

Τεχνολογία και εφαρμογές σύνθετων συγκολλημένων προϊόντων με μίξη ξύλου και πλαστικού. Συμβολή στην προστασία του περιβάλλοντος

Γεώργιος Νταλός¹, Αντώνιος Παπαδόπουλος²

¹Τμήμα Σχεδιασμού & Τεχνολογίας Ξύλου – Επίπλου, Τ.Ε.Ι. Λάρισας, - Παράρτημα Καρδίτσας, Τέρμα Μαυρομιχάλη, Τ.Κ. 43100, Καρδίτσα, Τηλ: 24410 71752 εσ.129, Fax: 2441028299, e-mail: gntalos@teilar.gr

²Τμήμα Δασοπονίας & Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, Τ.Ε.Ι. Καβάλας, - Παράρτημα Δράμας, 1ο χιλ. Δράμας - Μικροχωρίου, Τ.Κ. 663100, Δράμα, Τηλ: 25210 60445, Fax: 25210 60411, e-mail: antonios1974@hotmail.com, antpap@teikav.edu.gr

Περίληψη

Η χρήση ξύλου σαν πρόσθετη ουσία στη κατασκευή πλαστικών δεν είναι κάτι καινούργιο αν αναλογιστεί κανείς ότι πρωτοχρησιμοποιήθηκε από μια αυτοκινητοβιομηχανία το 1916. Τα τελευταία χρόνια όμως όλο και μεγαλύτερο κομμάτι της παγκόσμιας βιομηχανίας και ειδικότερα στην Ευρώπη έχει αναλωθεί σε ερευνητικές προσπάθειες προκειμένου να αντικαταστήσει τη χρήση συνθετικών πρώτων υλών, με φυσικά οικολογικά υλικά η με προϊόντα που προέρχονται από την μίξη τους. Ο μοναδικός συνδυασμός αξιόλογων φυσικών-μηχανικών ιδιοτήτων και ο φιλικός περιβαλλοντικός τους χαρακτήρας σε συνδυασμό με το χαμηλό τους κόστος, οδήγησε πολλούς τομείς της βιομηχανίας στη χρησιμοποίηση φυσικών πρώτων υλών, όπως ίνες ξύλου, λιναριού, κάνναβης, σαν πρόσθετα για την κατασκευή συνθετικών θερμοπλαστικών υλικών. Παρά τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν, αποτελούν ανταγωνιστικά υλικά ώστε να αντικαταστήσουν ορισμένα παραδοσιακά υλικά όπως το ξύλο σε πολλές εφαρμογές αλλά και να βοηθήσουν να αξιοποιηθούν υπολείμματα που διαφορετικά θα ήταν αδύνατο, όπως τα εμποτισμένα με CCA ξύλα που συχνά δεν είναι φιλικά με το περιβάλλον. Η παρούσα εργασία παρουσιάζει μία ανασκόπηση αυτών των υλικών και των κυριότερων εφαρμογών τους καθώς και των δυνατοτήτων επαναχρησιμοποίησης που έχουν τα υλικά αυτά, γεγονός που βοηθά στην προστασία του περιβάλλοντος, αφού θα χρειάζεται ολό και μικρότερη ποσότητα πρώτων υλών που θα προέρχεται από το δάσος.

Λέξεις κλειδιά: Σύνθετα συγκολλημένα προϊόντα, ξύλο, φυσικές ίνες, ανακύκλωση, θερμοπλαστικά.

Green composite materials: An environmental friendly solution

George Ntalos¹, Antonios Papadopoulos²

¹Technological Educational Institute of Larissa, Branch of Karditsa, Department of Wood and Furniture Technology-Design, 43100, Karditsa, Greece. Tel: 24410 71752, Fax: 2441028299, e-mail: gntalos@teilar.gr

²Technological Educational Institute of Kavala, Branch of Drama, Department of Forestry and Management of Natural Environment, 66100, Drama, Greece. Tel: 25210 60445, Fax: 25210 60411, e-mail: antonios1974@hotmail.com, antpap@teikav.edu.gr

Summary

In the last years a big part of international automobile industry has spend quite allot of research in order to replace synthetic raw material with ecological natural materials or a mixture of them. This unique combination of physical and mechanical properties, environmental friendly character, together with the low cost lead many industries to the usage of natural raw material as wood fibers, flax, cannabis for thermoplastic composite production. Beside the disadvantages that they have, these materials are very strong competitors to many traditional materials like wood and aluminum but it is also a way to reuse the impregnation with CCA wood residues. This review presents the most common applications together with the reuse possibility that these materials have, in order to protect the environment by using less material from the forest.

