταμόσχευσης (grafting) και δημιουργίας δραστικών ομάδων (functionalization).⁶⁸⁻⁷⁰

Την τελευταία δεκαετία υπάρχει μεγάλη ερευνητική και εφαρμογές στη σύνθεση πρωτεϊνών και πολυπεπτιδίων με χρήσιμες μηχανικές ιδιότητες. Οι τεχνικές αυτές ενσωματώνουν αμινοξέα, που δεν υπάρχουν στη φύση, για την παραγωγή βιοϋλικών με πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες. Με ρύθμιση των σταυροδεσμών (crosslinking) παρασκευάζονται βιοπολυμερή με ιατρικές ιδιότητες και πολυάριθμες εφαρμογές.⁷¹⁻⁷³ Η βιοσύνθεση πολυσακχαριτών (polysaccharides) είναι ένας άλλος τομέας βιοκαταλυτικών πολυμερών με πολυάριθμες εφαρμογές.^{74,75} Ουσίες όπως οι γλυκοαμινογλυκάνες (glycoaminoglycans) είναι ουσίες για την παραλαβή και βιοδιάθεση φαρμάκων, γέλες (πηκτές) που εμφυτεύονται και ικρίωματα συσσώρευσης κυτάρων (cell scaffolds).⁷⁶

Πολυάριθμα βιοϋλικά και με πρακτικές εφαρμογές σε πολλούς τομείς της βιολογίας, της ιατρικής, της οδοντιατρικής, των καλλυντικών, της περιποίησης του δέρματος κ.λπ. έχουν παρασκευασθεί με τις αρχές της πράσινης χημείας, με βιοκαταλυτικές μεθόδους και με ανανεώσιμες πρώτες ύλες.^{77,78}

Την τελευταία δεκαετία, τα βιοκαύσιμα έχουν καταστεί σημαντική τεχνολογική και εμπορική εξέλιξη με αποτέλεσμα να εισαχθούν κανόνες και περιορισμοί στο είδος τους και στην διάθεσή τους. Η Ευρωπαϊκή Ένωση πρόσφατα νομοθέτησε για 7 σχήματα πιστοποίησης (19/7/2011, MEMO 11/522) για βιοκαύσιμα. Μεταξύ των άλλων τα βιοκαύσιμα δεν πρέπει να παρασκευάζονται από δασικά συστήματα ή με την ανάπτυξη δένδρων σε περιοχές δασών, αλλά κυρίως από φυτικά υπολείμματα ή μικροφύκη. Τα βιοκαύσιμα πρέπει να παράγουν 35% λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα και άλλα αέρια του θερμοκηπίου από τα συμβατικά καύσιμα. Το 2007 στις χώρες της ΕΕ, το 26% του βιοντίζελ και 31% της βιοαιθανόλης που καταναλώνονταν ήταν εισαγωγικές από ΗΠΑ και Βραζιλία.⁷⁹

Η παραγωγή και κατανάλωση χημικών υλικών της Πράσινης Χημείας έχουν περάσει σε μία ολοένα αυξανόμενη ανάπτυξη. Στις ΗΠΑ, σύμφωνα με εμπορικές έρευνες (Pike Research, www.innovativeindustry.net) αυξήθηκαν σε 2,8 δισεκατομμύρια \$ το 2011. Με τον αυξανόμενο ρυθμό τα επόμενα χρόνια και τις νέες τεχνολογικές εφαρμογές που φαίνεται να επιτυγχάνονται από διάφορες βιομηχανίες, πιστεύεται ότι θα φτάσει τα 100 δισεκατομμύρια δολάρια το 2020.⁸⁰



Hench LL, Jones JR. Biomaterials, Artificial Organs and Tissue Engineering. (Woodhead Publishing in Materials) CRC Press, Boca Raton, FL, 2005

Βιβλιογραφία

1. Energy Consumption by fuel, 1965–2008 *Statistical Review of World Energy 2009*, BP. July 31, 2009. (<http://www.bp.cpm/statisticalreview>)
2. Global Energy Review in 2009. Enerdata Publication (www.enerdata.net)
3. World Energy Intensity: Total Primary Energy Consumption per Dollar of Gross Domestic Product using Purchasing Power Parities, 1980–2004 (XLS). Energy Information Administration, U.S. Department of Energy. August 23, 2006. [<http://www.eia.doe.gov/pub/international/iealf/tablee1p.xls>. Retrieved 2007-04-03.]
4. Bantley RW. Global oil and gas depletion: an overview. *Energy Policy* 30(3):189-205, 2002.
5. Greene DL, Hopson JL, Li J. Have we run out of oil yet? Oil peaking analysis from an optimist's perspective. *Energy Policy* 34(5):515-531, 2006,
6. Arscott L. Sustainable development in the oil and gas industry. *J Energy Resourc Technol* 126(1):1-6, 2004.
7. Campbell CJ. *Oil Crisis*. Multi-Science Publications Co, Brentwood, Essex, UK, 2005.
8. Deffeyes KS. *Beyond Oil: The View from Hubbert's Peak*. Hill & Wang, New York, 2006.
9. Demirbas A. Progress and recent trends in biofuels. *Progr Energy Combust Sci* 33(1):1-18, 2007.
10. Balat M, Balat H. Progress in biodiesel processing. *Applied Energy* 87(6): 1815-1835, 2010.
11. Moore A. Biofuels are dead: long live biofuels (?) -Part one. *New Biotechnol* 25(1):6-12, 2008.
12. Bozbas K. Biodiesel as an alternative motor fuel: production and politics in thwe European Union. *Renewable Sustain Energy Rev* 12(2):542-552, 2008.
13. Kavalov B. *Biofuels Potential in the EU*. Report. Joint Research Centre. European Commission, Institute for Prospective Technological Studies, Ispra , Italy, January 2004 (http://www.biodiesel.pl/uploads/media/biofuels_future.pdf).
14. Zabaniotou A, Ioannidou O, Skoulou V. Rapeseed residues utilization for energy and 2nd generation biofuels. *Fuel* 87(8-9):1492-1502, 2008.
15. Panoutsou C, Namatov I, Lychnaras V, Nikolaou A. Biodiesel options in Greece. Review. *Biomass Bioenergy* 32(6):473-481, 2008.
16. Festel GW. Biofuels-economic aspects. *Chem Eng Technol* 31(5):715-720, 2008.
17. Charles MB, Ryan R, Ryan N, et al. Public policy and biofuels: the way forward? *Energy Policy* 35(11):5737-5746, 2007.
18. Hame;inck CN, Faaij APC. Outlook for advanced biofuels. *Energy Policy* 34(17):3268-3283, 2006.
19. Tilman D, Socolow R, Foley JA, Hill J, Larson E, et al. Beneficial biofuels-the food, energy, and environment trilemma. *Science* 325:270-271, 2009.
20. Petrou EC, Parris CP. Biofuels: A survey on pros and cos. *Energy Fuels* 23(5):1055-1066, 2009.

21. Phalan B. The social and environmental impacts of biofuels in Asia: an overview. *Applied Energy* 86 (Suppl 1):521-529, 2009.
22. Hill J, Nelson E, Tilman D, Polasky S, Tiffany D. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *Proc Natl Acad Sci USA* 103(30): 11206-11210, 2006.
23. Scharlemann JPW, Laurance WF. How green are biofuels? *Science* 319:43-44, 2008.
24. Searchinger T, Heimlich R, Houghton RA, et al. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science* 319:1238-1240, 2008.
25. Williams PR, Inman D, Aden A, Heath GA. Environmental and sustainability factors associated with next-generation biofuels in the U.S.: what do we really know? Review. *Environ Sci Technol* 43(13):4763-4775, 2009.
26. Campbell JE, Block E. Land-use and alternative bioenergy pathways for waste biomass. *Environ Sci Technol* 44(22):8665-8669, 2010.
27. Kim H, Kim S, Dale BE. Biofuels, land use change, and greenhouse gas emissions: some unexplored variables. *Environ Sci Technol* 43(3):961-9667, 2009.
28. Alonso DM, Bond JQ, Dumesic JA. Catalytic conversion of biomass to biofuels. Critical review. *Green Chem* 12:1493-1513, 2010.
29. Clark JH, Budarin V, Deswarte FEI, et al. Green chemistry and biorefinery: a partnership for a sustainable future. *Green Chem* 8:853-860, 2006.
30. Abdulla R, Chan ES, Ravindra P. Biodiesel production from *Jatropha curcas*: a critical review. *Critical Rev Biotechnol* 31(1): 53-64, 2011.
31. Takara D, Khanal SK. Green processing of tropical banagrass into biofuel and biobased products: an innovative biorefinery approach. *Bioresour Technol* 102(2): 1587-1592, 2011.
32. Zinoviev S, Muller-Langer F, Das P, et al. Next-generation biofuels: survey of emerging technologies and sustainability issues. *Chem Sus Chem* 3(10): 1106-1133, 2010.
33. Lestari S, Maki-Arvela P, Beltramini J, Lu GQ, Murzin DY. Transforming triglycerides and fatty acids into biofuels. *Chem Sust Chem* 2(12): 1109-1119, 2009.
34. Clark JH. Green chemistry for the second generation biorefinery-sustainable chemical manufacturing based on biomass. *J Chem Technol Biotechnol* 82(7):603-609, 2007.
35. Haas MJ, Scott KM, Alleman TL, McCormick RL. Engine performance of biodiesel fuel prepared from soybean soapstock: A high quality renewable fuel produced from a waste feedstock. *Energy Fuels* 15(5): 1207-1212, 2001.
36. Carere CR, Sparling R, Cicek N, Levin DB. Third generation biofuels via direct cellulose fermentation. *Int J Mol Sci* 9(7):1342-1360, 2008.
37. Hwertwich EG, Zhang X. Concentrating-solar biomass gasification process for a 3rd generation biofuel. *Environ Sci Technol* 43(11):4207-4212, 2009.
38. Schenk PM, Thomas-Hall SR, Stephens E, et al. Second generation biofuels. High-efficiency microalgae for biodiesel production. *Bioenergy Res* 1(1):20-43, 2008.

39. Cheng HN, Gross RA (Eds). *Green Polymer Chemistry: Biocatalysis and Biomaterials*. ACS Symposium Series, vol 1043, American Chemical Society Publications, Washington DC (Oxford University Press, USA), 2010.
40. Kalia S, Averons L (Eds). *Biopolymers: Biomedical and Environmental Applications*. Wiley, Chichester, West Sussex, UK, 2011.
41. Tao J, Kazlauskas RJ (Eds). *Biocatalysis for Green Chemistry and Chemical Process Development*. Wiley, Chichester, West Sussex, UK, 2011.
42. Kendall JB (Ed). *Biomaterials Research Advances*. Nova Science Publishers, New York, 2008.
43. Kobayashi S, Makino A. Enzymatic polymer chemistry: an opportunity for green polymer chemistry. *Chem. Rev.*109: 5288–5353, 2009.
44. Bhat SV. *Biomaterials*. Alpha Science International, New York,, 2005.
45. Ratner BD. *Biomaterials Science*. Academic Press, London, 2004.
46. Guelcher SA, Hollinger JO (Ed). *An Introduction to Biomaterials*. CRC Press/Taylor & Francis, Boca Raton, FL, 2006.
47. Cheng HN, Gross RA (Eds). *Polymer Biocatalysis and Biomaterials*. American Chemical Society Symposium Series Vol, 900, ACS publications, Washington DC, 2005.
48. Gross RA, Cheng HN (Eds). *Biocatalysis in Polymer Science*. American Chemical Society, ACS publications, Washington DC, 2003.
49. Roach P, Eglin D, Rohde K, Perry CC. Modern biomaterials: review – bulk properties and implications of surface modifications. *J Mater Sci* 18(7):1263-1277, 2007.
50. Meier MAR, Metzgerb JO, Schubert US. Critical review. Plant oil renewable resources as green alternatives in polymer science. *Chem Soc Rev* 36(11): 1788-1802, 2007.
51. Bhardwai R, Mohanty AKJ. Advances in the properties of polyactides based materials: a review. *J Biobased Mater Bioenergy* 1(2):191-209, 2007.
52. Liu.Y,Yang X, Shi X, et al.. Biofabrication based on the enzyme-catalyzed coupling and crosslinking of pre-formed biopolymers. *Green Polymer Chemistry: In: Cheng HN, Gross RA (Eds). Biocatalysis and Biomaterials, ACS Symposium Series 1043, ACS publications, Washington DC, 2010, Chapter 3.*
53. Zhang J, Chen F. Development of novel soy protein-based polymer blends. *Green polymer chemistry. In: Biocatalysis and Biomaterials. ACS Symposium Series 1043, ACS publications, 2010, chapter 4.*
54. Kose O, Tuter M, Aksoy HA. Immobilized *Candida Antarctica* lipase-catalyzed alcoholysis of cotton seed oil in a solvent-free medium. *Bioresources Technol* 83(2):125-129, 2002.
55. Kumar A, Kulshrestha AS, Gao N, Gross RA. Versatile route to polyol polyesters by lipase catalysis. *Macromolecules* 36(22):8219-8221, 2003.
56. Lecourt M, Sigoillot J-C, Petit-Conil M. Cellulase-assisted refining of chemical pulps: impact of enzymatic charge and refining intensity on energy consumption and pulp quality. *Process Biochem* 45(8):1274-1278, 2010.
57. Xu F. Applications of oxidoreductases: recent progress. *Indust Biotechnol* 1(1):38-50, 2005.

58. Li L, Yi W, Chen W, et al. Production of natural polysaccharides and their analogues via biopathway *engineering*. In : Cheng HN, Gross RA (Eds).. *Green Polymer Chemistry: Biocatalysis and Biomaterials*; ACS Symposium Series 1043, ACS publications, Washington DC, 2010, Chapter 20.
59. Yamaguchi N, Kiick KL. Polysaccharide-Poly(ethylene glycol) star copolymer as a scaffolding for production of bioactive hydrogels. *Biomacromolecules* 6(4):1921-1930, 2005.
60. Kiick K. Modular biomolecular materials for engineering mechanically active tissues. *Polym. Prepr.* 50 (2): 53-58, 2009.
61. Matos TD, King N, Simmons L, et al. Mixture design to optimize microwave assisted lipase catalyzed polymerizations. *Polym. Prepr.* 50 (2): 52-59, 2009.
62. Fishman ML, Chau HK, Hoagland PD, et al. Microwave-assisted extraction of lime pectin. **Food Hydrocolloids** 20(8):1170-1177, 2006.
63. Fishman ML, Chau HK, Cooke PH, Hotchkiss AT. Global structure of microwave-assisted flash-extracted sugar beet pectin. *J Agric Food Chem* 56(4):1471-1478, 2008.
64. Wang JH, He A. Bio-Based and biodegradable aliphatic polyesters modified by a continuous alcoholysis reaction. In: Cheng HN, Gross RA (Eds). *Green Polymer Chemistry: Biocatalysis and Biomaterials*. ACS Symposium Series 1043 ACS publications, Washington DC, 2010; Chapter 29.
65. Yu D, Zhang Y. The direct carboxylation of terminal alkynes with carbon dioxide. *Green Chem* 13: 12756-1279, 2011.
66. Temenoff JS. Tissue engineering for regeneration of articular cartilage. Review. *Biomaterials* 21(5):431-440, 2000.
67. Lutolf MP, Hubbell JA. Synthetic biomaterials as instructive extracellular microenvironments for morphogenesis in tissue engineering. Review. *Nature Biotechnol* 23(1):47-55, 2005.
68. Bisht KS, Al-Azemi TF. Synthesis of functional polycarbonates from renewable resources. In : Cheng HN, Gross RA (Eds).. *Green Polymer Chemistry: Biocatalysis and Biomaterials*; ACS Symposium Series vol1043 ACS Publs, Washington, DC, 2010; Chapter 13.
69. Wang JH, He A. Bio-based and biodegradable aliphatic polyesters modified by a continuous alcoholysis reaction. In: Cheng HN, Gross RA (Eds). *Green Polymer Chemistry: Biocatalysis and Biomaterials*; ACS Symposium Series vol. 1043, ACS publications, Washington, DC, 2010; Chapter 29.
70. Onyari JM, Huang A. Synthesis and properties of novel polyvinyl alcohol-lactic acid gels. *J Appl Polym Sci* 113(4):2053-2061, 2009.
71. Deming TJ. Polypeptide materials: new synthetic methods and applications. *Advan Material* 9(4):299-311, 1997.
72. Wright ER, Conticello VP. Self-assembly of block copolymers derived from elastin-mimetic polypeptide sequences. *Adv Drug Delivery Res* 54(8):1057-1073, 2002.
73. Langer R, Tirrell DA. Designing material for biology and medicine. *Nature* 428:487-492, 2004.

74. Suh JKF, Matthew HWT. Application of chitosan-based polysaccharide biomaterials in cartilage tissue engineering: a review. *Biomaterials* 21(24):2589-2598, 2000.
75. Rinano M. Main properties and current application of some polysaccharides as biomaterials. *Polymer Int* 57(3):397-430, 2008.
76. DeAngelis, P. L. Glycosaminoglycan synthases: catalysts for customizing sugar polymer size and chemistry. In: Cheng HN, Gross RA (Eds). . *Green Polymer Chemistry: Biocatalysis and Biomaterials*; ACS Symposium Series 104, ACS publications, Washington, DC, 2010; Chapter 21.
77. Furth ME, Atala A, Van Dyke ME. Smart biomaterials design for tissue engineering and regenerative medicine. *Biomaterials* 28(34):5068-5073, 2007.
78. Huebsch N, Mooney DJ. Inspiration and application in the evolution of biomaterials. *Nature* 468:436-432, 2009.
79. EU Commission (MEMO: Certification Schemes for Biofuels, 11/522, 19.7.2011) tightens rules for biofuel use. BBC NEWS (19.7.2011, www.bbc.co.uk/news/world-europe-14205848).
80. The 100 billion dollar business of Green Chemistry. Innovative Industry net (www.innovativeIndustry.net/tag/green-chemicals-2)

....

10. Ο Ρόλος της Πράσινης Χημείας στη Βελτίωση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και στην Εξοικονόμηση Νερού

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στον 21^ο Αιώνα

Τα τελευταία 20 χρόνια, με την πετρελαϊκή κρίση και την κλιματική αλλαγή που οφείλεται στις αυξημένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου, η τεχνολογία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ή ήπιες μορφές ενέργειας ή πράσινη ενέργεια) έχει προωθηθεί σε μεγάλο βαθμό. Η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας, του άνεμος, της κυκλοφορίας των νερών, της γεωθερμίας, των παλιρροιών στις θάλασσες είναι τρόποι που χρησιμοποιούν φυσικά φαινόμενα για την παραγωγή, κυρίως, ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ήπιες μορφές ενέργειας είναι σχετικά «καθαρές» μορφές ενέργειας, ανανεώσιμες και «φιλικές» στο περιβάλλον. Συγχρόνως δεν απαιτείται ενεργειακή παρέμβαση (εξόρυξη ή καύση) και δεν παράγουν απόβλητα, καυσαέρια ή τοξικές ουσίες. Από αυτά τα χαρακτηριστικά τους οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεωρούνται η αφετηρία για την επίλυση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει ο πλανήτης Γη με σύγχρονη αντιμετώπιση των υψηλών ενεργειακών αναγκών του βιομηχανικού τρόπου ζωής του ανθρώπου.^{1,2}

10.2. Είδη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)

Οι πιο γνωστές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι:^{3,4}

- 1) **Αιολική ενέργεια.** Χρησιμοποιείται με αυξανόμενο ρυθμό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας,
- 2) **Ηλιακή ενέργεια.** Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για ηλιακούς θερμοσίφωνες. Την τελευταία δεκαετία Φωτοβολταϊκές συστοιχίες και συσσωρευτές για ηλεκτρική ενέργεια,
- 3) **Υδατοπτώσεις.** Υπάρχουν εδώ και δεκαετίες χιλιάδες υδροηλεκτρικά σε όλο τον κόσμο. Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας,
- 4) **Γεωθερμική ενέργεια.** (θερμότητα από το εσωτερικό της Γης με ραδιενεργό αποσύνθεση. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια,
- 5) **Ενέργεια από παλίρροιες.** Εκμεταλλεύεται την ανύψωση και πτώση του επιπέδου της θάλασσας (που είναι αποτέλεσμα της έλξης της Σελήνης και Ήλιου και λόγω της περιστροφής της Γης),
- 6) **Ενέργεια από κύματα.** Εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας των κυμάτων της θάλασσας,
- 7) **Ενέργεια των ωκεανών.** Εκμεταλλεύεται της διαφορά θερμοκρασίας στα διάφορα στρώματα ωκεανών και θερμικών κύκλων.

- 8) **Βιομάζα.** Εκμετάλλευση των υδατάνθρακες φυτών, και αποβλήτων βιομηχανίας, γεωργίας, κτηνοτροφίας. Βιοαιθανόλη, βιοαέριο, βιοντίζελ.



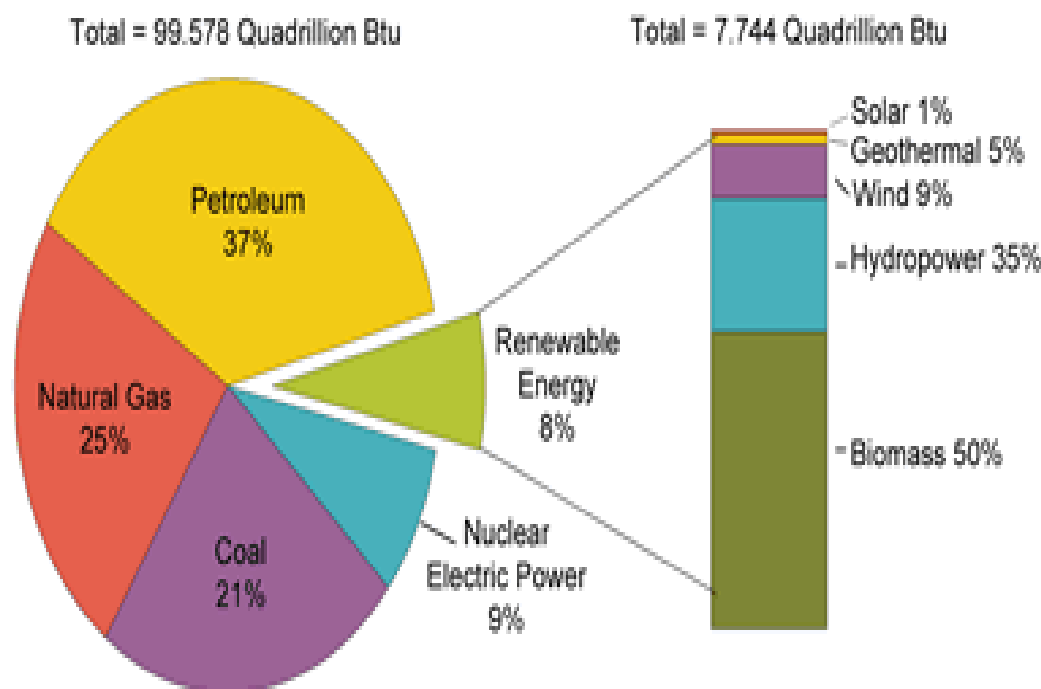
.Σχήμα 10.1. Πάρκο θερμοηλεκτρικού σταθμού 50 MW φωτοβολταϊκών στην τοποθεσία La Florida (Badajoz), Ισπανία, 2010. Ανεμογεννήτριες σε περιοχή της Κρήτης.

Πρόσφατη μελέτη (2011) οργανισμού του ΟΗΕ, βρήκε ότι σε παγκόσμια κλίμακα οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) αναπτύχθηκαν με ρυθμό 32% κατά τη διάρκεια του 2010 και έφτασαν στο επίπεδο των 211 δισεκατομμυρίων (\$) δολαρίων σε επενδύσεις.⁵

Οι αναπτυσσόμενες και αναπτυσσόμενες βιομηχανικές χώρες επενδύουν με αυξανόμενο ρυθμό σε τεχνολογίες ΑΠΕ όπουδήποτε υπάρχουν διαθέσιμα κεφάλαια και τεχνολογική υποδομή. Η Κίνα για παράδειγμα, επένδυσε το 2010 49 δισεκ. δολάρια (28% περισσότερα σε σχέση με το 2008) Το ίδιο συνέβηκε και με τις χώρες της Κεντρικής και Λατινικής Αμερικής, 13 δισεκ. \$ το 2010 (39% σε σχέση με το 2009), στη Μέση Ανατολή 5 δισεκ. & (αύξηση 104%) και στην Ινδία 3,8 δισεκ. \$ (αύξηση 25%).

Στην Ευρώπη έγιναν επενδύσεις 35 δισεκ. \$ για πάρκα με ανεμογεννήτριες (μείωση 22%). Σε Ευρωπαϊκές χώρες έγιναν αυξημένες επενδύσεις σε φωτοβολταϊκά πάρκα μικρής έκτασης: Γερμανία 34 δισεκ. \$ (αύξηση 132% σε σχέση με το 2009), Ιταλία 5.5 δισεκ. \$ (59%), Γαλλία 2.7 δισεκ. \$ (150%), Τσεχία 2,3 δισεκ. \$ (163%).⁵

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξάνονται με αργό ρυθμό στις ΗΠΑ. Το 2009 οι ΑΠΕ απέδιδαν το 8% της ηλεκτρικής ενέργειας, εκ των οποίων ηλιακή και αιολική ενέργεια αποτελούν, περίπου, 10% των ΑΠΕ.⁶



Σχήμα 10.2. Το 2009, κατανομή των πηγών ενέργειας στις ΗΠΑ. Οι ανανεώσιμες (ή ήπιες) πηγές ενέργειας καταλαμβάνουν μόνο το 8% . Οι ΑΠΕ είναι Βιομάζα 50%, Υδροηλεκτρική ενέργεια 35%, Ανεμογεννήτριες 9%, γεωθερμία 5% και ηλιακή ενέργεια (φωτοβολταϊκά), περίπου, 1%.

Οι **Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας** στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) το 2008 συνέβαλαν στο 10,3% της συνολικής παραγωγής ενέργειας. Το 2008, η ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ) υπολογίστηκε στο 10,3% της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην ΕΕ των 27, σε σύγκριση με 9,7% το 2007 και 8,8% το 2006.

