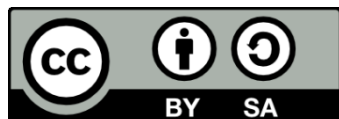




# Χημεία και Χημικά Προϊόντα Ξύλου

Ενότητα **11**: Χημικά προϊόντα I

Ιωάννης Φιλίππου  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



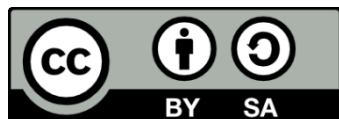
# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





# Χημικά προϊόντα I



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# Περιεχόμενα ενότητας

1. Χημική κυτταρίνη
2. Παράγωγα κυτταρίνης
3. Μέθοδοι παραγωγής χημικών
4. Υδρόλυση



# Σκοποί ενότητας

- Κατανόηση της παραγωγής κυτταρίνης και αναγεννημένης κυτταρίνης
- Κατανόηση της παραγωγής και χρήσης παραγώγων κυτταρίνης
- Κατανόηση των μεθόδων παραγωγής χημικών.
- Κατανόηση της υδρόλυσης και των μεθόδων παραγωγής αιθανόλης.



# Εισαγωγή

- Το ξύλο και γενικότερα η δασική βιομάζα αποτέλεσε τη κύρια πηγή ενέργειας και χημικών μέχρι το τέλος του 19<sup>ου</sup> αιώνα, οπότε ανακαλύφθηκαν ο λιγνίτης και το πετρέλαιο.
- Με την συνεχή εξάντληση των πετροχημικών, την ανάγκη μείωσης των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλεί η πετροχημική βιομηχανία και την ανάπτυξη της βιοτεχνολογίας, η δασική βιομάζα αποκτά μεγάλη σημασία ως πρώτη ύλη παραγωγής ενέργειας, πολυμερών και πολύτιμων απλών χημικών ενώσεων. Είναι θεωρητικά δυνατό να παραχθούν από το ξύλο σχεδόν όλες οι χημικές ενώσεις που βρίσκονται στο πετρέλαιο.





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

# Κυτταρίνη



# Παραγωγή κυτταρίνης από το ξύλο (2/2)

- Κυτταρίνη παράγεται από το ξύλο με χημική πολτοποίηση. Χρησιμοποιούνται ή θειώδης μέθοδος (μέθοδος θειώδους οξέος) και η θειική μέθοδος .
- Η πολτοποίηση για παραγωγή καθαρής κυτταρίνης διαφέρει από την πολτοποίηση για παραγωγή χαρτοπολτού στο ότι η πρώτη αποσκοπεί στην απομάκρυνση όλης της λιγνίνης και όλων των ημικυτταρινών του ξύλου.
- Η πλήρης απομάκρυνση της λιγνίνης και των ημικυτταρινών πετυχαίνεται με χρησιμοποίηση δραστικότερων συνθηκών πολτοποίησης, λεύκανσης και εκχύλισης με αλκάλια.



# Παραγωγή κυτταρίνης από το ξύλο (2/2)

- Πολλές προσπάθειες καταβάλλονται για την παραγωγή καθαρής κυτταρίνης (dissolving pulp) με τη χρησιμοποίηση ενζύμων για την προϋδρόλυση και τη λεύκανση του ξυλοπολτού.
- Τα ένζυμα ξυλανάσες διασπούν τις ημικυτταρίνες τόσο κατά το στάδιο της προϋδρόλυσης (ενζυματική προϋδρόλυση, biopulping) όσο και κατά το στάδιο της λεύκανσης (biobleaching) και τα ένζυμα λακάσες διασπούν τη λιγνίνη στο στάδιο της λεύκανσης.



# Διάλυση της κυτταρίνης

- Η κυτταρίνη που παράγεται από το ξύλο διατηρεί την ινώδη μορφή της και είναι αδιάλυτη σε όλους τους κοινούς διαλύτες.
- Βιομηχανική αξιοποίηση της κυτταρίνης ως πολυμερούς απαιτεί διάσπαση των ισχυρών υδρογονικών δεσμών που συγκρατούν τα μόριά της στις κρυσταλλικές περιοχές, διάλυση των μικροϊνιδίων στις πολυμερείς μοριακές αλυσίδες και μετάπτωση της κυτταρίνης σε μορφή διαλύματος.
- Τούτο πετυχαίνεται με απεριόριστη διόγκωση σε ειδικούς διαλύτες ή με διάλυση σε ιοντικούς διαλύτες και παραγωγή αναγεννημένης κυτταρίνης ή με μετατροπή της κυτταρίνης σε διαλυτά παράγωγα όπως εστέρες και αιθέρες.



# Πολυμερή παράγωγα κυτταρίνης

- Η κυτταρίνη σε μορφή διαλύματος συμπεριφέρεται ως γραμμικό θερμοπλαστικό πολυμερές και είναι δυνατό να νηματοποιηθεί για την παραγωγή ινών και νημάτων, να χρησιμοποιηθεί ως διάλυμα για την παραγωγή βερνικιών και συγκολλητικών ουσιών ή μετά από εξάτμιση του διαλύτη να πλαστικοποιηθεί και μορφοποιηθεί σε φύλλα (σελοφάν, φιλμ, επικαλυπτικά) και σε πλαστικά με διάφορα σχήματα (με έκχυση ή πίεση σε ειδικά καλούπια) ή να αξιοποιηθεί σε προϊόντα υψηλής τεχνολογίας (νανοσύνθετα, βιο-υλικά, κλπ).
- Τα πολυμερή κυτταρίνης, σε σύγκριση με τα συνθετικά πολυμερή, έχουν μεγάλη μηχανική αντοχή, εξαιρετικές θερμοπλαστικές ιδιότητες και εύκολα ρυθμιζόμενο ιξώδες .
- Τα κυριότερα παράγωγα κυτταρίνης από άποψη βιομηχανικής παραγωγής είναι η αναγεννημένη κυτταρίνη, οι εστέρες κυτταρίνης, οι αιθέρες κυτταρίνης, η μικροκρυσταλλική κυτταρίνη και η νανοκυτταρίνη .