Key words: composites, wood, natural fibers, recycling, thermoplastics

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια ένα μεγάλο κομμάτι της παγκόσμιας βιομηχανίας έχει αναλωθεί σε ερευνητικές προσπάθειες προκειμένου να αντικαταστήσει τη χρήση συνθετικών πρώτων υλών με φυσικά οικολογικά υλικά (Papadopoulos 2002). Η χρήση των συγκολλημένων προϊόντων από ξύλο και πλαστικό γεννήθηκε στην δεκαετία του '70 στην Ιταλία στα πλαίσια της «μόδας» για την χρήση πιο φιλικών προς το περιβάλλον προϊόντων, αλλά γνώρισε πολύ μεγάλη ανάπτυξη στη Βόρεια Αμερική στις αρχές του '90. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος των οικολογικών υλικών, έχει στρέψει το ενδιαφέρον της παγκόσμιας βιομηχανίας στη χρησιμοποίηση τέτοιων υλικών, όπως ίνες από ξύλο, λινάρι, κάνναβη, γιούτα, κενάφ σαν πρόσθετα για την κατασκευή συνθετικών υλικών (Myers et al. 1990, Gonzalez et al. 1992, English and Schneider 1993, Brent and Schneider 1994, Sanadi et al. 1994a,b, Mohanty and Misra 1995). Η προσπάθεια μάλιστα αυτή συνεχίστηκε και στην αξιοποίηση των υπολειμμάτων από τις βιομηχανίες χαρτιού αλλά και από την ανακύκλωση χαρτιού και εφημερίδων (Myers and Clemons 1993, English and Schneider 1993, Sanadi et al. 1994). Η χρησιμοποίηση των παραπάνω υλικών διπλασιάστηκε μέσα στο 2000 και αναμένεται να παρουσιάσει μία αύξηση της τάξεως του 60% την πενταετία που διανύουμε (2000-2005).

Συνθετικά υλικά ξύλου - πλαστικού

Το μεγαλύτερο μέρος της εντυπωσιακής ανάπτυξης προέρχεται από την χρησιμοποίηση ινών ξύλου σαν πρόσθετα για την κατασκευή διαφόρων συνθετικών υλικών όπως ξύλινα δάπεδα, φράχτες και πλαίσια πορτών και παραθύρων και λιγότερο από τη χρήση άλλων λιγνοκυτταρινικών υλικών όπως λινάρι και κάνναβης (Stark 1999). Στο τελευταίο κομμάτι βοήθησε πολύ και η τεχνική της εξόλκευσης (extruder) που βοηθά στη δημιουργία προϊόντων από μίξη ξύλου και πλαστικού αλλά και ανακυκλωμένων σύνθετων συγκολλημένων προϊόντων με την ίδια μορφή των προφίλ αλουμινίου (Roffael et al. 2002). Το μεγαλύτερο μέρος τέτοιων προϊόντων παράγεται από εταιρείες της Βόρειας Αμερικής (US Plastic Lumber, Trex) και της Ιαπωνίας (EIN Engineering) ενώ τα τελευταία χρόνια ανάλογο ενδιαφέρον έδειξε και η Ευρωπαϊκή βιομηχανία (Betoratio, Timbarplus, Ploma, Fasalex). Η εμφάνιση των υλικών αυτών αρχίζει με μια προσπάθεια δημιουργίας προϊόντων προστιθέμενης αξίας από ανακυκλωμένα υλικά χαρτιού, ξύλου και πλαστικού που το 1988 στην Αμερική έφτασαν να αποτελούν το 60% των στερεών λυμάτων στις πόλεις (English 1992). Στην αρχή η διαδικασία αξιοποίησης τους βασίστηκε στην χρήση του ξύλου ως πρόσθετο υλικό (filler) στην παραγωγή πλαστικών υλικών αγγίζοντας όμως την συμμετοχή του στα 40-60%.

