

1/2013

ISSN 1105-9478

ΤΟΜΟΣ 22 ΣΕΙΡΑ II

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

GEOTECHNICAL
SCIENTIFIC ISSUES

Ελαφρές - μικρής πυκνότητας ξυλόπλακες για την επιπλοποιία και οικοδομική

Αθανάσιος Η. Γρηγορίου¹, Χαράλαμπος Θ. Λυκίδης²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια η χρήση των μικρής πυκνότητας ξυλόπλακών και άλλων σύνθετων προϊόντων ξύλου ως δομικών και μονωτικών υλικών, τα οποία βασίζονται στη φυσική και διαρκώς ανανεούμενη πρώτη ύλη ξύλου, έχει αποκτήσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Ειδικότερα, αυξημένο ενδιαφέρον εμφανίζει ελαφρή ξυλόπλακα κατασκευασμένη με επιφανειακές στρώσεις μικρού πάχους από μοριοπλάκα ή MDF και μεσαία στρώση από κυψελωτό χαρτόνι η οποία παράγεται για πρώτη φορά σε μεγάλες ποσότητες για την επιπλοποιία. Τα κύρια πλεονεκτήματα της ξυλόπλακας αυτής είναι ο εύκολος χειρισμός ακόμα και σε μεγάλες διαστάσεις (λόγω του μικρού βάρους) και το μειωμένο κόστος παραγωγής αναφορικά με την πρώτη ύλη και την απαιτούμενη ενέργεια. Επιπλέον οι περαιτέρω τεχνικές βελτιώσεις όσον αφορά τις συνδέσεις με μεταλλικά εξαρτήματα, τις συγκολλήσεις και επικαλύψεις των επιφανειών του ανωτέρω προϊόντος αναμένεται να εξασφαλίσουν τη θέση του στη βιομηχανία παραγωγής επίπλων. Εκτός αυτού όμως το εύρος των μικρής πυκνότητας προϊόντων τα οποία κατασκευάζονται εν μέρει ή πλήρως από ξύλο, είναι πολύ μεγάλο. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο τα προϊόντα αυτά βρίσκουν ποικίλες εφαρμογές στην επιπλοποιία και οικοδομική. Βέβαια υπάρχουν ακόμα νέες δυνατότητες περαιτέρω βελτίωσης των ιδιοτήτων των προϊόντων αυτών και της τεχνολογίας παραγωγής τους. Τα σύνθετα προϊόντα ξύλου μικρής πυκνότητας δεν αναμένεται να αντικαταστήσουν τις κλασσικού τύπου ξυλόπλακες στις κύριες εφαρμογές τους, όμως πρόκειται να διευρύνουν το εύρος των διαθέσιμων υλικών για κατασκευές επίπλων και άλλες κατασκευές εσωτερικών χώρων.

Λέξεις κλειδιά: Μικρής πυκνότητας ξυλόπλακες, μοριοπλάκες, MDF, κυψελωτό χαρτόνι, τεχνικές ιδιότητες, επιπλοποιία, οικοδομική.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΓΕΝΙΚΑ

Η πυκνότητα των ξυλόπλακών διαφόρων κατηγοριών ανάλογα με την πρώτη ύλη, τη συγκολλητική ουσία και τη δομή μπορεί να κυμαίνεται από 100 (ελαφρά ξυλόπλακα με μεσαία στρώση από κυψελωτό χαρτόνι και στρώσεις επιφανειών από μοριοπλάκα) έως 1300 Kg/m³ (εμποτισμένο με φαινολική κόλλα και συμπιεσμένο αντικολλητό) (Σχήμα 1).

Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι η πυκνότητα των ξυλόπλακών τύπου μοριοπλάκας και ινοπλάκας αυξήθηκε σταδιακά από το 1960. Έτσι λοιπόν η πυ-

κνότητά της κοινής μοριοπλάκας ενώ το 1958 ήταν 600 Kg/m³ το 1972 ανήλθε σε 720 Kg/m³. Τα αίτια που οδήγησαν στην αύξηση της πυκνότητας ήταν: αυξημένη συμμετοχή πρώτης ύλης από πλατύφυλλα είδη ξύλου, χρησιμοποίηση απορριμμάτων ξύλου και υπολειμμάτων άλλων κατεργασιών ξύλου, επικαλύψεις των επιφανειών με πλαστικά φύλλα ειδικών απαιτήσεων, ικανοποίηση αναγκών που απαιτούσαν συγκεκριμένες εφαρμογές.

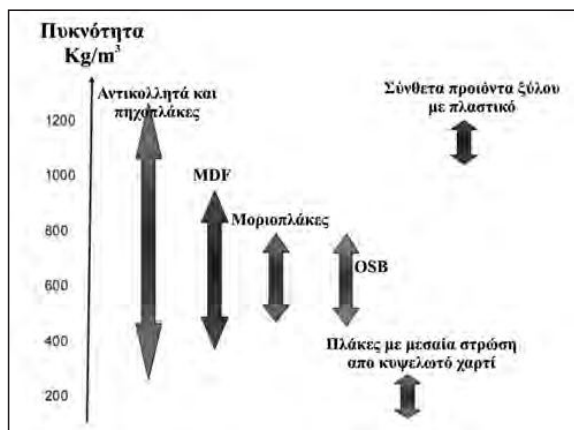
Ειδικότερα η χρήση ξύλου πλατυφύλλων ειδών και ξύλου απορριμμάτων υποδεέστερης ποιότητας

1. Καθηγητής, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Τομέας Συγκομιδής και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, Εργαστήριο Δασικής Τεχνολογίας, 541 24 – Θεσσαλονίκη, θυρίδα 243, τηλ.: 231 0992741, 231 0998893, fax : 231 0998947, e-mail: agrigori@for.auth.gr

2. Δόκιμος Ερευνητής. Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής έρευνας (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.), Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων (ΙΜΔΟ & ΤΔΠ), Εργαστήριο Ανατομίας και Τεχνολογίας Ξύλου, τέγμα Αλκμάνος, 115 28, Ιλίσια, Αθήνα, τηλ.: 210 7783750, fax: 210 7784602, e-mail: lykidis@fria.gr

Σχήμα 1: Εύρος πυκνοτήτων διαφόρων σύνθετων προϊόντων ξύλου (Michanickl 2004)

Figure 1: Density ranges of different wood based products (Michanickl 2004)



οδήγησαν αναπόφευκτα στην αύξηση της πυκνότητας των παραγομένων ξυλοπλακών προκειμένου να μην υποβαθμισθεί η ποιότητά τους. Επίσης η εμφάνιση στην αγορά ήδη από το 1970 ειδικού τύπου επικαλύψεων των επιφανειών των ξυλοπλακών με πλαστικά φύλλα είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση της πυκνότητας είτε των επιφανειακών στρώσεων, είτε της μεσαίας στρώσης των πλακών. Επί πλέον η χρήση ξυλοπλακών σε ειδικές εφαρμογές όπως π.χ. η κατασκευή πατωμάτων από ινοπλάκες (γνωστών ως λαμινέιτ) οδήγησε στην αύξηση της πυκνότητας των ινοπλακών μεταξύ 800 και 950 Kg/m³ (Kehr 1974, Clad 1982, Michanickl 2004).

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ολοένα μια σημαντική αύξηση του κόστους της πρώτης ύλης (ξύλου και κόλλας) αλλά και του ενεργειακού κόστους. Όπως είναι αυτονόητο αυτό οδηγεί με τη σειρά του σε αύξηση του κόστους των παραγομένων προϊόντων ξύλου και ειδικότερα των ξυλοπλακών. Μια δυνατότητα μείωσης του κόστους είναι η μείωση της πυκνότητας των προϊόντων ξύλου, δηλ. μείωση του ποσοστού συμμετοχής της πρώτης ύλης που απαιτείται για την παραγωγή τους. Η μείωση όμως της πυκνότητας των παραδοσιακών προϊόντων ξύλου όπως είναι π.χ. οι μοριοπλάκες, οι ινοπλάκες κ.ά. παράλληλα με τα οφέλη (μείωση κόστους πρώτης ύλης - μειωμένο βάρος - ευκολότερος χειρισμός - μειωμένο κόστος μεταφοράς) συνεπάγεται συνήθως υποβάθμιση ορισμένων ιδιοτήτων τους. Συνεπώς τα νέα σύνθετα προϊόντα μικρής πυκνότητας για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις των διαφόρων εφαρμογών για τις οποίες

προορίζονται πρέπει να έχουν διαφορετική δομή στην οποία πιθανόν να συμμετέχουν κι άλλες κατηγορίες πρώτων υλών εκτός του ξύλου και να απαιτούνται είτε νέες, είτε τροποποιημένες τεχνικές παραγωγής σε σύγκριση με τα κλασικά προϊόντα ξύλου.