Το 2009 η οδηγία για τις ΑΠΕ καθορίζει επιμέρους στόχους για όλα τα κράτη μέλη, έτσι ώστε η ΕΕ θα επιτύχει μερίδιο 20% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές έως το 2020. Οι εν λόγω στόχοι λαμβάνουν υπόψη τα διαφορετικά σημεία εκκίνησης των κρατών μελών, το δυναμικό των ΑΠΕ και τις οικονομικές επιδόσεις των χωρών.⁷

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία ήταν το 2010 πολύ ακριβά σε σχέση με άλλα συστήματα. Μελέτη της Ευρωπαϊκής Βιομηχανίας Φωτοβολταϊκών (European Photovoltaic Industry Association) βρήκε ότι η παραγωγή μίας κιλοβατώρας (kWh) από κάρβουνο (Γερμανία) έχει κόστος 0,9 ευρώ, ενώ από φωτοβολταϊκά κυμαίνεται μεταξύ 16-0,35 ευρώ, ανάλογα με το σύστημα και το μέγεθος της παραγωγής. Δηλαδή είναι εξαιρετικά ακριβή αλλά με το μέγεθος και νέες τεχνολογίες μπορεί να συναγωνισθεί τις συμβατικές. Η παραγωγή ενέργειας με φωτοβολταϊκά στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ στηρίζεται ακόμη με ευρωπαϊκές και κρατικές επιδοτήσεις. Πιστεύεται ότι το κόστος των φωτοβολταϊκών συστημάτων θα μειώνεται κάθε χρόνο και το 2020 θα πετύχει να συναγωνισθεί τις άλλες ανανεώσιμες και συμβατικές πηγές ενέργειας.⁸

Αν και η δέσμευση της ηλιακής ενέργειας με φωτοβολταϊκά συστήματα φαίνεται να είναι η πλέον «πράσινη» παραγωγή ενέργειας, υπάρχουν πολλά τεχνολογικά και υλικοτεχνικά προβλήματα που πρέπει να λυθούν σε συστήματα δικτύων και υλικά που θα είναι φιλικά στο περιβάλλον.^{9,10}

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Οι ανανεώσιμες ή ήπιες πηγές ενέργειας με την κατασκευή δικτύων, εκμετάλλευσης και διανομής παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές, αλλά και ορισμένα μειονεκτήματα¹¹⁻¹³

10.3.1. Πλεονεκτήματα ανανεώσιμες πηγών ενέργειας

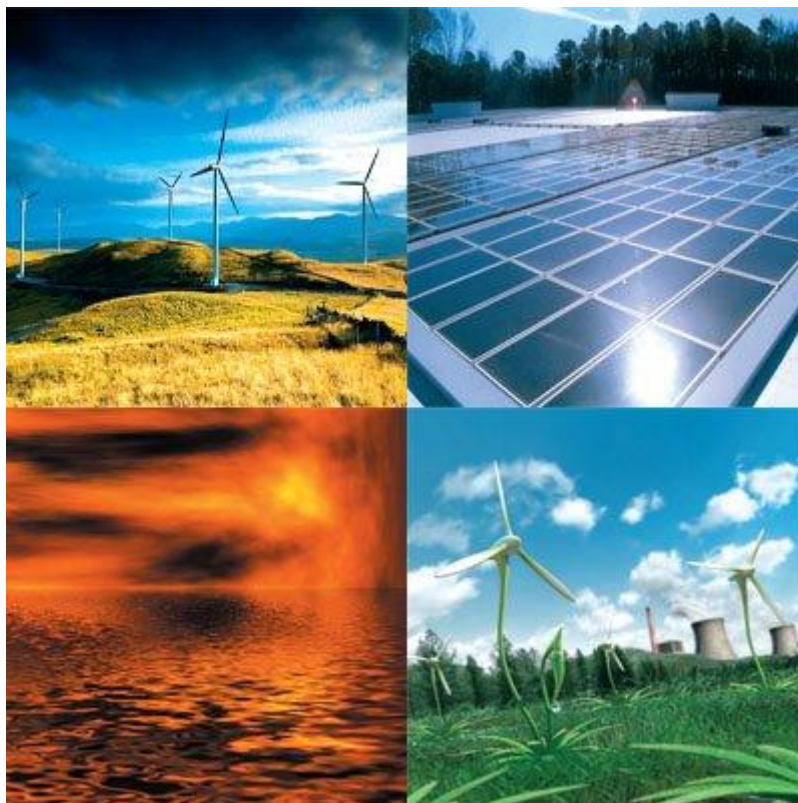
- Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και στερεά και υγρά απόβλητα. Εδώ η Πράσινη Χημεία και Μηχανική μπορούν να προσφέρουν σημαντικό έργο, βελτιωμένων υλικών, συστήματα απορρύπανσης και μειωμένα απορρίμματα.
- Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου που επικρατεί μέχρι σήμερα στην παγκόσμια οικονομία.
- Είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- Ο εξοπλισμός των ανανεώσιμων είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής σε σχέση με τις συμβατικές.
- Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις. Αν και οι επιδοτήσεις θεωρούνται ότι θα μειωθούν τμηματικά καθώς το κόστος μειώνεται με την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Στο τμήμα αυτό η Πράσινη Χημεία και

Μηχανική έχουν να προσφέρουν σημαντικό έργο και νέα υλικά ώστε οι ανανεώσιμες πηγές να συναγωνισθούν τις συμβατικές.

10.3.2. Μειονεκτήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

- Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο σε σχέση με τις συμβατικές. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια εδάφους. Γι' αυτό μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας και για να επιβιώσουν οικονομικά επιδοτούνται από κυβερνήσεις για περιβαλλοντικούς λόγους.
- Ακόμη και σήμερα (2011) οι ΑΠΕ καλύπτουν μόνο το 10% προς το παρόν και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων. Το μειονέκτημα αυτό πιστεύεται ότι θα ξεπερασθεί την επόμενη δεκαετία με νέα υλικά, έρευνα και επενδύσεις σε τεχνολογικά δίκτυα και εγκαταστάσεις.
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται. Τα ανανεώσιμα αυτά συστήματα βελτιώνονται συστηματικά με νέες ερευνητικές εφαρμογές, νέα υλικά και καλύτερα δίκτυα αποθήκευσης ενέργειας και διανομής.
- Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και τη μελετημένη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα ή σε περιοχές χωρίς δένδρα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί ή μειώνονται σε μεγάλο βαθμό. Δεν υπάρχει τεχνολογική εφαρμογή που να είναι 100% «ήπια» για το περιβάλλον και τα οικοσυστήματα
- Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα προβλήματα μπορούν να ξεπεραστούν με νέες τεχνολογικές εφαρμογές και «πράσινες» χημικές διεργασίες.
- Η Αιολική ενέργεια αυξάνει ποσοτικά στην παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, αν και το κόστος των ανεμογεννητριών είναι αρκετά μεγάλο, χρειάζονται συντήρηση και δεν παράγει συνεχή ηλεκτρική ενέργεια (ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου). Οι ανεμογεννήτριες προκαλούν θόρυβο, είναι οπτικά επιβαρυντικές για την αισθητική του περιβάλλοντος και για την παρασκευή τους προκαλείται βιομηχανική ρύπανση. Παλιότερα η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε για την άντληση νερού από πηγάδια καθώς και για μηχανικές εφαρμογές (π.χ. την άλεση στους ανεμόμυλους). Έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται ευρέως για ηλεκτροπαραγωγή αλλά το μέγεθος (της μεγαλύτερης αιολικής κατασκευής) μπορεί να προμηθεύσει καθημερινά μόνο τις ανάγκες 475 οικιών.
- Ηλιακή ενέργεια. Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι) ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια

της πολιτικής προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Η Ευρωπαϊκή Ένωση που εξαρτάται άμεσα από το πετρέλαιο και κάρβουνο για το 90% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, εφαρμόζει μεγάλης κλίμακας επιδοτήσεις για την εγκατάσταση και βελτίωση των δικτύων παραγωγής ενέργειας με φωτοβολταϊκά συστήματα



Σχήμα 10.3. Ανανεώσιμες ή αιεφόρες πηγές ενέργειας και οι εφαρμογές τους βρίσκονται σε μεγάλη άνθηση στις αναπτυγμένες χώρες.

Πολλές οργανώσεις Πράσινης Χημείας και Μηχανικής (Τεχνολογίας) προωθούν την επιμόρφωση τεχνικών, υπαλλήλων βιομηχανιών, τεχνολόγων και επιστημόνων σε θέματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσα από το πρίσμα της πράσινης χημείας και πράσινης μηχανικής

Παράδειγμα

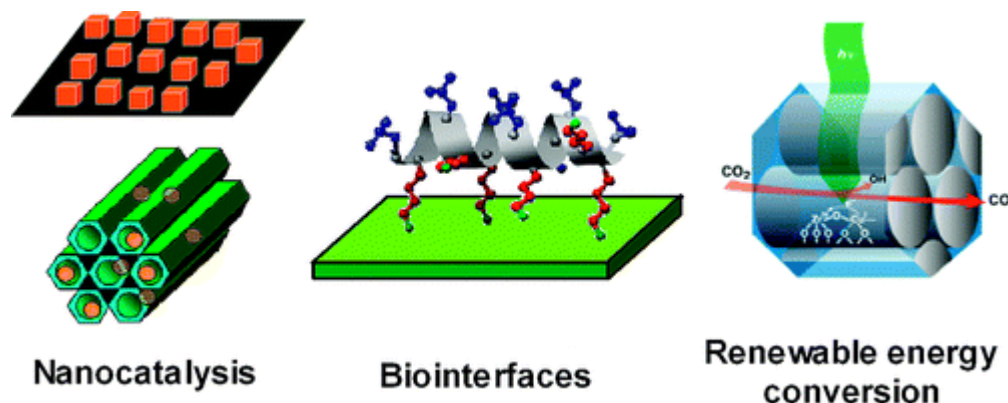
ACS Summer School on Green Chemistry and Sustainable Energy (2011, McGill University (Montreal, Canada)).

Χωρίς δίδακτρα και με επιδότηση της μεταφοράς κατοικίας και τροφής
Σπόνσορες του καλοκαιρινού σχολείου.



10.4. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Πράσινη Χημεία και Πράσινη Μηχανική

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι δεδομένες αλλά όλες επιδέχονται μεγάλες βελτιώσεις σε απόδοση και περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Τα νέα υλικά, οι νεότερες τεχνολογίες που επιτυγχάνονται τα τελευταία χρόνια στην νανοκατάλυση και με βιο-ενεργές επιφάνειες έχουν επιτελέσει σημαντικά άλματα στην μετατροπή διαφόρων απλών υλικών ή ρύπων σε ενέργεια.



Σχήμα 10.4. Η νανοκατάλυση, οι βιοεπιφάνειες και άλλες τεχνολογικές εφαρμογές μπορούν να συμβάλλουν στην μετατροπή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Πρόσφατη έρευνα (Samorjai GA et al, JACS, 2009) υπογραμμίζει τις προόδους στην νανοκατάλυση και στις βιοεπιφάνειες για την μετατροπή ανανεώσιμης ενέργειας και το ρόλο που μπορεί να παίξει η πράσινης χημεία και οι εκπληκτικές τεχνικές (scanning tunneling microscopy, sum frequency generation (SFG) vibrational spectroscopy, time-resolved Fourier transform infrared methods, and ambient pressure X-ray photoelectron spectroscopy) που συνέβαλαν στην εκπληκτική πρόοδο της νανοκατάλυσης.¹⁴

Μεγάλες τεχνολογικές αλλαγές και νέα υλικά στα φωτοβολταϊκά συστήματα την τελευταία δεκαετία έχουν μειώσει δραματικά το κόστος και έχουν βελτιώσει την απόδοση της εκμετάλλευσης της «καθαρής» ηλιακής ενέργειας. Η Πράσινη Χημεία και Πράσινη Μηχανική έχουν συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στις βελτιώσεις αυτές αλλά και μία σειρά από νέες ανακαλύψεις και υλικά.¹⁵⁻²⁰

Η τεχνολογία των κυψελίδων καυσίμου ή ηλεκτροχημικό στοιχείο καύσης (fuel cells), όπως η κυψελίδα υδρογόνου που θεωρείται ο αποδοτικότερος τρόπος αξιοποίησης του υδρογόνου στην αυτοκίνηση, είναι μία πράσινη τεχνική με πολλές προοπτικές.²¹

Η ενεργειακή και περιβαλλοντική κρίση του πλανήτη έχει επιταχύνει την αναζήτηση αποδοτικών και ήπιων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και προς την κατεύθυνση αυτή εργάζονται και ερευνούν χιλιάδες ερευνητικά κέντρα και πανεπιστημιακά εργαστήρια. Αλλά συγχρόνως από την τελευταία δεκαετία στις νέες τεχνολογίες έχει εισαχθεί και η έννοια της ανανεώσιμης πηγής, της πράσινης χημείας και μηχανικής και των ανακυκλώσιμων υλικών ως προϋπόθεση για την προώθηση και εφαρμογή τους.²²⁻²⁵

Παράλληλα, αναλυτές και τεχνολόγοι καταγράφουν τις τάσεις και τις νέες εφαρμογές, καθώς και τη μελλοντική εξέλιξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με τις σημερινές τάσεις και τις διαχρονικές εξελίξεις.^{26,27}

Η Αμερικανική Χημική Εταιρεία, Green Chemistry Institute, διοργανώνει το 2011 το 15^ο συνέδριο για Πράσινη Χημεία και Μηχανική. Ένα από τα θέματα του συνεδρίου είναι ο σημαντικός ρόλος της Πράσινης Χημείας και της Πράσινης Μηχανικής με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Το Συνέδριο του 2011 έχει τίτλο : 15th Annual Green Chemistry and Engineering Conference “ Global Challenges, Greene Chemistry Solutions”

Ένα από τα θέματα στα οποία επικεντρώνονται οι διαλέξεις θα είναι Session: Green Chemistry Approaches to Renewable Energy

Green chemistry is having an impact on renewable energy including the use of earth, abundant materials and efficient catalyzed processes for energy storage, solar energy and fuels, and hydrogen storage, production and utilization.

Οι εργασίες θα επικεντρώσουν το ερευνητικό ενδιαφέρον στις περιοχές:

- 1) Biomass conversion to fuels;
- 2) Solar energy harvesting and conversion;
- 3) Energy storage in batteries, supercapacitors and chemical bonds;
- 4) Hydrogen production, storage and utilization.

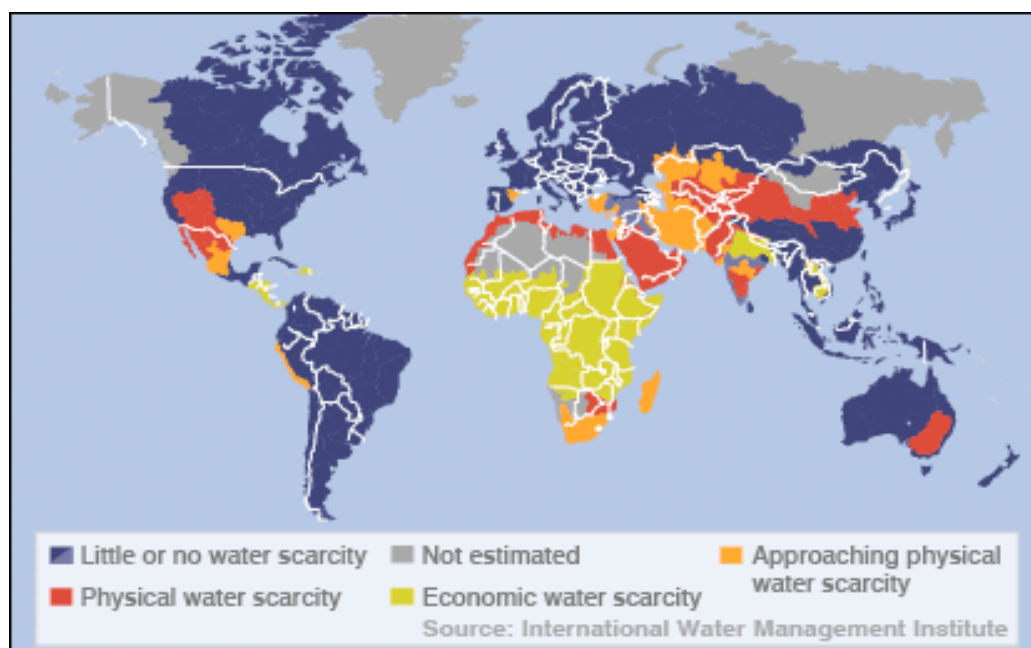
Από τη θεματολογία του συνεδρίου φαίνεται ότι η Πράσινη Χημεία και η Μηχανική μπορούν να προσφέρουν λύσεις σε θέματα βιομάζας και μετατροπής σε χρήσιμα βιοκαύσιμα, σε θέματα ηλιακής ενέργειας, τόσο στη συλλογή της και στη μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια, σε θέματα αποθήκευσης ενέργειας σε μπαταρίες, υπερσυσσωρευτές και χημικές ενώσεις και στην παραγωγή, αποθήκευση και χρήση υδρογόνου ως «πράσινου» καυσίμου.



Σχήμα 10.6. Το 15^ο συνέδριο Πράσινης Χημείας και Μηχανικής της Αμερικανικής Χημικής Εταιρείας-Ινστιτούτο Πράσινης Χημείας (2011) ήταν αφιερωμένο στα σημαντικότερα θέματα της χημείας και τεχνολογίας

10.5. Πράσινη Χημεία και ο Ρόλος της στην Εξοικονόμηση Νερού και στην Ανακύκλωση

Η Παγκόσμια κρίση για καθαρό πόσιμο νερό αποτελεί το σημαντικότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα του πλανήτη Γη του 21^{ου} αιώνα. Η κρίση έχει απλωθεί τις τελευταίες δεκαετίες σε πολλές χώρες και η λειψυδρία σε συνδυασμό με τις κλιματικές αλλαγές έχουν δημιουργήσει εκρηκτικές καταστάσεις σε πολλές περιοχές του πλανήτη. Η κρίση του γλυκού νερού είναι αναγνωρισμένο διεθνές πρόβλημα από τον ΟΗΕ και στο επίκεντρο πολλών τεχνολογικών προσπαθειών για τις τελευταίες δεκαετίες ²⁸⁻³⁰

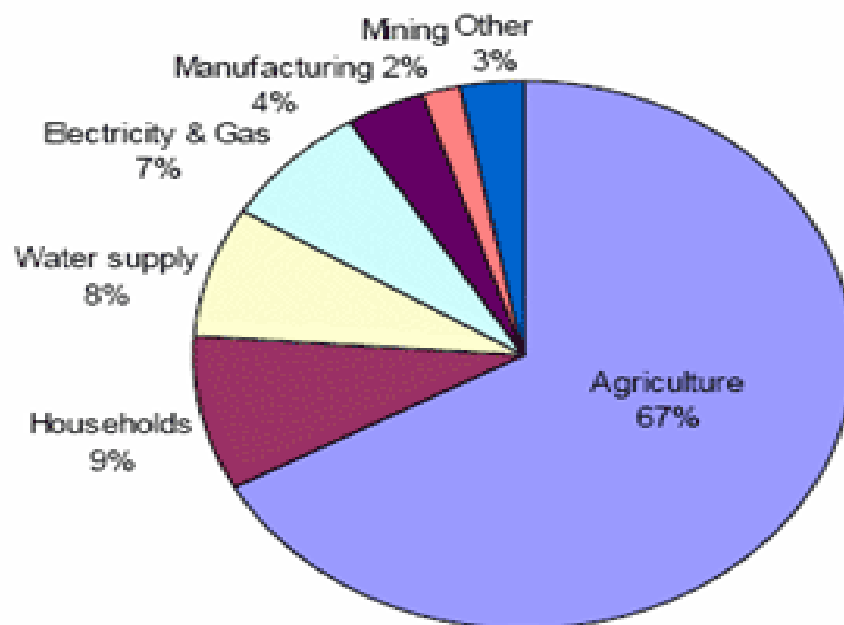
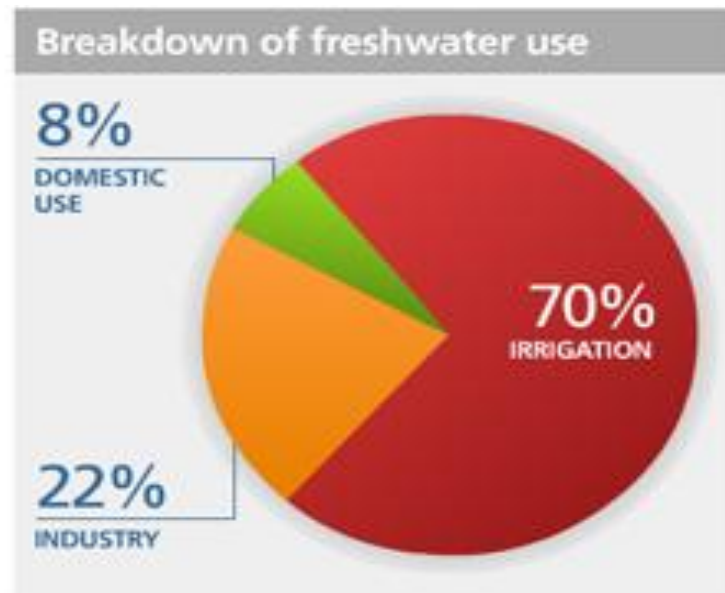


Σχήμα 10.7. Παγκόσμιος χάρτης με τις περιοχές που παρουσιάζουν προβλήματα νερού. Η Υποσαχάρια Αφρική και ορισμένες περιοχές της Κίνας και της Ινδίας έχουν σημαντικό πρόβλημα με την έλλειψη νερού. Επίσης, περιοχές της Κεντρικής Αμερικής και τμήμα της Αυστραλίας έχουν οξύτατο πρόβλημα λειψυδρίας

Από το 2001, ο ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Ανάπτυξης και Συνεργασίας, OECD, Organization for Economic Cooperation and Development) που καλύπτει τις πιο ανεπτυγμένες βιομηχανικές χώρες του πλανήτη, είχε προσδιορίσει ότι μετά από τη γεωργία (που καταναλώνει μεταξύ 56-75% του γλυκού νερού, η βιομηχανία έρχεται με τη σειρά της στη δεύτερη θέση με 20-22%. Η χημική βιομηχανία ιδιαίτερα έχει την πρώτη θέση με 43%, ακολουθούμενη από την βιομηχανία μετάλλων 26% και τη βιομηχανία χαρτοπολτού και χάρτου με ποσοστό 11% σε κατανάλωση νερού.³¹

Στο θέμα της επάρκειας πόσιμου νερού, ανακύκλωσης, εξοικονόμησης για τη γεωργία, και προστασία των πηγών, η πράσινη χημεία και η πράσινη μηχανική μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο. Η Πράσινη Χημεία και Μηχανική μπορούν να μελετήσουν ερευνητικά ώστε να μειωθεί σημαντικά η χρήση νερού από τη χημική βιομηχανία, στη γεωργία και αστικές περιοχές,

αλλά και συγχρόνως για να βελτιωθούν οι μέθοδοι ανακύκλωσης, και αφαλάτωσης.³¹



Global water use in 2005

Σχήμα 10.8.. Η κατανάλωση γλυκού νερού στις βιομηχανικές χώρες έχει αυξηθεί δραματικά τις τελευταίες δεκαετίες. Το 70% χρησιμοποιείται στις αγροτικές καλλιέργειες (στην Ελλάδα το ποσοστό είναι 80-85%), το 2% από τη βιομηχανία και περίπου το 8% για οικιακή χρήση.

Η Πράσινη Χημεία με τις αρχές που έχει θέσει συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό σε πολλά περιβαλλοντικά θέματα, και ιδιαίτερα στη προστασία του γλυκού νερού που είναι μία πολύτιμη πλουτοπαραγωγική πηγή για τον πλανήτη Γη. Πολυάριθμες έρευνες και μελέτες έχουν αφιερωθεί στη μείωση κατανάλωσης νερού για βιομηχανικές διεργασίες, για αστική και αγροτική χρήση. Συγχρόνως, η πράσινη χημεία και μηχανική επικεντρώνουν τις προσπάθειές τους στη βελτίωση της ποιότητας του νερού, τον τεχνολογικό

εξοπλισμό για τον καθαρισμό του και τις κατάλληλες μεθόδους ανακύκλωσης.³²⁻³⁵

Η χημική βιομηχανία τις τελευταίες δεκαετίες, μέσα στα πλαίσια της εξοικονόμησης πλουτοπαραγωγικών πηγών και ιδιαίτερα γλυκού νερού, έχει επιτύχει να εφαρμόσει τεχνολογικές βελτιώσεις στην παραγωγική διεργασία με σκοπό την εξοικονόμηση νερού. Η Πράσινη Χημεία και Πράσινη Μηχανική έχουν επιτύχει την εφαρμογή τεχνολογιών τόσο για τη μείωση της κατανάλωσης νερού αλλά και στην ανακύκλωση του χρησιμοποιούμενου βιομηχανικού νερού.³⁶⁻³⁸

Το σημαντικότερο πρόβλημα που αντιμετώπιζαν οι χημικές βιομηχανίες με τη νερό (κυρίως χρησιμοποιείται για την ψύξη των σωληνώσεων και στις χημικές διαλύσεις και αντιδράσεις) είναι η διάβρωση των μεταλλικών τμημάτων και το αντιμετώπιζαν με αντιδιαβρωτικές χημικές ουσίες (tolyltriazole, TTA) που εκτός από τα τεχνικά προβλήματα ήταν επικίνδυνες στο περιβάλλον. Επίσης, οι χημικές βιομηχανίες χρειάζονταν να κατεργασθούν τα αιωρούμενα στερεά και ρύπους από το νερό. Τα τελευταία χρόνια διάφορες χημικές εταιρείες ανέπτυξαν νέα αντιδιαβρωτικά υλικά (όπως το Bricorr-288 της Albright & Wilson American, και το Stabrex από την Nalco Chemical Co.). Τα υλικά αυτά είναι λιγότερο τοξικά και βιοδιασπώμενα.³²

Η Βιομηχανία χαρτοπολλτού και χάρτου είχε σημαντικά προβλήματα κατανάλωσης νερού για την οξειδωση και διαχωρισμό λιγνίνης από την κυτταρίνη. Τα τελευταία χρόνια νέες τεχνολογικές εφαρμογές και νέοι οξειδωτικοί παράγοντες (όζον, υπεροξειδίο του υδρογόνου, καταλυτικές διεργασίες με polyoxometalates) . Επίσης, η λεύκανση (paper bleaching) του χάρτου γίνεται πλέον με όζον και αποφεύγεται η χρήση χλωρίου που δημιουργούσε διοξίνες και χλωροφαινόλες.³⁹⁻⁴¹

Η βιομηχανία μικροϋπολογιστών και κατασκευή των ημιαγωγών (semi-conductors, microchip) είναι γνωστό ότι χρησιμοποιεί τεράστιες ποσότητες νερού κατά τη βιομηχανική πολλών σταδίων διεργασία. Τα τελευταία χρόνια για τον καθαρισμό των ημιαγωγών (μικροσίπ) και των μηχανημάτων αντικατέστησαν τις παλαιές τεχνικές (νερό και επιφανειοδραστικές ουσίες) με υπερκρίσιμο υγρό διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).^{42-44.}

Η βιομηχανία που καταναλώνει τεράστιες ποσότητες νερού είναι η βιομηχανία δέρματος τόσο στην κατεργασία όσο και στο φινίρισμα των δερμάτων. Τα τελευταία χρόνια έχουν επιτευχθεί σημαντικές μειώσεις στην κατανάλωση νερού στα διάφορα βιομηχανικά στάδια με νέες τεχνολογικές εφαρμογές και η ανακύκλωση του χρησιμοποιούμενου νερού.⁴⁵