Το είδος του πλαστικού που χρησιμοποιήθηκε ήταν το υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HDPE), PET, πολυπροπυλένιο (PP), Χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (LDPE), Πολυεστέρας. Τα αποτελέσματα αυτής της προσπάθειας στη συνέχεια βελτιώθηκαν με την βοήθεια κάποιων πρόσθετων ουσιών όπως μαλεϊκού προπυλενίου (MAPP) σε άνυδρη μορφή (Myers et al. 1990, Kzysik and Youngquist 1991, Gonzalez et al. 1992) και οξικού ακρυλικού πολυπροπυλενίου (AAPP) (Sanadi et al. 1994) αλλά συχνά και με τη χρήση συγκολλητικών ουσιών όπως φαινολικές κόλλες (Simonsen and Rials 1992, Youngquist et al. 1992). Ένας άλλος τρόπος αξιοποίησης έγινε με την κατασκευή, χάρη ενός συστήματος βελόνων, ενός πλεκτού στρώματος το οποίο είχε τις ίνες του εμπλουτισμένες με κόκκους πλαστικού. Με τον τρόπο αυτό κατάφερε να γίνει η αύξηση της συμμετοχής του ξύλου ή των άλλων αγροτικών υπολειμμάτων μέχρι και 90% κατά βάρος (English 1992). Η εξέλιξη στον τρόπο αξιοποίησης συνεχίστηκε και με άλλες μεθόδους προετοιμασίας των λιγνινοκυταρινικών υλικών που χρησιμοποίησαν χημική τροποποίηση πριν τη θερμική κατεργασία μαζί με το πλαστικό (Rowell et al. 1994), η χειρισμό με αέρια (διοξείδιο του χλωρίου και διοξείδιο του αζώτου ή άλλους τρόπους) (Minor et al. 1993, Hill et al. 1997). Οι χρήσεις των προϊόντων άρχισαν να πληθαίνουν (Saheb and Jog 1999). Έτσι φτάσαμε στο πρόσφατο παρελθόν όπου η ολλανδική κατασκευαστική εταιρεία Tech Wood International παρουσίασε το προϊόν Tech Wood®, το οποίο αποτελείται από 70% ίνες πεύκου και 30% πολυπροπυλένιο (PP) (Papadopoulos 2002). Το προϊόν θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή 50.000 αδιαπέραστων από τις καταιγίδες σπιτιών στην Καραϊβική μέσα στην επόμενη πενταετία. Ανάλογο είναι και το επίτευγμα του αυστριακού ερευνητικού οργανισμού γεωπονικής βιοτεχνολογίας (Research Institute for Agricultural Biotechnology, IFA) ο οποίος παρουσίασε το προϊόν Fasal®, το οποίο αποτελείται από 60% ίνες ξύλου, 20% αραβόσιτο, 18 φυσική κόλλα και 2% άλλα πρόσθετα. Το κυριότερο πλεονέκτημα του Fasal® είναι ότι μπορεί να διαμορφωθεί πολύ εύκολα σε διάφορα σχήματα. Το Fasal® αναμένεται, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του οργανισμού, να αντικαταστήσει το ξύλο σε μικρο-προϊόντα εσωτερικής χρήσεως όπως μικρά καλάθια, πάτζλ, διακοσμητικά υλικά, χειρολαβές κ.α. (Peijs 2002).

Συνθετικά υλικά από φυσικές ίνες και πλαστικό

Οι φυσικές ίνες από διάφορα λιγνοκυταρινικά, εκτός ξύλου, υλικά παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των συνθετικών ινών (Saheb and Jog 1999):είναι ανανεώσιμες

- είναι άφθονες και φτηνές
- έχουν χαμηλό βάρος
- έχουν καλές μηχανικές αντοχές
- έχουν καλές ακουστικές και θερμομονωτικές ιδιότητες
- δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον
- μικρή κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή τους

Παρουσιάζουν βέβαια και μερικά μειονεκτήματα:

- μεγαλύτερη απορρόφηση υγρασίας σε σχέση με το πλαστικό
- μικρότερη αντοχή στις προσβολές από μύκητες αλλά και πιο φιλόξενο περιβάλλον για ανάπτυξη μικροβίων (Sanadi et al. 1994). Ο μοναδικός συνδυασμός αξιόλογων φυσικών-μηχανικών ιδιοτήτων και ο φιλικός περιβαλλοντικός τους χαρακτήρας σε συνδυασμό με το χαμηλό τους κόστος, οδήγησε πολλούς τομείς της βιομηχανίας στην χρηματοδότηση ερευνητικών προγραμμάτων με σκοπό την ενσωμάτωση των υλικών αυτών στην παραγωγή τους (Youngquist et al. 1992).