Η εμφάνιση σύνθετων προϊόντων ξύλου μικρής πυκνότητας είναι τόσο παλαιά όσο και των κλασικών σύνθετων προϊόντων κανονικής πυκνότητας. Έτσι π.χ. η μονωτική (μικρού ειδικού βάρους) ινοπλάκα ξύλου εμφανίσθηκε στις ΗΠΑ περί το 1915 και η διάτρητη μοριοπλάκα ωθήσεως στην Ευρώπη στα τέλη της δεκαετίας του 1940 (Klauditz et al. 1958, Michanickl 2004).

Αν και δεν υπάρχει καθιερωμένος ορισμός για προϊόντα ξύλου όπως είναι οι «ξυλοπλάκες μικρής πυκνότητας» συνήθως γνωστές ως «ελαφρές ξυλοπλάκες» (light wood boards) τα προϊόντα αυτής της κατηγορίας έχουν πυκνότητα ≤ 450 Kg/m³. Βέβαια ανάλογα με τη δομή, τα υλικά παραγωγής και το συνολικό πάχος η πυκνότητα των ελαφρών πλακών ξύλου μπορεί να κατέλθει και στα 100 Kg/m³. Έτσι π.χ. ελαφρά ξυλοπλάκα πάχους 50 mm με μεσαία στρώση από κυψελωτό χαρτόνι διάμετρου κυψελών 21 mm και στρώσεις επιφανειών από μικρού πάχους μοριοπλάκα εμφανίζει πυκνότητα περίπου 110 Kg/m³. Η ίδια ξυλοπλάκα με την ίδια δομή αλλά με πάχος 22 mm εμφανίζει πυκνότητα 230 Kg/m³. Από τα ανωτέρω είναι προφανής η συμμετοχή της μεσαίας στρώσης στην πυκνότητα του τελικού προϊόντος.

2. Κίνητρα παραγωγής μικρής πυκνότητας (ελαφρών) ξυλοπλακών

Τα αίτια προώθησης της παραγωγής ελαφρών ξυλοπλακών είναι πολλαπλά. Όπως προαναφέρθηκε, ένα κίνητρο είναι η μείωση της απαιτούμενης πρώτης ύλης. Βέβαια αυτό δεν προεξοφλεί πάντοτε χαμηλότερο κόστος στο τελικό προϊόν διότι σε πολλές περιπτώσεις οι ελαφρές ξυλοπλάκες απαιτούν μειωμένη ποσότητα αλλά καλύτερη ποιότητα πρώτης ύλης.

Ένα άλλο κίνητρο είναι η παραγωγή ελαφρών ξυλοπλακών για χρήση ως μονωτικού υλικού. Ελαφρές ινοπλάκες ξύλου (γνωστές ως πορώδεις) παραγόμενες με την υγρή μέθοδο είναι γνωστά μονωτικά υλικά εδώ και 90 χρόνια. Πρόσφατα μάλιστα δίνεται έμφαση στη χρήση μικρής πυκνότητας μονωτικών ινοπλακών (πυκνότητα έως και 150 Kg/m³) παραγομένων με τη ξηρή μέθοδο διότι πλεονεκτούν ως οικολογικά δηλ. πιο φιλικά στο περιβάλλον (αποφεύγεται η κατανάλωση - ρύπανση νερού κατά την παραγωγή τους) υλικά.

Ένα άλλο κίνητρο είναι το βάρος και ο χειρισμός – συναρμολόγηση επίπλων που προσφέρονται στον καταναλωτή από πολυκαταστήματα. Στην περίπτωση αυτή όπως είναι ευνόητο η κατασκευή τέτοιων επίπλων από ελαφρές ξυλοπλάκες πλεονεκτεί από πολλές απόψεις.

Ένας σημαντικός χώρος εφαρμογής των ελαφρών ξυλοπλακών είναι η χρήση τους ως κατασκευαστικών υλικών στους εσωτερικούς χώρους πλοίων. Λόγω του μικρού βάρους τα υλικά αυτά πλεονεκτούν έναντι άλλων διότι επιτρέπουν στα πλοία να αυξήσουν την ταχύτητά τους και να μειώσουν την κατανάλωση καυσίμων (Michanickl 2004, Gassen 2006).

Το κόστος μεταφοράς αποτελεί επίσης ένα ισχυρό κίνητρο για παραγωγή ελαφρών ξυλοπλακών διότι συμμετέχει στο τελικό κόστος του επίπλου. Το κόστος μεταφοράς επιβαρύνει το κόστος του τελικού προϊόντος (επίπλου), πρώτον κατά τη μεταφορά των ξυλοπλακών από το εργοστάσιο παραγωγής τους στο εργοστάσιο κατασκευής επίπλων και δεύτερο κατά τη μεταφορά των επίπλων στους χώρους εγκατάστασης του καταναλωτή.

3. Κατηγορίες ξυλοπλακών μικρής πυκνότητας

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες ξυλοπλακών μικρής πυκνότητας. Η φύση μας προσφέρει πολλά παραδείγματα και μπορεί να μας καθοδηγήσει στην κατασκευή πλακών μικρής ή μεγάλης πυκνότητας. Έτσι π.χ. οι κυψελίδες των μελισσών και άλλων εντόμων αποτελούν ένα παράδειγμα ελαφρής κατασκευής με καλή μηχανική αντοχή. Παρόμοιες ιδιότητες έχουν τα στελέχη του καλαμιού, των δημητριακών, της ινδικής καλάμου (μπαμπού) κ.ά. Επί πλέον υπάρχουν και ορισμένα

Σχήμα 2: Εσωτερική δομή θαλάσσιου φύκους από τη Χιλή (Michanickl 2004)

Figure 2: Inner structure of seaweed from Chile (Michanickl 2004)



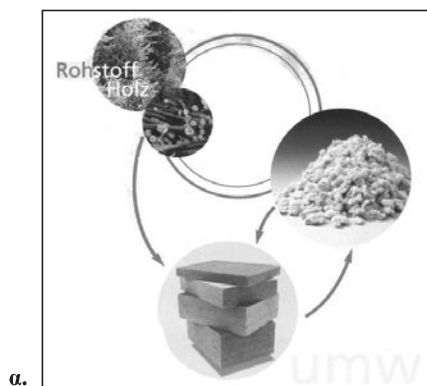
δασικά είδη π.χ. το *Ochroma lagopus* (Balsa) όπως και διάφορα είδη κάκτου με μικρή πυκνότητα λόγω του μεγάλου ποσοστού των πόρων που διαθέτουν. Τέλος αξιοθαύμαστα παραδείγματα ελαφρών κατασκευών της φύσης αποτελεί η δομή ορισμένων κατηγοριών θαλασσιών φυκιών (Σχήμα 2) (Michanickl 2004).

3.1. Ελαφρές ξυλοπλάκες ως μονωτικά υλικά.