Οι βιομηχανίες ανάπτυξης φωτογραφικών φιλμ και η φαρμακευτική βιομηχανία είναι δύο βιομηχανίες με μεγάλη κατανάλωση νερού, αλλά την τελευταία δεκαετία έχουν μειώσει σημαντικά τη χρήση νερού στα βιομηχανικά στάδια των παραγωγικών διεργασιών. Η απομάκρυνση του αργύρου (από τις έκπλυση των φιλμ) επιτυγχάνεται με φωτοκαταλυτική μέθοδο.^{46,47}

Η βιομηχανία επεξεργασίας μετάλλων και μεταλλικών αντικειμένων είναι επίσης ένας άλλος τομέας με μεγάλη χρήση νερού και παραγωγής υδάτινων αποβλήτων που απαιτούν καθαρισμό και ανακύκλωση. Η πράσινη χημεία έχει πετύχει αρκετές αλλαγές στις τεχνολογικές διεργασίες με αντίστοιχη μείωση της κατανάλωσης νερού και της δημιουργίας μικρότερων ποσοτήτων υδατικών αποβλήτων.³²

Την τελευταία δεκαετία η απολύμανση του πόσιμου νερού με νέες τεχνικές (εκτός της χλωρίωσης και άλλων τεχνικών που χρησιμοποιούνται

εδώ και πολλές δεκαετίες) έχει γίνει πραγματικότητα με πρακτικές που επιτεύχθηκαν μετά από συστηματικές έρευνες για «πράσινες» μεθόδους, όπως ηλιακή παστερίωση (solar pasteurization), αφαλάτωση με μεμβράνες, φυσική διήθηση και ηλιακή απόσταξη (solar distillation).⁴⁸

Η Πράσινη Χημεία και Μηχανική μπορούν να παίξουν αποφασιστικό ρόλο στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στην επεξεργασία του νερού και τη ποιότητά του, τόσο για βιομηχανική χρήση όσο και για κατανάλωση σε αστικές περιοχές, καθώς και στη ανακύκλωσή του.^{49,50}

Οι χώρες της Μεσογείου και ιδιαίτερα της Βόρειας Αφρικής έχουν σημαντικό πρόβλημα πηγών φρέσκου νερού και αντιμετώπισης περιόδων λειψυδρίας. Το πρόσφατο συνέδριο στην Αθήνα (Advancing Non Conventional Water Resources Management in the Mediterranean, Athens 14-15/9/2011, Global Water Partnership Mediterranean) παρουσίασε τις διάφορες πηγές μη συμβατικών πηγών ύδατος και εναλλακτικών λύσεων, όπως αφαλάτωσης [desalination, ιδιαίτερα με εναλλακτικές πηγές ενέργειας και με τεχνικές όπως αντίστροφη ώσμωση, (reverse osmosis)], ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση νερού που έχει υποστεί τριτογενή καθαρισμό (reuse of waste water after treatment), συλλογή βρόχινου νερού με δεξαμενές και φράγματα (rainwater harvesting), ανακύκλωση νερού από γεωργική χρήση (recycling of agricultural water run-off), μεταφορά νερού από διάφορες λεκάνες απορροής (inter-basin transfers). Στο συνέδριο παρουσιάστηκαν τα κυριότερα τεχνολογικά και επιστημονικά προβλήματα των μη συμβατικών πηγών νερού, σε συνδυασμό με τα οικονομικά και κοινωνικά θέματα που προκύπτουν. Σε πολλά από τα τεχνολογικά θέματα και τις δυσκολίες πρακτικής εφαρμογής η Πράσινη Χημεία και Μηχανική μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο.⁵¹



Βιβλιογραφία

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Πράσινη Χημεία

1. Johansson TB, Kelly H, Reddy AKN, Williams RH, Burnham L (Eds). *Renewable Energy Sources for Fuels and Electricity*. Island Press, New York, 1993; UNEP/IPCC. *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Main Report. UNEP publishing, New York, 2012.
2. Twidell J, Weir AD. *Renewable Energy Sources*. Taylor and Francis, London, 2006.
3. Boyle G. *Renewable Energy: Power for Sustainable Future*. Oxford University Press (for the Open University), Oxford, 1996.
4. Armstrong L. Towards sustainable energy future: realities and opportunities. Review. *Philos Transact A Math Phys Eng Sci* 369:1857-1865, 2011.
5. United Nations. Environment Programme. The Global Trends in Renewable Energy Investment 2011 (report was prepared for the UN by Bloomberg New Energy Finance). BBC report 7.7.2011.
6. Geology.Co. Trends in renewable energy production and consumption in the USA. 2009 (<http://geology.com/articles/renewable-energy-trends/>).
7. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources (<http://www.energy-community.org/pls/portal/docs/912189.PDF>)
8. EURACTIVE. European solar power to be competitive by 2020, days lobby. (www.euractive.com/en/climate-environment/european-solar-power-competitive-2020-lobby-news-5073117?utm_s).
9. Grossmann WD, Grossmann I, Steininger K. Indicators to determine winning renewable energy technologies with application to photovoltaics. *Environ Sic Technol* 44(13):4849-4855, 2010.
10. Fthenakis VM, Kim HC, Alsema E. Emissions from photovoltaics Life Cycle. *Environ Sci Technol* 42(6): 2168-2174, 2008.
11. Hick M. Advantages and disadvantages of renewable energy. *Renewable Energy Today* (<http://renewableenergy-today.com>)
12. Rigel M. Fostering the use of renewable energies in the European Union: the race between feed-in-tariffs and green certificates. *Renewable Energy* 31(1): 1-17, 2006.
13. Schilling MA, Esmundo M. Technology S-curves in renewable energy alternatives: analysis and implications for industry and government. *Energy Policy* 37(5): 1767-1781, 2009.
14. Samorjai GA, Frei H, Park JY. Advancing the frontiers in nanocatalysis, biointerfaces, and renewable energy conversion by innovations of surface techniques. *J Am Chem Soc* 131(46): 16589-16605, 2009.
15. Raugei W, Frankl P. Life cycle impacts and costs of photovoltaic systems: Current state of the art and future outlooks. *Energy* 34:392-399, 2009.
16. Curtright AE, Apt J. Character of power output from utility-scale photovoltaic systems. *Progr Photovoltaics Res Appl* 16:241-247, 2008.
17. Peter M. Towards sustainable photovoltaics: the search for new materials. Review. *Philos Transact A Mat Phys Eng Sci* 369:1840-1856, 2011.
18. Gratzel M. Solar energy conversion by dye-sensitized photovoltaic cells. *Inorg Chem* 44(20): 6841-6851, 2005.

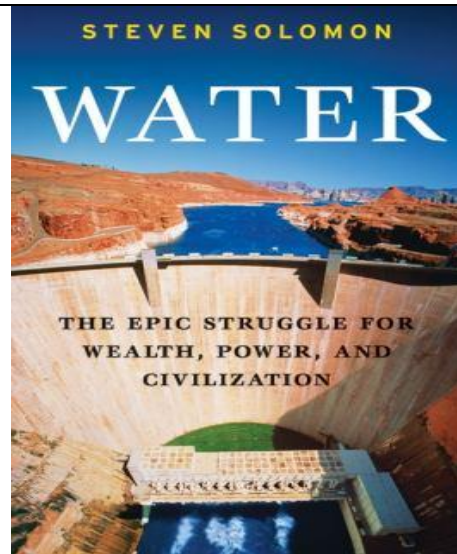
19. Liu Q, Yu G, Liu JL. Solar radiation as large-scale resource for energy-short world. *Energy Environ* 20(3): 319-329, 2009.
20. Subbiah J, Beaujuge PM. Efficient solar cells via a chemical polymerizable donor-acceptor heterocyclic pentamer. *Appl Mater & Interf* 1(6): 1154-1158, 2009.
21. Martin KE, Kopasz JP, McMurphy KW. Status of fuel cells and the challenge facing fuel cell technology today. In: *Fuel Cell Chemistry and Operation*. ACS Symposium Series, Vol. 1040, ACS Publications, Washington DC, (April) 2010, Chapter 1, pp. 1-13.
22. Armand M, Tarascou J-M. Building better batteries. *Nature* 451:652-657, 2008.
23. Jensen SH, Larsen PH, Morgensen M. Hydrogen and synthetic fuel production from renewable energy sources. *Int J Hydrogen Energy* 32(15):3253-3257, 2007.
24. Poliakov M, Licence P. Sustainable technology: green chemistry. *Nature* 450:810-812, 2007.
25. Tsoutsos T, Frantzeskaki N, Gekas V. Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Pol* 33:289-296, 2005.
26. REN21. *Renewable Global Status Report: 2009 Update*. In Report for the Renewable Energy Policy. Network for the 21st Century. REN21, Secretariat, Paris, 2009.
27. DeVries BJM, van Vuuren DP, Hoogwijk MM. Renewable energy sources: their global potential for the first half of the 21st century at a global level: An integrated approach. *Energy Pol* 35:2500-2610, 2007.

Βιβλιογραφία εξοικονόμησης νερού

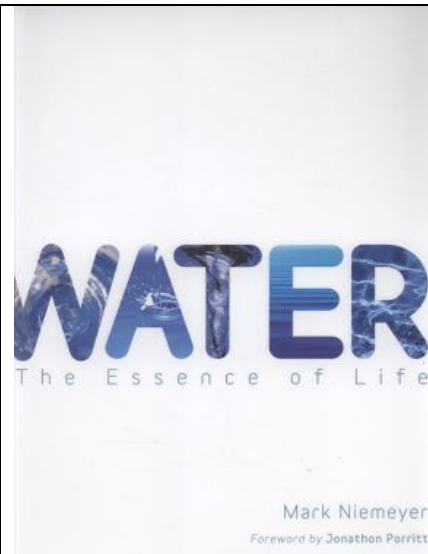
28. Gleick PH, Palaniappan M, Monkawa M, Morrison J, Cooley S. *The World's Water 2008-2009. The Biennial Report on Freshwater Resources*. Island Press, Washington DC, 2008.
29. Pearce F. *When the Rivers Run Dry: Water-The Defining Crisis of the Twenty-first Century*. Beacon Press, Boston, MA, 2007.
30. Barlow M. *Blue Covenant: The Global Water Crisis and the Coming Battle for the Right to Water*. New Press, New York, 2009.
31. OECD Environmental Outlook for the Chemical Industry. Organization for Economic Co-operation and Development, OECD Publications, Paris, 2001. (www.oecd.org/ehs).
32. Hjeresen DL. Green chemistry and the global water crisis. *Pure Appl Chem* 73(8):1237-1241, 2001.
33. Hjeresen DL. Green chemistry: the impact on water quality and supplies. Chapter 2. In: Norling P, Wood-Black F, Masciangioli TM (Eds). *Water and Sustainable Development: Opportunities for the Chemical Sciences: A Workshop Report to the Chemical Sciences Roundtable*. National Research Council, The National Academies Press, Washington DE, 2004.
34. Rainharvest CO. Water Rhapsody: re-thinking water. Global water shortages threatening grain harvests (www.rainharvest.co.za).
35. Hodgdon S. Boosting investments in clean water technologies. A Clean Technology White paper from Brodeur Partners and Beaupre (www.beaupre.com).

36. Lens P, Pol LH, Wilderer P, Asano T (Eds). *Water Recycling and Reuse Recovery in Industry: Analysis, Technologies and Implementations*. IWA publishing (International Water Association), London, 2002.
37. Edwards JD. *Industrial Wastewater Treatment. A Guidebook*. CRC Press, Boca Raton, FL, 1995.
38. Mann JG, Liu YA. *Industrial Water Reuse and Wastewater Utilization*. McGraw-Hill, New York, 1999.
39. Collins TJ, Hall JA, Vuocolo LD, et al. The activation of hydrogen peroxide for selective, efficient wood pulp bleaching. In: Anastas PA, Turdo P(Eds). *Green Chemistry: Challenging Perspectives*. Oxford University Press, Oxford, 2000, pp. 79-105.
40. Collins TJ. Papermaking: green chemistry through the mill. *Nature* 414:161-163, 2001.
41. Horwitz CP, Collins TJ, Spatz J, et al. Iron-TAML catalysts in the pulp and paper industry. ACS Symposium No. 921, ACS publications, Washington DC, 2006, pp. 156-169.
42. Zhou H, Fang J, Yang J, Xie X. Effect of supercritical CO₂ on surface structure of PMMA/PS blend thin films. *J Supercrit Fluids* 26(2):137-145, 2003.
43. Weibel GL, Ober CK. An overview of supercritical CO₂ applications in microelectronic processing. *Microelectr Eng* 65(1-2):145-152, 2003.
44. O'Neil A, Watkins JJ. Green chemistry in the microelectronics industry. *Green Chem* 6:363-368, 2004.
45. Rao JR, Chandrababu NK, Muralidharan C, et al. Recouping the wastewater: a way forward for cleaner leather processing. *J Cleaner Prod* 11(5):591-599, 2003.
46. Huang M, Tso E, Patye AK. Removal of silver in photographic processing waste by TiO₂-based photocatalysis. *Environ Sci Technol* 30(10):3084-3088, 1999.
47. Constable DJC, Dunn PJ, Hayler JD, et al. Key green chemistry research areas- a perspective from the pharmaceutical manufacturers. *Green Chem* 9:411-420, 2007.
48. Chittaranjan R, Ravi J (Eds). *Drinking Water Treatment. Focusing on Appropriate Technology and Sustainability*. Springer, Berlin, 2011.
49. Ghernaout D, Ghernaout B, Naceur MW. Embodying the chemical water treatment in the green chemistry- A review. *Desalination* 271(1-3):1-10, 2011.
50. Balzani V, Armardi N. *Energy for a Sustainable World*. Wiley-VCH, Weinheim, 2010.
51. Global Water Partnership-Mediterranean (GWP M) *Regional Conference on Advancing Non-Conventional water Resources Management in the Mediterranean*. Athens, 14-15 September, 2011. Proceedings. (www.gwpm.org)

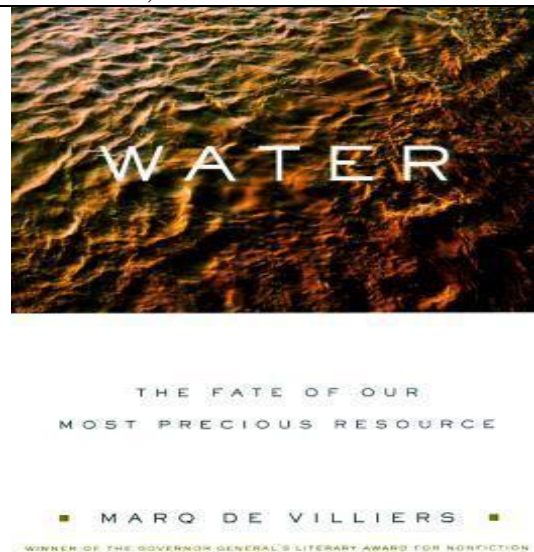
Βιβλία για την Παγκόσμια Κρίση του Νερού



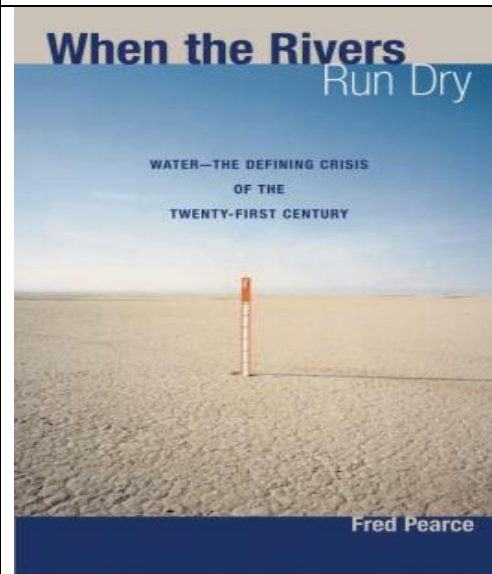
Solomon S. Water: The Epic Struggle for Wealth, Power and Civilization. Harper, New York, 2010



Niemeyer M. Water: The Essence of Life. Duncan Baird, London, 2008.



De Villiers M. Water: The Fate of Our Most Precious Resource. Houghton Mifflin, Boston, MA, 2000.



Pearce F. When Rivers Run Dry: Water, the Defining Crisis of the Twenty-First Century. Beacon Press, Boston, MA, 2006.

11. Πράσινη Χημεία και Πράσινη Μηχανική: Οικολογικός Σχεδιασμός για Αποσυναρμολόγηση και Ανακύκλωση Αυτοκινήτων, Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Συσκευών

11.1. Παγκόσμια Παραγωγή Αυτοκινήτων, Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Συσκευών

Η αυτοκινητοβιομηχανία, οι βιομηχανίες ηλεκτρικών συσκευών (ψυγεία, πλυντήρια, ηλεκτρικές οικιακές συσκευές, ηλεκτρικά εξαρτήματα, κ.λπ) και η νεότερη βιομηχανία των πολυάριθμων ηλεκτρονικών συσκευών (ηλεκτρονικοί υπολογιστές, φορητά τηλέφωνα, κ.λπ) είναι οι κυρίαρχες βιομηχανίες του 21ου αιώνα. Οι βιομηχανίες αυτές χρησιμοποιούν τεράστιες ποσότητες μετάλλων, πλαστικών και άλλων υλικών καθώς και μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Συγχρόνως παράγουν μεγάλο όγκο αέριων και υγρών ρύπων κατά τις βιομηχανικές διεργασίες. Τα προϊόντα τους μετά το χρήσιμο κύκλο ζωής απορρίπτονται δημιουργώντας σημαντικά προβλήματα τοξικών αποβλήτων. Αν και η ανακύκλωσή των προϊόντων τους είναι διαδεδομένη τις τελευταίες δεκαετίες και πολλά υλικά επαναχρησιμοποιούνται, ο σχεδιασμός και η βιομηχανική παραγωγή των οχημάτων και των ηλεκτρικών-ηλεκτρονικές συσκευές έχουν γίνει αντικείμενο της Πράσινης Χημείας και Πράσινης Μηχανικής.

Οι αυτοκινητοβιομηχανίες παράγουν τα τελευταία χρόνια σε παγκόσμια κλίμακα (2010), περίπου, 58 εκατομμύρια αυτοκίνητα και 19 εκατομμύρια εμπορικά οχήματα (σύνολο ~77 εκατομ.). Η Κίνα πρωταγωνιστεί στην παραγωγή αυτοκινήτων με 18 εκατομ, με δεύτερη την Ιαπωνία με 9,5 εκατομ, και τρίτη τις ΗΠΑ με 7,5 εκατομ., ενώ ακολουθούν Γερμανία 6 εκατομ, Ν. Κορέα 4 εκατομ., Βραζιλία 3,5 εκατομ. κ.ά. Σύμφωνα με τις διαχρονικές τάσεις αύξησης της παραγωγής οχημάτων (στην οποία σημαντικό πλέον μέρος κατέχει η Κίνα), πιστεύεται ότι ο όγκος τους θα αυξηθεί κατά 3-5 φορές στα επόμενα 50 χρόνια.¹

Οι πολυάριθμες βιομηχανίες ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών και εξαρτημάτων έχουν εξαπλωθεί σε όλες τις χώρες και στον 21^ο αιώνα και παράγουν δισεκατομμύρια ηλεκτρικές συσκευές και ηλεκτρονικά εξαρτήματα, από ψυγεία, ραδιόφωνα και πλυντήρια μέχρι μικροσκοπικές ηλεκτρονικές συσκευές, μικροκυκλώματα, φορητά τηλέφωνα, κ.λπ. Η παραγωγή των τελευταίων ετών αυξάνεται με ετήσιους ρυθμούς 2-3%. Τα απόβλητα που δημιουργούνται από την απόρριψη των συσκευών αυτών σε παγκόσμια κλίμακα αποτελεί ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα.

Σύμφωνα με στατιστικά δεδομένα, η παγκόσμια παραγωγή της λεγόμενης Τεχνολογίας της Πληροφορίας (IT, Information Technology) για

ηλεκτρονικές συσκευές, ηλεκτρονικά εξαρτήματα και τεχνολογικό εξοπλισμό ήταν της τάξης των 1,67 τρισεκατομμυρίων (\$) το 2005. και 400 δισεκ. για ηλεκτρονικές προσαρμογές και υπηρεσίες της IT. Η Ιαπωνία παράγει το 24% των ηλεκτρονικών συσκευών και προϊόντων πληροφορικής (σε παγκόσμια κλίμακα).²

Αναλυτικά στατιστικά στοιχεία για τα τελευταία χρόνια δείχνουν η παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικών συσκευών και εξαρτημάτων (electrical equipment and components) ήταν, περίπου, 285 δισεκατομμύρια (\$) το 2008 (με αύξηση 2-3% στην περίοδο 2004-2008). Οι βιομηχανίες ηλεκτρονικών συσκευών και εξαρτημάτων, και ηλεκτρονικών υπηρεσιών (electronic equipment and instruments, electronic manufacturing services) ήταν της τάξης των 626 δισεκατ. και 106 δισεκατ. Η βιομηχανία ημιαγωγών (semiconductors) το 2009 παρήγαγε προϊόντα αξίας 183 \$ δισεκατ.³

Οι μεταφορές σε παγκόσμια κλίμακα στον 21^ο αιώνα εξαρτώνται κατά 96% στο πετρέλαιο και τα προϊόντα του και καταναλώνουν το 40% των πετρελαιοειδών (75 εκατομμύρια βαρέλια). Σε παγκόσμια κλίμακα, το 1995 κυκλοφορούσαν, περίπου, 500 εκατομ. τροχοφόρα και σήμερα υπολογίζονται ότι ο αριθμός έχει ξεπεράσει το ένα δισεκατομμύριο και σε 50 χρόνια υπολογίζεται να αυξηθούν σε 2-3,5 δισεκατ. Στις ΗΠΑ υπάρχουν 285 εκατομ. οχήματα (2008) και η υψηλότερη αναλογία πληθυσμιακά, 780 οχήματα ανά 1.000 κατοίκους. Παγκοσμίως, το 2004 συνέβησαν 1,2 εκατομμύρια θανατηφόρα οδικά ατυχήματα (2,2% όλων των αιτίων θανάτου).^{4,5}



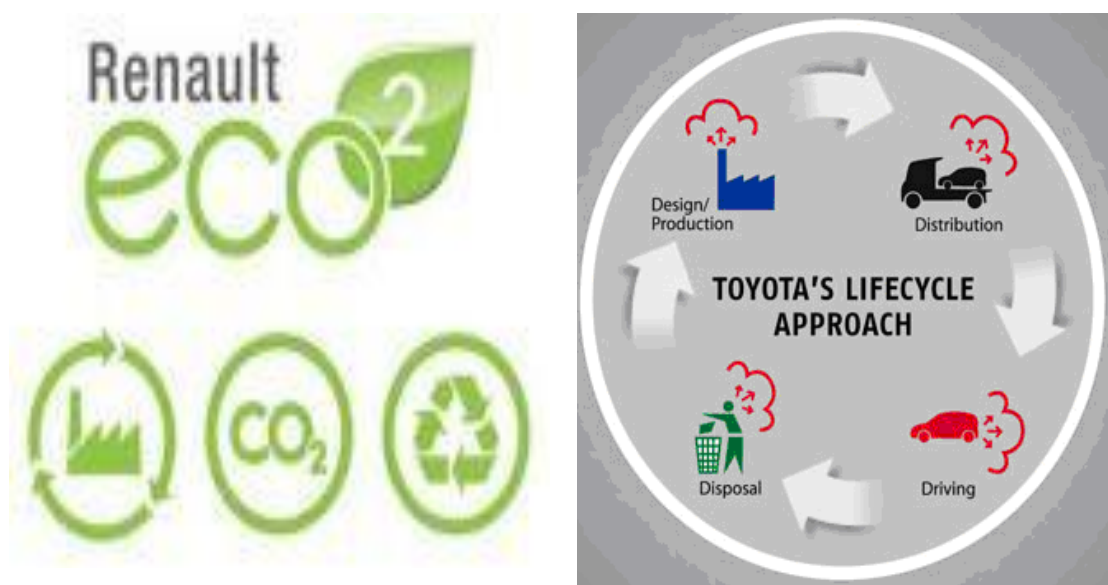
Σχήμα 11.1. Τα τροχοφόρα οχήματα και οι ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές αποτελούν σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα μετά το τέλος του κύκλου της χρήσης τους.

Τα στατιστικά αυτά δεδομένα δεν παρουσιάζονται για λόγους εντυπωσιασμού, αλλά για να φανεί το μέγεθος των αριθμών και ασφαλώς τα ενεργειακά και περιβαλλοντικά προβλήματα και οι διαστάσεις της απαιτούμενης ανακύκλωσης υλικών για να περιοριστούν τα προβλήματα τοξικών αποβλήτων. Η Κίνα και η Ινδία με τα 2,5 δισεκατομμύρια πληθυσμό και την ταχύτατη ανάπτυξη που παρουσιάζουν την τελευταία δεκαετία, είναι δύο νέοι διεθνείς παράγοντες που πρέπει ληφθούν υπόψη. Η αναλογία

οχημάτων ανά 1000 κατοίκους είναι ακόμη περιορισμένη στις χώρες αυτές αλλά αυξάνει δραματικά τα τελευταία χρόνια.

11.2. Τεχνολογικές Βελτιώσεις και ο Κύκλος Ζωής των Τροχοφόρων Οχημάτων

Ο κύκλος ζωής των τροχοφόρων ξεκινάει από την στιγμή που χρησιμοποιούνται πρώτες ύλες για την κατασκευή του σώματος και συναρμολογείται το όχημα με βιομηχανικές διεργασίες. Οι φάσεις της βιομηχανικής κατασκευής του τροχοφόρου, της διανομής και της χρήσης από τους κατόχους ολοκληρώνεται με την απόρριψη ως απόβλητο. Η εκτίμηση του κύκλου ζωής ενός τροχοφόρου είναι σύνθετη εργασία με πολλές και σύνθετες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τόσο με την κατανάλωση καυσίμου, τις εκπομπές, τη χρήση πρώτων υλών και την επίπτωση στο περιβάλλον με την απόρριψή του ή διάθεση προς ανακύκλωση..



Σχήμα 11.2. Οι μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες διαφημίζουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κύκλου ζωής των προϊόντων τους. Οι εταιρίες υπογραμμίζουν τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν στην κατανάλωση καυσίμου, το μειωμένο κόστος συντήρησης, την αντικατάσταση εξαρτημάτων και την τελική ανακύκλωση.