# Αναγεννημένη κυτταρίνη (2/2)

- Αναγεννημένη κυτταρίνη παράγεται βιομηχανικά κυρίως με την μέθοδο της βισκόζης και σε μικρές ποσότητες με απευθείας διάλυση σε ειδικούς διαλύτες όπως υδάτινο διάλυμα αμμωνιακού χαλκού (μέθοδος χαλκαμμωνίου, Cuam) ή διαιθυλαμινικού χαλκού (Cuen) και μεθυλομορφολίνο-N-οξείδιο (NMMO) (μέθοδος Lyocell).
- Διάφορα άλατα σε οργανικούς διαλύτες, και ιδιαίτερα του χλωριούχου λιθίου με διμεθυλοφορμαμίδιο (DMF) / LiCl καθώς και διάφορα ιοντικά υγρά διαλύουν επίσης τη κυτταρίνη και παράγουν αναγεννημένη κυτταρίνη



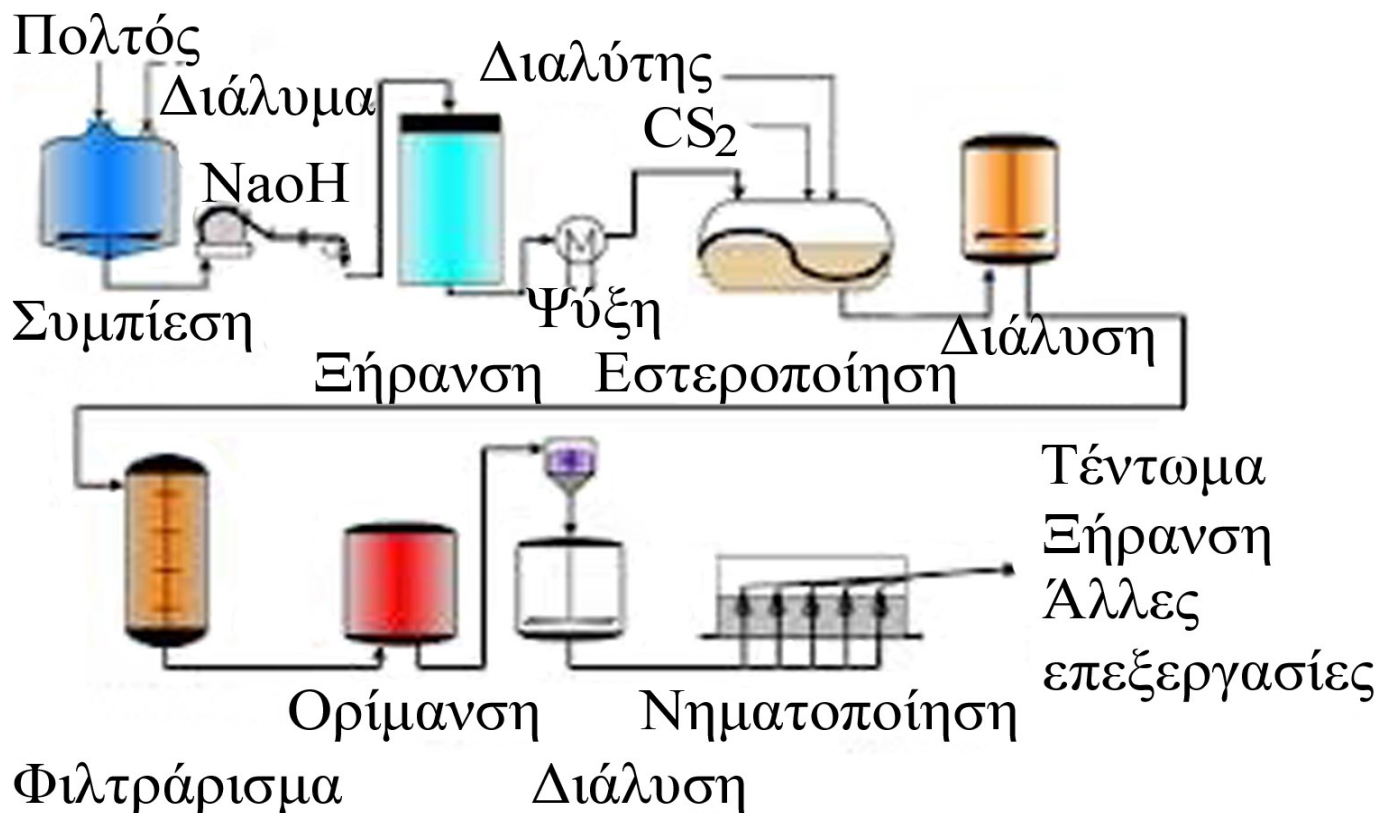
# Βισκόζη (1/4)

- Η μέθοδος της βισκόζης παράγει ένα παχύρρευστο διάλυμα (viscose) ξανθογονικών εστέρων της κυτταρίνης σε διάλυμα καυστικού νατρίου.
- Η παρασκευή της από την κυτταρίνη περιλαμβάνει τα εξής κύρια στάδια: α) παραγωγή αλκαλικυτταρίνης (διόγκωση κυτταρίνης σε NaOH , β) τεμαχισμό, γ) γήρανση (έλεγχος του βαθμού πολυμερισμού, DS 500-1000), δ) εστεροποίηση με διθειάνθρακα, ε) διάλυση και στ) ωρίμανση.