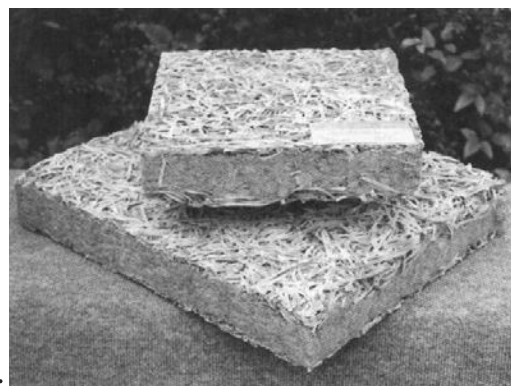
Το πρώτο ήμισυ του περασμένου αιώνα η χρήση μονωτικών υλικών από ινοπλάκες μικρής πυκνότητας – πορώδεις ινοπλάκες (παραγωγή με υγρή μέθοδο) αφ' ενός και αφ' ετέρου από ξυλοπλάκες κατασκευασμένες από ξυλέριο ή ίνες ξύλου και συγκολλημένες με ανόργανες συγκολλητικές ουσίες (μαγνησία, τσιμέντο, γύψο) ήταν ευρέως διαδεδομένη. Όμως με την εξέλιξη της τεχνολογίας των πλαστικών και την εμφάνιση στην αγορά νέων μονωτικών υλικών από πολυουρεθάνη, πολυστυρένιο,

Σχήμα 3: α. Μονωτική ινοπλάκα (Steinmann & Co GmbH 2000), β. Μονωτικές ξυλοπλάκες με ξυλέριο και ανόργανη συγκολλητική ουσία (Deutsche Bundesstiftung Umwelt 1999)

Figure 3: α. Insulating fiberboard (Steinmann & Co GmbH 2000), β. Inorganic bonded insulating boards made of wood wool (Deutsche Bundesstiftung Umwelt 1999)

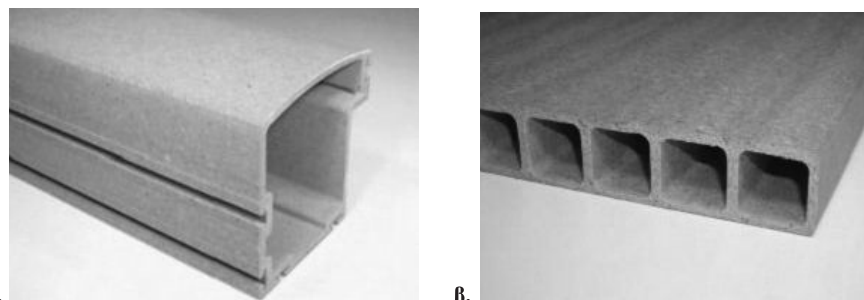


α.



β.

Σχήμα 4: α. Τμήμα επίπλου, β. διάτρητη πλάκα κατασκευασμένη από μίξη ξύλου και θερμοπλαστικού (Michanickl 2004)
Figure 4: α. Furniture element, β. Board of tubes made from wood and thermoplastic material (Michanickl 2004)



υαλοβάμβακα, πολυεστέρα κ.ά. η χρήση των ελαφρών μονωτικών ξυλοπλακών μειώθηκε σημαντικά.

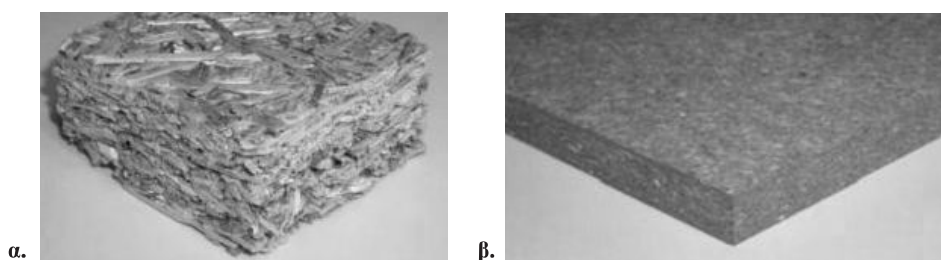
Τα τελευταία όμως χρόνια η ολοένα και μεγαλύτερη ευαισθησία των καταναλωτών σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος αλλά και η ενεργοποίησή τους στην κατεύθυνση χρήσης οικολογικών υλικών με τη μικρότερη δυνατή ρύπανση των εσωτερικών χώρων δίνει νέα ώθηση στην επανεμφάνιση και προτίμηση ελαφρών ξυλοπλακών. Πρόκειται για μονωτικές ξυλοπλάκες από ίνες ξύλου (ινοπλάκες παραγόμενες με την ξηρή μέθοδο) και ελαφρές ξυλοπλάκες με ανόργανες συγκολλητικές ουσίες που βρίσκουν εφαρμογές ως μονωτικά υλικά στην οικοδομική (μόνωση τοίχων, οροφών, στεγών) και εκτοπίζουν σε πολλές περιπτώσεις τα αφρώδη πλαστικά (Σχήματα 3α και 3β).

Τα κύρια πλεονεκτήματα των μονωτικών ξυλο-

πλακών έναντι των αντίστοιχων πολυμερικών είναι τα εξής: παράγονται από διαρκώς ανανεούμενες φυσικές πρώτες ύλες (ξύλο), είναι βιοαποικοδομήσιμα, ευκολότερο ανακυκλώσιμα, ουσιαστικά δεν ρυπαίνουν τους εσωτερικούς χώρους. Μια νέα εξέλιξη αποτελεί η εμφάνιση στην αγορά νέου τύπου σύνθετων μονωτικών πλακών διάτρητων κατασκευασμένων από ξύλο και πλαστικό (Σχήμα 4).

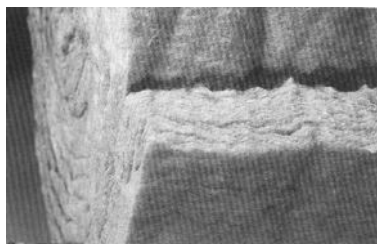
Εκτός των παραπάνω ελαφρές ξυλοπλάκες ως μονωτικά υλικά μπορούν να παραχθούν από λιγνινοκυτταρινικά υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών όπως στελεχών βαμβακιού, αχύρου κ.ά. (CMA 1997, Deutsche Bundesstiftung Umwelt 1999, Steinmann & Co. GmbH 2000, Dunky και Niemz 2003, Michanickl 2004, www.heraklith.com) και χρήση κατάλληλων συγκολλητικών ουσιών (Σχήματα 5α, 5β και 6).

Σχήμα 5: α. Ελαφρή μονωτική πλάκα από στελέχη βαμβακιού, β. Ελαφρή πλάκα από άχυρο (Michanickl 2004)
Figure 5: α. Light board made of cotton stalks, β. Light board made of straw (Michanickl 2004)



Σχήμα 6: Μονωτικό υλικό από ίνες λιναριού (CMA 1997)

Figure 6: Insulating material made of flax fibres (CMA 1997)

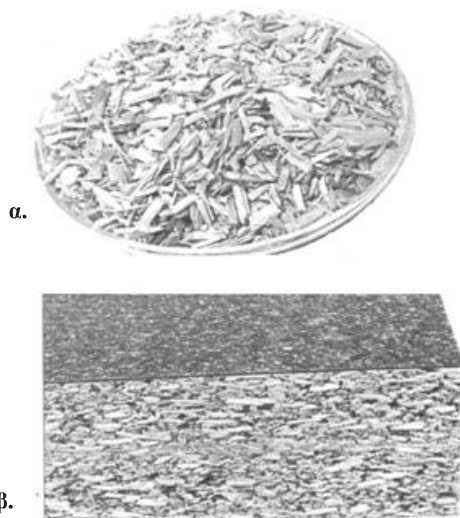


3.2. Ελαφρές ξυλοπλάκες από κλασικού τύπου σύνθετα προϊόντα ξύλου για ξυλοκατασκευές

Μια σημαντική δυνατότητα κατασκευής ελαφρών ξυλοπλακών τύπου μοριοπλακών προσφέρεται με λιγνινοκυτταρινικές πρώτες ύλες μικρής πυκνότητας από στελέχη γεωργικών φυτών. Ήδη είναι γεγονός η βιομηχανική παραγωγή μικρής πυκνότητας μοριοπλακών ($0,300-0,340 \text{ g/cm}^3$) από το σπογγώδη πυρήνα των στελεχών (μετά την αφαίρεση των ινών) των φυτών της κάνναβης και του λιναριού. Συνήθως οι ξυλοπλάκες αυτές επικαλύπτονται αμφίπλευρα με πλαστικοποιημένα φύλλα χαρτιού ή κατάλληλα ξυλόφυλλα (Theis και Grohe 2002, Anonymous 2006, Gahle 2007) (Σχήματα 7a και 7b).