11.2.1. Αύξησης της Απόδοσης στην Κατανάλωση Καυσίμου

Η πετρελαϊκή κρίση του 1973 και οι μετέπειτα υψηλές τιμές καυσίμων, οι νέες εθνικές νομοθεσίες για τη μείωση των εκπομπών και της κατανάλωσης καυσίμου των οχημάτων (Energy Policy and Conservation Act, 1975, U.S. Congress). Η ΕΕ βρίσκεται όλα αυτά τα χρόνια αντιμέτωπη με το λόμπυ των ισχυρών ευρωπαϊκών αυτοκινητοβιομηχανιών και προσπαθεί να νομοθετήσει αυστηρές προδιαγραφές κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών CO₂ και άλλων καυσαερίων.⁶⁻⁸ Η απόδοση καυσίμου για ένα μέσο ελαφρύ τροχοφόρο, μετά από βελτιώσεις στην τεχνολογία των μηχανών εσωτερικής καύσης, από

20 miles per gallon (mpg, 1 U.S. gallon =3.78 litres) που ήταν το 1985, έχει αυξηθεί σε 28 mpg και προωθείται με τεχνολογικές βελτιώσεις να φτάσει τα 32,5 mpg για το 2020.⁵

Η μείωση αυτή της κατανάλωσης καυσίμου έχει επιτευχθεί ως αποτέλεσμα μηχανολογικών βελτιώσεων. Η αύξηση της απόδοσης που επιτεύχθηκε είναι αποτέλεσμα «πράσινης» τεχνολογίας και επιστημονικών επιτευγμάτων και εξυπηρετεί την τέταρτη αρχή της «πράσινης μηχανικής» των Anastas & Zimmerman (“products, processes, space and time efficiency”) και τις αρχές αιεφορίας, προστασίας περιβάλλοντος και προστασίας της υγείας του ανθρώπου και των εργαζομένων.⁹

11.2.2. Μείωσης των Εκπομπών Καυσαερίων από Τροχοφόρα

Συγχρόνως, οι αυτοκινητοβιομηχανίες κάτω από την πίεση της περιβαλλοντικής νομοθεσίας, μείωσαν τις εκπομπές των καυσαερίων, περιορίζοντας δραστικά το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), τα οξειδία αζώτου (NO_x), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), και τα αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου 10 μικρών (PM₁₀, particulate matter, 10 μm). Τα τροχοφόρα των τελευταίων δεκαετιών έχουν μειωμένες εκπομπές καυσαερίων με την εισαγωγή των τριοδικών καταλυτών, οι οποίοι ήταν αποτέλεσμα της νέας τεχνολογίας και της εμβολής αυστηρότερων περιβαλλοντικών νομοθεσιών.^{10,11}

Τα τροχοφόρα είναι πιο «πράσινα» (κατανάλωση καυσίμου και καυσαέρια), αλλά η υπερβολική τους αύξηση σε παγκόσμια κλίμακα, έχει ως αποτέλεσμα να καταναλώνουν ακόμη το 1/3 της ενέργειας στις αναπτυσσόμενες χώρες και να εκπέμπουν το 50% των αερίων ρύπων. Η Πράσινη Χημεία και Μηχανική (Τεχνολογία) έχουν να συνεισφέρουν σημαντικά σε μελλοντικές τεχνολογικές βελτιώσεις, τόσο για νέα καύσιμα, αποδοτικότερες μηχανές, μικρότερες εκπομπές και εναλλακτικές πηγές ενέργειας.^{12,13}

11.2.3. Αλλαγή στο Σχεδιασμό των Τροχοφόρων. Ηλεκτρικά και Υβριδικά Τροχοφόρα

Επί δεκαετίες η βιομηχανική στρατηγική για τα τροχοφόρα ήταν να είναι φθηνά, να αντέχουν στις αντιξοότητες του καιρού, να συντηρούνται εύκολα, να αναπτύσσουν υψηλές ταχύτητες και να αντέχουν στις συγκρούσεις. Αργότερα, προστέθηκαν χαρακτηριστικά ασφάλειας και ανακύκλωσης.

Τυπικά, το μέσο οικογενειακό αυτοκίνητο ζύγιζε 1500 κιλά (1998) και ήταν κυρίως από ατσάλινο σκελετό και μεταλλικά εξαρτήματα. Με τον καιρό το βάρος μειώθηκε δραστικά με την χρήση πλαστικών εξαρτημάτων. Από αναλογία 4,6% (1977) πλαστικών τμημάτων, το ποσοστό αυξήθηκε σε 10-12%. Συγχρόνως, αεροδυναμικός σχεδιασμός του σώματος, ελάττωση της τριβής και καλύτερα ελαστικά μείωσαν την κατανάλωση καυσίμου. Η διάθεση στην αγορά μεγαλύτερων οχημάτων (SUV) ανέστρεψε τη μείωση του βάρους, αλλά η κατανάλωση καυσίμου βελτιώθηκε. Τελικά, η περιβαλλοντική νομοθεσία επιβάλλει πλέον τα ελαφρότερα και μικρότερα οχήματα και ιδιαίτερα τα υβριδικά οχήματα που συνδυάζουν μερική ηλεκτροκίνηση. Η βέλτιστη τεχνολογική αλλαγή στα τροχοφόρα θα προέλθει κυρίως από το συνδυασμό τεχνολογικών βελτιώσεων και βέλτιστο ριζοσπαστικό σχεδιασμό με νέα χαρακτηριστικά, μεγαλύτερη απόδοση και αεροδυναμικά χαρακτηριστικά.^{14,15}



Σχήμα 11.3. Τα υβριδικά και ηλεκτρικά τροχοφόρα είναι νέα η τεχνολογική εξέλιξη, η οποία πήρε πολλές δεκαετίες για να ολοκληρωθεί

Τα **υβριδικά οχήματα** αποτελεί νέα τεχνολογική εξέλιξη των τελευταίων ετών και συνδυάζει τη δυνατότητα βενζινοκινητήρα και ηλεκτροκινητήρα. Τα υβριδικά είναι ελαφρά οχήματα, σχεδιασμένα με χαρακτηριστικά που να βελτιώνουν την κατανάλωση καυσίμου κατά 20-40% λιγότερο, σε σχέση με συμβατικά οχήματα αντίστοιχης ισχύος. Για κίνηση στην πόλη, το υβριδικό χρησιμοποιεί περισσότερο τον ηλεκτροκινητήρα του και η ωφέλεια σε ενέργεια είναι περίπου 40%. Το υβριδικό αυτοκίνητο είναι ακριβότερο (σε πολλές χώρες έχουν απαλλαγή από δασμούς και δεν έχουν τέλη κυκλοφορίας για 5 χρόνια). Κατά τη χρήση των φρένων φορτίζει μερικώς τις μπαταρίες του οχήματος. Οι εκπομπές καυσαερίων και CO₂ είναι εξαιρετικά χαμηλή. Στα υβριδικά με κυψέλες καυσίμου παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από χημική αντίδραση υδρογόνου και οξυγόνου (του αέρα).¹⁶⁻¹⁸

Όλες οι έρευνες μέχρι σήμερα και οι σημαντικές βελτιώσεις που έχουν επιτευχθεί στην τεχνολογία των τροχοφόρων δείχνουν ότι θα εξακολουθούν να είναι μέρος του ανθρώπινου πολιτισμού μας, παρά τα περιβαλλοντικά προβλήματα και την κατανάλωση πολύτιμων πλουτοπαραγωγικών πηγών για την κατασκευή τους και τη χρήση τους. Με την αύξηση τους σε άνω του ενός δισεκατομμυρίου οχημάτων σε παγκόσμια κλίμακα το 2020, η πιο πρόσφορη διέξοδος είναι να βελτιωθεί όσο το δυνατό με τεχνολογικές επεμβάσεις και να γίνουν πιο «πράσινα». Αυτό θα επιτευχθεί με τη χρήση νέων ανανεώσιμων πρώτων υλών, με νέες ριζοσπαστικές βιομηχανικές πρακτικές στην κατασκευή και σχεδίαση τους, δραστική μείωση κατανάλωσης καυσίμου και ανακύκλωση σε χρήσιμα υλικά μετά το τέλος ζωής. Για να επιτευχθούν όμως αυτά τα σχέδια χρειάζεται συνεργασία, νομοθετικό πλαίσιο, οικονομικές επιδοτήσεις και τεχνολογική έρευνας.^{19,20}

11.3. Βελτιστοποίηση του Κύκλου Ζωής Τροχοφόρων και Ανακύκλωση Οχημάτων

Οι τεχνικές βελτιώσεις που έχουν επιτευχθεί τις τελευταίες δεκαετίες στα τροχοφόρα και η βελτιστοποίηση του κύκλου ζωής τους είναι σίγουρα το αποτέλεσμα εκτεταμένης έρευνας, τεχνολογικών καινοτομιών, περιβαλλοντικής νομοθεσίας και επιδοτήσεις ριζοσπαστικών αλλαγών στην

κατανάλωση καυσίμων και στο σχεδιασμό. Παρόλα αυτά, τα εκατομμύρια αυτοκίνητα που καθίστανται άχρηστα και πρέπει απομακρυνθούν λόγω παλιάς τεχνολογίας αυξάνει.

Υπολογίζεται ότι κάθε χρόνο 40-50 εκατομμύρια αυτοκίνητα και φορτηγά σε παγκόσμια κλίμακα καθίστανται άχρηστα και απαιτούν ανακύκλωση ή διαχείριση ως τοξικά απόβλητα. Στις ΗΠΑ υπολογίζονται σε 12 εκατομμύρια τα άχρηστα αυτοκίνητα κάθε χρόνο και στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα παλαιά αυτοκίνητα δημιουργούν ετησίως 8-9 εκατομμύρια τόνους τοξικών αποβλήτων. Τις τελευταίες δεκαετίες σε όλες τις αναπτυγμένες χώρες γίνεται συστηματικά ανακύκλωση των τροχοφόρων, ιδιαίτερα του σκελετού (που αποδίδει σημαντικές ποσότητες σιδήρου), των ελαστικών, των μπαταριών και πολλών πλαστικών ή μεταλλικών εξαρτημάτων. Παρόλα αυτά, η ανακύκλωση των οχημάτων δημιουργεί σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα.^{21,22}

Τα τελευταία χρόνια ο σχεδιασμός των τροχοφόρων και η κατασκευή τους γίνεται με τρόπο ώστε να είναι δυνατή η ανακύκλωση των διαφόρων υλικών (μέταλλά, πλαστικά, ηλεκτρονικά εξαρτήματα, κ.λπ). Η ανακύκλωση ενός τροχοφόρου έχει τα τελευταία χρόνια γίνει μέρος του σχεδιασμού του (πολλές εταιρείες αυτοκινήτων προβάλλουν στις διαφημίσεις τους το θέμα αυτό). Στα νέα τροχοφόρα εξασφαλίζονται από το σχεδιασμό η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, αλλά και η ανακύκλωση, με εύκολη αποσυναρμολόγησης υλικών, αποστράγγιση υγρών, και εύκολη ανακύκλωση ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, ηλεκτρικά καλώδια και μπαταρίες.²³⁻²⁵



Σχήμα 11.4. Η ανακύκλωση τροχοφόρων είναι επιτακτική ανάγκη για την ανάκληση πολύτιμων πρώτων υλών και μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τοξικά απόβλητα.

Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης κάθε χρόνο παράγονται 8-9 εκατομμύρια τόνοι τοξικών αποβλήτων από τα αποσυρόμενα τροχοφόρα. Τα στατιστικά στοιχεία δείχνουν ότι στην ΕΕ κυκλοφορούν, περίπου, 263 εκατομμύρια τροχοφόρα (2006), κάθε χρόνια δηλώνονται 15,7 εκατ. και αποσύρονται 13-14 εκατομ.. Από αυτά τα τροχοφόρα τα 7 εκατομ. οδηγούνται

στην ανακύκλωση και τα υπόλοιπα πωλούνται σε άλλες χώρες ως μεταχειρισμένα. Το 1997 η ΕΕ πρότεινε Οδηγία για την ανακύκλωση οχημάτων με σκοπό την ανάκτηση πολύτιμων πρώτων υλών (μέταλλα, πλαστικά, ηλεκτρονικά εξαρτήματα) και τον περιορισμό της ρύπανσης από τοξικά απόβλητα. Τελικά εγκρίθηκε η Οδηγία 2000/53/EC EU End-of-Life (ELV) Vehicle. Από τότε η ΕΕ έχει προβεί σε προσθήκες και τεχνολογικές βελτιώσεις στην Οδηγία. Οι στόχοι της Οδηγίας αυτής είναι να ανακυκλωθούν το 85-95% των παλαιών τροχοφόρων με περιβαλλοντικούς όρους.²⁶

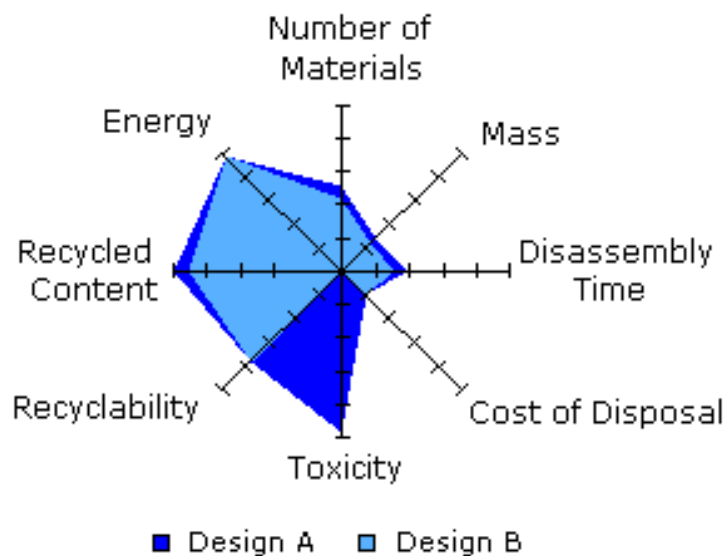
Η ανακύκλωση τροχοφόρων είναι ένα από τα μεγάλα θέματα των αναπτυσσόμενων χωρών και πολυάριθμες έρευνες των υπουργείων μεταφορών και περιβάλλοντος. Σε πολλές χώρες έχουν επιβάλλει προδιαγραφές για τα συνεργεία που λαμβάνουν άδειες να ανακυκλώνουν τροχοφόρα και αυστηρά πρόστιμα για ιδιοκτήτες που εγκαταλείπουν τα οχήματά τους. Στις ΗΠΑ δίνεται ιδιαίτερη σημασία στη συλλογή του υδραργύρου από διάφορα εξαρτήματα (μέτρησης θερμοκρασίας), της συλλογής των υγρών του συστήματος ψύξης, της συλλογής και επαναχρησιμοποίησης ελαστικών και της συλλογής των ευγενών μετάλλων (χρυσός, παλλάδιο) από καταλύτες,²⁷⁻³¹

11.4. Νέες Τάσεις Σχεδιασμού με Πράσινη Μηχανική και Ανακύκλωση Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Συσκευών

Η εξάντληση των πλουτοπαραγωγικών πηγών, η περιβαλλοντική κρίση και οι κλιματικές αλλαγές έχει δημιουργήσει ριζοσπαστικές τάσεις στις βιομηχανίες ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών. Παλαιές πρακτικές βιομηχανικών διεργασιών (ενέργεια, πρώτες ύλες, διαλύτες), χρήση μη ανανεώσιμων πρώτων υλών, πρακτικές σχεδιασμού χωρίς να λαμβάνουν υπόψη το διαχωρισμό και ανακύκλωση των υλικών των ηλεκτρικών συσκευών ανήκουν στο παρελθόν. Οι νέες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές και τα εξαρτήματά τους εμπεριέχουν οικο-σχεδιασμό και μελέτες για την αποσυναρμολόγηση και ανακύκλωσή τους.³²⁻³⁴

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει καθιερώσει ορισμένες Οδηγίες για τον οικολογικό σχεδιασμό (2005/32/EC) και την ανακύκλωση (2002/96/EC) ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών προϊόντων και εξαρτημάτων.^{35,36}

Οι βιομηχανίες ηλεκτρικών συσκευών (ψυγεία, πλυντήρια, κ.λπ) και ηλεκτρονικών προϊόντων εδώ και αρκετά χρόνια έχουν προσαρμόσει το σχεδιασμό τους, τις πρώτες ύλες και τη βιομηχανική τους παραγωγή ώστε να παρουσιάζουν «πράσινες» προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές αναφέρονται σε περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τοξικότητα (των χημικών ουσιών που περιέχουν), στην ασφάλεια για τους χρήστες, την εύκολη αποσυναρμολόγηση στα διάφορα μέρη τους, και στην ολοκληρωμένη ανακύκλωση με το τέλος ζωής των προϊόντων.³⁷⁻⁴¹

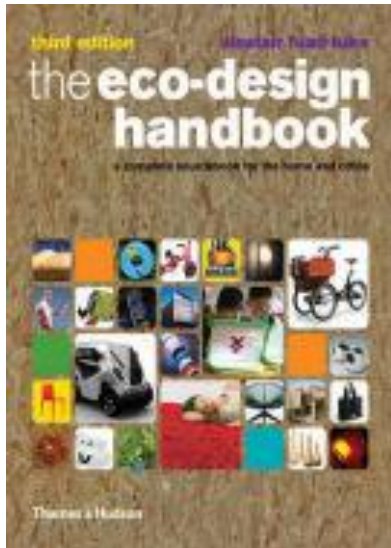


Σχήμα 11.5. Σχηματική παράσταση για τον «πράσινο» σχεδιασμό προϊόντων της Μοτορόλα από το Πανεπιστήμιο του Erlangen. Τα δύο χρώματα δείχνουν ότι το προϊόν Β έχει μικρότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον, τοξικότητα, κόστος, ενέργειας, ανακύκλωση, κόστος απόσυρσης, χρόνο αποσυναρμολόγησης, κ.λπ. σε σχέση με το προϊόν (Πηγή: <http://www.motorola.com/EHS/environment/products/>)

Τα νέα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά προϊόντα και συσκευές που έχουν σχεδιασθεί με τις αρχές της πράσινης χημείας και πράσινης μηχανικής περιέχουν ειδικές επισημάνσεις που με κωδικούς ενημερώνουν για τα υλικά που περιέχουν, το είδος αποσυναρμολόγησης που απαιτείται καθώς και το είδος των ανακυκλώσιμων υλικών (ιδιαίτερα τα πλαστικά). Η ανακύκλωση ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών και εξαρτημάτων τους έχει καταστεί πλέον προσοδοφόρος βιομηχανία με πολλές εγκαταστάσεις σε πολυάριθμες χώρες. Με την ανακύκλωση των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών ανακτούνται πολύτιμα και ευγενή μέταλλα, χρήσιμα ανακυκλούμενα πλαστικά, ηλεκτρονικές μικροσυσκευές που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, μετασχηματιστές και άλλα χρήσιμα υλικά, παρέχοντας χρήσιμες υπηρεσίες για το περιβάλλον (μείωση αποβλήτων) και τον άνθρωπο (μείωση των κινδύνων από τοξικές ουσίες).^{42,43}

11.4.1. Παράδειγμα Ανακύκλωσης Πλυντηρίων

Η αποσυναρμολόγηση και ανακύκλωση των υλικών ενός πλυντηρίου αποτελεί ένα καλό παράδειγμα για να μελετηθούν τα προβλήματα και τα οφέλη της ανακύκλωσης ηλεκτρικών συσκευών. Το ηλεκτρικό πλυντήριο (απαραίτητη πλέον οικιακή συσκευή που έχει κάθε σπίτι στις αναπτυγμένες χώρες) είναι ένα σύνθετο ηλεκτρικό μηχάνημα με πολλές τεχνολογικές και ηλεκτρονικές εφαρμογές. Περιέχει πληθώρα υλικών και μικροηλεκτρονικών συσκευών, μέταλλα και σύνθετα υλικά (ιδιαίτερα πολυμερή).⁴⁴

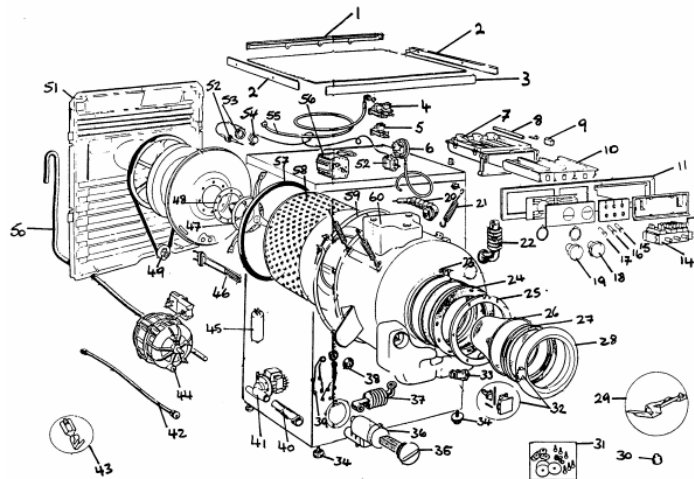


Alastair F-L. The Eco-Design Handbook. A Complete Sourcebook for the Home and Office. Thames & Hudson, London, 2009



Σχήμα 11.6. Ο οικολογικός σχεδιασμός ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών προϊόντων είναι πλέον ο κανόνας και με τον τρόπο αυτό εξυπηρετούνται οι αρχές της Πράσινης Χημείας και Μηχανικής.

Η αποσυναρμολόγηση των επιμέρους τμημάτων ενός πλυντηρίου αποτελεί πλέον τεχνολογική εφαρμογή και διεξάγεται με ειδικά εργαλεία. Σε αυτό βοηθάει ο σχεδιασμός του προϊόντος, τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί και η απλούστερη τεχνολογία της λειτουργίας του μηχανήματος. Μαγνητικές βαλβίδες, συμπιεστές, μικροηλεκτρονικά εξαρτήματα, θερμαντικό στοιχείο, ηλεκτρική μηχανή, συμπιεστές, ηλεκτρονικό κύκλωμα, διάφορα πλαστικά μέρη, ο μεταλλικός κάδος, και το εξωτερικό περίβλημα με την πλαστική του επικάλυψη μπορούν να αποσυναρμολογηθούν τμηματικά.^{45,46} Οι βιοτεχνίες ανακύκλωσης σε πολλές χώρες είναι οικονομικά βιώσιμες (αν και πολλές ξεκίνησαν με κρατικές επιχορηγήσεις και μέσα από περιβαλλοντικά προγράμματα) και η συνεισφορά τους για το περιβάλλον θεωρείται σημαντική.^{47,48}



Σχήμα 11.6. Η αποσυναρμολόγηση και ανακύκλωση υλικών ηλεκτρικού πλυντηρίου είναι χρήσιμο παράδειγμα. Ο οικολογικός σχεδιασμός, η πράσινη χημεία και η πράσινη μηχανική (τεχνολογία) βοηθούν σε σημαντικό βαθμό την ανακύκλωση των ηλεκτρικών συσκευών. (οικονομικά επωφελής διεργασία)

11.4.2. Αποσυναρμολόγηση και Ανακύκλωση Φορητών Τηλεφώνων

Το πρώτο φορητό τηλέφωνο (Motorola, που είναι βάρους 800 γραμμάρια) εμφανίστηκε το 1983. Σήμερα, οι υπολογισμοί δείχνουν ότι υπάρχουν 3,5 δισεκατ. συνδρομητές σε παγκόσμια κλίμακα. Τα φορητά τηλέφωνα αλλάζουν τεχνολογία κάθε 1-2 χρόνια και πωλούνται πάνω από μισό δισεκατομμύριο νέα τηλέφωνα κάθε χρόνο. Το αποτέλεσμα είναι να αχρηστεύονται τεράστιες ποσότητες φορητών τηλεφώνων. Η πληθώρα των φορητών τηλεφώνων και η απόρριψή τους σε μικρό χρονικό διάστημα αποτέλεσε σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα και κατάχρηση πολύτιμων πλουτοπαραγωγικών πηγών και ενέργειας.^{49,50}



Σχήμα; 11.7. Οι στατιστικές δείχνουν ότι υπάρχουν πάνω από 3,5 δισεκατ. φορητά τηλέφωνα σε διεθνή κλίμακα και πωλούνται γύρω το μισό δισεκατομμύριο νέα φορητά τηλέφωνα κάθε χρόνο δημιουργώντας τεράστιο περιβαλλοντικό πρόβλημα με τα τοξικά απόβλητα.

Τα φορητά τηλέφωνα χρησιμοποιούν σημαντικές ποσότητες χρήσιμων μετάλλων (μόλυβδος, χρυσός, άργυρος, νικέλιο, χαλκός, κοβάλτιο και κάδμιο και λίθιο για τις μπαταρίες), πλαστικών, ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και εξειδικευμένα μικροηλεκτρονικά συστήματα (π.χ. flash memory devices). Η ανακύκλωση των φορητών τηλεφώνων είναι επιτακτική ανάγκη και επωφελής από οικονομική άποψη γιατί η ανακύκλωση των μετάλλων και μικροηλεκτρονικών κυκλωμάτων και συσκευών μπορούν να χρησιμεύσουν στα νέα τηλέφωνα. Αλλά το πλέον σημαντικό μέρος είναι η προστασία του περιβάλλοντος από τοξικές ουσίες και υλικά που με την απόρριψή τους θα προκαλούσαν σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα στο έδαφος, τα υδατικά συστήματα και την ατμόσφαιρα.⁵¹⁻⁵⁵

Η ανακύκλωση υλικών, μετάλλων και μικροσυσκευών από φορητά τηλέφωνα είναι ένα σημαντικό πρόβλημα και οι καταναλωτές, οι κατασκευαστικές βιομηχανίες και οι κρατικές υπηρεσίες πρέπει να συνεργασθούν με τις αρχές της πράσινης χημείας και πράσινης μηχανικής για να περιορίσουν τα περιβαλλοντικά προβλήματα.^{56,57}



Βιβλιογραφία

1. OICA (Organisation Internationale des Constructeurs d' Automobiles), International Organization of Motor Vehicle Manufacturers. 2010 Production Statistics (<http://www.oica.net/category/production-statistics>)
2. EE Times Asia. Japanese Association compiles global electronics production statistics. (JEITA Japan Electronics and Information Technology Industries Association) (http://www.eetasia.com/ART-8800458187_480200_NT_b3397fb0.HTM)
3. Report Linker Electrical and Electronic Equipment and Supplies: Global Industry Overview. (<http://www.scribd.com/doc/59855228/Electronic-Equipment-and-Supplies-Global-Industry-Overview>)
4. Office of Transportation Technologies, U.S. Department of Energy. Future U.S. *Highway Energy Use: A Fifty Year Perspective*. May 2001 (www.ott.doe.gov/future_highway.shtml) .
5. McAuley JW. Global sustainability and key needs in future automotive design. *Environ Sci Technol* 37:5414-5416, 2003.
6. European Environment Agency. 2008. Climate for a transport change. (http://reports.eea.europa.eu/eea_report_2008_1/en/EEA_report_1_2008_TERM.PDF)
7. European Commission Recommendation, 1999: (1999/125/EC). (<http://ec.europa.eu/environment/air/transport/co2/99125/en.pdf>) .
8. Greenpeace. Report 2008. Driving Climate Change: How the car industry is lobbying to undermine the EU fuel efficiency legislation. Amsterdam (<http://www.icarsnetwork.eu/download/TGs?TG4?greenpeace.pdf>).
9. Anastas PT, Zimmerman JB. Design through the 12 principles of Green Engineering. *Environ Sci Technol* 37(3):94A-101A, 2003.
10. Faiz A, Wearer CS, Walsh WP. *Air Pollution from Motor Vehicles: Standards and Technologies for Controlling Emissions*. The World Bank Publs, Washington DC, 1996.
11. Kleeman MJ, Schauer JJ, Cass GR. Size and composition distribution of fine particulate matter emitted from motor vehicles. *Environ Sci Technol* 34(7):1132-1142, 2000.
12. Allen DT, Shonnar DR. Green engineering: environmentally conscious design of chemical process and products. *AIChE J* 47(9):1906-1910, 2001. (Wiley on line library 16.4.2004).
13. Allenby BR, Richatrds DJ (Eds). *The Greening of Industrial Ecosystems*. National Academy Press, Washington DC, 1994.
14. Kodiyalma S, Yang RJ, Gu L, Tho C-H. Multidisciplinary design optimization of a vehicle system I a scalable, high performance computing environment. *Struct Multidisci Optimiz* 26(3-4):2567-263, 2004.
15. Kodiyalam S, Sobieszanski-Sobieski J. Multidisciplinary design optimization-some formal methods, framework requirements, and application to vehicle design. *Int J Vehicle Des* 25(1-2):3-22, 2001.
16. Demirdoven N, Deutch J. Hybrid cars now, fuel cell cars later. *Science* 365: 974-976, 2004.
17. Stephan CH, Sullivan J. Environmental and energy implications of plug-in hybrid-electric vehicles. *Environ Sci Technol* 42(4):1185-1190, 2008.