Η Ευρωπαϊκή αυτοκινητοβιομηχανία προσπαθεί να κάνει τα προϊόντα της, στο μεγα-

λύτερο τους βαθμό ανακυκλώσιμα. Για το λόγο αυτό, προσπαθεί να συμπεριλάβει στην παραγωγή της φυσικές ίνες σαν ενισχυτικά για την κατασκευή διαφόρων θερμοπλαστικών, μειώνοντας ταυτόχρονα εκτός από το βάρος και το κόστος (Sanadi et al. 1996). Εκτιμάται ότι η Ευρωπαϊκή αυτοκινητοβιομηχανία χρησιμοποιεί σήμερα 25,000 τόνους φυσικών ινών, στην πλειοψηφία τους ίνες λιναριού και κάνναβης, ενώ ο αριθμός αυτός αναμένεται να διπλασιαστεί μέχρι το 2005 (Papadopoulos 2002).

Η ιστορία στην αυτοκινητοβιομηχανία αρχίζει από το 1970 όπου η εταιρεία Applicazioni speciali SpA αρχίζει να αναπτύσσει προϊόντα για πόρτες αυτοκινήτου, αλλά και τις οροφές των αυτοκινήτων με συγκολλημένα προϊόντα που κατασκευάζει από μίξη ξύλου πλαστικού σε αναλογία 50:50. Ταυτόχρονα ξεκινά και μια μάχη για την κατάκτηση μέρους της αγοράς ανάμεσα στους παραγωγούς προϊόντων ξύλου με τους παραγωγούς προϊόντων PVC σε διάφορες δομικές κατασκευές (Pritchard 2004).

Τα υλικά που επιλέγονται για να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή προϊόντων για την αυτοκινητοβιομηχανία γίνονται είτε με την μέθοδο extruder είτε με την υγρή μέθοδο. Στην τελευταία περίπτωση οι ίνες παράγονται από ένα περιστρεφόμενο δίσκο και αναμιγνύονται με ζεστό νερό. Στο μίγμα αυτό προστίθενται και συγκολλητικές ουσίες. Το μίγμα νερού-ινών συμπίεζεται σε μορφή πλάκας με πάχος ανάμεσα σε 10 και 20 χιλ. Σαν συγκολλητική ουσία στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται το πολυπροπυλένιο. Η Γερμανική αυτοκινητοβιομηχανία Daimler-Chrysler, η Mercedes Benz, και η Ford είναι μερικές από τις βιομηχανίες αυτοκινήτων που χρησιμοποιούν τα προϊόντα που αναφέρθηκαν στα διάφορα μοντέλα τους (Παπαδόπουλος κ.α. 2004).

Παρά τα σημαντικά τους πλεονεκτήματα, οι φυσικές ίνες έχουν και ορισμένα μειονεκτήματα, κυριότερα των οποίων είναι η χαμηλή τιμή σε εφελκυσμό, θλίψη και κρούση (Lee and Jang 2000). Μέχρι σήμερα, οι περισσότερες ερευνητικές προσπάθειες επικεντρώνονται στην επίτευξη ισχυρής συγκόλλησης των ινών με το ανάλογο πολυμερές με σκοπό την βελτίωση των ιδιοτήτων του τελικού θερμοπλαστικού υλικού και ακολουθούνται συχνά σχέδια παρόμοια με αυτά που έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για την ίνα γυαλιού (Papadopoulos 2002).