Σχήμα 7: α. Ξυλοτεμαχίδια καννάβης, β. ελαφρή ξυλοπλάκα από ξυλοτεμαχίδια καννάβης επικαλυμμένη με πλαστικά φύλλα (Gahle 2007)

Figure 7: α. Wood particles from hemp, β. Light board made of hemp particles and coated with plastic laminates (Gahle 2007)



Μια άλλη ξυλοπλάκα μικρής πυκνότητας είναι η διάτρητη μοριοπλάκα παραγόμενη με τη διαδικασία της εξώθησης (extrusion) η οποία έχει εμφανισθεί στην αγορά από τη δεκαετία του 50 (Σχήμα 8) (Michanickl 2004). Η ξυλοπλάκα αυτή βρΐσκει εφαρμογή στην επιπλοποιΐα και άλλες κατασκευές εσωτερικών χώρων και η πυκνότητα όταν είναι διάτρητη ανάλογα με το πάχος της (μειώνεται με αύξηση του πάχους) μπορεί να κατέλθει έως τα 200 Kg/m^3 (Deppe και Ernst 2000, Michanickl 2004, Anonymous 2006a).

Σχήμα 8: Διάτρητη μοριοπλάκα τύπου ωθήσεως (Michanickl 2004)

Figure 8: Extrusion pressed particleboard with tubes (Michanickl 2004)



Όσον αφορά τις ινοπλάκες που παράγονται με τη ξηρή μέθοδο τύπου MDF έχουν δοκιμασθεί με επιτυχία διάφορες τεχνικές μείωσης της πυκνότητάς τους. Μια τεχνική χρησιμοποιεί κατάλληλες συνθήκες συμπίεσης ώστε να παρουσιάζει ηξημένη πυκνότητα στις επιφανειακές στρώσεις και μειωμένη στην εσωτερική στρώση. Με την τεχνική αυτή είναι εφικτή η παραγωγή ινοπλακών με πυκνότητα έως και 600 Kg/m^3 κατάλληλης για τη χρήση τους ως κατασκευαστικών υλικών σε εσωτερικούς χώρους (Barbu και Resch 1997, Sturgeon και Lau 1992). Μια άλλη τεχνική κάνει χρήση πρώτης ύλης ξύλου χαμηλής πυκνότητας π.χ. από την ταχουαξή πεύκη της *Pinus radiata* με πυκνότητα $300-400 \text{ Kg/m}^3$ προκειμένου να μειώσει την πυκνότητα των παραγομένων ινοπλακών (Niemz et. al. 1996).

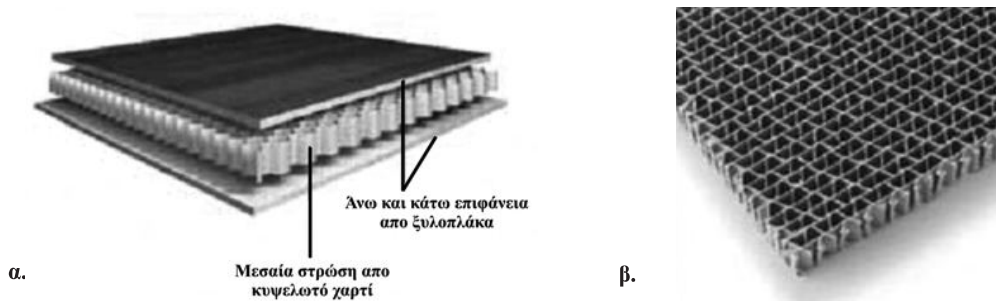
Σε κλασικού τύπου προϊόντα ξύλου όπως είναι τα αντικολητά και οι πηχοπλάκες είναι εφικτή η μείωση της πυκνότητάς τους με χρήση ειδών ξύλου μικρής πυκνότητας. Έτσι π.χ. η πυκνότητα των πηχοπλακών μπορεί να μειωθεί περαιτέρω με χρήση ξύλου λεύκης όπως εφαρμόζεται στην Ιταλία και Ρουμανία. Ελαφρές ξυλοπλάκες για διάφορες χρήσεις μπορούν να παραχθούν με μεσαία στρώση από μικρής πυκνότητας τροπικά είδη ξύλου όπως το *Ochroma lagoonis* (balsa), το *Ceiba petandra*, το *Albizia falciata* κ.ά. τα οποία είναι ταχουαξή και μπορούν να παραχθούν σε φυτείες (Michanickl 2004, Anonymous 2006β).

3.3. Μικρής πυκνότητας ξυλοπλάκες με κυψελωτό χαρτόνι στη μεσαία στρώση

Τα τελευταία χρόνια έχει εμφανισθεί στην αγορά κυρίως της μέσης Ευρώπης ένα νέο προϊόν ξυλοπλάκας μικρής πυκνότητας. Η νέου τύπου ελαφρή

Σχήμα 9: α. Ελαφρή ξυλοπλάκα με μεσαία στρώση κυψελωτό χαρτόνι (Riepertinger 2007), β. Μεσαία στρώση ελαφρής ξυλοπλάκας από κυψελωτό χαρτόνι (Rehau 2006)

Figure 9: α. Lightweight wood board with core made of corrugated honeycomb paper (Riepertinger 2007), β. Corrugated honeycomb paper for the core layer of lightweight board (Rehau 2006)



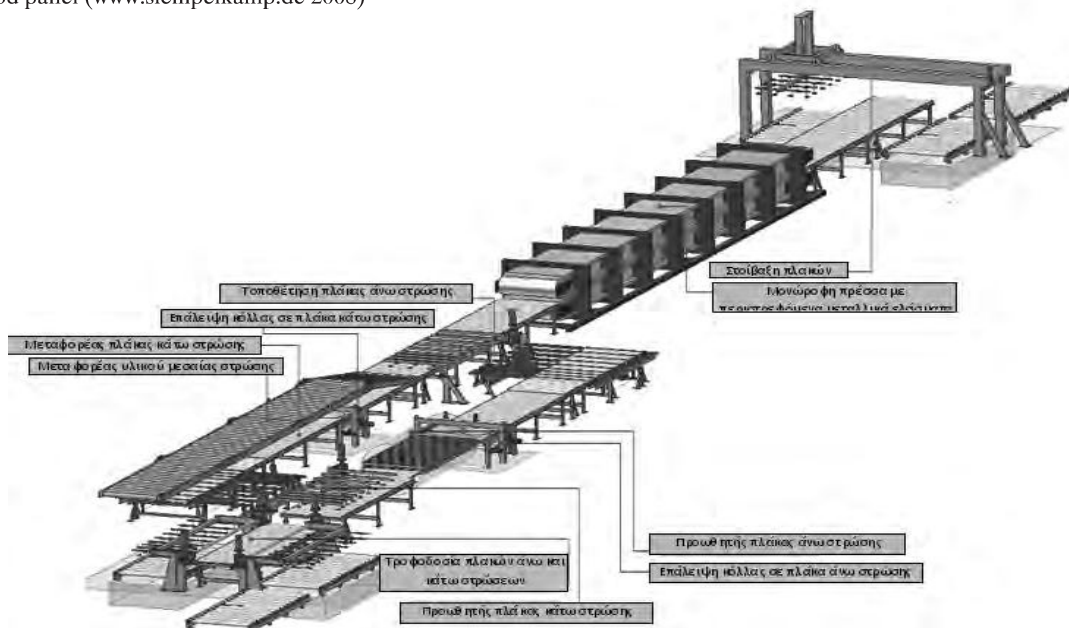
Ξυλοπλάκα έχει μεσαία στρώση κυψελωτής δομής από χαρτί ή κυματοειδές χαρτόνι, η οποία άνω και κάτω φέρει επιφανειακές στρώσεις κατασκευασμένες από λεπτή μοριοπλάκα, MDF ή άλλη μικρού πάχους πλάκα (Σχήμα 9α, β).