18. Chang CC. The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. *Proceedings of IEEE* (American, Institute of Electrical and Electronic Engineers), 95(7):704-718, 2007.
19. Mclean HL, Lave L. Life cycle assessment of automobile/fuel options. *Environ Sci Technol* 37:5445-5452, 2003.
20. United Nations Environmental Programme and International Automobile Industry. *Industry as a Partner for Sustainable Development: Automotive*, London, United Kingdom, 2002.
21. Jody BJ, Daniels EJ. *End-of-Life Vehicle Recycling*. Argonne National Laboratory, U.S. Department of Energy, Washington DC, 2006.
22. Kanari N, Pineau J-L, Shallari S. End-of-Life vehicle recycling in the European Union. *JOM J Min Metal Mater Society* 55(8):15-19, 2003.
23. Klimisch RL. Designing the modern automobile for recycling. In: Allenby BR, Richards DJ. *The Greening of Industrial Ecosystems*. National Academy of Engineering, National Academy Press, Washington DC, 1994, pp. 165-170.
24. Christen K. New recycling process recovers plastics from end-of-life vehicles. *Environ Sci Technol* 40(7):2084-2085, 2006.
25. Kim HC, Keoleian GA, Grande DE, Bean JC. Life cycle optimization of automobile replacement: model and application. *Environ Sci Technol* 37:5407-5413, 2003.
26. Directive 2000/53/EC European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of-life vehicles (http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/121225_en.htm).
27. European Conference of Ministers of Transport. *Cleaner Cars: Fleet Renewal and Scrappage Schemes*, Brussels, 1999.
28. Bellmann K, Khare A. European response to issues in recycling car plastics. *Technovation* 19(12):721-734, 1999.
29. Office of Technology Assessment, U.S. Congress. *Retiring old Cars: Programs To Save Gasoline and Reduce Emissions*. Washington DC, 1992.
30. U.S. EPA. Recycling and Reuse: End-of-Life Vehicles and Producer Responsibility (http://www.epa.gov/oswer/international/factsheets/200811_elv_directive.htm).
31. Smink CK. Vehicle recycling regulations: lessons from Denmark. *J Cleaner Prod* 15(11-12):1135-1148, 2007.
32. EcoDesign Awareness Raising Campaign for Electrical and Electronics SMEs. Latest 2010/2011 EcoDesign Developments (www.ecodesignarc.info/servlet/is/349).
33. Aoe T. Eco-efficiency and ecodesign in electrical and electronic products. *J Cleaner Prod* 15(15):1408-1414, 2007.
34. Unger N, Schneider F, Salhofer S. A review of ecodesign and environmental tools and their appropriateness for electrical and electronic equipment. *Progr Industr Ecol, Intern J* 5(1-2):13-29, 2008.
35. ECO DESIGN Infoknoten Directive on waste electrical and electronic equipment (WEEE) 2002/96/EC European Parliament (www.ecodesign.at/umsetzung/gesetze/weeepage/index.en.html)

36. European Union Directive 2005/32/EC Framework for the Setting of Ecodesign Requirement for Energy-Using Products and Amending Directives 92/42/EEC, 96/57/EC, 2000/55/EC.
37. Baumann H, Boous F, Bragd A. Mapping the green product development field: engineering, policy and business perspectives. *J Cleaner Prod* 10:409-425, 2002.
38. Donnelly K, Beckett-Furnell Z, Traeger S, et al. Eco-design implemented though a product-based environmental management system. *J Cleaner Prod* 14(15-16): 1357-1367, 2006.
39. Aizawa H, Yoshida H, Sakai S-I. Current results and future perspectives for Japanese recycling of home electrical appliances. *Resourc Conserv Recycling* 52(12):1399-1410, 2008.
40. Huisman J, Sterels ALN, Stabbe I. Eco-efficiency considerations on the end-of-life consumer electronic products. *IEEE Trans Electron Pack Manufact* 27(1): 9-25, 2004.
41. Thomas VM. Product self-management: evolution in recycling and reuse. *Environ Sci Tehcnol* 37(23):5297-5302, 2003.
42. Basdere B, Seliger G. Disassembly factories for electrical and electronic products to recover resources in product and material cycles. *Environ Sci Technol* 37(23):5354-5362, 2003.
43. Rios P, Stuart JA, Grant E. Plastics disassembly versus bulk recycling: engineering design for end-of-life electronics resource recovery. *Environ Sci Technol* 37(23):5463-5470, 2003.
44. Park P-J, Tahara K, Jeong I-T. Comparison of four methods for integrating environmental and economic aspects in the end-of-life of a washing machine. *Resourc Conserv Recycling* 48(1):71-85, 2006.
45. Matsuto T, Jung CH, Tanaka N. Material and heavy metal balance in a recycling facility for home electrical appliances. *Waste Manag* 24(5):425-436, 2004.
46. Kang H-Y, Schoenung JM. Economic analysis of electronic waste recycling: modeling the cost and revenue of materials recovery facility in California. *Environ Sci Technol* 40(5): 1672-1680, 2006.
47. Liu X, Tanaka M, Matsui Y. Economic evaluation of optional recycling processes for waste electronic home appliances. *J Cleaner Prod* 17(1):53-60, 2009.
48. Karagiannidis A, Perkoullidis G, Papadopoulos A. Characteristics of wastes from electric and electronic equipment in Greece: results of a field survey. *Waste Manag Res* 23(4):381-388, 2005.
49. Sibylle P, Harrison D, Billett EH. Ecological footprint analysis applied to mobile phone. *J Industr Ecology* 10(1-2):199-216, 2006.
50. Geyger R, Blass VD. The economics of all phone reuse and recycling. *Int J Adv Manuf Technol* 47(5-8):515-525, 2010.
51. Boks C, Huisman J, Stevels A. Combining economical and environmental considerations in cellular phone design. *Proc IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, 2000, pp. 20-26.
52. Dorella G, Mansur MB. A study of the separation cobalt from spent Li-ion battery residues. *J Power Sourc* 170(1):210-215, 2007.
53. Nnorom IC, Osibanjo O. Toxicity characterization of waste mobile phone plastics. *J Hazard Mater* 161(1): 183-2186, 2009.

54. Kasper AC, Berselli GB, Freitas BD, et al. Printed wiring boards from mobile phones: characterization and recycling of copper. *Waste Manag* 31(12): 2536-2545, 2011 .
55. Kasper AC, Bernardes AM, Velt HM. Characterization and recovery of polymers from mobile phones scrap. *Waste Manag* 29(7): 714-726, 2011.
56. Lim SR, Schoenung JM. Toxicity potentials from waste cellular phones and a waste management policy integrating consumer, corporate and government responsibilities. *Waste Manag* 30(8-9): 1653-1660, 2010.
57. Canning L. Rethinking market connections: mobile phone recovery, reuse and recycling in the UK. *J Busin Ind Market* 21(5): 320-329, 2006.

....

12. Πράσινη Χημεία και Πράσινη Μηχανική (Τεχνολογία) στην Εκπαίδευση

12.1. Αειφόρος Ανάπτυξη. και Πράσινη Χημεία

Η αλματώδης οικονομική ανάπτυξη του 20^{ου} αιώνα έπληξε αναπόφευκτα τις πλουτοπαραγωγικές πηγές του πλανήτη και τις ευαίσθητες περιβαλλοντικές περιοχές και οικοσυστήματα. Τα πρώτα σοβαρά σημάδια περιβαλλοντικής κρίσης εμφανίσθηκαν από τη δεκαετία του 1960. Τα όρια της ανάπτυξης και η αειφόρος ανάπτυξη επανήλθαν στο προσκήνιο των επιστημονικών ερευνών μετά από την αλόγιστη εκμετάλλευση φυσικών πόρων και την εκτεταμένη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Η Αειφόρος Ανάπτυξη θεωρείται πλέον η μόνη διέξοδος και το μέλλον της επιβίωσης της ανθρωπότητας, με σεβασμό στη φύση και την ποικιλομορφία της. Αειφορία σημαίνει να χρησιμοποιούνται οι πλουτοπαραγωγικοί πόροι με οικολογικό τρόπο ώστε να καλύπτουν μεν τις απαραίτητες ανάγκες του ανθρώπου, αλλά και να προσφέρουν στις μελλοντικές γενιές τα μέσα για την δική τους επιβίωση.

Η **Αειφόρος ή Βιώσιμη Ανάπτυξη** (Sustainable Development) αναφέρεται στην οικονομική ανάπτυξη που σχεδιάζεται και υλοποιείται λαμβάνοντας υπόψη την προστασία του περιβάλλοντος και τη βιωσιμότητα των επόμενων γενεών σε φυσικούς πόρους. Η βιωσιμότητα (sustainability) υπονοεί ότι οι φυσικοί πόροι δεν υφίστανται εκμετάλλευση με ρυθμό μεγαλύτερο από αυτόν με τον οποίο ανανεώνονται με μακροπρόθεσμο αποτέλεσμα την περιβαλλοντική υποβάθμιση και την οικολογική κρίση.

Οι ενδεικτικοί ορισμοί της αειφορίας ήταν αποτέλεσμα διεθνών συνεδρίων και μελέτης των περιβαλλοντικών προβλημάτων στον πλανήτη Γη από επιστήμονες. Ο πρώτος ορισμός ήταν **«Βιώσιμη ανάπτυξη είναι η βελτίωση της ποιότητας της ζωής μέσα στα πλαίσια της φέρουσας ικανότητας των υποστηρικτικών οικοσυστημάτων»** [International Union of the Conservation of Nature (IUCN), United Nation Environmental Programme (UNEP) και (World Wildlife Fund, WWF), 1991].

«Βιώσιμη είναι η κοινωνία που μπορεί να υπάρχει για γενεές και γενεές, που μπορεί να βλέπει αρκετά μακριά, που είναι αρκετά ευέλικτη και σοφή, ώστε να μην υπονομεύει ούτε τα φυσικά, ούτε τα κοινωνικά της υποστηρικτικά συστήματα» (Meadows et al., 1992).

«Βιώσιμη ανάπτυξη σημαίνει να βασίζονται οι αναπτυξιακές και περιβαλλοντικές πολιτικές σε μία ανάλυση κόστους-οφέλους και σε μία προσεκτική οικονομική ανάλυση που θα ενδυναμώνει την περιβαλλοντική προστασία και θα οδηγεί σε αυξανόμενα και διατηρήσιμα επίπεδα ευημερίας» (World Bank, 1992).

Η πετρελαϊκή κρίση του 1973 και η οικονομική ύφεση της δεκαετίας του 1970 δημιούργησαν τις πρώτες σοβαρές αμφιβολίες για τη δυνατότητα των οικονομιών να μεγεθύνονται απεριόριστα, θέτοντας έτσι επί τάπητος το θέμα των περιορισμένων φυσικών πόρων, της αύξησης του πληθυσμού και της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

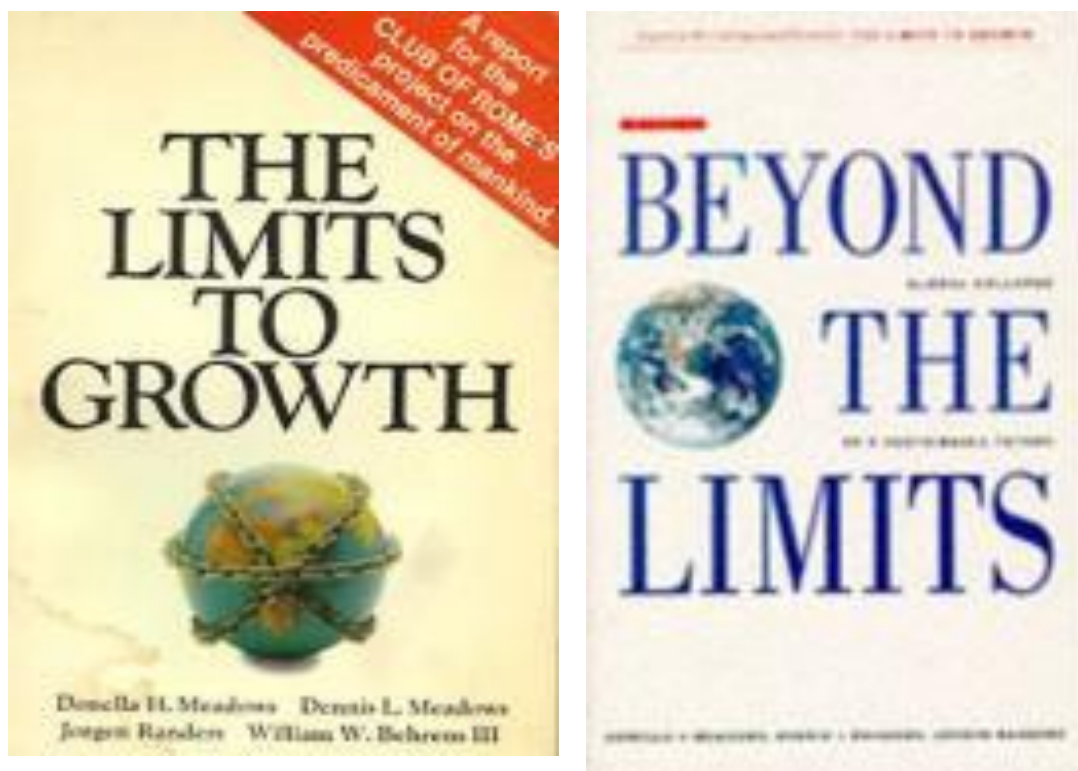


Σχήμα 12.1. Η Αειφορία (Sustainability) έχει επικρατήσει ως έννοια και οι αρχές της αποτελούν πρωταρχικής σημασίας για την οικονομία, το περιβάλλον-οικοσύστημα και τις κοινωνίες στον πλανήτη Γη .

Από το 1972 η *Ομάδα της Ρώμης (Club of Rome)*, με τη μελέτη-βιβλίο που έκανε σημαντική εντύπωση σε διεθνές επίπεδο («*The Limits to Growth*», «Τα Όρια της Ανάπτυξης»), πρόβαλε την κρίσιμη φάση της ανθρωπότητας για την κατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και των πλουτοπαραγωγικών πηγών (ορυκτά καύσιμα, νερό, μέταλλα, ενεργειακοί πόροι). Το 1972, στη Σύνοδο της Διεθνούς Ένωσης για τη Διατήρηση της Φύσης και των Φυσικών Πόρων (IUCN) οι επιστήμονες παρουσίασαν τα κρίσιμα θέματα διατήρησης και ανάπτυξης των φυσικών πόρων του πλανήτη. Από το 1975, το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) και το Παγκόσμιο Ταμείο για τη Φύση (WWF) με διάφορες μελέτες τους είχαν ήδη αρχίσει να διαμορφώνουν την ιδέα μίας στρατηγικής προσέγγισης για την αειφορία και διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος για τις μελλοντικές γενεές¹⁻³

Το 1972 (Stockholm, International Conference on the Human Environment) έγινε το πρώτο συνέδριο των Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) για το Ανθρώπινο Περιβάλλον που αποτέλεσε ένα σημαντικό βήμα στην ανάπτυξη της έννοιας της αειφόρου ανάπτυξης. Στα χρόνια που ακολούθησαν, η ορολογία εξελίχθηκε σε έννοιες όπως περιβάλλον και ανάπτυξη.

Η Αειφόρος ανάπτυξη έχει ενσωματώσει όλες τις περιβαλλοντικές έννοιες (από ρύπανση έως ανακύκλωση, προστασία οικοσυστημάτων, οικονομικές παραμέτρους) και αντί να αναφερόμαστε στην περιβαλλοντική εκπαίδευση, ονομάζεται στην **Εκπαίδευση για την Αειφόρο Ανάπτυξη**.



Σχήμα 12.2. Τα όρια της ανάπτυξης του πλανήτη Γη έχει φθάσει τα όριά του. Η υπερβολική αύξηση του πληθυσμού και η αλόγιστη κατανάλωση πλουτοπαραγωγικών πηγών και ενέργειας έχει θέσει το επιτακτικό ερώτημα των «ορίων ανάπτυξης». Τα δύο βιβλία που έθεσαν το πρόβλημα των ορίων της ανάπτυξης,

Η **Πράσινη Χημεία** και η **Πράσινη Μηχανική** (Τεχνολογία) έχουν τις ρίζες τους στις βασικές αρχές που καθορίστηκαν από την Επιτροπή Αειφόρου Ανάπτυξης του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) που ιδρύθηκε το 1992. και στις δεσμεύσεις της Παγκόσμιας Διάσκεψης Κορυφής για την Αειφόρο Ανάπτυξη στο Γιοχάνεσμπουργκ το 2002. Ο όρος Πράσινη Χημεία προτάθηκε για πρώτη φορά το 1991 από τον χημικό Paul T. Anastas και προέκυψε από εξειδικευμένο πρόγραμμα προστασίας του περιβάλλοντος μέσα από αρχές και σχεδιασμό των βιομηχανικών διεργασιών.

Το 1996 η διεθνής οργάνωση IUPAC (Παρίσι) ίδρυσε ομάδα εργασίας για την Πράσινη Χημεία (Working Party on Green Chemistry). Το 1997 η Αμερικανική Χημική Εταιρεία ίδρυσε το Ινστιτούτο Πράσινης Χημείας (Green Chemistry Institute, American Chemical Society) και διοργανώθηκε το πρώτο Διεθνές Συνέδριο Πράσινης Χημείας από την IUPAC στην Ουάσιγκτον. Η Ευρωπαϊκή Ένωση αναγνώρισε αρκετά νωρίς τη μεγάλη σημασία της Πράσινης Χημείας και χρηματοδότησε τα μαθήματα του Διεθνούς Καλοκαιρινού Σχολείου Πράσινης Χημείας (International Green Chemistry Summer School) στην Βενετία από το 1998.

Ο καθηγητής James Clark (York University) με τις έρευνες δεκαετιών σε θέματα πράσινης οργανικής σύνθεσης προέβλεψε τη σημασία της πράσινης χημείας και πέτυχε τη χρηματοδότηση από το Ερευνητικό Συμβούλιο για Μηχανική και Φυσικές Επιστήμες στη Μεγάλη Βρετανία (Engineering and Physical Sciences Research Council) δικτύου και έρευνας

ερευνητών σε θέματα πράσινης χημείας το 2001 (Green Chemistry Research Network). Το πανεπιστημιακό κέντρο έρευνας και εκπαίδευσης. Από την ίδρυσή του και σε συνεργασία με την Βασιλική Χημική Εταιρεία (Royal Society of Chemistry, RSC) ιδρύθηκε από τότε έχει καταστεί ένας οργανισμός διεθνούς αριστείας για την Πράσινη Χημεία.(Green Chemistry Centre of Excellence).^{4, 5}

Την τελευταία δεκαετία τα προπτυχιακά και μεταπτυχιακά τμήματα πράσινης χημείας έχουν αυξηθεί σε σημαντικό βαθμό, ενώ οι χημικές βιομηχανίες και οι χημικές εταιρείες έχουν ιδρύσει ινστιτούτα ή τεχνολογικά δίκτυα πράσινης χημείας και πράσινης μηχανικής. Την τελευταία δεκαετία διεξάγονται πολυάριθμα συνέδρια πράσινης χημείας και πράσινης μηχανικής με εξαιρετικά ενδιαφέρουσες επιστημονικές ανακαλύψεις, ενώ τη ίδια εποχή αυξήθηκαν δραματικά οι πατέντες πράσινων τεχνολογικών εφαρμογών.⁶

12.1. Πανεπιστημιακά Τμήματα Πράσινης Χημείας και Πράσινης Μηχανικής

Τα θέματα της Πράσινης Χημείας και της Πράσινης Μηχανικής (Τεχνολογίας) είναι η άμεση και ριζοσπαστική επέμβαση στις πρακτικές της συμβατικής χημείας (εκπαίδευση, έρευνα και τεχνολογικές εφαρμογές) και τις συμβατικές τεχνολογίες της χημικής βιομηχανίας που επί δεκαετίες οριοθετούσαν την παραγωγή χημικών προϊόντων. Είναι η αλλαγή «φιλοσοφίας», πρακτικών και νοοτροπίας με τις προοπτικές της αειφόρου ανάπτυξη, των περιορισμένων πλουτοπαραγωγικών πηγών (ιδιαίτερα ενέργειας και φρέσκου νερού), της κλιματικής αλλαγής και της προστασίας της υγείας του ανθρώπου και του περιβάλλοντος,

Είναι λοιπόν φυσικό ότι οι πρώτοι φορείς που ενδιαφέρθηκαν για την Πράσινη χημεία και Πράσινη Μηχανική να είναι τα πανεπιστήμια και τα ερευνητικά ινστιτούτα. Τα πανεπιστημιακά τμήματα χημείας ενδιαφέρθηκαν να εισάγουν έννοιες πράσινης χημείας σε προπτυχιακό επίπεδο αρχικά και αργότερα να επεκτείνουν τα θέματα σε μεταπτυχιακές σπουδές και στα ερευνητικά τους προγράμματα. Επίσης, τα τμήματα χημείας ενδιαφέρονται να εξετάσουν και να εφαρμόσουν ζητήματα τοξικών διαλυτών, νέων μεθόδων οργανικής σύνθεσης, κανόνες υγιεινής και ασφάλειας (που ήδη υπήρχαν από τη νομοθεσία για τους εργασιακούς χώρους) και ανακύκλωσης τοξικών αποβλήτων. Την τελευταία δεκαετία έχουν γίνει αλλαγές στο εκπαιδευτικό πρόγραμμα πολλών τμημάτων χημείας και έχουν ξεκινήσει μεταπτυχιακά τμήματα πράσινης χημείας και πράσινης μηχανικής. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα πλέον σημαντικά τμήματα Πράσινης Χημείας.^{7,8}

12.2.1. Ορισμένα Πανεπιστημιακά Τμήματα Πράσινης Χημείας στις ΗΠΑ.

1. University of Oregon (USA)

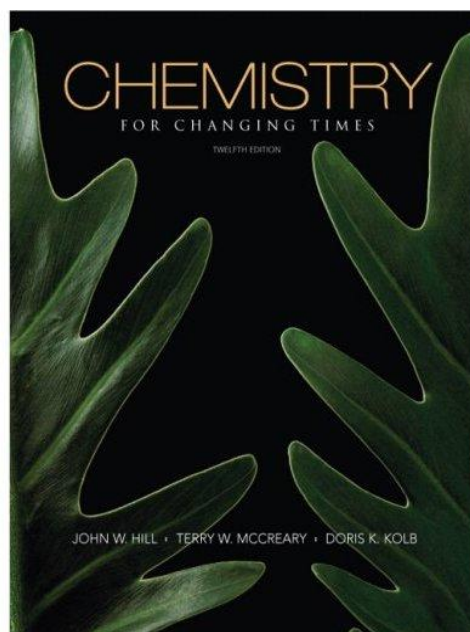
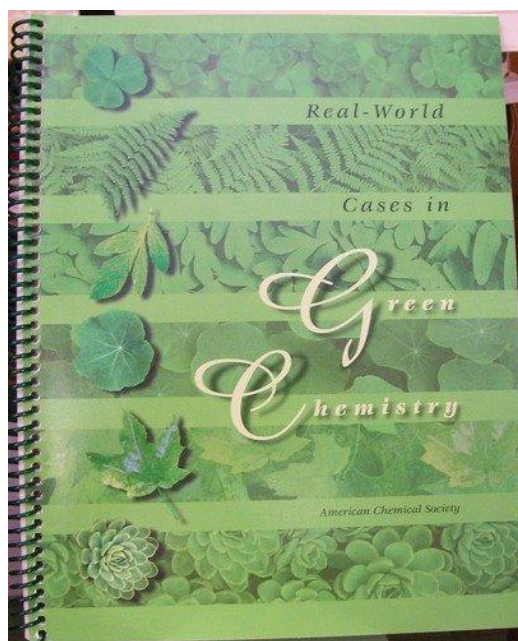
Το Πανεπιστήμιο του Oregon έχει καταστεί το εθνικό κέντρο για την Εκπαίδευση και Έρευνα σε θέματα Πράσινης Χημείας (<http://greenchem.uoregon.edu/>). Σε προπτυχιακό επίπεδο υπάρχουν εργαστηριακές ασκήσεις Πράσινης Οργανικής Χημείας:

Undergraduate, Somophore Level: Green Laboratory Experiments , Organic Chemistry Laboratory . Hutchison JE. Green Chemistry in Education. (<http://www.chemweb.com/alchem/articles/985883680896.html>)

Επίσης, στις ΗΠΑ ορισμένα Γυμνάσια-Λύκεια, τα οποία έχουν διασυνδέσεις με πανεπιστημιακά τμήματα χημείας, έχουν ξεκινήσει μαθήματα πράσινη χημείας στο εκπαιδευτικό τους πρόγραμμα (τα οποία καθορίζονται ανεξάρτητα με τις εκπαιδευτικές επιτροπές της πολιτείας). Παράδειγμα: University of Oregon/Worcester State College (College GC/GE, High School). Distance Education Green Chemistry Course.

2. University of Scranton (USA). Το Τμήμα Χημείας του πανεπιστημίου έχει ξεκινήσει εδώ και πολλά χρόνια **προπτυχιακό τμήμα.**

Undergraduate “greening” courses with themes in Green Chemistry, environmental major, Ένας καθηγητής του πανεπιστημίου έχει συγγράψει ένα από τα βασικότερα εκπαιδευτικά συγγράμματα Πράσινης Χημείας και πειράματα: (textbook) : “Real-World Cases in Green Chemistry”(2000).