# Βισκόζη (2/4)

Εικόνα 11.1. Διάγραμμα παραγωγής βισκόζης



# Βισκόζη (3/4)

- Αναπαραγωγή της κυτταρίνης γίνεται με ταυτόχρονη νηματοποίηση για παραγωγή τεχνητών ινών (viscose, rayon) ή για παραγωγή φύλλων σελλοφάνης.
- Οι τεχνητές ίνες βισκόζης είναι συνεχείς (continuous filament textile) ή τεμαχισμένες (staple fibers) και διακρίνονται σε δύο γενικούς τύπους: α) συνήθεις ίνες κλωστοϋφαντουργίας και β) ίνες υψηλής αντοχής.





# Βισκόζη (4/4)

- Η κελλοφάνη παράγεται σε μορφή φύλλων που διακρίνονται για την λεπτότητα και την διαφάνεια τους (σελλοφάνη = διαφανής κυτταρίνη από τις λέξεις cellulose και diaphane). Χρωματίζεται εύκολα και χρησιμοποιείται (κατά 90%) στην συσκευασία τροφίμων, καλλυντικών, τσιγάρων κ.ά.
- Χρησιμοποιείται επίσης στην παραγωγή φύλλων συσκευασίας με πολυπλοκότερη δομή για ειδικές χρήσεις ή για παραγωγή επικαλυπτικών φύλλων (εμποτίζονται συνήθως με συνθετικές ρητίνες ουρίας-μελαμίνης-, φαινόλης-φορμαλδεΰδης, οξικού πολυβινυλίου κ.ά.)



# Εστέρες κυτταρίνης (1/2)

- Οι εστέρες παρασκευάζονται με αντίδραση της κυτταρίνης με οξέα (ανόργανα και οργανικά) ή με ανυδρίτες οργανικών οξέων. Οι σπουδαιότεροι εστέρες από βιομηχανική άποψη είναι η νιτρική και η οξική κυτταρίνη.
- Η νιτρική κυτταρίνη ή νιτροκυτταρίνη (*cellulose nitrate* ή *nitrocellulose*) είναι το αρχαιότερο πολυμερές κυτταρίνης.
- Σήμερα παρασκευάζεται σε διάφορους τύπους, είναι διαλυτή σε οργανικούς διαλύτες, θερμοπλαστική και βρίσκει εφαρμογή σε διάφορους τομείς της τεχνολογίας πολυμερών.
- Χρησιμοποιείται επίσης στην παραγωγή δυναμίτιδας και άλλων εκρηκτικών



# Εστέρες κυτταρίνης (2/2)

- Η οξική κυτταρίνη (cellulose acetate) είναι διαλυτή σε πολλούς οργανικούς διαλύτες, έχει εξαιρετικές θερμοπλαστικές ιδιότητες και βρίσκει εφαρμογή στην παραγωγή ινών υφαντουργίας (rayon acetate), ινών ειδικών χρήσεων, πλαστικών, βερνικιών, λάκας, συγκολλητικών ουσιών, φιλμ (φωτογραφικά, ακτινογραφίας), μαγνητικών ταινιών, φύλλων συσκευασίας και επικάλυψης, φίλτρων τσιγάρων, απορροφητικών πάνων, διηθητικών μεμβρανών και πολλών άλλων προϊόντων ειδικής χρήσης.



# Αιθέρες κυτταρίνης (1/2)

- Οι αιθέρες παράγονται από πολτό κυτταρίνης διογκωμένης σε NaOH (αλκαλικυτταρίνη) σε αντιδράσεις με αλκυλαλογονίδια, αρυλαλυλαγονίδια κ.ά.
- Οι σπουδαιότεροι αιθέρες είναι: η μεθυλοκυτταρίνη, η αιθυλοκυτταρίνη, η καρβοξυαιθυλοκυτταρίνη, και η υδροξυαιθυλοκυτταρίνη



# Αιθέρες κυτταρίνης (2/2)

- Η μεθυλοκυτταρίνη και αιθυλοκυτταρίνη έχουν εξαιρετικές θερμοπλαστικές ιδιότητες και χρησιμοποιούνται στις συνθέσεις επικαλυπτικών, πλαστικών και φύλλων συσκευασίας για αύξηση της ευκαμψίας και της συνεκτικότητας τους.
- Χρησιμοποιούνται επίσης για παραγωγή συγκολλητικών ουσιών, βερνικιών, μελανών, μήτρων χύτευσης (καλούπια) κ.ά. Η υδροξυ-αιθυλοκυτταρίνη χρησιμοποιείται σε επικαλύψεις χαρτιού και υφασμάτων, ως ρυθμιστής του ιξώδους και σταθεροποιητής διαλυμάτων αιωρημάτων και γαλακτωμάτων. Συχνά, παράγονται και μικτοί αιθέρες κυτταρίνης για ειδικές χρήσεις.



# Μικροκρυσταλλική κυτταρίνη (2/2)

- Μικροκρυσταλλική κυτταρίνη έχει μήκος  $>1\mu\text{m}$ , διάμετρο 1-5  $\mu\text{m}$  και παράγεται από πολτό χημικής κυτταρίνης, αναγεννημένη κυτταρίνη και σπανιότερα από αιθέρες και εστέρες κυτταρίνης.
- Η μικροκρυσταλλική κυτταρίνη βιομηχανικά παράγεται με μηχανικό υποβιβασμό (άλεση) του μεγέθους της κυτταρινικής ίνας και υδρόλυση των άμορφων περιοχών της με πυκνό θειϊκό ή υδροχλωρικό οξύ μέχρις ότου ο βαθμός πολυμερισμού της μειωθεί, ανάλογα με την επιθυμητή χρήση σε 100-400. Μετά την υδρόλυση το προϊόν ξηραίνεται, αλέθεται και φέρεται στο εμπόριο σε μορφή πολύ λεπτής σκόνης.
- Νεότερες μέθοδοι χρησιμοποιούν μηχανικό υποβιβασμό ή αποπολυμερισμό της κυτταρινικής ίνας με ακτίνες ηλεκτρονίων και ενζυματική υδρόλυση ή/και συνδυασμό με χημική υδρόλυση.



