



# Χημεία και Χημικά Προϊόντα Ξύλου

Ενότητα **08**: Τροποποίηση του ξύλου I

Ιωάννης Φιλίππου  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος



# 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.





# Τροποποίηση του ξύλου I



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ  
*επένδυση στην κοινωνία της γνώσης*

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. Εισαγωγή
2. Θερμική τροποποίηση



# Σκοποί ενότητας

- Εισαγωγή στην τροποποίηση του ξύλου.
- Κατανόηση της θερμικής τροποποίησης του ξύλου.





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

# Εισαγωγή

# Εισαγωγή (1/4)

- Το ξύλο ως κατασκευαστικό υλικό, έχει πολλά πλεονεκτήματα, αλλά λόγω της φύσης, της χημικής σύστασης και της δομής του, όταν εκτίθεται στο περιβάλλον υφίσταται αλλοιώσεις και αποικοδόμηση από διάφορους παράγοντες.
- Τα μειονεκτήματα αυτά του ξύλου αμβλύνονται σήμερα στην πράξη με τη χρησιμοποίηση διαφόρων τεχνικών και χημικών ουσιών.





# Εισαγωγή (2/4)

- Στις περισσότερες περιπτώσεις, αλλά κυρίως στην προστασία από τους μικροοργανισμούς χρησιμοποιούνται χημικές ουσίες που είναι τοξικές και δημιουργούν ευρύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα ή έχουν μεγάλο κόστος. Για το λόγο αυτό τα τελευταία χρόνια, το ερευνητικό και βιομηχανικό ενδιαφέρον έχει στραφεί στην ανάπτυξη και χρησιμοποίηση περιβαλλοντικά φιλικών και μεθόδων για τη βελτίωση των ιδιοτήτων του ξύλου με τροποποίηση του.



# Εισαγωγή (3/4)

- Η τροποποίηση του ξύλου (wood modification) είναι ένας όρος που αναφέρεται στην εφαρμογή τεχνολογιών για την αλλαγή των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του ξύλου και αποσκοπεί σε στοχευμένη βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων του ξύλου όπως μείωση της υγροσκοπικότητας και αύξηση της διαστασιακής σταθερότητας ή αύξηση της ανθεκτικότητας στους μικροοργανισμούς, στις κλιματικές αλλοιώσεις, στη θερμική αποικοδόμηση και στη φωτιά ή δημιουργία ισχυρών και ανθεκτικών συγκολλητικών δεσμών με συγκολλητικές ουσίες και επιφανειακές επικαλύψεις, ή ακόμη και σε αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων.



# Εισαγωγή (4/4)

- Ο τρόπος κατά τον οποίο τροποποιείται το ξύλο και επιτυγχάνονται οι επιδιωκόμενες βελτιώσεις των ιδιοτήτων του εξαρτώνται από τη τεχνολογική μέθοδο που εφαρμόζεται.
- Η τροποποίηση μπορεί να λαμβάνει χώρα στα κυτταρικά τοιχώματα, στις κυτταρικές κοιλότητες ή και στα δύο, ή να περιορίζεται στην επιφάνεια του ξύλου, να είναι ενεργή (προκαλεί χημική αλλαγή) ή παθητική (να μην αλλάζει τη χημική σύσταση του ξύλου) και ανάλογα με το μέσο ή τη μέθοδο τροποποίησης διακρίνεται σε θερμική, χημική και ενζυματική τροποποίηση ή εμποτισμό.





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

# Θερμική τροποποίηση

# Θερμική τροποποίηση (1/2)

- Η συμπεριφορά του ξύλου στην επίδραση θερμοκρασιών  $>120^{\circ}\text{C}$  αξιοποιήθηκε από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα για τροποποίηση του ξύλου και βελτίωση της διαστασιακής σταθερότητας του. Ουσιαστική όμως βιομηχανική και εμπορική χρησιμοποίηση της θερμικής τροποποίησης του ξύλου άρχισε την δεκαετία 1990 στην Φιλανδία από την εταιρεία Finnish Thermo Wood Association. Σήμερα χρησιμοποιούνται τουλάχιστον 8 μέθοδοι για την παραγωγή θερμικά τροποποιημένου ξύλου.