Σχήμα 12.2. Εκπαιδευτικά πανεπιστημιακά συγγράμματα σε πανεπιστήμια που διδάσκουν θέματα πράσινης χημείας. Cann CC. *Real-World Cases in Green Chemistry*. CAS publications, Washington DC, 2000. Hill JW, Kolb DK, McCreary TW. *Chemistry for Changing Times*. Prentice Hall, Upper Sadler River, NJ,, 2009 (12th edition).

- 3. University of Texas (Austin),** Προπτυχιακό τμήμα. Undergraduate Green Chemical Engineering, Material Framework
- 4. University of Delaware (USA)** Προπτυχιακό τμήμα. Senior undergraduate class. Green Chemistry course : Green Engineering –Out of this World CHEG. 667-Senior Undergraduate Class.
- 5. University of Massachusetts-Boston (UMB),** Μεταπτυχιακό, για διδακτορικά, doctoral in green chemistry (2001)

6. **Carnegie Mellon University (USA)**, Undergraduate, Interdisciplinary Multilevel, Environment Across the Curriculum Multidisciplinary Programs, Εκπαιδευτικό σύγγραμμα : Nonchemistry Major, «Chemistry for Changing Times» (Chemistry Textbook)



7. **University of North Carolina at Chapel.** NSF Science and Technology Center :
8. **Yale University : Center for Green Chemistry and Green Engineering in Yale.** Προπτυχιακά μαθήματα
F&ES 885b/ENVE 360b/ENAS 660b/360b Green Engineering and Sustainable Design
Faculty: Matthew Eckelman, Julie Zimmerman : Subject of Instruction: Industrial Ecology, Scheduled for Spring 2012
F&ES 886a/FES 380 Greening Business Operations
Faculty: Marian Chertow, Thomas E. Graedel*, Julie Zimmerman
Subject of Instruction: Industrial Ecology, Not Currently Offered...
The course examines various industries from engineering, environmental, financial perspectives, and emphasizes increasingly detailed analyses of corporate environmental performance. Methods are drawn from operations management, industrial ecology, and accounting and finance to investigate industrial processes, the potential to pollute, and the environmental and business implications of various sustainability approaches.
9. **University of Nottingham (UK)**, Προπτυχιακό, Undergraduate, Multilevel Courses,. Green Chemistry for Process Engineering.
Το 2010 η γνωστή φαρμακευτική εταιρία GlaxoSmithKline (GSK) ανακοίνωσε την απόφαση να ιδρύσει στο Πανεπιστήμιο του Nottingham ένα «πράσινη» χημικό εργαστήριο σύνθεσης φαρμάκων, που δεν θα χρησιμοποιεί πρώτες ύλες από την πετροχημική βιομηχανία («ουδέτερο σε άνθρακα», carbon neutral chemistry laboratory) για την παραγωγή φαρμάκων. Η επιλογή του τμήματος χημείας του Nottingham. Έγινε γιατί έχει ερευνητική και εκπαιδευτική εμπειρία σε θέματα Πράσινης Χημείας και για να «κερδίσει» τις επιχορηγήσεις της κυβέρνησης που χρηματοδοτεί νέες ιδέες στη χημική βιομηχανία μέσω της μείωσης των φόρων...
10. **University of York (UK)**
Νέο Μεταπτυχιακό τμήμα -**MSc. Green Chemistry**
«This masters module provides an introduction to the principles of green chemistry. There is increasing pressure from both society and governments for chemistry-based industries to become more sustainable through development of eco-friendly products and processes that both

reduce waste and prevent toxic substances from entering the environment.»

Το περιεχόμενο των μαθημάτων περιλαμβάνει τις βασικές αρχές της Πράσινης Χημείας

- The costs of waste and the changing chemical industry
- Green chemical technologies, life cycle considerations
- Atom economy and experimental design
- Use of renewable resources
- Product and process design for sustainability; chemical product legislation

Έλεγχος των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Χημικών Διεργασιών και Προϊόντων

- National and transnational legislation reporting, waste and waste minimisation
- Recycling, reuse and recovery
- Life cycle assessment
- Measuring greenness

12.2.2. Μεταπτυχιακά (MSc) Πανεπιστημιακά Τμήματα Πράσινη Χημείας

1. MSc in Green Chemistry and Sustainable Industrial Technology

A one-year masters course offered by the **Department of Chemistry** at the **University of York** is run in collaboration with the Chemical, Pharmaceutical and related industries.

2. Master en Quimica Sostenible

This is a one-year course (60 ECTS credits) run at the **Faculty of Sciences** at the **University of Zaragoza**. It is run in Spanish by specialized lecturers from 9 Departments giving a multi-disciplinary approach (focusing on Chemistry, but also including Economics, Toxicology, Legislation, and Renewable Energies). The course is mainly directed at graduates in Chemistry or Chemical Engineering, though it is also open to other closely-related graduates.

3. MSc in Green Chemistry: Energy and the Environment

This is a one-year course offered by **Imperial College London** and is designed to introduce postgraduate students to all aspects of sustainable chemical practices. Both the taught and research components will be multi-disciplinary in nature with input from several world class departments from Imperial (including Chemical Engineering, Biology and Environmental Policy), and the course content will include components as diverse as Green Chemistry, Renewable Energy, Biotechnology and Environmental Legislation

4. MSc in Chemical Research (Green Chemistry with Industry)

Applications are invited from outstanding students for a funded position on the MSc in Chemical Research (Green Chemistry with Industry). This course, which is funded through core CTA funding to the University of Leicester, provides masters-level training and includes industrial experience in the green chemistry sector.

5. MSc in Green Chemistry (master de chimie verte) University Louis Pasteur (Strasbourg I)

Green chemistry is a chemistry for a sustainable global future. This new field includes applying a set of principles to reduce or eliminate the use or production of hazardous or toxic substances in the design, manufacture and use of products from the chemical industry. A one year course.

6. Master of Chemistry and EST (Universite de Savoie)

The Specialty Chemicals, Environment, Sustainable Development (CESD Master of Chemistry and ESTs) is for all students wishing to move to new careers in environmental and sustainable development. It aims to train senior managers and researchers.

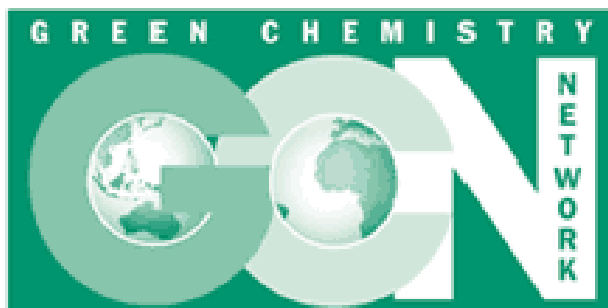
Μεταπτυχιακά πανεπιστημιακά τμήματα για Πράσινη Χημεία και Πράσινη Μηχανική (Τεχνολογία) υπάρχουν και σε άλλες χώρες (πλήρης κατάλογος στο Παράρτημα), όπως την Αυστραλία, την Ολλανδία, την Ιταλία, την Σουηδία, Ισπανία, την Βόρεια Ιρλανδία, το Ηνωμένο Βασίλειο (Μ. Βρετανία και Ουαλία) και την Βραζιλία. Τα τελευταία χρόνια ιδρύονται ολοένα και περισσότερα καθώς τα θέματα Πράσινης Χημείας γίνονται επίκαιρα..

12.3. Πηγές για Εκπαιδευτικές και Επιστημονικές Εξελίξεις σε Θέματα Πράσινης Χημείας

Η ανάπτυξη των θεμάτων Πράσινης Χημείας και Πράσινης Μηχανικής (Τεχνολογίας) τόσο στο ερευνητικό επίπεδο όσο και στο εκπαιδευτικό έχουν καταγραφεί από διάφορους φορείς και διαδικτυακούς τόπους.

1. Green Chemistry Network (Μ. Βρετανία) (www.greenchemistrynetwork.org/).

Ο πιο σημαντικός φορέας, μετά την Αμερικανική Χημική Εταιρία, είναι ο διαδικτυακός τόπος Green Chemistry Network, GCN (δημιουργήθηκε το 1998 με χρηματοδότηση από την Royal Society of Chemistry σε συνεργασία με το Εργαστήριο Πράσινης Χημείας του Πανεπιστημίου του York στη Μεγάλη Βρετανία).



Ο σκοπός του GCN είναι να προσφέρει νέα και πληροφόρηση σε επιστημονικά, εκπαιδευτικά και τεχνολογικά θέματα της Πράσινης Χημείας, να φέρει σε επαφή οργανώσεις (πανεπιστήμια, ερευνητικά ινστιτούτα, χημικές εταιρίες) με κυβερνητικές υπηρεσίες, να βοηθήσει στην οργάνωση συνεδρίων, σεμιναρίων και ειδικών διαδικτυακών τόπων για πράσινη χημεία. Επίσης, το GCN είναι επίσης υπεύθυνο να παρέχει και να συγκεντρώνει πληροφορίες επιστημονικών ερευνών και τεχνολογικών εφαρμογών σε θέματα πράσινης χημείας, να εκδίδει και να προετοιμάζει εκπαιδευτικά συγγράμματα σε θέματα Πράσινης Χημείας για πανεπιστήμια και σχολεία. Τέλος, το GCN στοχεύει στην ενημερώνει και να προωθήει συνεργασίες με ειδικές ομάδες επιστημόνων και τεχνολόγων και να υποστηρίζει την ίδρυση επιστημονικών ινστιτούτων και εργαστηρίων (μη κερδοσκοπικά) που θα προωθήσουν και θα διερευνήσουν χημικές διεργασίες και πράσινες τεχνικές.⁹

2. Green Chemistry Institute-American Chemical Society (ΗΠΑ) Εκπαιδευτικά προγράμματα (<http://portal.acs.org>)



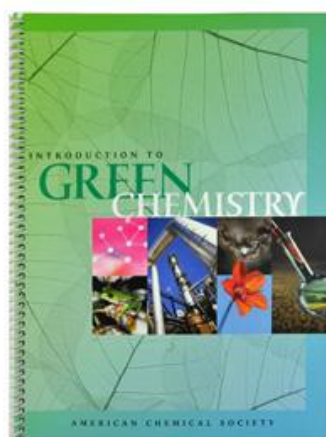
Το Ινστιτούτο Πράσινης Χημείας της Αμερικανικής Χημικής Εταιρίας έχει συγκεντρώσει πολυάριθμες πληροφορίες και εκπαιδευτικά προγράμματα για όλα τα επίπεδα εκπαίδευσης σε θέματα Πράσινης Χημείας

Εκπαιδευτικές Πηγές Πράσινης Χημείας και Βιβλία (Green Chemistry Educational Resources)

ACS aims to increase awareness and understanding of Green Chemistry principles, alternatives, practices, and benefits within traditional educational institutions and among practicing scientists.

ΒΙΒΛΙΑ

- Real-World Cases in Green Chemistry, Volume I & II (ACS, 2000)
- Going Green: Integrating Green Chemistry into the Curriculum (2004)
- Introduction to Green Chemistry: Instructional Activities for Introductory Chemistry (ACS, 2002)
- Greener Approaches to Undergraduate Chemistry Experiments; en Español



ACS. Introduction to Green Chemistry: Instructional Activities for Introductory Chemistry HS25 (+CD-ROM). ACS pbls, Washington DC, 2002 (20 \$)

[Parent KE, Kirchhoff M (Eds) *Going Green: Integrating Green Chemistry into the Curriculum*, American Chemical Society, Washington DC, 2004, τιμή \$ 10]

Διαδικτυακές Πηγές Πληροφόρησης (ACS Green Chemistry Institute) (Online Resources)

- Green Chemistry Resource Exchange (developed by the ACS Green Chemistry Institute®)
- Greener Education Materials for Chemists (GEMs) (developed by the University of Oregon)
- University of Scranton's Teaching Green Chemistry Modules

- Certificate Program in the Essentials of Green Chemistry (offered by the University of California Berkeley Extension)
- Green Chemistry Network

3. Green Chemistry Educational Network (ΗΠΑ)



The **Green Chemistry Education Network** (GC Ed Net) serves as a catalyst for integrating green chemistry in chemical education at all levels. As a network of educators we support opportunities to research, develop, implement and disseminate green educational materials. The GC Ed Net reaches out to all chemistry educators through collaboration and mentoring, facilitating professional growth, and fostering the synergistic integration of green chemistry in education.

4. Greener Education Materials (GEMs)



Greener Education Materials (GEMs) is an interactive collection of chemistry education materials focused on green chemistry. Green Chemistry is the redesign of chemical transformations and processes to reduce or eliminate the use of materials that are hazardous to human health and the environment. The database is designed as a comprehensive resource of education materials including laboratory exercises, lecture materials, course syllabi and multimedia content that illustrate chemical concepts important for green chemistry.

5. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC, Paris)

Η Διεθνής Ένωση για την Καθαρή και Εφαρμοσμένη Χημεία (IUPAC) σε συνεργασία με τον ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Παρίσι) οργανώνουν σεμινάρια και συνέδρια για εκπαιδευτικά θέματα στην Πράσινη Χημεία..(www.iupac.org/indexes/Conferences)

6. Green Chemistry in Carolina (USA). Εκπαιδευτικά προγράμματα (www.carolina.com/category/teacher+resources/green+chemistry.do).

7. Πανεπιστήμιο του Όρεγκον (ΗΠΑ).

Haack, J. A. Greener Education Materials for Chemists.
(<http://greenchem.uoregon.edu/gems.html>) .

8. Greening Schools, Illinois EPA & WMRC (USA) (<http://www.greeningschools.org>)



Στις χώρες όπου υπάρχουν πανεπιστημιακά τμήμα με εκπαιδευτικά προγράμματα στην Πράσινη Χημεία υπάρχουν και διαδικτυακοί τόποι με χρήσιμες πληροφορίες και εκπαιδευτικές ιδέες για τη διασύνδεση πράσινης χημείας-αειφορίας-περιβάλλοντος.

Australia •Centre for Green Chemistry •Royal Australian Chemistry Institute

Brazil •Química Verde no Brasil

Canada •Green Centre Canada•McGill University •Environment Canada

China •Chinese National GC Conference

India •Green Chemistry Network Centre

Italy •Interuniversity Consortium — Chemistry for the Environment (INCA)

Japan •Green and Sustainable Chemistry Network

•Japan Chemical Innovation Institute

United Kingdom • University of Nottingham •York University

•Green Chemistry Network

Denmark. Center for Sustainable and Green Chemistry at the Technical University of Denmark.

Mediterranean (Basin) Countries Green Chemistry Network (MEGREC)

(Megrec.unitwin-network-731)

Mediterranean Basin UNITWIN Network for Green Chemistry (MEGREC

UNITWIN Network) (731), established in 2006 at The Interuniversity

Consortium Chemistry for the Environment –INCA, Venice (Italy).

12.4. Πράσινη Χημεία στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα υπάρχει το **Ελληνικό Δίκτυο Πράσινης Χημείας** (Hellenic Green Chemistry Network). Στα τμήματα χημείας του Πανεπιστημίου Πατρών (Καθ. Κ. Πούλος) και στη Θεσσαλονίκη (καθ. Μαρούλης) υπάρχουν δραστήριες ομάδες ερευνητών σε θέματα πράσινης χημείας.

Το Δίκτυο δημιουργήθηκε από την Ένωση Ελλήνων Χημικών και μετά από απόφαση της συνέλευσης των αντιπροσώπων με πυρήνα τις ομάδες Πράσινης Χημείας των τμημάτων χημείας των Πανεπιστημίων Πατρών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ιωαννίνων και Αθηνών. Το Ελληνικό Δίκτυο Πράσινης Χημείας έχει έδρα το Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Πατρών (Καθ. Κ. Πούλος) και έχει σκοπό την προώθηση, σε

Πανελλαδικό και Διεθνές επίπεδο, την Πράσινη Χημεία στα πλαίσια της Αειφορίας και της προστασίας του περιβάλλοντος και των οικοσυστημάτων.



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

URL: www.chemistry.upatras.gr/hqcn

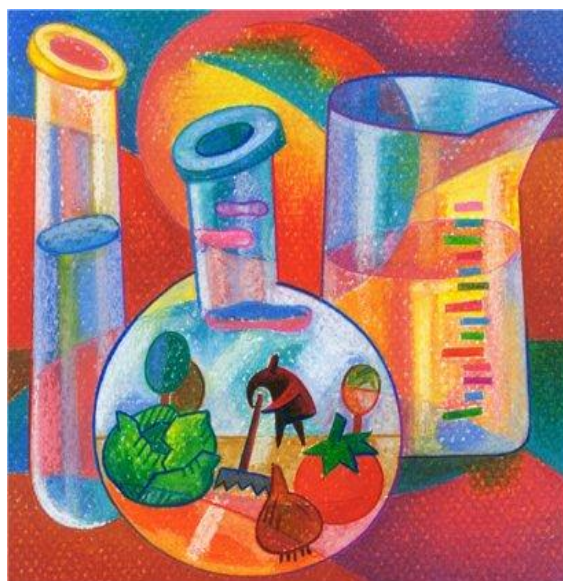
Το Ελληνικό Δίκτυο Πράσινης χημείας διοργανώνει κάθε δύο χρόνια Διεθνές συνέδριο για την Πράσινη Χημεία



Σχήμα 12.3. Το Ελληνικό Δίκτυο Πράσινης Χημείας (με το συντονιστή καθηγητή Κ. Πούλος, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Πατρών) διοργανώνει ενδιαφέροντα συνέδρια Πράσινης Χημείας όπου παρουσιάζονται επιστημονικές εργασίες Ελλήνων επιστημόνων σε θέματα πράσινης χημείας, μηχανικής, προστασίας περιβάλλοντος, πράσινων οργανικών συνθέσεων και άλλων πράσινων τεχνολογικών εφαρμογών.



Μετάφραση του βιβλίου στα Ελληνικά
Anastas PT & Warner JC. “Green
Chemistry: Theory and Practice”,
Oxford University Press,
Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης,
2007



Αθ. Βαλαβανίδης & Θ. Βλαχογιάννη
“Πράσινη Χημεία και Τεχνολογικές
Εφαρμογές” (30.3.2011).
Στο : Επιστημονικά Θέματα, Τμήμα
Χημείας, Πανεπιστήμιο Αθηνών
(www.chem.uoa.gr)

Σχήμα 12.4. Μέχρι σήμερα έχει δημοσιευθεί ένα βιβλίο για την Πράσινη Χημεία (2007, μετάφραση) ενώ υπάρχουν και επιστημονικά άρθρα ανασκόπησης της πράσινης χημείας και πράσινης μηχανικής.

Η Πράσινη Χημεία (Προπτυχιακό), Παν. Πατρών (καθ. Κ. Πούλος)
Από το ακαδημαϊκό έτος 2003-2004 άρχισε συστηματικά η εισαγωγή της Πράσινης Χημείας στο προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών του Τμήματος Χημείας στα πλαίσια προγράμματος ΕΠΕΑΕΚ για την Αναμόρφωση του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών. Η αναμόρφωση περιλαμβάνει εισαγωγή των 12 Αρχών της Πράσινης Χημείας, πραγματικών εφαρμογών Πράσινης Χημείας, πειράματα σε μικροκλίμακα και πειράματα Πράσινης Χημείας στα μαθήματα Οργανικής Χημείας, Χημείας των Πολυμερών, Κατάλυσης και Βιοτεχνολογίας.

Επίσης, δραστήριο τμήμα Πράσινης Χημείας υπάρχει στο Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Καθ. Α. Μαρούλης και καθ. Κων. Χατζηαντωνίου-Μαρούλη) με πολλές προπτυχιακές και μεταπτυχιακές ερευνητικές εργασίες και πειράματα Π.Χ.. Διατηρούν ενδιαφέρουσα ιστοσελίδα (www.gcex.gr).

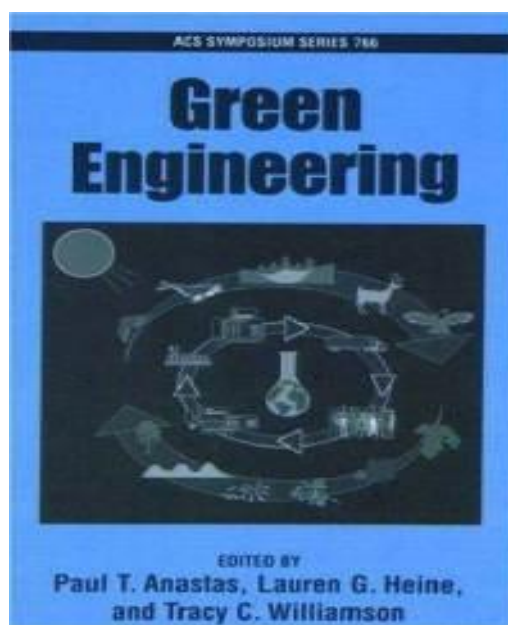
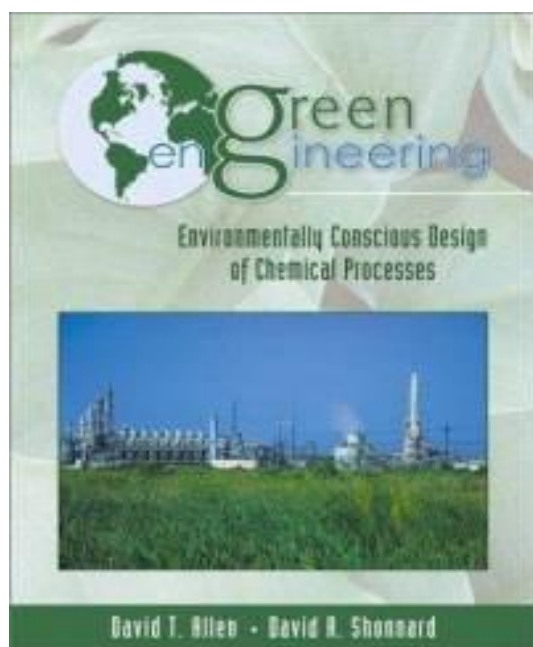
Τα συνέδρια Πράσινης Χημείας στην Ελλάδα επικεντρώνονται σε θέματα έρευνας και πράσινων τεχνικών : σύνθεση οργανικών ενώσεων, μείωση της χρήσης διαλυτών, τεχνικές με μικροκύματα και υπέρηχους.. Νέες μέθοδοι παραγωγής χημικών προϊόντων με μειωμένη χρήση ενέργειας, εναλλακτικά καύσιμα, εναλλακτικές ανανεώσιμες πηγές πρώτων υλών, εξοικονόμηση νερού στη γεωργία, και θέματα εκπαιδευτικών προγραμμάτων μέσα από τις αρχές της πράσινης χημείας και πράσινης μηχανικής .

12.5. Πράσινη Χημεία και Μηχανική στα Εκπαιδευτικά Προγράμματα των Μηχανικών

Η Πράσινη Χημεία είναι συνδεδεμένη και με την πράσινη τεχνολογία και εκφράζεται με τις 12 αρχές της Πράσινης Μηχανικής. Οι έννοιες και αρχές της πράσινης τεχνολογίας είναι πλέον τόσο τεκμηριωμένες και βασικές για την αειφορία και την προστασία του περιβάλλοντος ώστε να αποτελούν μέρος της γενικότερης και εξειδικευμένης εκπαίδευσης των μηχανικών (χημικών μηχανικών, πολιτικών μηχανικών, μηχανολόγων μηχανικών, ενεργειακών μηχανικών). Σε όλες τις αναπτυγμένες χώρες η εκπαίδευση των μηχανικών περιλαμβάνει τις τελευταίες δεκαετίες τμήματα των αρχών της πράσινης μηχανικής.

Η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency, EPA) στις ΗΠΑ, έχει αναπτύξει εκπαιδευτικά προγράμματα πράσινης μηχανικής, και σε συνεργασία με τα ανώτατα εκπαιδευτικά ιδρύματα στην Αμερική προωθεί έννοιες και αρχές της πράσινης μηχανικής (τεχνολογία) στα μαθήματα και στο εκπαιδευτικό πρόγραμμα των μηχανικών.^{10,11.}

Η στρατηγική που ακολουθείται στο θέμα αυτό έχει μελετηθεί συστηματικά από διάφορα ερευνητικά κέντρα Πράσινης Χημείας και Μηχανικής (Center for Green Chemistry & Green Engineering at Yale University). Η διδασκαλία της χημικής μηχανικής με έννοιες πράσινης μηχανικής περιλαμβάνει το σχεδιασμό των αντιδραστήρων, τις θερμοδυναμικές παραμέτρους, τα φαινόμενα μεταφορών, τον έλεγχο των χημικών διεργασιών σε βιομηχανικά συγκροτήματα, ακόμη και εξειδικευμένες περιπτώσεις βιοτεχνολογίας, βιομηχανικής οικολογίας, περιβαλλοντικής προστασίας και νανοτεχνολογίας.¹²



Σχήμα 12.5. Η Πράσινη Μηχανική (Green Engineering) με τις αρχές της και τις βασικές έννοιες αειφορίας έχουν ενσωματωθεί στα εκπαιδευτικά προγράμματα πανεπιστημιακών σχολών μηχανολόγων. Συγγράμματα πανεπιστημιακού επιπέδου για Πράσινη Μηχανική.

Την τελευταία δεκαετία έχουν εκδοθεί πολυάριθμα συγγράμματα και σημειώσεις μηχανολογίας για προπτυχιακά μαθήματα μηχανικών, όπου σε πολλά σημεία έχουν ενσωματωθεί οι αρχές της πράσινης μηχανικής, της αειφορίας και της προστασίας του περιβάλλοντος. Οι έννοιες αυτές ήταν φυσικό να υπάρχουν στα παλαιότερα συγγράμματα αλλά τώρα τονίζονται ως δεδομένα για ριζοσπαστικές αλλαγές στη «φιλοσοφία» των μηχανικών και βιομηχανικής παραγωγής.¹³⁻¹⁶ Η Πράσινη Μηχανική είναι αλληλένδετα συνυφασμένη με την Πράσινη Χημεία και τελευταία οι δύο έννοιες συνδυάζονται σε νέα βιβλία.^{17,18}

Αρκετά πανεπιστήμια Μηχανικών στη Μ. Βρετανία και στις ΗΠΑ έχουν τα τελευταία χρόνια προσαρμόσει τα εκπαιδευτικά τους προγράμματα για να ενσωματώσουν έννοιες πράσινης χημείας και μηχανικής. Σήμερα υπάρχουν πολλά προπτυχιακά και μεταπτυχιακά τμήμα μηχανολόγων με πράσινη μηχανικής και τεχνολογικούς τομείς εναλλακτικών πηγών ενέργειας και αειφορίας. Επιλογή τμημάτων Π.Χ. από τη Μ. Βρετανία και ΗΠΑ

Πανεπιστήμια Μ. Βρετανίας (επιλογή)

University of Glamorgan: MSc Renewable Energy and Resource Management, MSc Energy Systems Engineering

Glasgow Caledonian University: BSc Environmental Civil Engineering, MSc Sustainable Energy Technology

University of Gloucestershire: MSc European Rural Development, PhD Countryside and Community

Kingston University: MSc Renewable Energy Engineering

University of Manchester: MSc Environmental and Sustainable Technology

Newcastle University: MSc Environmental Engineering, PhD Engineering and Science in the Marine Environment

University of Northampton: MSc Wastes Management, BSc Wastes Management, BSc Wastes Management Pollution Control (distance learning), MSc International Environmental Management (distance learning)

University of Nottingham: BEng Environmental Engineering, MSc Environmental and Resource Engineering

Queen Mary, University of London: MSc in Sustainable Energy Systems, BEng/MEng Sustainable Energy Engineering

Πανεπιστήμια και Κολλέγια (ΗΠΑ) (επιλογή)

(www.ehow.com/info_7839751_green-engineering-colleges.html)

(πανεπιστημιακά τμήματα στο Παράρτημα 1)

Yale University. Center for Green Chemistry and Green Engineering

University of Texas, Austin : Green Chemical Engineering-Material framework

Rowan University : Green Engineering

Carnegie Mellon University: Center for Sustainable Engineering

Virginia Tech. Green Engineering.