# Μικροκρυσταλλική κυτταρίνη (2/2)

- Φυσική ή αναγεννημένη μικροκρυσταλλική κυτταρίνη είναι βρώσιμη και χρησιμοποιείται στην παρασκευή τροφίμων και φαρμάκων. Όλες οι μικροκρυσταλλικές κυτταρίνες έχουν σπάνιες κολλοειδείς ιδιότητες και χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε πολλές ειδικές χρήσεις.
- Φορτίζονται ηλεκτροθετικά και σε μίγματα με νερό σχηματίζουν θιξοτροπικά τήγματα. Ξήρανση των θιξοτροπικών τηγμάτων παράγει πορώδη σωματίδια με εκτεταμένο υπομικροπικό πορώδες και χρησιμοποιούνται στη φαρμακευτική για παρασκευή δισκίων (χαπάκια), στην βιοχημεία για διαχωρισμό βιολογικά ενεργών ουσιών (ορμόνες, ένζυμα κ.ά.) και στην αναλυτική χημεία. Χρησιμοποιείται επίσης, ως ρυθμιστής του ιξώδους και σταθεροποιητής διαλυμάτων, αιωρημάτων και γαλακτωμάτων.



# Νανοκυτταρίνη (1/3)

- Η νανοκυτταρίνη παρασκευάζεται με μηχανική αποτριβή των κυτταρικών τοιχωμάτων καθαρής κυτταρίνης σε δύο μορφές : 1) νανοϊνίδια ή νανοϊνες (πάχους 10-100nm και μήκος μερικά μm και 2) νανοκρυστάλλους (πάχους 2-5nm και μήκος 100-500 nm).
- Οι νανοϊνες περιέχουν κρυσταλλικές και άμορφες περιοχές. Οι νανοκρύσταλλοι περιέχουν μόνο τις κρυσταλλικές περιοχές της ίνας, έχουν επιμήκη ραβδωτή μορφή και συχνά ονομάζονται μουστάκια ή κτενωτά ή ράβδοι νανοκυτταρίνης.





# Νανοκυτταρίνη (2/3)

- Η νανοκυτταρίνη είναι ένα πολειουργικό βιολογικό προϊόν με μεγάλες δυνατότητες εφαρμογής, ιδιαίτερα στη Βιοϊατρική και σε άλλα προϊόντα νανοτεχνολογίας και υψηλής προστιθέμενης αξίας.
- Οι νανοδιαστάσεις, η μεγάλη ειδική επιφάνεια, η πολύ μεγάλη μηχανική αντοχή σε σχέση με το βάρος της, οι μοναδικές θιξοτροπικές, οπτικές, μαγνητικές και ηλεκτρονικές ιδιότητες κ.ά. προκαλούν συνεχή πρόκληση για ανάπτυξη νέων βιοπροϊόντων. Η υψηλή μηχανική αντοχή την καθιστά ιδεώδες υλικό για την παραγωγή ελαφρών αλλά ισχυρών σύνθετων υλικών είτε ως πολυμερική μήτρα ή ως ενισχυτικό πρόσθετο.
- Χρησιμοποιείται επίσης ως ενισχυτικό για την βελτίωση ιδιοτήτων ειδικών ποιοτήτων χαρτιού, γραφής χαρτιού περιτύλιξης καθώς και στη κλωστοϋφαντουργία.



# Νανοκυτταρίνη (3/3)

- Η νανοκυτταρίνη λόγω του πολύ μικρού μεγέθους της και μεγάλης αναλογίας μήκους-πάχους ( $L/d$  ratio) και της πολύ μεγάλης ειδικής επιφάνειας έχει μοναδικές θιξοτροπικές ιδιότητες που την καθιστούν κατάλληλη α) για την παραγωγή βιο-αεροπυκνωμάτων και υγροπυκνωμάτων για την αποθήκευση και μεταφορά φαρμάκων, ως ικριώματα για την ανάπτυξη ιστών και οστών, β) ως ρυθμιστικό ιξώδους σε φάρμακα και σε τροφές (είναι εδώδιμη), σε βαφές, σε καλλυντικά.

•





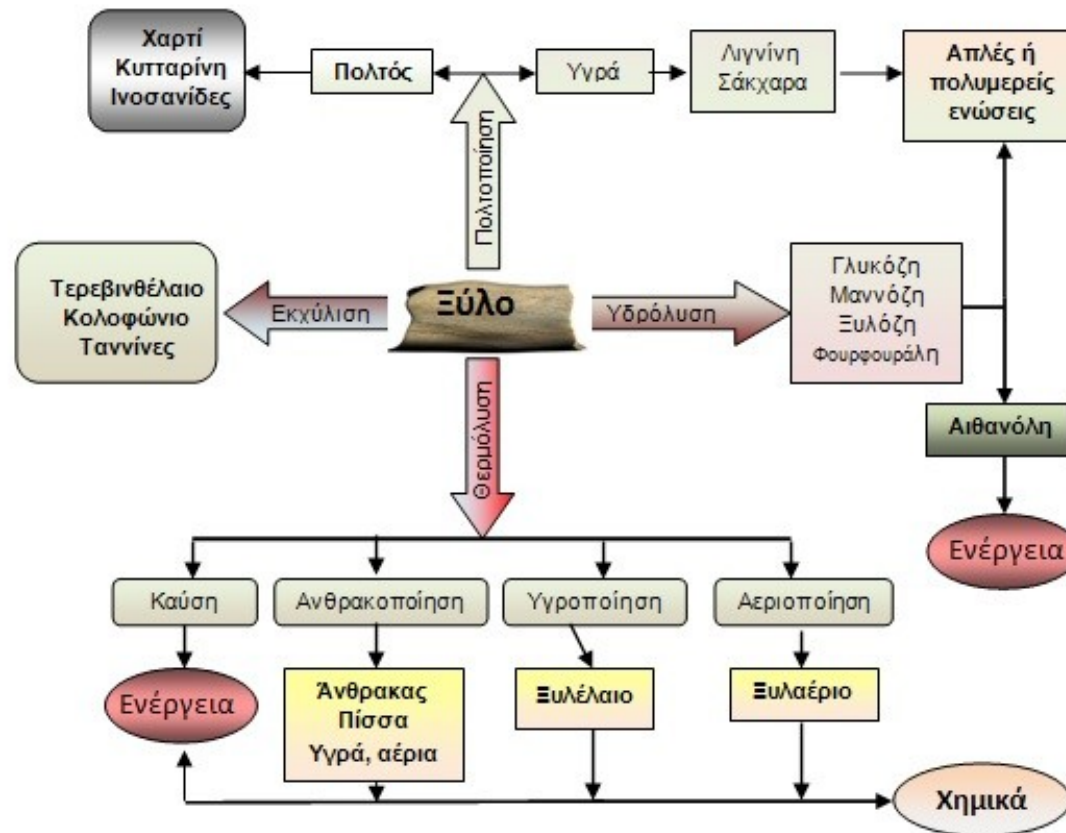
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