# Θερμική τροποποίηση (2/2)

- Ο απαιτούμενος μηχανολογικός εξοπλισμός είναι απλός, δεν είναι ακριβός και πολλές επιχειρήσεις παράγουν θερμαντικά τροποποιημένο ξύλο.
- Θερμική τροποποίηση σε βιομηχανική κλίμακα γίνεται σε θερμοκρασίες 160-250°C. Σκοπός της θερμικής τροποποίησης είναι η μείωση της υγροσκοπικότητας, η βελτίωση της διαστασιακής σταθερότητας και η βελτίωση της ανθεκτικότητας στους μικροοργανισμούς. Κύριο πλεονέκτημα της θερμικής τροποποίησης είναι το ότι δεν χρησιμοποιεί χημικά και είναι φιλική προς το περιβάλλον.



# Μέθοδοι θερμικής τροποποίησης

Πίνακας 8.1. Μέθοδοι θερμικής τροποποίησης ξύλου (1/2)

Μέθοδος	Μέσον	Αρχική υγρασία %	Θερμοκρασία °C
Thermowood	Ατμός	Υγρό ή ξηρό	185-230
Stellac process	Αέρας, Κλειστό	Υγρό	200-250
Plato process	Ατμός ή αέρας	Υγρό ή ξηρό και αέρα	170-190
Retification process	N <sub>2</sub>	Ξηρό στον αέρα 12%	200-240



# Μέθοδοι θερμικής τροποποίησης

Πίνακας 8.1. Μέθοδοι θερμικής τροποποίησης ξύλου (2/2)

Μέθοδος	Μέσον	Αρχική υγρασία %	Θερμοκρασία °C
Le Bors Psedure	Ατμός	Υγρό	200-240
OHT-Menz Holz	Λινέλαιο	Υγρό	180-220
Ronal-process	Φυτικά έλαια	Υγρό	60-90
ΟΤΑΗ process	Τροποποιημέ- νο λινέλαιο	Υγρό	160-220





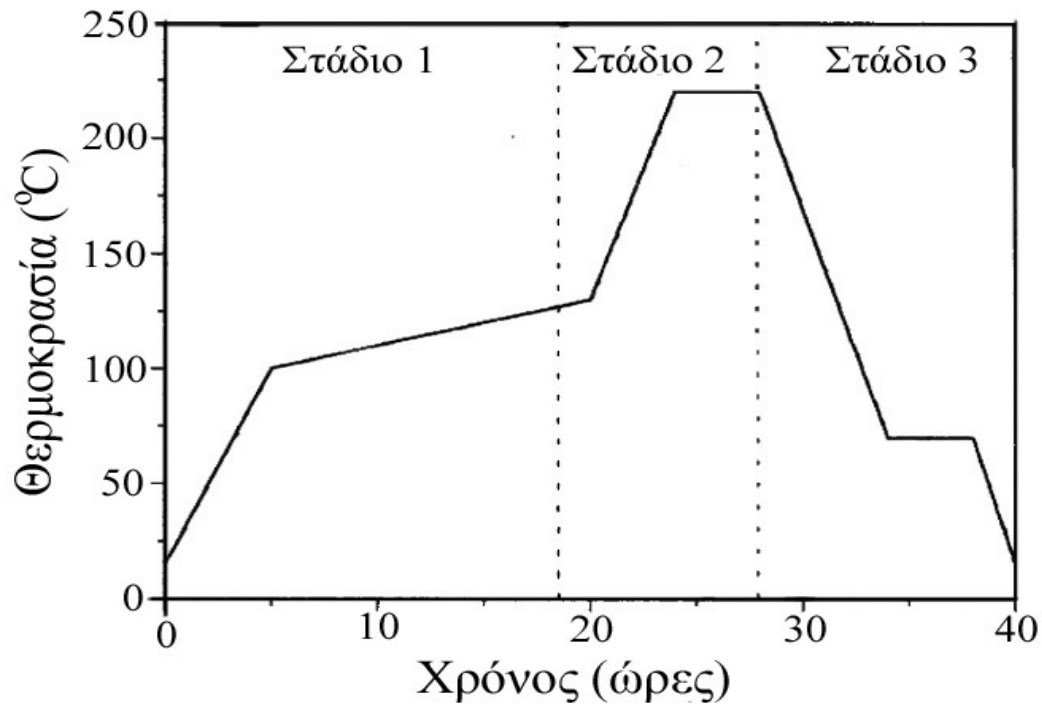
# Μέθοδος Thermowood (1/2)