Η παραγωγή του προϊόντος γίνεται ήδη σε βιομηχανική κλίμακα και με συνεχή ροή παραγωγής (Σχήμα 10). Η πρώτη φάση παραγωγής περιλαμβάνει την κατασκευή της κυψελωτής μεσαίας στρώσης από χαρτόνι ή κυματοειδές χαρτόνι (Σχήμα 9β). Το

πλάτος των κυψελίδων μπορεί να κυμαίνεται από 10 έως 40 mm και το ύψος τους από 10 έως 90 mm. Η μεσαία στρώση μετά την παραγωγή της υποβάλλεται σε ειδικό χειρισμό συμπίεσης και έκθεσης σε θερμό αέρα, ώστε να μειωθούν πιθανές διαστασιακές μεταβολές της. Για τη συγκόλληση της μεσαίας με τις 2 επιφανειακές στρώσεις, το πάχος των οποίων συνήθως κυμαίνεται από 3 έως 10 mm, χρησιμοποιείται κόλλα ουρίας-φορμαλδεϋδης ή συνηθέστερα κόλλα πολυουρεθάνης δύο συστατικών η οποία σκληρύνε-

Σχήμα 10: Ροή παραγωγής ελαφρής ξυλοπλάκας με μεσαία στρώση κυψελωτό χαρτόνι και επιφανειακές στρώσεις από λεπτή ξυλοπλάκα (www.siempelkamp.de 2008)

Figure 10: Production line of lightweight wood board with core made of corrugated honeycomb paper and faces of thin wood panel (www.siempelkamp.de 2008)



ται σε θερμοκρασία 20 ± 5 °C. Προτιμάται η θερμοπλαστική πολυουρεθάνη διότι με την απουσία νερού (σε σύγκριση με την ουρία-φορμαλδεΐδη) αποφεύγεται η διόγκωση των στρώσεων της ξυλοπλάκας. Η κόλλα ψεκάζεται ή επαλείφεται στην άνω επιφάνεια της κάτω επιφανειακής στρώσης σε ποσοστό 80-150 g/m² και στη συνέχεια επ' αυτής τοποθετείται η μεσαία στρώση από κυψελωτό χαρτόνι. Ακολουθεί η επάλειψη με κόλλα της κάτω επιφάνειας της άνω στρώσης και συγκόλλησή της με την άνω επιφάνεια της μεσαίας στρώσης. Μετά τη συναρμολόγηση των τριών στρώσεων η ξυλοπλάκα διέρχεται από συνεχούς τύπου μονώροφη πρέσα μήκους από 15 έως 34 m και πλάτος από 1,3 έως 2,5 m. Στη περίπτωση της συγκόλλησης με πολυουρεθάνη η σκλήρυνση επιτυγχάνεται σε περίπου 3-4 min. Η άνω και κάτω πλάκα της μονώροφης πρέσας απαρτίζονται από αρθρωτές πλάκες αλουμινίου και περιστρέφονται με τη βοήθεια τυμπάνων που είναι τοποθετημένα στα δύο άκρα της πρέσας (Anonymous 2007) (Σχήμα 11). Πρέσα του τύπου αυτού με μήκος 34 m και ταχύτητα 13,5 m/min έχει δυναμικότητα παραγωγής 34000 m² ελαφρών πλακών ημερησίως. Επί πλέον η συγκόλληση – συμπίεση των στρώσεων μπορεί να γίνει και σε πολυώροφες πρέσες. Μετά την έξοδο από την πρέσα και τη σκλήρυνση της συγκολλητικής ουσίας οι ξυλοπλάκες παρυφώνονται, διαμορφώνονται

Σχήμα 11: Συνεχούς τύπου πρέσα παραγωγής ελαφρών ξυλοπλακών με μεταλλικές πλάκες από πλαίσια αλουμινίου (www.siempelkamp.de 2008)

Figure 11: Continuous press with metallic plates made of aluminum elements for the production of lightweight wood boards (www.siempelkamp.de 2008)

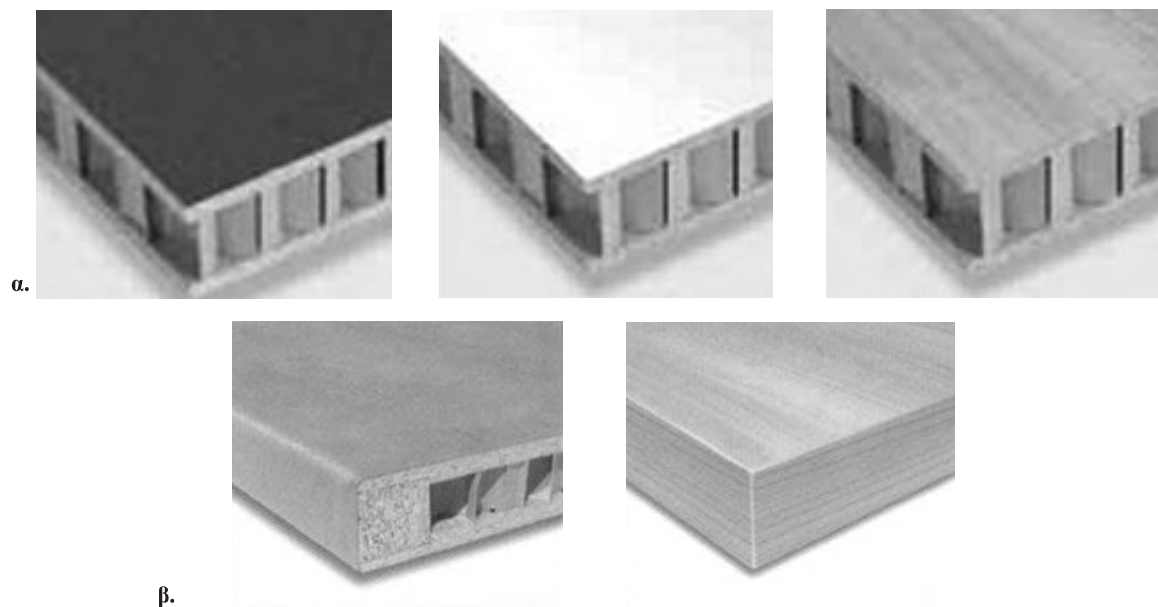


σε τελικές επιθυμητές διαστάσεις και στοιβάζονται (Riepertinger 2007, www.siempelkamp.de 2008).

Το πάχος των πλακών κυμαίνεται από 16 έως 100 mm. Αξιοσημείωτο είναι ότι μια πλάκα πάχους 20 mm παρουσιάζει μειωμένο βάρος κατά 20% και μια πλάκα 80 mm μειωμένο βάρος κατά 80% σε σύγκριση με του κλασσικού τύπου ξυλοπλάκες. Οι επιφάνειες (άνω, κάτω και οι εγκάρσιες) των ελαφρών ξυλοπλακών μπορούν να υποστούν βελτιωτικές επεξεργασίες επικάλυψης με ξυλόφυλλα, πλαστικά φύλλα, επιχρίσματα κ.ά. (Σχήμα 12a και b).

Σχήμα 12: Διάφορες επικαλύψεις ελαφρών ξυλοπλακών α. των άνω επιφανειών, β. των εγκάρσιων διατομών (σόκορα) (Riepertinger 2007)

Figure 12: Various coatings of lightweight wood boards, α. upper faces, β. edges (Riepertinger 2007)

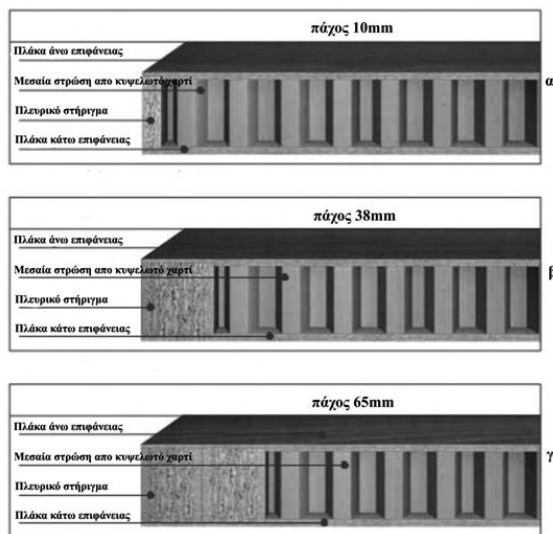


Εφ' όσον είναι αναγκαίο και ανάλογο με τη χρήση που προορίζονται – συνήθως σε πλάκες με μικρού πάχους επιφανειακές στρώσεις – στις εγκάρσιες διατομές τοποθετούνται στηρίγματα διαφόρου πλάτους για ενίσχυση της μηχανικής αντοχής (Σχήμα 13). Προς τούτο διανοίγονται κατάλληλου μεγέθους εγκοπές στην άνω και κάτω επιφανειακή στρώση όπου στερεώνονται με συγκόλληση τα πλευρικά στηρίγματα. Σύμφωνα με μια νεώτερη τεχνική η αύξηση της μηχανικής αντοχής της ξυλοπλάκας μπορεί να επιτευχθεί με πλαστικούς πείρους (περόνες) που τοποθετούνται με συγκόλληση μεταξύ της άνω και κάτω επιφανειακής στρώσης (Σχήμα 14) (Rehau 2006, Anonymus 2007, Riepertinger 2007, Sam-Brew et. al. 2010).