Western New England College. Green Engineering

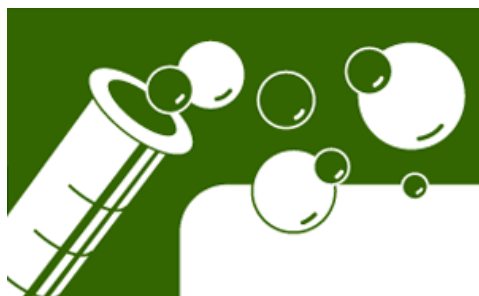
San Jose University. Green Engineering

Stevens Institute of Technology. Green Engineering.

12.6. Πράσινη Χημεία και Εργαστηριακά Πειράματα

Υπάρχουν στο διαδίκτυο και σε επιστημονικές εκδόσεις αρκετά πειράματα πράσινης χημείας και πράσινης τεχνολογίας για τη μέση εκπαίδευση και για πανεπιστημιακά εργαστηριακά πειράματα χημείας.

1. **Green Chemistry Labs (USA). Με 24 πειράματα χημείας**
(www.greenchemistrylabs.com/)

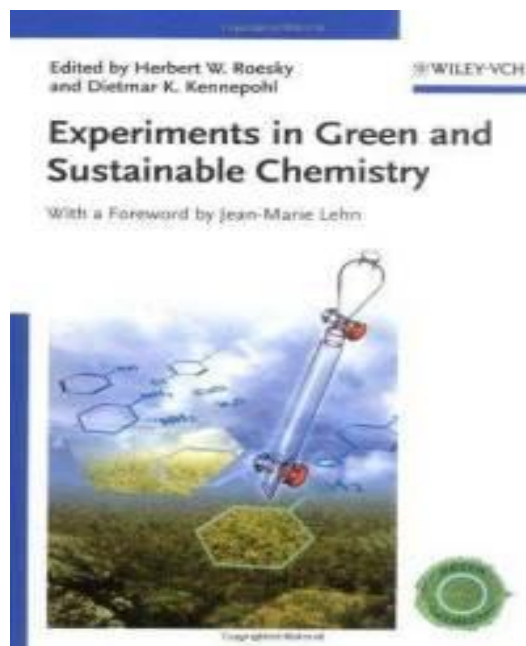


This is a manual containing twenty-four (24) experiments targeted at the high school level of education. It was developed by Dr. Sally Henrie, Kacey Fowler, Ruth Hall, and Kimberly Lindsey at Union University over multiple years. Dr. Marlyn Newhouse and Prof. Carol Leslie also contributed to the project.

2. **Monograph on Green Chemistry Laboratory Experiments. Green Chemistry Task Force, Committee, Department of Science and Technology**, New Delhi, India, 2000 (pp. 79, experiments in detail, comparison of conventional and green chemistry methods)
(www.serc-dst.org/GC-monograph-final.pdf)



3. ΒΙΒΛΙΟ. Roesky HW, Kennepohl D, Lehn J-M (Eds). *Experiments in Green and Sustainable Chemistry*, Wiley-VCH, West Sussex, 2009.



Πειράματα Πράσινης Χημείας. [This book avoids the trap of devoting many pages to educational theory or personal experiences of teachers - interesting though these are - but instead concentrates on what we really need, lots of good quality, proven case studies. Some **45 experiments written by 85 contributors from 15 different countries** are described in sufficient detail but are, mostly, thankfully concise, enabling the reader to judge quickly their suitability for a particular course.]

4. ΒΙΒΛΙΟ. Το βιβλίο αυτό περιλαμβάνει αρκετά πειράματα «Πράσινης» οργανικής χημείας : Doxsee K, Hutchison J. *Green Organic Chemistry: Strategies, Tools, and Laboratory Experiments*. Cengage Learning, New York, 2003.

Επίσης, υπάρχουν οι διαδικτυακές προσβάσεις (websites) της Αμερικανικής Χημικής Εταιρίας και διαφόρων Πανεπιστημίων που προσφέρουν διάφορα εκπαιδευτικά προγράμματα και ιδέες για διδασκαλία και εργαστηριακά πειράματα σε σχολεία και πανεπιστήμια..

- Αμερικανική Χημική Εταιρία (<http://www.acs.org/education/greenchem/>),
- Ινστιτούτο Πράσινης Χημείας (<http://www.acs.org/greenchemistryinstitute>) ,
- Δίκτυο Πράσινης Χημείας (<http://www.chemsoc.org/networks/gcn/>)
- Πανεπιστήμιο του Όρεγκον (<http://www.uoregon.edu/~hutchlab/greenchem/>),
- Πανεπιστήμιο του Scranton (<http://www.academic.uofs.edu/faculty/CANNM1/greenchemistry.html>)

Στο Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, οι Καθηγητές Απ. Μαρούλης και Κων/να Χατζηαντωνίου-Μαρούλη δραστηριοποιούνται σε εκπαιδευτικά και ερευνητικά θέματα Πράσινης Χημείας. Υπάρχουν ενδιαφέρονται και πολυάριθμα άρθρα και πειράματα χημείας για Π.Χ. στην ιστοσελίδα τους www.gcex.gr.

Βιβλιογραφία

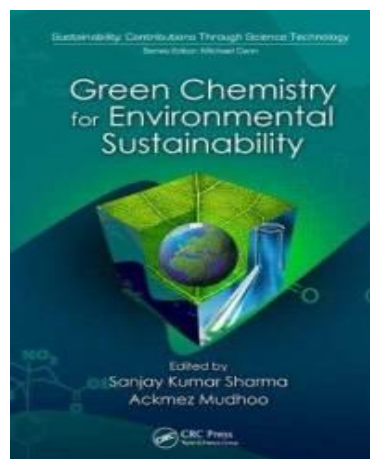
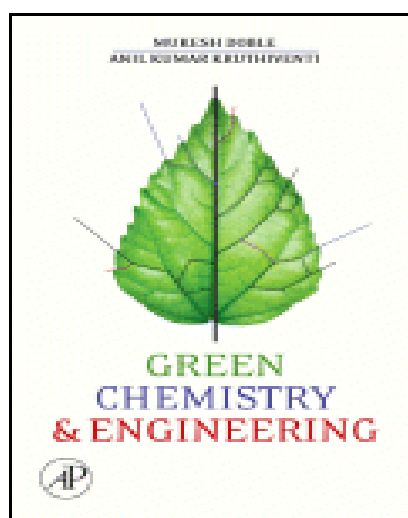
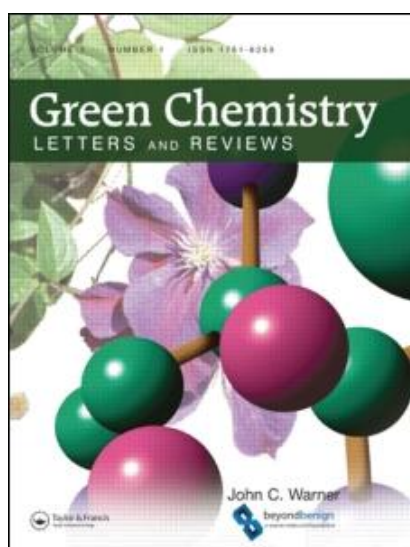
1. Meadows D, Meadows D, Randers J, Behrens W. *The Limits to Growth*. Universe Books, New York, & Pan Books, London, 1972.
2. Meadows D, Meadows D, Randers J. *Beyond the Limits: Global Collapse or a Sustainable Future*. Post Mill, Chelsea Green Press, Post Mill VT, 1992.
3. Goodland R. The concept of environmental sustainability. *Annu Rev Ecol Syst* 26: 1-24, 1995.
4. Anastas PT, Kirchhoff MM. Origins, current status, and future challenges of Green Chemistry. *Acc Chem Res* 35(9): 689-694, 2002.
5. Anastas PT, Levy IJ, Parent KE (Eds). *Green Chemistry Education. Changing the Course of Chemistry*. ACS publications, Washington DC, 2009.
6. Sharma SK. *Green Chemistry for Environmental Sustainability*. Series: *Advancing Sustainability Through Green Chemistry and Engineering*. CRC Press, Boca Raton, FL, 2010.
7. Anastas PT, Wood-Black F, Massiangioli T, et al. *Exploring Opportunities in Green Chemistry and Engineering Education*. A Workshop Summary to the Chemical Sciences Roundtable, National Research Council, National Academies Press, Washington DC, 2007.
8. American Chemical Society (ACS). American Chemical Society : Green Chemistry Education : Educational Resources , ACS Summer School on Green Chemistry and Sustainable Energy , Colleges and Universities with Green Chemistry Programs , Green Chemistry Student Chapter Awards , Green Chemistry Awards (<http://portalacs.org/portal/acs/corg/content/...>).
9. Green Chemistry Network. (www.greenchemistrynetwork.org) .
10. Environmental Protection Agency (EPA). Office of Pollution Protection and Toxics. Green Engineering. ([http:// www.epa.gov/oppt/greenengineering/](http://www.epa.gov/oppt/greenengineering/)).
11. Zimmerman JB, Anastas PT,. Intergrating green engineering in engineering curricula. In ACS Symposium “*Green Chemistry Education*”, ACS Symposium Series, Vol 1011, ACS publications, Washington DC, 2009, chapter 9, pp. 137-146.
12. Shonnard DR, Allen DT, Nguyen N, Weil S, Austin W, Hesketh R. Green Engineering Education through a U.S. EPA/Academia collaboration. *Environ Sci Technol* 37:5453-5462, 2003.
13. EPA. Chemical Engineering Branch (CEB), Allen DT, Shonnard DR. *Green Engineering: Environmentally Conscious Design of Chemical Processes*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2002.
14. Billatos SB, Basaly NA. *Green Technology and Design for the Environment*. Taylor & Francis, Washington DC, 1997.
15. Rubin ES, Davidson CI. *Introduction to Engineering and the Environment*. McGraw-Hill, Boston, 2001.
16. Heine LG, Anastas PT, Williamson TC (Eds). *Green Engineering*. ACS Symposium Vol. 766, Oxford University Press, Oxford, 2011.
17. Doble M, Kumar A. *Green Chemistry and Engineering*. Academic Press, New York, 2007.

18. Jimenez-Gonzalez C, Constable DJC. *Green Chemistry and Engineering: A Practical Design*. John Wiley and Sons, W Sussex, 2011.
19. Gurney RW, Stafford SP. Integrating green chemistry throughout the undergraduate curriculum via civil engineering. In: ACS Symposium Series Vol. 1011, *Green Chemistry Education*. ACS publications, Washington DC, 2009, chapter 4, pp. 55-77.

Επιπλέον Βιβλιογραφία: Πράσινη Χημεία, Πράσινη Μηχανική και Εκπαίδευση (επιλογή)

1. Collins TJ. Introducing green chemistry in teaching and research. *J Chem Educ* 72(1):965-970, 1995.
2. Editorial. Teaching green chemistry. *Green Chem*, G19-G20: Febr. 1999.
3. Reed SM, Hutchison JE. Green chemistry in the organic teaching laboratory: an environmentally benign synthesis of adipic acid. *J Chem Educ* 77: 1627-1630, 2000.
4. Hjeresen DL, Schutt DL, Boese JM. Green chemistry and education. *J Chem Educ* 77:1543-, 1547, 2000.
5. Matlack AS. *Introduction to Green Chemistry*. Marcel Dekker, New York, 2001.
6. Warren D. *Green Chemistry: A Teaching Resource*. RSC publications, Cambridge, UK, 2001.
7. Betts KS. Green chemistry gets a hood and gown. *Environ Sci Technol* 30, 505A, 2000.
8. Poliakoff M, Fitzpatrick JM, Farren TR, Anastas PT. Green chemistry: science and politics of change. *Science* 297: 807-810, 2002.
9. Bai L, Chen M. Green chemistry experiments. *J Chem Educ* Z1, 2002 (Chinese).
10. Boschen S, Lenoir D, Scheringer M. Suitable chemistry: starting points and prospects. Review. *Naturwissenschaften* 90:93-102, 2003.
11. Doxsee K, Hutchison J. *Green Organic Chemistry: Strategies, Tools, and Laboratory Experiments*. Cengage Learning, New York, 2003.
12. Cann MC, Dickneider TA. Infusing the chemistry curriculum with green chemistry using real-world examples, web-modules, and atom economy in organic chemistry courses. *J Chem Educ* 81(7):977, 2004.
13. Van Aruun S. An approach towards teaching green chemistry fundamentals. *J Chem Educ* 82(1):1689, 2005.
14. Levy JJ, Haack JA, Hutchison JE et al. Going green: lecture assignments and lab experiences for the college curriculum. *J Chem Educ* 82(7), 974, 2005.
15. Cacciatone KL. Teaching lab report writing through inquiry: a green chemistry stoichiometry experiment for general chemistry. *J Chem Educ* 83(7):1039, 2006.
16. Doble M, Kumar A. *Green Chemistry and Engineering*. Academic Press, New York, 2007.
17. University of Oregon. Teaching green chemistry in the lab-the story of CH337G (<http://www.uregon.edu/~hutch/ch337g/>)

18. Brown D. A chemical engineering viewpoint on the environment. *J Environ Monit* 10 (10): 1125-1126, 2008.
19. McKenzie LC, Hoffman LM, Hutchison JE, et al. Green solutions for the organic chemistry teaching lab: exploring the advantages of alternative reaction media. *J Chem Educ* 86(4):488-493, 2009.
20. Anastas PT, Levy IJ, Parent KE (Eds). *Green Chemistry Education*. ACS Symposium, Vol. 1011, ACS publications, Washington DC, 2009.
21. Klingshirn MA, Spessard GO. Integrating green chemistry into the introductory chemistry curriculum. ACS Symposium, *Green Chemistry Education*, Vol. 1011, ACS publications, Washington DC, 2009, chapter 5, pp. 79-92.
22. Cann MC. Greening the chemistry lecture curriculum: now is the time to infuse existing mainstream textbooks with green chemistry. ACS Symposium *Green Chemistry Education*, Vol. 1011, ACS publications Washington DC, 2009, chapter 6, pp. 93-102,
23. McKenzie LC, Huffman LM, Hutchison JE, et al. Greener solutions for the organic chemistry teaching lab: exploring the advantages of alternative reaction media. *J Chem Educ* 86(4): 488, 2009.



Springer Publishers, Open Access

Sharma SK. *Green Chemistry for Environmental Sustainability*, CRC Press, 2010

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα Ι.

Παράδειγμα Πράσινου Πειράματος Χημείας : ΒΙΟΝΤΖΙΕΛ ΑΠΟ ΦΥΤΙΚΑ ΕΛΑΙΑ (για τη επίπεδο μέσης εκπαίδευσης)

(For additional information on Green Chemistry and Greening Schools lessons from Illinois, Waste Management and Research Center, visit www.greeningschools.org)

1. Measure 100 mL of vegetable oil, 2. Carefully add 15 mL of methanol.
3. Slowly add 1 mL of 9 M KOH, 4. Stir or swirl the mixture for 10 minutes.
5. Allow the mixture to sit and separate, 6. Carefully remove the top layer using a Beral pipette, 7. Wash the product using 10 mL of distilled water. Mix.
8. Allow the mixture to sit and separate, 9. Carefully remove the top layer using a Beral pipette, 10. Measure the amount of biodiesel you have collected and compare it to the amount of vegetable oil you started with.

Discussion Questions

- 1) What changes did you see between the characteristics of the starting materials (cooking oil, methanol, and potassium hydroxide solution) and the final products (biodiesel and glycerol)?, 2) Which did you have more at the end, the product or the waste?, 3) What signs did you observe that a chemical reaction had taken place?
- 4) What is the purpose of the washing step 7 above?, 5) In the commercial production of biodiesel, 1200 kg of vegetable oil produces 1100 kg of crude biodiesel. How does your yield compare to this?

Instructional notes “ Making biodiesel”

In this activity, students make biodiesel from cooking oil. The cooking oil is mixed with methanol and a catalyst (potassium hydroxide). Cooking oil is a lipid called a triglyceride or triacylglycerol. The structure of this type of lipid is characteristic of all animal and plant fats. It consists of a glycerol attached to three fatty acids. Differences among the fats are due to the different fatty acids connected to the glycerol. In making biodiesel, the reaction breaks the bond between the glycerol and the fatty acids. A methyl group is added to the end of the fatty acid, which is what we call biodiesel, and the other products are glycerol and the remaining potassium hydroxide catalyst.

References

2. The National Biodiesel Board, www.biodiesel.org.
3. A comprehensive report on the economics and science of using soybeans to make biodiesel is presented at www.mda.state.mn.us/ams/soydieselreport.pdf.

Biodiesel—Using Renewable Resources

Objectives

- 1) Examine ways to use renewable resources to replace nonrenewable starting materials, 2) Examine characteristic properties of matter

Green Chemistry Principles

- 1) Safety first-and last, 2) Wastes? Why make them? 3) Use renewable resources

Levels

High school (may be used as a demo for discussion in middle school classes)

Παράρτημα II

Πράσινη Χημεία και Πράσινη Μηχανική στην Εκπαίδευση

Summary of Green Chemistry and Green Engineering Education Efforts (USA)

PRE-COLLEGE GC/GE EDUCATION EFFORTS

Pre-College Level	Educational Tool	Organization	Contact
Elementary and above	Textbook: <i>Chemistry Experimentation for All Ages</i>		Ken Doxsee
Elementary/Middle School	Pollution workbooks & programs: Pollution Solutions, Pollution Prevention: A Story of Carbopond Cleanup	Suffolk University/Rohm & Haas	Pat Hogan
Middle School	Energy and Pollution Prevention Program	Michigan Technological University	James Mihelcic
Middle School	Green Chemistry and Environmental Sustainability: A Middle School Module	Pfizer	Berkeley Cue
High School	<i>Chemistry in the Community; Introduction to Green Chemistry</i>	American Chemical Society	Kathryn Parent
High School	Distance Education Green Chemistry Course	University of Oregon/Worcester State College	Julie Haack/ Margaret Kerr

UNDERGRADUATE GC/GE EDUCATION EFFORTS

Undergraduate Level	Educational Tool	Organization	Contact
Undergraduate	Green Chemical Engineering Material Framework	University of Texas, Austin	David Allen
Sophomore Level	Fall & Winter Term Green Laboratory Experiments Organic Chemistry Laboratory	University of Oregon	James Hutchison
Interdisciplinary Multilevel	Environment Across the Curriculum Multidisciplinary Programs	Carnegie Mellon University	Cliff Davidson
Nonchemistry Major	<i>Chemistry for Changing Times</i> , 10th ed., Chemistry Textbook for Nonmajors		John W. Hill, Doris K. Kolb
Multilevel Undergraduate	Green Chemistry for Process Engineering	University of Nottingham	Steven Howdle

Undergraduate Level	Educational Tool	Organization	Contact
Courses			
Advance Chemistry Undergraduate Course	Industrial and Applied Green Chemistry	York University	John Andraos
Undergraduate	Textbooks: <i>Chemistry in Context, Real-world Cases in Green Chemistry, Greener Approaches to Undergraduate Laboratory Experiments</i>	American Chemical Society	Kathryn Parent
Undergraduate	Video: Green Chemistry – Innovations for a Cleaner World Companion	American Chemical Society	Kathryn Parent
Undergraduate	Textbook: <i>Environmental Chemistry</i> , 3rd Edition		Michael Cann
Senior Undergraduate Class	Green Engineering – Out of this World CHEG 667 – Senior Undergraduate Class	University of Delaware	Richard Wool
Senior/Grad students	National P3 Design Competition: People, Prosperity, and the Planet	EPA	Julie Zimmerman
Undergraduate	Green-Soil & Water Analysis at Toad Suck (GSWAT) Laboratory Course	Hendrix College	Liz Gron
Undergraduate Honors	Green Business Seminar	Suffolk University	Pat Hogan
Undergraduate	Green Engineering Freshmen Curriculum Module	Rowan University	David Shonnard
Undergraduate	NSF Grant – Sustainability Principles for Curriculum	Cal Poly, San Luis Obispo	Linda Vanasupa

GRADUATE GC/GE EDUCATION EFFORTS

Graduate Level	Educational Tool	Organization	Contact
Graduate	Ph.D. Chemistry Program	University Massachusetts Lowell	John Warner, Amy Cannon
Graduate, Postdoctoral	Sustainable Chemistry in the Pharmaceutical Industry Green Chemistry Workshop	Pfizer – Groton Labs	Berkeley Cue
Graduate, Postdoctoral	Green Chemistry & Business Case Studies, including contact with Campus Business Clubs	Cornell University	Tyler McQuade
Graduate, Postdoctoral	Partnership Program with Southern University Science Education Program with Peace Corps	Michigan Technological University	James Mihelcic

FACULTY GC/GE EDUCATION EFFORTS

Faculty Level	Educational Tool	Organization	Contact
Faculty	Sophomore Green Organic Laboratory Education & Training	University of Oregon	James Hutchison
Faculty	Green Chemistry Educational Ambassador Sites	University of Oregon	Julie Haack
Faculty	International Faculty Training	University of Oregon	Ken Doxsee
Faculty	Textbook: <i>Going Green – Integrating Green Chemistry into Curriculum</i>	American Chemical Society	Kathryn Parent
Faculty	Center for Sustainable Engineering (CSE) Workshop: Faculty training to develop and sustain environmental programs; Bookbuild Web site	Carnegie Mellon University	Cliff Davidson
Faculty	ASEE Green Engineering Web site	Rowan University	David Shonnard
Faculty	DICE Recruitment Program	Nottingham	Steve Howdle

INDUSTRY EDUCATION EFFORTS

Industry	Educational Tool	Organization	Contact
Internal (In-house)	Pfizer Green Chemistry Achievements	Pfizer	Berkeley Cue
Internal (In-house)	Process Position– Green link between Research & Manufacturing	Merck	John Leazer

GENERAL GC/GE EDUCATION EFFORTS

General	Educational Tool	Organization	Contact
Educational Materials	Frontiers in Chemical Engineering Education	MIT	Jeffrey Steinfeld
Chemistry Educational Material	GEMS – Green Education Materials for Chemists	University of Oregon	Julie Haack
Textbook	<i>Green Engineering: Environmentally Conscious Design of Chemical Processes</i>	Michigan Technological University	David Shonnard/David Allen
Business School Education	Business Case studies, Chemistry & Business School Collaborations	Green Chemistry Institute	Kathryn Parent
Electronic Tools	Green Chemistry Alternative Selection Protocol/NEMI Analytical Method Database	Green Chemistry Institute	Kathryn Parent
Web site	Joseph Breen Chemistry	Green	Paul Anastas

General	Educational Tool	Organization	Contact
	Awards	Chemistry Institute	
Web site	Canadian Green Chemistry Network		John Andraos
DVD	Meeting Global Challenges	American Chemical Society	Kathryn Parent
Textbook	<i>Bio-based Polymers & Composites</i>	Academic Press	Richard Wool
Textbook	<i>Green Chemistry and the Ten Commandments of Sustainability</i>	ChemChar Research Inc.	Stanley E. Manahan
Book	<i>Sustainability in the Chemical Industry: Grand Challenges and Research Needs</i>	National Research Council	National Academies Board on Chemical Sciences and Technology

Copyright © 2007, National Academy of Sciences.

Exploring Opportunities in Green Chemistry and Engineering Education: A Workshop Summary to the Chemical Sciences Roundtable.

National Research Council (US) Chemical Sciences Roundtable; Anastas P, Wood-Black F, Masciangioli T, et al., editors.

Washington (DC): National Academies Press (USA); 2007.

.....

Παράρτημα III

Σύντομος Οδηγός : Πανεπιστήμια με Εκπαιδευτικές Δράσεις στην Πράσινη Χημεία και Πράσινη Μηχανική

Ηνωμένες Πολιτείες (ΗΠΑ)

Connecticut .