- Η μέθοδος Thermowood ακολουθεί τρία στάδια. Στο 1<sup>ο</sup> στάδιο το ξύλο ξηραίνεται (σε υγρασία 0%) σε ξηραντήριο υψηλής θερμοκρασίας με χρησιμοποίηση ατμού και σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας στους 100°C και στη συνέχεια στους 130°C. Στο 2<sup>ο</sup> στάδιο, η θερμοκρασία αυξάνει στους 185-230°C, για 2-3 ώρες ανάλογα με τις επιδιωκόμενες ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Στο 3<sup>ο</sup> στάδιο, η θερμοκρασία μειώνεται σταδιακά στους 80-90°C με σύστημα ψεκασμού νερού και στη συνέχεια σε θερμοκρασία περιβάλλοντος όπου και πάλι ψεκάζεται με νερό ώστε η υγρασία του ξύλου να είναι 4-7%.



# Μέθοδος Thermowood (2/2)

Σχήμα 8.1 . Διάγραμμα θερμικής τροποποίησης ξύλου με τη μέθοδο *Thermowood*.(



# Μέθοδος Stellac

- Ομοιάζει με τη Thermowood, αλλά ο χειρισμός γίνεται σε ατμοσφαιρικές συνθήκες σε αεροστεγές ανοξείδωτο ξηραντήριο. Κατά τη διάρκεια του 1<sup>ου</sup> σταδίου η θερμοκρασία αυξάνεται στους 100°C, και ακολουθεί μια φάση εξισορρόπησης. Ο θερμικός χειρισμός γίνεται σε θερμοκρασίες μέχρι 250°C.



# Μέθοδος Plato

Η μέθοδος Plato χρησιμοποιεί ατμό ή ξηρό αέρα και 4 στάδια.

- Στο 1<sup>ο</sup> στάδιο γίνεται υδροθερμικός χειρισμός υπό πίεση για (2-4 ώρες στους 150-190°C).
- Στο 2<sup>ο</sup> στάδιο γίνεται ξήρανση του ξύλου σε υγρασία 8-10% σε συμβατικό ξηραντήριο.
- Στο 3<sup>ο</sup> στάδιο το ξύλο θερμαίνεται στους 150-190°C κάτω από ξηρές συνθήκες.
- Στο 4<sup>ο</sup> στάδιο γίνεται εξισορρόπηση της υγρασίας σε επιθυμητό επίπεδο (4-6%).



# Μέθοδος Retification

- Ο θερμικός χειρισμός γίνεται σε ένα στάδιο. Ξηρό ξύλο (υγρασία  $\approx 12\%$ ) θερμαίνεται σε  $200-240^{\circ}\text{C}$  σε ατμόσφαιρα αζώτου, ώστε να περιορισθεί το διαθέσιμο οξυγόνο σε  $2\%$  περίπου.



# Μέθοδος Perdure

- Ο θερμικός χειρισμός γίνεται με χρησιμοποίηση ατμού σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο γίνεται ξήρανση του ξύλου και στο δεύτερο θερμικός χειρισμός στους 200-230°C.