Οι ελαφρές ξυλοπλάκες με κυψελωτό χαρτόνι στη μεσαία στρώση κατεργάζονται εύκολα με κοπτικά μηχανήματα, στερεώνονται –συνδέονται με μεταλλικές ή πλαστικές συνδέσεις με άλλες επιφάνειες (μεντεσέδες κ.ά.) όπως οι συμβατικές ξυλοπλάκες. Οι ξυλοπλάκες αυτές λόγω της μικρής πυκνότητας έχουν εξαιρετικές ηχομονωτικές και θερμομονωτικές ιδιότητες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά για οποιαδήποτε επιφάνεια ξυλοκατασκευής ή επίπλου εσωτερικών χώρων, στις οποίες απαιτούνται καλή μηχανική αντοχή και σταθερότητα σε συνδυα-

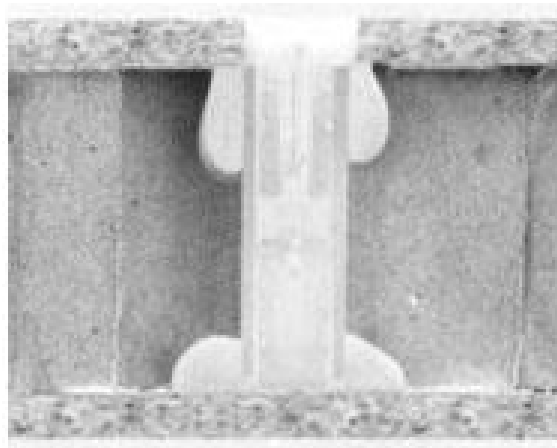
Σχήμα 13: Ελαφρές ξυλοπλάκες με μεσαία στρώση κυψελωτό χαρτόνι και στηρίγματα εγκάρσιων διατομών α. πλάτους 5mm, β. πλάτους 30mm και γ. πλάτους 50mm (Riepertinger 2007)

Figure 13: Lightweight wood boards with core of corrugated honeycomb paper and edge supports. Width: α. 5mm, β. 30mm, γ. 50mm (Riepertinger 2007)



Σχήμα 14: Πλαστική περόνη σύνδεσης με συγκόλληση της άνω και κάτω πλάκας σε ελαφρή ξυλοπλάκα με μεσαία στρώση από κυψελωτό χαρτόνι (Riepertinger 2007)

Figure 14: Plastic pin joining by gluing the upper and lower faces of lightweight wood boards made of corrugated honeycomb paper (Riepertinger 2007)



σμό με μικρό βάρος (Βασιλείου και Μπαριμπούτης 2005, Anonymus 2007, Riepertinger 2007).

Όσο αφορά τις τεχνικές ιδιότητες των ελαφρών ξυλοπλακών αυτές μπορεί να επηρεάζονται από τις ακόλουθες παραμέτρους:

- πάχος και τύπος πλακών εξωτερικών στρώσεων.
- πάχος μεσαίας στρώσης από κυψελωτό χαρτόνι.
- διάμετρος κυψελίδων μεσαίας στρώσης.
- βάρος και τύπος χαρτονιού των κυψελίδων.
- συνολικό – τελικό πάχος ξυλοπλάκας.
- είδος συγκολλητικής ουσίας (πολυουρεθάνη ή ουρία-φορμαλδεΰδη).
- βαθμός παραμόρφωσης της μεσαίας στρώσης μετά τη συμπίεση-συγκόλληση των τριών στρώσεων στην πρέσα.
- τεχνολογία παραγωγής.

Από τον Πίνακα I και το Σχήμα 15 είναι εμφανές ότι η πυκνότητα της ξυλοπλάκας μειώνεται όσο μειώνεται το πάχος των πλακών των επιφανειακών στρώσεων και αυξάνεται το συνολικό πάχος (Riepertinger 2007).

Στον Πίνακα II παρουσιάζεται η επίδραση διαφόρων παραμέτρων σε ορισμένες τεχνικές ιδιότητες ελαφρών ξυλοπλακών με μεσαία στρώση κυψελωτό χαρτόνι σε αντιπαράθεση με τις τεχνικές ιδιότητες κοινών πηλοπλακών με μεσαία στρώση από δύο διαφορετικά δασικά είδη (Michanickl 2004).

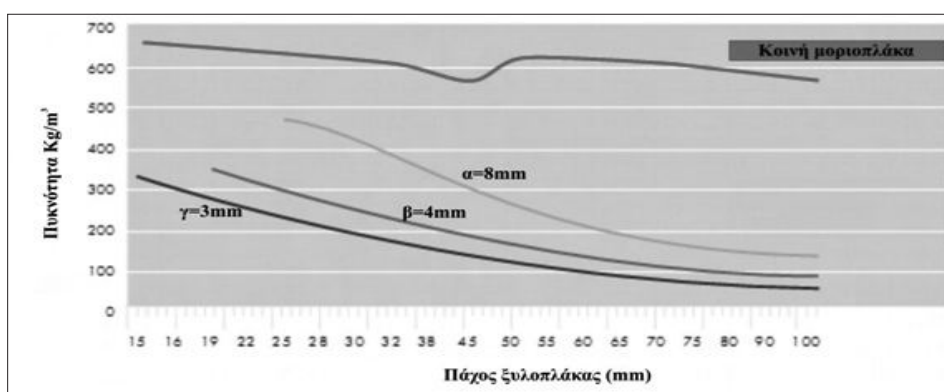
Πίνακας Ι. Επίδραση του πάχους των πλακών των επιφανειακών στρώσεων και του συνολικού πάχους ελαφρών ξυλοπλακών με μεσαία στρώση κυψελωτό χαρτόνι στην τελική τους πυκνότητα σε αντιπαράθεση με την πυκνότητα συμβατικών μοριοπλακών (Riepertinger, 2007).

Table I. The influence of the surface board thickness and the overall thickness of lightweight wood boards made with core of corrugated honeycomb paper on their final density in comparison to the original particleboard density

Συνολικό πάχος (mm)	Πάχος Μοριοπλακών Επιφανειακών Στρώσεων			Πυκνότητα κοινής μοριοπλάκας (Kg/m ³)
	3mm	4mm	8mm	
	Πυκνότητα (Kg/m ³)			
19	274	346	-	650
22	240	303	478	640
25	215	270	430	630
30	184	230	404	615
38	152	188	325	595
45	133	164	279	580
50	123	150	254	570
60	167	130	217	-
70	96	116	190	-
80	88	105	170	-
90	82	97	155	-
100	77	90	142	-

Σχήμα 15: Μεταβολή πυκνότητας ελαφρών ξυλοπλακών με μεσαία στρώση από κυψελωτό χαρτόνι σε σχέση με το συνολικό πάχος και το πάχος των μοριοπλακών (α. 8mm, β. 4mm, γ. 3mm) που απαρτίζουν την άνω και κάτω επιφανειακή στρώση. (Riepertinger 2007)

Figure 15: Density changes of lightweight wood boards with core of corrugated honeycomb paper in relation to the overall thickness and the face layer thickness (α. 8mm, β. 4mm, γ. 3mm) (Riepertinger 2007)



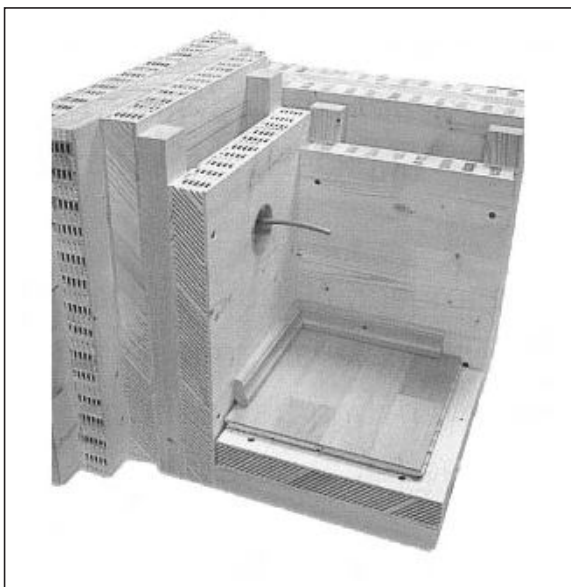
Πίνακας ΙΙ. Ιδιότητες ελαφρών ξυλοπλακών με μεσαία στρώση κυψελωτό χαρτόνι και πηχοπλακών με μεσαία στρώση από δύο διαφορετικά είδη ξύλου (Michanicki 2004)