Yale University

Massachusetts

- Bridgewater State College
- Gordon College
- University of Massachusetts, Boston
- University of Massachusetts, Lowell: Center for Green Chemistry

Pennsylvania

- Carnegie Mellon Institute for Green Oxidation Chemistry
- University of Scranton

Mid-Western

Arkansas

- Hendrix College (green organic chemistry)

Illinois

- University of Illinois-Urbana-Champaign

Minnesota

- St. Olaf College

South

Alabama

- University of Alabama

Western

California

- Berkeley Center for Green Chemistry
- UC Berkeley Extension

Colorado

- Colorado School of Mines

Oregon

- University of Oregon

Άλλες Χώρες

Αυστραλία

- Monash University Centre for Green Chemistry
- Murdoch University: Sustainable Chemistry/Green Chemistry

Ευρώπη

Ολλανδία (Netherlands)

- Delft University of Technology: Biocatalysis and Organic Chemistry

Ιταλία

- Interuniversity Consortium Chemistry for the Environment (INCA)

Βόρεια Ιρλανδία (Northern Ireland)

- Queen's University of Belfast: Ionic Liquid Laboratories

Ισπανία

- Institute of Science and Technology (IUCT)
- Green Chemistry Network of Spain (REDQS - Red Española de Química Sostenible)

Σουηδία

- Centre for Environment and Sustainability - Chalmers University of Technology/Göteborg University

Ηνωμένο Βασίλειο United Kingdom

- Green Chemistry Centre of Excellence at York
- University of Leicester Green Chemistry Group
- University of Nottingham Green and Analytical Chemistry

Νότιος Αμερική (South America)

Βραζιλία

- Universidade do Vale do Itajaí: Center for Technological Earth and Sea Sciences

[Copyright © 2011 American Chemical Society]



Παράρτημα IV

ΠΗΓΕΣ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ και ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ (ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ)


MVSSOLUTION INC. The Technology Realization Company


(<http://www.mvssolutions.com/greenlinks.html>)

Green Chemistry & Related Resources

- [The Green Chemistry Institute](#) - A partnership with the American Chemical Society
- [EPA Green Chemistry](#) - U.S. Environmental Protection Agency Green Chemistry
- [Grüne Chemie](#) - Green Chemistry Links
- [Green Chemistry Network](#) - Royal Society of Chemistry Green Chemistry Network
- [GSCN - Green & Sustainable Chemistry Network](#) - Japan Chemical Innovation Institute
- [INCA- Consorzio Interuniversitario Chimica per l'Ambiente](#) - Inter-University Consortium of Chemistry for the Environment
- [NSF Science and Technology Center](#) - Environmentally Responsible Solvents and Processes
- [EPA Green Engineering](#) - US Environmental Protection Agency Green Engineering
- [Green Business Letter](#) - Hands-On Journal for Environmentally Conscious Companies
- [GreenBiz.com](#) - Resource Center on Business, the Environment and the Bottom Line
- [EnvironmentalChemistry.com](#) - Environmental, Chemistry & Hazardous Materials Info & Resources
- [SustainableBusiness.com](#) - Business, Environment, Green & Clean Technologies
- [United Nations](#) - Division for Sustainable Development
- [BSDglobal](#) - Business and Sustainable Development: A Global Guide
- [National Renewable Energy Lab](#) - The US Department of Energy's (DOE) laboratory for renewable energy research & development
- [Energy Efficiency and Renewable Energy](#) - The US DOE's energy information portal
- [Biomass - Biobased Chemicals and Materials](#) - Commercial or industrial products derived from biomass feedstocks
- [REPP & CREST](#) - Renewable Energy Policy Project & Center for Renewable Energy and Sustainable Technologies
- [Solvent Alternatives for Green Chemistry](#) - Solvent Substitution Resources on the Internet
- [SAGE](#) - Solvent Alternatives Guide
- [Toxics Use Reduction Institute](#) - Toxics Use Reduction Institute (TURI) at the University of Massachusetts Lowell
- [Pollution Prevention](#) - Pollution Prevention Info on the Internet

- [Zero Waste Alliance](#) - Nonprofit Partnership Working for the Elimination of Waste and Toxics
- [Center for Remanufacturing and Resource Recovery](#) - Technologies for a Sustainable Future
- [IDSA Ecodesign](#) - Green design topics for product designers
- [Environmental Entrepreneurs](#) - Professionals and business people who believe in protecting the environment while building economic prosperity

 Visit the MVS Solutions [Environmental Chemistry Resources](#) page for information concerning chemistry and the environment.

 Visit the MVS Solutions [Green Chemistry Development](#) page for information concerning green

Παράρτημα V

ACS Webinars: Green Chemistry & Sustainability Series

(<http://acswebinars.org/heben>)

“**Green Chemistry and Renewable Energy** – Two Peas in a Pod” A short presentation followed by Q&A with speaker Michael Heben of the University of Toledo and Ohio’s Wright Center Endowed Chair for Photovoltaics Innovation and Commercialization. Global demand and investment for renewable energy has been growing at a fast pace. However, many chemistry researchers are still uninformed about green chemistry principles and application in the developing technologies for the renewable energy sector. Join our speaker, Dr. Michael Heben from University of Toledo, as he discusses the symbiotic relationship between renewable and green energy. Learn how you can benefit from melding these sources to create sustainable solutions for the energy future.

Νέο Περιοδικό (open access) για Πράσινη και Αειφόρο Χημεία (2011)
(Springer Briefs in Molecular Sciences)
Green and Sustainable Chemistry

(Website: <http://www.scirp.org/journal/gsc>)

[**Green and Sustainable Chemistry** (GSC) covers subjects relating to reducing the environmental impact of chemicals and fuels by developing alternative and sustainable technologies that are non-toxic to living things and the environment].

Scientific Research Publishing (SCIRP: <http://www.scirp.org>) is an academic publisher of open access journals. It also publishes academic books and conference proceedings. SCIRP currently has more than 150 open access journals in the areas of science, technology, and medicine.

ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ

Αειφόρος Ανάπτυξη ή Βιώσιμη Ανάπτυξη. (κλασικός ορισμός), αειφόρος ανάπτυξη είναι η «ανάπτυξη που καλύπτει τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να θέτει σε κίνδυνο τη δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες». Η **Αειφόρος Ανάπτυξη** αποτελείται από τρεις συνιστώσες: οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική, οι οποίες απαιτούν σχεδιασμό, περιβαλλοντική ευαισθησία, προστασία μη ανανεώσιμων φυσικών πόρων, δικαιοσύνη και δημοκρατικές διεργασίες. Αειφόρος ή Βιώσιμη Οικονομική Ανάπτυξη υλοποιείται λαμβάνοντας υπόψη την προστασία του περιβάλλοντος, τις περιορισμένες φυσικές πλουτοπαραγωγικές πηγές του πλανήτη και με γνώμονα τις ανάγκες των επόμενων γενεών.

Πράσινη Χημεία

« Πράσινη Χημεία είναι η χρησιμοποίηση ενός συνόλου αρχών με την εφαρμογή των οποίων μειώνεται ή εξαλείφεται η χρήση ή η δημιουργία επικίνδυνων ουσιών στις διεργασίες σχεδιασμού, παραγωγής και εφαρμογής των χημικών προϊόντων» (Paul T. Anastas)

Η Πράσινη Χημεία εργάζεται προς την Αειφόρο ή Βιώσιμη Ανάπτυξη. Η Π.Χ. έχει σκοπό στη σύνθεση και παραγωγή χημικών προϊόντων που δεν βλάπτουν την υγεία του ανθρώπου και δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον. Η Π.Χ. σχεδιάζει και χρησιμοποιεί βιομηχανικές διεργασίες που μειώνουν ή εξαλείφουν επικίνδυνες χημικές ουσίες, διαλύτες και προϊόντα. Η Π.Χ. σχεδιάζει και προωθεί βιομηχανικές διεργασίες που ελαχιστοποιούν την παραγωγή αποβλήτων και μειώνει την κατανάλωση ενέργειας. Όλα αυτά σημαίνουν ότι η Πράσινη Χημεία προλαμβάνει τη ρύπανση πριν να συμβεί, εξοικονομεί ενέργεια και υλικά στην βιομηχανία παράγοντας ασφαλέστερα και λιγότερο τοξικά χημικά προϊόντα

Στόχοι της Πράσινης Χημείας είναι η μείωση επικίνδυνων ουσιών που σχετίζονται με προϊόντα και διεργασίες που είναι απαραίτητα όχι μόνο για την διατήρηση της ποιότητας ζωής που έχει πετύχει η κοινωνία μέσω της Χημείας αλλά και η περαιτέρω προώθηση τα τεχνολογικών επιτευγμάτων της Χημείας κατά τρόπο βιώσιμο. Η επίτευξη των στόχων της Πράσινης Χημείας βασίζεται σε 12 αρχές (Καθ. Κ. Πούλος, Τμ. Χημείας, Παν/μιο Πάτρας)

Πράσινη Μηχανική (Τεχνολογία)

Πράσινη Μηχανική (Τεχνολογία) είναι ο σχεδιασμός, η εμπορική χρησιμοποίηση και η εφαρμογή διεργασιών και προϊόντων, τα οποία μπορούν να πραγματοποιηθούν τεχνολογικά και είναι οικονομικά (στον βιομηχανικό τομέα), ενώ συγχρόνως περιορίζουν την περιβαλλοντική ρύπανση και μειώνουν το κίνδυνο για τον άνθρωπο. Η Πράσινη Μηχανική (τεχνολογία) αγκαλιάζει την έννοια ότι οι αποφάσεις για την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος μπορούν να έχουν μεγάλη επίδραση σε κόστος και αποτελεσματικότητα όταν εφαρμόζονται στις αρχικές φάσεις σχεδιασμού και ανάπτυξης των διεργασιών και των προϊόντων.

Πράσινη Μηχανική (τεχνολογία) είναι η διεργασία και ο σχεδιασμός προϊόντων που διαφυλάσσουν τις φυσικές πλουτοπαραγωγικές πηγές και έχουν τη μικρότερη δυνατή επίπτωση στο φυσικό περιβάλλον. Ο όρος εφαρμόζεται στην κατασκευή κατοικιών, τροχοφόρων, ηλεκτρικών μηχανημάτων, ηλεκτρονικών συσκευών και άλλων προϊόντων

χρησιμοποιώντας τεχνολογικές εφαρμογές με την ενσωμάτωση ικανών περιβαλλοντικών αρχών.

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δηλαδή η αιολική, η ηλιακή και η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια κυμάτων, η παλιρροϊκή ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια, τα αέρια τα εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής, από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και τα βιοαέρια (οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ορίζονται από την Ευρωπαϊκή ΟΔΗΓΙΑ 2001/77/ΕΚ).

Διεθνή Συνέδρια για Αειφορία και την Αειφόρο Ανάπτυξη

1972: «Τα Όρια της Ανάπτυξης» («*The limits to Growth*») : για το μέλλον του πλανήτη, όπως αυτό θα διαμορφωθεί από τις επιπτώσεις του υπερπληθυσμού, της εκβιομηχάνισης, της παραγωγής τροφής, της κατανάλωσης φυσικών πόρων και της ρύπανσης.

1972. Στοκχόλμη, Διεθνές Συνέδριο: «Το Περιβάλλον του Ανθρώπου».

1972 Γαλλία, Aix-en-Provence), Διεθνές συνέδριο με θέμα «Εκπαίδευση και Περιβάλλον».

1977 (Οκτωβρίου): Τιφλίδα της Γεωργίας (Tbilisi) 1^η Παγκόσμια Διακυβερνητική Διάσκεψη για την Περιβαλλοντική Εκπαίδευση. **(Η διακήρυξη της Τιφλίδας)** ορόσημο στην ιστορία της Π.Ε.

1987: Δημοσίευση της έκθεσης της Επιτροπής του ΟΗΕ για το Περιβάλλον και την ανάπτυξη (WCED), με τίτλο «*Το Κοινό μας Μέλλον*» (*Our Common Future*).

[προτείνεται η «αειφόρος ανάπτυξη» («*Sustainable development*») ως αναγκαία και ικανή συνθήκη για τη βιωσιμότητα του πλανήτη, πρόεδρος επιτροπής Brudtland.

Αειφόρος (ή Αυτοσυντηρούμενη ή Βιώσιμη) Ανάπτυξη είναι «[...] αυτή που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος, χωρίς να μειώνει την ικανότητα των μελλοντικών γενεών ανθρώπων να ικανοποιήσουν τις δικές τους».

1992: Ρίο της Βραζιλίας, Παγκόσμια διακυβερνητική διάσκεψη του Ο.Η.Ε. με θέμα «Περιβάλλον και Ανάπτυξη».

1997 (Δεκεμβρίου): Θεσσαλονίκη, 3^η Διεθνής Διάσκεψη για την Περιβαλλοντική Εκπαίδευση με θέμα: «Περιβάλλον και Κοινωνία: Εκπαίδευση και Ευαισθητοποίηση των Πολιτών για την Αειφορία». **Η Διακήρυξη της Θεσσαλονίκης** υιοθετήθηκε από κυβερνητικές, διακυβερνητικές, Μη Κυβερνητικές Οργανώσεις (ΜΚυΟ) και κοινωνικούς εταίρους 84 χωρών.

2002: Γιοχάνεσμπουργκ, Διάσκεψη κορυφής για την «Αειφόρο Ανάπτυξη». Επαναβεβαίωση της **Ατζέντας 21** και καθορισμός των πολιτικών που θα οδηγήσουν τον πλανήτη προς την Αειφορία. Σύσταση προς τη Γενική Συνέλευση του Ο.Η.Ε. να αφιερώσει τη δεκαετία 2005 - 2014 στην Εκπαίδευση για την Αειφόρο Ανάπτυξη.

2012: “Rio+20” Διάσκεψη για την Αειφόρο Ανάπτυξη United Nations Conference for Sustainable Development). Διεξάγεται 20 χρόνια μετά από τη Διάσκεψη ορόσημο στο Ρίο ντε Τζανέιρο (1992). Θα επιδιωχθεί να γίνει εκ νέου διεθνής δέσμευση των χωρών σε διεθνές επίπεδο για την αειφόρο ανάπτυξη, την προστασία των φυσικών πόρων, της βιοποικιλότητας και της κλιματικής αλλαγής

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ

A

Αβερμεκτίνες, 126
Αδιπικό οξύ, 60, 62, 63
Αδιπικό οξύ (μέθοδος σύνθεσης, «πράσινη» σύνθεση), 64, 65
Αειφορία, 3, 7, 190
Αειφόρος Ανάπτυξη, 6, 7, 17, 189, 190
Αζαδιραχτίνη, 126
Αιολική ενέργεια, 135
Ακεταμινοφαινόνη, 60
ΑΚΖ (ποσοτική εκτίμηση, συνόλου επιπτώσεων), 96
ΑΚΖ (σύγκριση μελετών), 97
ΑΚΖ (εφαρμογές), 98, 99
ΑΚΖ (διεθνή δίκτυα τυποποίησης), 100
ΑΚΖ (τράπεζες πληροφοριών, βιομηχανικά προϊόντα), 103
Aliquat 336 (καταλύτης), 63
(Αμερικανική) Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA), 7, 21
Αμερικανική Χημική Εταιρεία (ACS), 7
Ανακύκλωση πλυντηρίων (παράδειγμα), 180
Ανάλυση του Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ), 53, 91-103
Ανάλυση του Κύκλου ζωής (οφέλη), 93
Ανάλυση του κύκλου ζωής (μεθοδολογία), 94
Ανανεώσιμες πρώτες ύλες, 28, 53
Ανόργανα πολυοξεία, 32
Αναστάς Πώλ (Anastas Paul T.), 7, 21, 176, 191
Ανθεκτικότητα προϊόντων (σε αντίθεση με «αθανασία», 7^η αρχή Π.Μ.), 50
Ανταπόκριση στις ανάγκες (ανθρώπινης κοινωνία) (8^η αρχή Π.Μ.), 51
Αντικατάσταση διαλυτών (με λιγότερο τοξικούς), 84
Απόδοση κατανάλωσης καυσίμου, 175
Αποθέματα γλυκού νερού, 5
Αποικοδομούμενα υλικά, 18
Αποσυναρμολόγηση & ανακύκλωση φορητών τηλεφώνων, 182
Αρχή πρώτη Πράσινη Μηχανική. (έμφυτη μη επικινδυνότητα), 46
Ασπιρίνη, 69
Αστικοποίηση πληθυσμού, 1
Ασφαλέστερες χημικές ουσίες, 26
Ατζέντα 21, 4
Αυτοκίνητα, 173

B

Βάκιλος της Θουριγγίας, 126
Βιοαέριο, 139
Βιοαιθανάλη, 138, 139, 142
Βιοαποικοδόμηση (βιομάζας), 30
Βιοδιύλιστήρια, 143
Βιοκατάλυση (φαρμακευτικές συνθέσεις), 104
Βιοκατάλυση, 30, 146, 147, 148
Βιοκαύσιμα, 29, 135, 138, 140
Βιολογική γεωργία, 120, 121
Βιομάζα (πρώτη ύλη), 29, 138, 1540, 141-144
Βιομάζα (αξιοποίηση), 142
Βιομεθανόλη, 139, 142
Βιομετασχηματισμοί, 30
Βιο-παρασιτοκτόνα, 125, 127, 128
Βιοπολυμερή, 145, 146

Βιοτεχνολογία (Πράσινη Χημεία), 131
Βιομηχανική επανάσταση, 1, 2
Βιομηχανική ανάπτυξη, 6
Βιο-MTBE, Βιο-ETBE, 139
Βιοντίζελ, 138, 139, 140
Βιοϋδρογόνο, 139
Βιοϋλικά, 135, 145, 146, 147, 148, 149
Βιώσιμη γεωργία (Πράσινη Χημεία), 117, 124
Βραβεία Π.Χ. (προεδρικά, για την πράσινη χημεία), 8, 9
Βραβεία Πράσινης Χημείας (βιομηχανικές χώρες), 10, 11

Γ

Γεωθερμική ενέργεια, 135
Γεωργικές πρακτικές, 119
Γιοχάνεσμπουργκ (202), 5

Δ

Διαλύτες (οργανικοί), 102, 103
Διαλύτες (μη τοξικοί, ασφαλείς), 17, 103
Διατήρηση ποιότητα εδαφών, 122, 125
Διαχείριση ποιότητας εδαφών, 125
Διαχρονικές εξελίξεις κατανάλωσης ενέργειας, 137
Δέσμευση του CO₂, 30
Διεθνής Οργάνωση για την Καθαρή και Εφαρμοσμένη Χημεία (IUPAC), 7, 21
Διεθνή δίκτυα τυποποίησης (ISO), 101
Διεθνές Καλοκαιρινό Σχολείο Πράσινης Χημείας (1998), 22
Διεθνές Κέντρο Επιστήμης και Υψηλής Τεχνολογίας του ΟΗΕ, 22
Δώδεκα Αρχές της Πράσινης Χημείας, 16, 17

Ε

Έκθεση (exposure) σε τοξικές ουσίες, 20
Εκπαίδευση για την αειφόρο ανάπτυξη, 190
Εκπαιδευτικά προγράμματα μηχανικών (για Π.Χ.), 2002, 203
Εκτίμηση του Κύκλου ζωής προϊόντων, 94
Ελαιοχημεία, 29
Ελαχιστοποίηση της υπερβολής (8^η αρχή Π.Μ), 51
Ελαχιστοποίηση ποικιλίας υλικών (9^η αρχή Π.Μ.), 51
Ελληνικό Δίκτυο Πράσινης Χημείας, 24
Εναλλακτικοί διαλύτες, 26, 33, 79
Εναλλακτικές πρώτες ύλες, 26, 28
Εναλλακτικές συνθήκες αντιδράσεων, 27
Ενδοπανεπιστημιακή συνεργασία (Ιταλία) για Π.Χ., 21
Εμπορική «επαναχρησιμοποίηση» (προϊόντων), 52
Επανεξέταση της στρατηγικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την αειφόρο ανάπτυξη (2005), 6
Ε-παράγοντας, 103
Επικινδυνότητα, 20
Επιτροπή Αειφόρου Ανάπτυξης (του ΟΗΕ), 5
Εργαστηριακά πειράματα Χημείας για Π.Χ., 204, 209
Ερευνητικό Κέντρο-Δίκτυο Πράσινης Χημείας (Γυόρκ), 22

Η

Ηλεκτρικές συσκευές, 173, 174
Ηλεκτρικά τροχοφόρα οχήματα, 176, 177
Ηλεκτρονικές συσκευές, 173, 174
Ηλιακή ενέργεια, 135

I

Ιβουπροφαίνη (Ibuprofen) , 60,61
Ινστιτούτο Πράσινης Χημείας, 7, 21, 191
Ιονικά υγρά, 32, 80 81
ISO, 101, 102

K

Κατανάλωση πετρελαίου, 1
Κατάλυση, καταλυτικά αντιδραστήρια, 18
Καταλύτης Raney, 61, 62
Καταλυτική εκλεκτικότητα (χημικές αντιδράσεις), 32
Κέντρο για την Πράσινη Χημεία και Πράσινη Μηχανική (Yale University), 24
Κίνδυνος, 20
Κλάρκ Τζέιμς (καθηγητής, Γυόρκ), 23, 191
Κλιματικές αλλαγές, 119
Κύκλος ζωής προϊόντος, 53
"Cradle-to-Cradle" (όρος που στα ελληνικά μπορεί να αποδοθεί ως «από κούνια σε κούνια») μια νέα επαναστατική οικολογική έννοια, 23, 24, 25
Κραμβέλαιο, 138
Κυτταρινούχες πρώτες ύλες, 142

Λ

Λιγότερο τοξικές χημικές συνθέσεις, 17
Λιγότερο επικίνδυνα χημικά προϊόντα, 34

M

Μεθοδολογίες «πράσινης» χημείας (Π.Χ.), 20
Μεταπτυχιακές σπουδές για Π.Χ. & Π.Μ (Τεχνολογία), 195, 196
Μείωση ενδιάμεσων παραγώγων, 18
Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, 27, 34
Μείωση εκπομπών καυσαερίων, 176
Μειωμένες ποσότητες λιπασμάτων (χρήση), 129
Μηλεινικός ανυδρίτης (συμβατική σύνθεση, «πράσινη» σύνθεση), 66, 67
Μηχανοτεχνία (όρος για engineering), 43
Μεγιστοποίηση απόδοσης (4^η αρχή Πράσινης Μηχανικής), 48
Μικροκύματα (χρήση για οργανικές αντιδράσεις), 33, 68, 69, 85

N

Νεονικοτονοειδή, 125

O

Οικολογικό σήμα (προϊόντων), 102
Οικο-σχεδιασμός (τροχοφόρων, ηλεκτρικών συσκευών), 179
Οικολογικός σχεδιασμός προϊόντων, 180
Ολοκλήρωση της ανάλυσης του κύκλου ζωής (στάδια της AKZ), 95
Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παρασίτων (ΟΔΠ), 122
Οξειδωτικές πορείες, 31
Οργανική σύνθεση σε υδάτινο περιβάλλον, 32, 82
Οργανικές συνθέσεις με καρβονικούς εστέρες, 83
Οργανικές συνθέσεις σε πολυφθοριωμένες φάσεις, 82
Οργανικές συνθέσεις χωρίς διαλύτες, 86
Οργανικοί διαλύτες (μηδενική χρήση), 102
Οργανικοί διαλύτες (περιορισμός), 102
Οργανώσεις (επιστημονικές) Πράσινης Χημείας, 8, 19
Ορθή Γεωργική Πρακτική (ΟΓΠ), 120, 121
Όρια της ανάπτυξης, 3, 190, 191
Ορυκτά καύσιμα, 135, 137

Π

- Παγκόσμια οικονομία, 1
- Παγκόσμιος πληθυσμός, 117
- Παγκόσμια παραγωγή τροφίμων, 119
- Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας, 136, 138
- Πανεπιστήμια (σπουδές για Πράσινη Χημεία & Πράσινη Μηχανική), 192
- Πανεπιστημιακά τμήματα για Π.Χ & Π.Μ. (προπτυχιακά, μεταπτυχιακά), 192, 193, 194
- Παραγωγή αυτοκινήτων (παγκόσμια), 173, 174
- Παραδείγματα οργανικών συνθέσεων με τεχνικές πράσινης χημείας, 71-74
- Πετρέλαιο, 135, 137
- Πηγές πληροφοριών για εκπαιδευτικές και επιστημονικές εξελίξεις σε Π.Χ. & Π.Μ., 196-198
- Πληθυσμός (παγκόσμιος), 1
- Πλουτοπαραγωγικές πηγές, 2
- Πολύ-οξομεταλλικά συμπλέγματα, 31
- Πολυφθοριωμένες φάσεις (οργανική σύνθεση), 33
- Πούλος Κ (καθηγητής, Πάτρα, συντονιστής Π.Χ.), 24, 199, 200
- Ποσοτική έκθεση (δόση), 20
- Πράσινη Ανάπτυξη (Green Growth), 123
- «Πράσινη» Επανάσταση» (γεωργία), 118
- Πράσινη Μηχανική (Τεχνολογία), 7, 43, 44, 54, 173, 189, 191
- Πράσινη Μηχανική, δώδεκα αρχές, 44, 45
- Πράσινη Χημεία (Π.Χ.), 7, 16, 19, 20, 60, 79, 173, 189, 191
- Πράσινη Χημεία (νέες μεθοδολογίες, οργανική σύνθεση), 59
- Πράσινη Χημεία (περιοδικό), 22
- Πράσινη Χημεία και αειφορία, 1, 34
- Πράσινη Χημεία και Πράσινη Μηχανική για την εκπαίδευση, 189, 191
- Πράσινη Χημεία στην Ελλάδα, 199, 200, 201
- Πράσινη ή Βιώσιμη Χημεία, 16
- Πράσινη Χημεία και Τεχνολογία, 15
- Πράσινη Χημεία (επιστημονικές περιοχές), 25
- Πράσινη Χημεία χωρίς διαλύτες, 80
- «Πράσινος» σχεδιασμός προϊόντων, 180
- Πρόληψη (ρύπανσης, δημιουργίας αποβλήτων), 17, 47
- Πρώτο Διεθνές Συνέδριο για την Πράσινη Χημεία (1997), 8
- Πύρεθρο, 126

Σ

- Σιδηρά γέφυρα, 2
- Σοβιετική Ένωση, 4
- Σπινοσίνες, 125
- Συνθετικά βιοκαύσιμα, 139
- Συντήρηση πολυπλοκότητας (6^η αρχή Π.Μ.), 49
- Σχεδιασμός για απομάκρυνση προϊόντος (3^η αρχή Π.Μ.), 48
- Σχεδιασμός τροχοφόρων (αλλαγές), 176
- Σχεδιασμός ασφαλέστερων χημικών προϊόντων, 17
- Σχεδιασμός για εμπορική «μετα-χρησιμοποίηση», 11^η αρχή Π.Μ.) (afterlife), 52
- Σχεδιασμός για ενεργειακή αποτελεσματικότητα, 17
- Σχεδιασμός προϊόντων (με τις αρχές Π.Χ. και Π.Μ.), 179

Τ

- «Τέλος-της-ζωής» (end-of-life), 52
- «Το Κοινό μας Μέλλον» (1987), 3
- «Το Μικρό Είναι Όμορφο» (Σουμάχερ, 1973), 3
- Τοξικοί οργανικοί διαλύτες, 79
- Τροχοφόρα οχήματα (κύκλος ζωής), 175

Υ

Υβριδικά τροχοφόρα οχήματα, 176, 177

Υδροηλεκτρική ενέργεια, 135

Υπέρηχοι στη χημεία, οργανική σύνθεση (sonochemistry), 33, 70, 85, 86

Υπερκρίσιμο CO₂ και υπερκρίσιμο νερό, 33, 83

Φ

Φαρμακευτική βιομηχανία (και Πράσινη Χημεία), 101, 105

Φαρμακευτικές εταιρείες, 102, 104, 105

Φορητά τηλέφωνα, 173

Φυσικό αέριο, 135, 137

Φυτοφάρμακα (νέα), 125

Φωτοκαταλυτική σύνθεση με TiO₂, 29

Φωτοκαταλυτικές οξειδωτικές διασπάσεις, 29

Φωτοχημεία, 29

Τ

Τεχνολογική επανάσταση, 1

Χημεία πολυμερών (πολυμερισμοί με «πράσινη» χημεία), 87, 144

Χημικά αντιδραστήρια (χαμηλής τοξικότητας), 26

Χημικές ουσίες (παγκόσμια παραγωγή), 15

Χημική τεχνολογία, 16

Χημική βιομηχανία, 20

Χημικές βιομηχανίες (οι μεγαλύτερες σε παγκόσμια κλίμακα), 59

Χρήση ανανεώσιμων πρώτων υλών, 17

Χρήση καταλυτών για συνθέσεις Πράσινης Χημείας, 84

Χρησιμοποίηση μειωμένης τοξικότητας χημικά αντιδραστήρια και διαλύτες, 31

Χώρες Ανατολικής Ευρώπης, 4

.....