# Μέθοδοι με φυτικά έλαια (1/2)

- Η μέθοδος OHT-MenzHolz χρησιμοποιεί εμποτισμό υγρού ξύλου με λινέλαιο και στη συνέχεια θέρμανση στους 180-220°C.
- Η μέθοδος ECOTAN χρησιμοποιεί εμποτισμό με λινέλαιο τροποποιημένο με μαλεϊκό ανυδρίτη και στη συνέχεια θέρμανση στους 160-220°C.
- 



# Μέθοδοι με φυτικά έλαια (2/2)

- Η μέθοδος Royal χρησιμοποιεί λινέλαιο ή έλαιο ελαιοκάμβης σε υγρό ξύλο και θερμαίνει σε χαμηλές θερμοκρασίες (60-90°C) για αρκετές ημέρες. Στη μέθοδο Royal το λάδι δεν υπεισέρχεται στα κυτταρικά τοιχώματα, αλλά απομακρύνεται με υποπίεση μετά τον χειρισμό





# Τροποποίηση ιδιοτήτων (1/4)

Οι κυριότερες αλλαγές που λαμβάνουν χώρα στις ιδιότητες του ξύλου είναι:

- Μείωση της υγροσκοπικότητας ή οποία οφείλεται κυρίως στη δραστική μείωση των διαθέσιμων υδροξυλίων στα συστατικά του ξύλου (κυρίως στις ημικυτταρίνες και άμορφες περιοχές της κυτταρίνης).
- Αύξηση της διαστασιακής σταθερότητας η οποία οφείλεται στην μείωση της υγροσκοπικότητας αλλά και στις χημικές συνδέσεις και (συν.)



# Τροποποίηση ιδιοτήτων (2/4)

- (συν.) πολυμερισμό της λιγνίνης με τα προϊόντα διάσπαση των πολυσακχαριτών.
- Αύξηση της αντοχής στους μύκητες και μικρή αύξηση της αντοχής στις κλιματικές αλλοιώσεις. Η αντοχή στους μύκητες είναι μικρή όταν το ξύλο βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος.
- Η αντοχή σε ορισμένα έντομα όπως το σαράκι είναι μεγάλη, στους τερμίτες μικρή, ενώ δεν επηρεάζεται η αντοχή στους θαλάσσιους μικροοργανισμούς.



# Τροποποίηση ιδιοτήτων (3/4)

- Ένας από τους περιοριστικούς παράγοντες στη θερμική τροποποίηση είναι η μείωση στις μηχανικές ιδιότητες του ξύλου. Η μείωση στο μέτρο ελαστικότητας είναι μικρή στη ξηρή θερμική μεταχείριση και μεγαλύτερο στην υδροθερμική μεταχείριση, αλλά η μείωση στο μέτρο θραύσης, στην αντοχή σε κρούση και στην αντοχή σε εφελκυσμό σε όλες τις περιπτώσεις είναι μεγάλες και καθιστούν το ξύλο ακατάλληλο για χρήσεις που φέρουν φορτία. (συν.)



# Τροποποίηση ιδιοτήτων (4/4)

- (συν.) Η μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων οφείλεται στη μείωση της μάζας του ξύλου.
- Το χρώμα του ξύλου γίνεται σκουρότερο, η διαβροχή και θερμική αγωγιμότητα μειώνονται και η συγκόλληση με συγκολλητικές ουσίες και βαφές χρειάζεται ιδιαίτερη μέριμνα.



# Χρήσεις προϊόντος (1/4)

- Το θερμικά τροποποιημένο ξύλο χρησιμοποιείται σε διάφορες εξωτερικές χρήσεις όπου η διαστασιακή σταθερότητα και η αντοχή στη σήψη είναι κρίσιμοι παράγοντες, όπως: καταστρώματα, αποβάθρες, έπιπλα κήπων, κουφώματα, αλλά και εσωτερικές χρήσεις όπως: έπιπλα κουζίνας, παρκέτα, διακοσμητικές σανίδες και στο εσωτερικό της σάουνας. Σε εξωτερικές χρήσεις χρησιμοποιούνται κωνοφόρα, ενώ σε εσωτερικές πλατύφυλλα (κυρίως οξιά, λεύκη, σημύδα).