Table II. Properties of lightweight wood boards with core of corrugated honeycomb paper and blockboards with core of two different wood species (Michanicki 2004)

	Ξυλοπλάκα με μεσαία στρώση από κυψελωτό χαρτόνι		Πηχοπλάκα	
	κυψελωτό χαρτόνι	κυψελωτό χαρτόνι	Ceiba petandra (τροπικό δασικό είδος)	Picea abies
Τύπος μεσαίας στρώσης	κυψελωτό χαρτόνι	κυψελωτό χαρτόνι		
Διάμετρος κυψελίδων	21 mm	40 mm		
Βάρος χαρτονιού	140 g/m ²	170 g/m ²		
Τύπος πλακών εξωτερικών στρώσεων	Ινοπλάκα μεγάλης πυκνότητας	Ινοπλάκα μεγάλης πυκνότητας	Ξυλόφυλλο	Ξυλόφυλλο
Συνολικό πάχος πλακών (mm)	34	34	19	19
Πυκνότητα (Kg/cm ³)	155	145	280	465
Αντοχή σε στατική κάμψη (N/mm ²)				
- Μέτρο θραύσης	2,7	0,9	21/13	50/15
- Μέτρο ελαστικότητας	760	408	3600/1900	6000/1500
Αντοχή σε εγκάρσιο εφελκυσμό (N/mm ²)	0,07	0,02	0,4	1,5

Σχήμα 16: Ελαφρές ξυλοπλάκες τύπου dendrolight (www.dendrolight.com 2009)

Figure 16: Lightweight wood panels commercially known as “dendrolight” (www.dendrolight.com 2009)



3.4. Ελαφρές ξυλοπλάκες από συμπαγές ξύλο με εγχοπές

Ένα ακόμη νέο ελαφρύ προϊόν ξύλου με την ονομασία dendrolight (ελαφρύ δένδρο) παράγεται από την αυστριακή εταιρεία DendroSolutions GmbH. Πρόκειται για τριόστρωμη πλάκα της οποίας η μεσαία στρώση κατασκευάζεται από συμπαγές ξύλο, το οποίο φέρει σε ορισμένες αποστάσεις εγχοπές (Σχήμα 16). Ως συμπαγές ξύλο μπορεί να αξιοποιηθεί είτε ολόκληρος ο κορμός του δένδρου ή τα πλευρικά καμπύλα τμήματα του κορμού και τα εξακρίδια που προκύπτουν ως υπολείμματα κατά την παραγωγή πριστής ξυλείας. Στη δεύτερη περίπτωση από μικρής αξίας υπολείμματα παράγεται ένα προϊόν με υψηλότερη προστιθέμενη αξία. Τα υπολείμματα που προκύπτουν κατά τη διάνοιξη των εγχοπών π.χ. πριονίδια, μπορούν να αξιοποιηθούν ως πρώτη ύλη στη παραγωγή μοριοπλακών ή μπρικετών. Το ξύλο μπορεί να προέρχεται από κωνοφόρα ή πλατύφυλλα είδη με προτίμηση στα ομοιογενούς δομής κωνοφόρα όπως είναι π.χ. η ελάτη και ερυθρελάτη. Η άνω και κάτω στρώση του προϊόντος μπορεί να αποτελείται από συμπαγές ξύλο, μοριοπλάκα, ινοπλάκα, αντικολλητό, συνθετικό πολυμερές ή και μέταλλο, γεγονός που διευρύνει τους τομείς εφαρμογών του προϊόντος.

Αποτέλεσμα της αφαίρεσης υλικού είναι η δραστι-

κή μείωση της πυκνότητας σε σχέση με την αρχική του συμπαγούς ξύλου (Follrich και άλλοι 2006). Η πυκνότητα του dendrolight κυμαίνεται από 250 έως 300 kg/m³ (δηλαδή 50 έως 60% ελαφρύτερο από συμπαγές ξύλο ελάτης) με αποτέλεσμα τη βελτιωμένη θερμοκή μόνωση. Επιπλέον πλεονέκτημα του εν λόγω προϊόντος είναι η μειωμένη χρήση συγκολλητικής ουσίας (<4%).

Το προϊόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δομικό υλικό στις ακόλουθες κατασκευές:

Επιπλοποιία, κατασκευές εσωτερικών χώρων (πόρτες, δάπεδα, τοιχοποιία), κατασκευές οχημάτων και πλοίων, προκατασκευασμένες οικίες κ.ά. (Σχήμα 17).

Σχήμα 17: Οικιακή θύρα από ελαφρές ξυλοπλάκες τύπου dendrolight (www.dendrolight.com 2009)

Figure 17: House door made by dendrolight (www.dendrolight.com 2009)



Τα κύρια πλεονεκτήματα του προϊόντος στις ανωτέρω εφαρμογές είναι:

- Μικρό βάρος (περίπου 40% μειωμένο βάρος σε σύγκριση με τη μοριοπλάκα) γεγονός που μειώνει τα έξοδα μεταφοράς και διευκολύνει το χειρισμό του από τον πελάτη (do it yourself)
- Καλές θερμομονωτικές ιδιότητες.
- Καλή μηχανική αντοχή σε σχέση με την πυκνότητά του.

3.5. Άλλοι τύποι ελαφρών ξυλοπλακών

Εκτός από ελαφρές πλάκες με βάση 100% το ξύλο και τα προϊόντα του, υπάρχουν στην αγορά ελαφρές πλάκες κι από άλλα υλικά σε συνδυασμό ή μη με το ξύλο. Τέτοια παραδείγματα συνδυασμού ξύλου με άλλα υλικά είναι πλάκες με μεσαία στρώση από εμποτισμένες με κόλλα ίνες και επιφανειακές στρώσεις από πλαστικά φύλλα, πλάκες

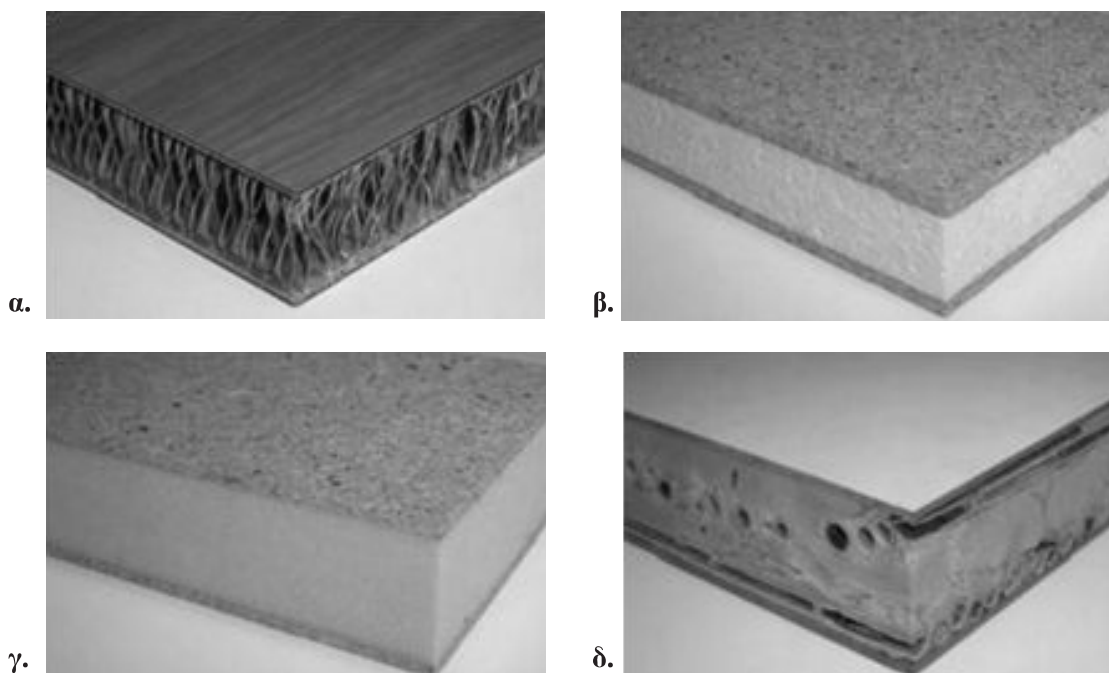
με μεσαία στρώση πολυστυρένιο και επιφανειακές στρώσεις από λεπτή μοριοπλάκα και πλάκες με μεσαία στρώση πολυουρεθάνη και επιφανειακές στρώσεις από λεπτή μοριοπλάκα (Σχήμα 18). Τέτοιοι τύποι ξυλοπλακών έχουν υψηλότερο κόστος πρώτων υλών και παραγωγής γι' αυτό χρησιμοποιούνται μόνο σε εξειδικευμένες χρήσεις (Michanickl 2004).