# Μέθοδοι παραγωγής χημικών

# Βασικές μέθοδοι μετατροπής του ξύλου σε χημικά

Εικόνα 11.2. Βασικές μέθοδοι μετατροπής του ξύλου σε χημικά



# Μέθοδοι παραγωγής χημικών (1/9)

- Με τη πολτοποίηση, εκτός του χαρτιού, παράγονται κυτταρίνη και πολυμερή παράγωγα της και απομένουν ως υπόλειμμα τα προϊόντα διάσπασης της λιγνίνης, σάκχαρα και άλλα προϊόντα υδρόλυσης των ημικυτταρινών και μέρους της κυτταρίνης. Τα υπολείμματα αυτά που παράγονται σε μεγάλες ποσότητες (πάνω από 80.000.000 τόνοι ετησίως) αποτελούν πρώτη ύλη για τη παραγωγή ενέργειας και ενός μεγάλου αριθμού χημικών προϊόντων.



# Μέθοδοι παραγωγής χημικών (2/9)

- Κατά τη πολτοποίηση των κωνοφόρων με τη θεική μέθοδο (kraft) παράγονται επίσης ως υποπροϊόντα τερεβινθέλαιο, κολοφώνιο και λιπαρά οξέα.
- Με την υδρόλυση του ξύλου η κυτταρίνη και οι ημικυτταρίνες αποπολυμερίζονται σε απλά σάκχαρα τα οποία στη συνέχεια ζυμώνονται και παράγονται αιθανόλη, άλλες αλκοόλες και οξέα ή άλλα πολύτιμα προϊόντα.



# Μέθοδοι παραγωγής χημικών (3/9)

- Ως υποπροϊόντα της υδρόλυσης των πολυσακχαριτών παράγονται οξικό, λαμβουλικό και μυρμηκικό οξύ, φουρφουράλη και ολιγομερείς ενώσεις που είναι διαλυτά στο νερό και διαχωρίζονται από την λιγνίνη που απομένει ως υπόλειμμα. Η υδρολυτική λιγνίνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας ή χημικών προϊόντων.



# Μέθοδοι παραγωγής χημικών (4/9)

- Με την πυρόλυση το ξύλο διασπάται, ανάλογα με τη θερμοκρασία πυρόλυσης, σε άνθρακα, υγρά και αέρια ή όλη η ξύλινη μάζα μετατρέπεται σε πυρολυτικό λάδι (βιοέλαιο) ή μόνο σε αέριο. Τα αέρια συμπυκνώνονται και διαχωρίζονται σε διάφορες χημικές ενώσεις.
- Τα υγρά προϊόντα διαχωρίζονται επίσης στα επί μέρους συστατικά τους ή χρησιμοποιούνται ως καύσιμα για παραγωγή ενέργειας. Από τα υγρά της πυρόλυσης των κωνοφόρων διαχωρίζονται επίσης ρητινικά προϊόντα όπως τερεβινθέλαιο, πινέλαιο, διπεντένιο κλπ.





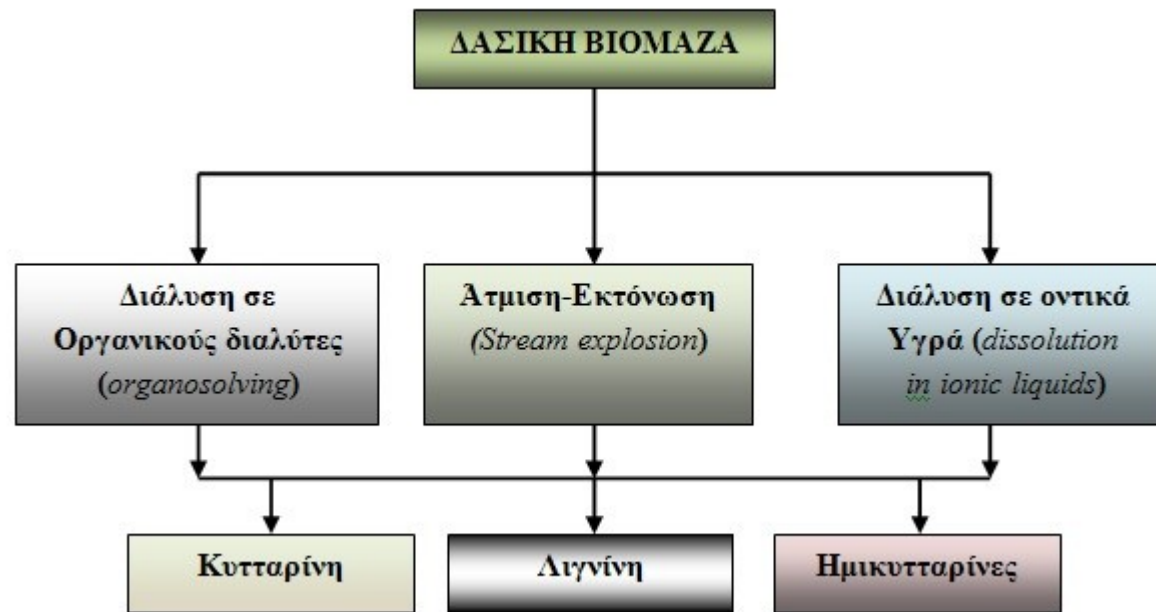
# Μέθοδοι παραγωγής χημικών (5/9)