# Χρήσεις προϊόντος (2/4)

- Τα κωνοφόρα, κυρίως η δασική πεύκη και η ερυθρελάτη, σε χειρισμούς μέχρι 220°C μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις αποβάθρες, έπιπλα και καταστρώματα κήπων, εξωτερικά κουφώματα και σκάλες όπου η κυριότερη ιδιότητα είναι η ακαμψία και η σκληρότητα και όχι η αντοχή στη θραύση.
- Ξυλεία που έχει υποστεί θερμικό χειρισμό δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που φέρνουν φορτίο. Ούτε σε χρήσεις που απαιτούν επαφή με το έδαφος.



# Χρήσεις προϊόντος (3/4)

- Το κάθε εργοστάσιο παράγει διάφορες ποιότητες θερμικά τροποποιημένου ξύλου ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται. Πχ το Thermowood παράγεται σε 4 βασικές κατηγορίες προϊόντος 2 από κωνοφόρα και 2 από πλατύφυλλα, ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη θερμοκρασία.



# Χρήσεις προϊόντος (4/4)

- Το Thermo-D έχει μεγαλύτερη διαστασιακή σταθερότητα και αντοχή στους μικροοργανισμούς και παράγεται σε μεγαλύτερες ποσότητες. Ανάλογες είναι και οι ποιότητες των προϊόντων που παράγονται με τις άλλες μεθόδους.





# Χημική τροποποίηση (1/3)

- Ως χημική τροποποίηση του ξύλου ορίζεται η αντίδραση ενός χημικού αντιδραστηρίου με τα πολυμερή συστατικά του ξύλου που οδηγεί στη δημιουργία χημικών δεσμών μεταξύ του αντιδραστηρίου και της ξύλινης μάζας.
- Τα συστατικά του ξύλου (κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη) με τις δραστικές ομάδες των (υδροξύλια, καρβοξύλια, καρβονύλια, διπλοί δεσμοί κ.ά.) (συν.)



# Χημική τροποποίηση (2/3)

- (συν.) είναι δυνατό κάτω από ειδικές συνθήκες να αντιδράσουν με δραστικές ομάδες άλλων ενώσεων (αντιδράσεις εστεροποίησης, αιθεροποίησης, συμπολυμερισμού ή σταυροειδών συνδέσεων) και να σχηματίσουν νέες χημικές ομάδες ή παράγωγα. Οι χημικές αυτές αντιδράσεις τροποποιούν (μεταβάλλουν) τον χημικό χαρακτήρα και τις ιδιότητες του ξύλου, χωρίς να αλλάξει η βασική δομή του.



# Χημική τροποποίηση (3/3)

- Χημική τροποποίηση είναι δυνατό να λάβει χώρα στα κυτταρικά τοιχώματα ή μόνον στην επιφάνεια ανάλογα με το είδος των χημικών αντιδραστηρίων που χρησιμοποιούνται και τον σκοπό για τον οποίο γίνεται η τροποποίηση.



# Χημικές αντιδράσεις στα κυτταρικά τοιχώματα

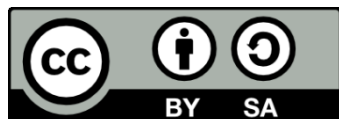
- Διάφορα χημικά αντιδραστήρια έχουν χρησιμοποιηθεί εργαστηριακά για χημική τροποποίηση (κυρίως εστεροποίηση και αιθεροποίηση) των κυτταρικών τοιχωμάτων του ξύλου όπως ανυδρίτες οξέων, χλωρίδια οξέων, οργανικά οξέα, ενώσεις ισοκυανίου, αλδεΐδες, αλκυλοχλωρίδια, λακτόνες, νιτρίλια και εποξειδία, αλλά μόνο η τροποποίηση με οξικό ανυδρίτη (ακετυλίωση) έχει βρει βιομηχανική εφαρμογή.





# Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Παπανικολάου Αναστάσιος  
Θεσσαλονίκη, 30/ 8/ 2015





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

# Σημειώματα

# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ιωάννης Φιλίππου.  
«Χημεία και Χημικά Προϊόντα Ξύλου. Τροποποίηση του ξύλου 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.