Σχήμα 18: Ελαφρές πλάκες από ξύλο και πολυμερή (Michanickl, 2004)

- α. στρώσεις άνω και κάτω επιφανειών από πλαστικά φύλλα και μεσαία στρώση από εμποτισμένες με κόλλα ίνες ξύλου
- β. στρώσεις άνω και κάτω επιφανειών από λεπτή μοριοπλάκα και μεσαία στρώση από πολυστυρένιο
- γ. στρώσεις άνω και κάτω επιφανειών από λεπτή μοριοπλάκα και μεσαία στρώση από πολυουρεθάνη
- δ. στρώσεις άνω και κάτω επιφανειών από σκληρή ινοπλάκα και μεσαία στρώση από καλάμι εμβαπτισμένο σε αφρώδη πολυουρεθάνη

Figure 18: Lightweight wood panels made of wood and polymers (Michanickl, 2004)

- α. Upper and lower faces made of plastic laminates and core of resinated fibers
- β. Upper and lower faces made of thin particleboard and core of polystyrene foam
- γ. Upper and lower faces made of thin particleboard and core of polyurethane foam
- δ. Upper and lower faces made of hard fiberboard and core of reed reinforced polyurethane foam



Ligh - low density wood based panels for the furniture and building industry

Athanasios Grigoriou¹, Charalampos Lykidis²

ABSTRACT

Over the last years, the use of light wood based panels and other lightweight wooden composites based on a natural, sustainable raw material -wood- have been gaining increasing interest as construction and insulation elements. Particularly, light panels made of two thin particleboard (or possibly MDF) faces, with a paper based honey-comb core layer have generated a lot of interest as they are for the first time produced in large quantities for the furniture industry. The main advantages of lightweight boards with honeycomb core are easy handling even of large components and reduced raw material and energy cost. Furthermore, various important technical uses such as hardware attachments, edgings and joinings will enhance the industrial use of this board in the furniture industry.

Nevertheless the range of low weight materials partly or totally produced of wood is very wide. Therefore such products are utilized in furniture and building industry. There are still a lot of challenges to improve the existing materials and their production techniques. Light wood based materials will not replace the classic wood based panels in their major application areas but they will widen the scope of materials available for the production of furniture, interior fitments and houses.

Key words: Low density wood panels, particleboard, MDF, honeycomp paper, technical properties, furniture, building industry.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anonymous, 2006α. Leichtbau: Keine ganz leichte Angelegenheit. Holz-Zentralblatt, Nr. 2: 49, 53.
- Anonymous, 2006β. Single-Möbel-leicht gemacht. Holz-Zentralblatt. Nr. 2: 54.
- Anonymous, 2007. From farming to furniture. The Eurolight innovation. Wood Based Panels International, Issue 2: 64-67.
- Barbu, M., Resch, H. 1997. MDF-Lightboards from selected european species. Proceedings of the 1st european panel products symposium Llandudno, Wales, UK: 175-186.
- Βασιλείου, Β., Παρμπούτης, Ι. 2005. Ελαφρές κυψελοτές πλάκες – ένα νέο προϊόν για την επιπλοποιία και ξυλουργική. Πρακτικά 12^ο Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου. «Δάσος και Νερό – Προστασία Φυσικού Περιβάλλοντος», 2-5/10/2005, Δράμα: 327-335.
- Clad, W. 1982. Die Rohdichtesenkung bei Spanplatten. Eine Literaturübersicht. Holz Roh-Werkstoff: 387-393.
- CMA, 1997. Dämmstoffe aus der heimischen Natur. Zentrale Marketing-Gesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft mbH, Bonn, Germany, pp. 48.
- Deppe, H-J., Ernst, K. 2000. Taschenbuch der Spanplattentechnik DRW-Verlag. Germany. Deutsche Stiftung Umwelt, 1999. Dämmstoffplatten aus nachwachsenden Rohstoffen.
- Dunky, M., Niemz, P. 2002. Holzwerkstoffe und Leime. Technologie und Einflussfaktoren. Springer Verlag.
- Foltrich J., Berger J., Frybort S., Teischinger A. Mueller U., 2006. Dendrolight ® - An innovative wood based light weight panel. Conference co-organised by COST E44 and E49 June 12-14, 2006 at AIDIMA Valencia - Spain, pp. 105-112
- Gahle, C. 2007. Flachs-und Hanfschäben-Alternative im Leichtbau. Holzwerkstoffindustrie zeigt

1. Professor, Aristotle University of Thessaloniki. Department of Forestry and Natural Environment, Section of Harvesting and Technology of Forest Products, Laboratory of Forest Technology. 54124-Thessaloniki (box 243) Greece, tel. 2310 992741, Fax: 2310 998947, e-mail: agrigori@for.auth.gr

2. Junior Researcher, National Agricultural Research Foundation, Institute of MFE & Forest Products Technology, Laboratory of Wood Anatomy and Technology, Terma Alkmanos, 115 28, Athens, Greece, tel. 210 7783750, Fax: 2107784602, e-mail: lykidis@fria.gr

- wachsendes Interesse an Lösungen aus alternativen Rohstoffen. Holz-Zentralblatt, Nr. 2: 70.
- Gassen, G. 2006. Leichte Plattenwerkstoffe-Ein Überblick. Leichtbauplatten sind keine Neuheit der letzten Jahre-derzeit sind sie aber fast überall wieder gefragt. Holz-Zentralblatt. Nr. 2: 52, 54.
- Kehr, E., 1974. Zur Entwicklung der Eigenschaften von Spanplatten für der Möbelbau. Holztechnologie: 143-149.
- Klauditz, W. Ulbricht, H., Kratz W. 1958. Über die Herstellung und Eigenschaften leichter Holzspanplatten. Holz Roh-Werkstoff, Nr. 12: 459-466.
- Michanickl, A. 2004. Light Wood Based Panels-State of the Art and Trends. Proceedings of 4th European Wood-Based Panel Symposium 15-17 Sept. 2004. Hannover, Germany.
- Niemz, P., Kucera, L.J., Vidaure, S., Bäucker, E. 1996. MDF-Magazin, DRW-Verlag. Germany: 74-78.
- Rehau, 2006. Individual and Functional: Lightweight Constructions drives the Market. Germany, pp. 7.
- Riepertinger, M. 2007. Egger eurolight. Das neue highlight. Egger Holzwerkstoffe GmbH, Weibendorf, Austria, pp. 42.
- Sam-Brew, S., Semple, K. and G.D. Smith, 2010. Edge reinforcement of honeycomb sandwich panels. Forest Products Journal, 60 (4), pp. 382-389
- Steinmann & So., 2000. Umweltfreundliche Dämmsysteme aus natürliche Holzfaser. Gesellschaft für Bau-und Industriebedarf.
- Sturgeon, M., Lau, N. 1992. Goldenedge lightboard (600 Kg/m³) manufactured at Nelson pine industries LTD New Zealand. Proceedings of 26th Intern. Particleboard/Composite Materials Symposium, Pullman, Washington, USA: 189-195.
- Theis M., and B. Grohe 2002. Biodegradable lightweight construction boards based on tannin/hexamine bonded hemp shaves. Holz als Roh- und Werkstoff 60: 291–296
www.dendrolight.com
www.heraklith.com
www.simpelcamp.de/Plant-Report,2008