- Με την εκχύλιση ή τη ρητίνευση παράγονται ρητίνη, τερεβινθέλαιο, κολοφώνιο, λιπαρά οξέα, κηροί, καουτσούκ, διάφορα κόμματα, φαινολικές ενώσεις, αιθέρια έλαια κλπ.



# Μέθοδοι παραγωγής χημικών (4/9)

Εικόνα 11.3. Εναλλακτικές μέθοδοι διάλυσης του ξύλου στα συστατικά του με: α. οργανικούς διαλύτες, β. άτμιση σε υψηλές θερμοκρασίες και εκτόνωση, και γ. ιοντικά υγρά



# Μέθοδοι παραγωγής χημικών (6/9)

- Στην μέθοδο της υδρόλυσης σε οργανικούς διαλύτες γίνεται υδρόλυση των ημικυτταρινών και διάλυση της λιγνίνης με κατεργασία του ξύλου με οξέα και οργανικούς διαλύτες (organosolv pulping) και παράγονται καθαρή κυτταρίνη, λιγνίνη και σάκχαρα. Στη δεύτερη μέθοδο το ξύλο ή άλλη φυτική βιομάζα υποβάλλεται σε άτμιση σε θερμοκρασία 190-240°C για λίγα λεπτά και αφήνεται απότομα η πίεση οπότε γίνεται εκτόνωση και διάλυση του ξύλου (steam explosion) σε ίνες, ενώ τα πτητικά εκχυλίσματα μπορούν να συλλεχτούν χωριστά.



# Μέθοδοι παραγωγής χημικών (7/9)

- Κατά τη διάρκεια της άτμισης προκαλείται υδρόλυση των ημικυτταρινών και χαλάρωση των δεσμών της λιγνίνης που επιτρέπει την εκχύλιση της με αραιά αλκαλικά διαλύματα ή με οργανικούς διαλύτες. Το εναπομένον υλικό αποτελείται από κυτταρίνη και μικρές ποσότητες λιγνίνης. Η εναπομένουσα λιγνίνη μπορεί να απομακρυνθεί με ελαφρά λεύκανση και να παραχθεί καθαρή κυτταρίνη.



# Μέθοδοι παραγωγής χημικών (8/9)

- Στη τρίτη μέθοδο το ξύλο διαλύεται και διαχωρίζεται στα συστατικά του με τη χρησιμοποίηση ιοντικών υγρών.
- Και στις τρεις μεθόδους η κυτταρίνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για παραγωγή πολυμερών παραγώγων ή αιθανόλης και η λιγνίνη για παραγωγή απλών ή πολυμερών προϊόντων.



# Μέθοδοι παραγωγής χημικών (9/9)

- Στις δύο πρώτες μεθόδους τα σάκχαρα που προκύπτουν από την υδρόλυση των ημικυτταρινών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή αιθανόλης και άλλων χημικών, ενώ στη μέθοδο της διάλυσης σε ιοντικά υγρά οι ημικυτταρίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί με τη κυτταρίνη για παραγωγή αιθανόλης ή χωριστά για παραγωγή χημικών ή πολυμερικών παραγώγων.





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

# Υδρόλυση

# Προϊόντα υδρόλυσης ξύλου (1/2)

- Υδρόλυση είναι η αντίδραση του ξύλου με νερό, παρουσία καταλυτών, κατά την οποία τα πολυμερή συστατικά του διασπώνται (υδρολύονται) σε απλές χημικές ενώσεις.
- Στην χημική αξιοποίηση του ξύλου ο όρος υδρόλυση αναφέρεται κυρίως στην αντίδραση των πολυσακχαριτών του με ανόργανα οξέα ή ένζυμα και την μετατροπή του σε απλά σάκχαρα (σακχαροποίηση).





# Προϊόντα υδρόλυσης του ξύλου (2/2)

- Κατεργασία ξύλου με ανόργανα οξέα ή ενζυμα υδρολύει τους πολυσακχαρίτες (κυτταρίνη και ημικυτταρίνες) σε απλά σάκχαρα και αφήνει ως υπόλειμμα την λιγνίνη.
- Η κυτταρίνη υδρολύεται σε γλυκόζη.
- Οι ημικυτταρίνες υδρολύονται ευκολότερα από την κυτταρίνη. Πλήρης υδρόλυση των ημικυτταρινών δίνει πεντόζες (ξυλόζη, αραβινόζη), εξόζες (γλυκόζη, μαννόζη, γαλακτόζη), ουρονικά οξέα και οξικό οξύ.



# Υδρόλυση του ξύλου με οξέα (1/3)

- Η βιομηχανική σακχαροποίηση του ξύλου με οξέα αναπτύχθηκε κατά την διάρκεια του πρώτου παγκοσμίου πολέμου για την παραγωγή σακχάρων, αλκοολών, οργανικών οξέων, ζύμης, τροφών και άλλων προϊόντων.
- Οι βιομηχανικές μέθοδοι σακχαροποίησης του ξύλου διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:
  - α. σε μεθόδους υδρόλυσης με αραιά ανόργανα οξέα σε μεγάλες θερμοκρασίες και πιέσεις, και
  - β. σε μεθόδους υδρόλυσης με πυκνά ανόργανα οξέα σε συνήθεις θερμοκρασίες περιβάλλοντος και ατμοσφαιρική πίεση.



# Υδρόλυση του ξύλου με οξέα (2/3)

- Ως ανόργανα οξέα χρησιμοποιούνται κυρίως το θειικό και το υδροχλωρικό οξύ. Τα οξέα αυτά έχουν μεγάλη δραστηριότητα και είναι σχετικά φθηνές χημικές ουσίες. Ανάλογα με το είδος και την συγκέντρωση του οξέος, την τεχνική, το είδος του ξύλου και το είδος των επιθυμητών προϊόντων έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι που εμπίπτουν στις παραπάνω δύο κατηγορίες.



# Υδρόλυση του ξύλου με οξέα (3/3)

- Μέθοδοι αραιών οξέων: Στις μεθόδους της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιείται αραιό θειικό οξύ. Ανάλογα με την τεχνική της υδρόλυσης διακρίνονται τρεις κύριες μέθοδοι: η μέθοδος Scholler - Tornesch, η μέθοδος Madison και η Ρωσική μέθοδος.
- Μέθοδοι πυκνών οξέων: Στην υδρόλυση του ξύλου με πυκνά οξέα χρησιμοποιούνται κυρίως το υδροχλωρικό και το θειϊκό οξύ. Η γνωστότερη μέθοδος πυκνού υδροχλωρικού οξέος είναι η μέθοδος Rheinau-Bergius.



# Ενζυματική υδρόλυση (1/4)

- Τα τελευταία χρόνια καταβάλλονται μεγάλες ερευνητικές προσπάθειες για σακχαροποίηση του ξύλου και άλλων φυτικών ινών με ένζυμα που διασπούν την κυτταρίνη και τις ημικυτταρίνες σε απλά σάκχαρα και παράγουν κυρίως αιθανόλη με αλκοολική ζύμωση.
- Η αιθανόλη προορίζεται κυρίως ως καύσιμο για τη κίνηση αυτοκινήτων.



# Ενζυματική υδρόλυση (2/4)

- Η ενζυματική υδρόλυση έχει τη δυνατότητα μεγαλύτερης απόδοσης σε σάκχαρα και μειωμένης διάσπασης των ημικυτταρινών σε υποπροϊόντα που εμποδίζουν τη ζύμωση.
- Επίσης, η λιγνίνη που παραμένει ως υπόλειμμα είναι σε μεγάλο βαθμό αναλλοίωτη χημικά και είναι ευκολότερη η αξιοποίηση της σε απλές φαινόλες ή πολυμερή προϊόντα.



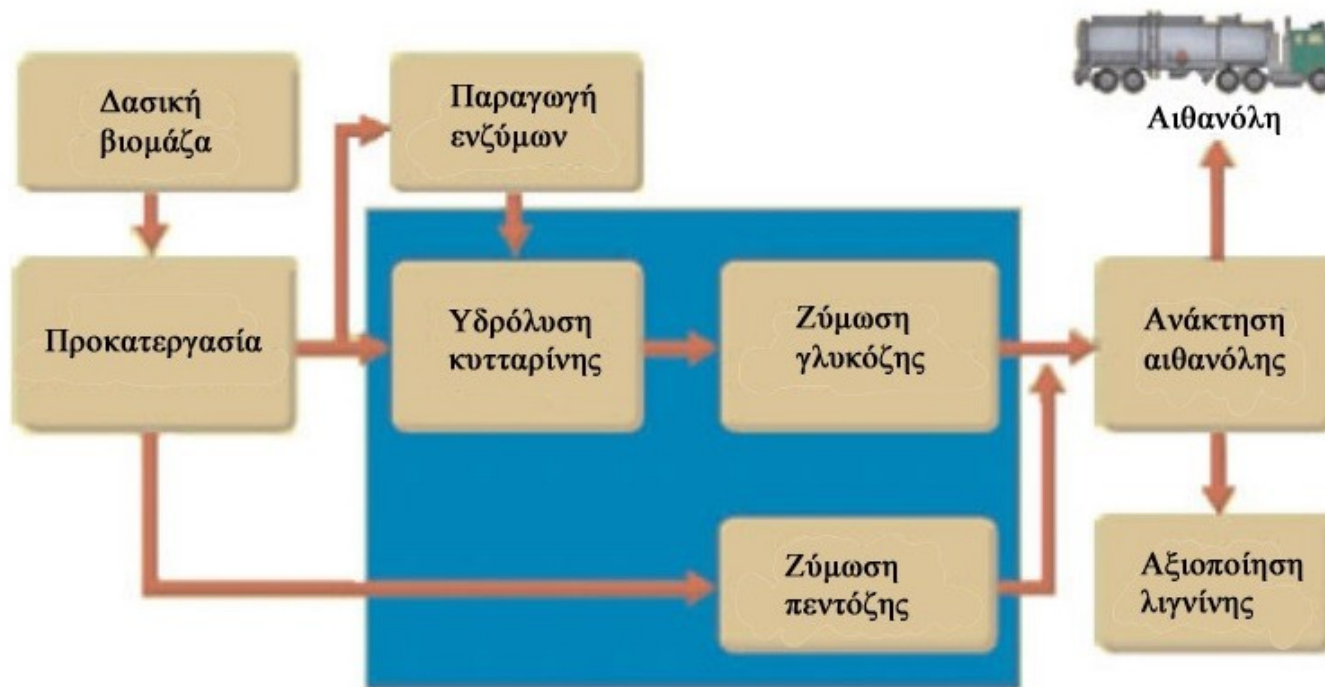
# Ενζυματική υδρόλυση (3/4)

- Στην Εικόνα 11.4 δίνεται ένα απλοποιημένο διάγραμμα παραγωγής αιθανόλης με ταυτόχρονη σακχαροποίηση και ζύμωση του ξύλου σε αιθανόλη. Το ξύλο τεμαχίζεται σε μικρά ξυλοτεμαχίδια, πλένεται και μεταφέρεται σε ένα αντιδραστήρα όπου προϋδρολύεται με αραιό θειικό οξύ (0,5-1%). Σε ένα άλλο αντιδραστήρα παράγονται τα ένζυμα και μεταφέρονται στο κύριο αντιδραστήρα όπου αναμειγνύονται (συν.)



# Παραγωγής αιθανόλης από δασική βιομάζα

Εικόνα 11.4. Απλοποιημένο διάγραμμα παραγωγής αιθανόλης από δασική βιομάζα





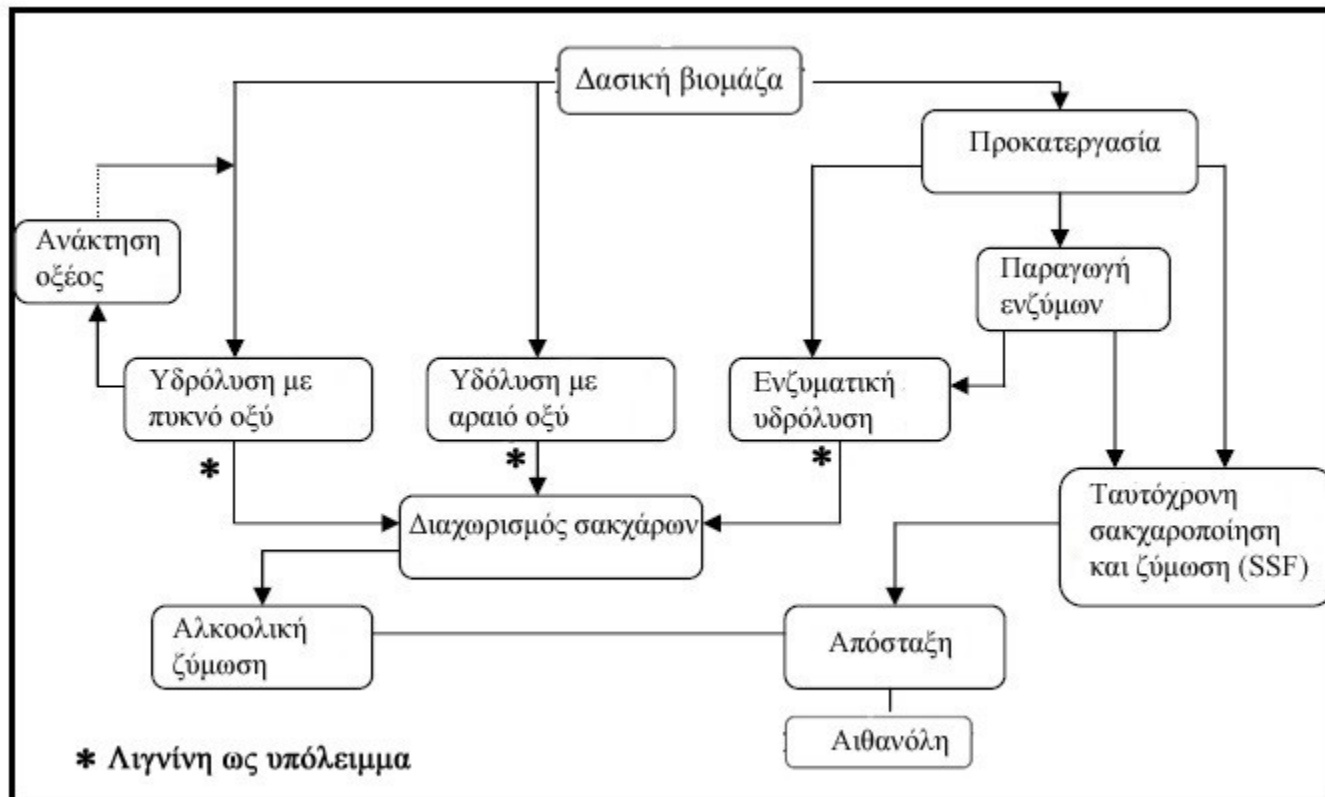
# Ενζυματική υδρόλυση (4/4)

- (συν.) με τα ξυλοτεμαχίδια και λαμβάνει χώρα ταυτόχρονη υδρόλυση και ζύμωση της κυτταρίνης και των ημικυτταρινών σε αιθανόλη. Τα υπολείμματα καίγονται για παραγωγή ενέργειας και η στάχτη χρησιμοποιείται ως λίπασμα.
- Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι μέθοδοι-παραλλαγές παραγωγής αιθανόλης με ενζυματική υδρόλυση.
- Στην Εικόνα 11.5 δίνονται συνοπτικά οι βασικές μέθοδοι υδρόλυσης της βιομάζας για παραγωγή αιθανόλης για κύρια χρήση ως καύσιμου αυτοκινήτων.



# Μέθοδοι υδρόλυσης του ξύλου για παραγωγή αιθανόλης

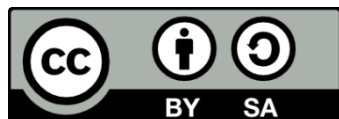
Εικόνα 11.5. Βασικές μέθοδοι υδρόλυσης του ξύλου για παραγωγή αιθανόλης





# Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Παπανικολάου Αναστάσιος  
Θεσσαλονίκη, 30/ 8/ 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

# Σημειώματα

# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ιωάννης Φιλίππου.  
«Χημεία και Χημικά Προϊόντα Ξύλου. Χημικά προϊόντα Ι». Έκδοση: 1.0.  
Θεσσαλονίκη 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:  
<http://eclass.auth.gr/courses/OCRS442/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