Βέβαια οι μειωμένες μηχανικές τους ιδιότητες δεν αποτελούν ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα αν εξαιρέσουμε τον ερπυσμό που εμφανίζεται όταν τα προϊόντα αυτά φέρουν μεγάλη φορτία για μεγάλο χρονικό διάστημα (Pritchard 2004). Το μεγαλύτερο πρόβλημα των προϊόντων αυτών είναι ότι χρώμα τους που παρόλο που στην αρχή πλησιάζει αυτό του ξύλου μετά την παραμονή του για 2-3 μήνες σε εξωτερικές συνθήκες πολύ δύσκολα θυμίζει ξύλο. Έτσι η πιο συνηθισμένη χρήση του είναι για εξωτερικά πατώματα (βεράντες, κήπους κλπ) και φράχτες αφού η προστασία που χρειάζονται είναι ελάχιστη.

Τα τρία τέταρτα των προϊόντων που περιγράφηκαν εκτός από τις χρήσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή στην κατασκευή κουφωμάτων. Συχνά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή καταστροφωμάτων, αλλά και ως ηχομονωτικά σε δρόμους μεγάλης κυκλοφορίας. Στον τομέα της επιπλοποιίας ήδη έχουν κάνει την εμφάνιση τους τραπέζια και καρέκλες για εξωτερική χρήση.

Μια ακόμη συμβολή στο περιβάλλον

Ένα μεγάλο πρόβλημα που επίσης έρχεται να συμβάλει η μίξη ξύλου πλαστικού, είναι η αξιοποίηση των υπολειμμάτων ξύλου που έχει εμποτιστεί με άλατα CCA και αποσύρεται από την χρήση. Η μέχρι στιγμής χρήση των προϊόντων αυτών ήταν η επαναχρησιμοποίηση τους για την παραγωγή μοριοπλακών, ινοπλακών και OSB (Munson and Kamdem 1998).

Τα προβλήματα όμως από τα δηλητηριώδη αέρια κατά τη διάρκεια του πρεσαρίσματος και η επικίνδυνη σκόνη που παράγεται κατά την προσπάθεια επαναχρησιμοποίησης των προϊόντων με αυτό τον τρόπο είναι σχεδόν απαγορευτικά. Η καύση τους παρόλο που μας δίνει την δυνατότητα συλλογής από την τέφρα όλων των ανόργανων αλάτων (χρωμίου, χαλκού και αρσενικού) σε συνδυασμό με την εκλυόμενη ενέργεια βρίσκεται ακόμη σε πειραματικό στάδιο (Nurmi 1996). Λύση φαίνεται να δίνει στο πρόβλημα η κατασκευή σύνθετων συγκολλημένων προϊόντων με μίξη του εμποτισμένου υλικού με ανακυκλωμένο ή και παρθένο υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HDPE) σε αναλογία 50:50. Το προϊόν που παράγεται διαθέτει καλές μηχανικές ιδιότητες και παρουσιάζει αντίσταση στην προσβολή από μύκητες και έντομα. Βέβαια συνεχίζει να παρουσιάζει προβλήματα έκπλυσης των αλάτων (σε μικρότερο βέβαια βαθμό) και για το λόγο αυτό συνιστάται η χρήση μακριά από πόσιμο νερό (Kamdem et al. 2004).

Συμπεράσματα

Ο μοναδικός συνδυασμός αξιόλογων φυσικών-μηχανικών ιδιοτήτων και ο φιλικός προς το περιβάλλον χαρακτήρας τους χάρη στην ικανότητα επαναχρησιμοποίησης τους, σε συνδυασμό με το χαμηλό τους κόστος, οδήγησε πολλούς τομείς της βιομηχανίας στη χρησιμοποίηση φυσικών πρώτων υλών, όπως ίνες ξύλου, υπολείμματα χαρτιού, λιναριού, κάνναβης, σαν πρόσθετα για την κατασκευή συνθετικών θερμοπλαστικών υλικών. Εκτιμάται ότι η Ευρωπαϊκή αυτοκινητοβιομηχανία αλλά και πολύ άλλοι τομείς όπως αυτός των κατασκευών χρησιμοποιεί σήμερα τεράστιες ποσότητες φυσικών ινών, στην πλειοψηφία τους ίνες λιναριού και κάνναβης, σε μίξη με πλαστικό. Η μίξη αυτή συχνά δίνει λύση και στην αξιοποίηση υπολειμμάτων που είναι προβληματική με οποιοδήποτε άλλο τρόπο. Παρά τα μειονεκτήματα λοιπόν που παρουσιάζουν τα προϊόντα αυτά, μπορούν να αποτελούν ανταγωνιστικά υλικά ώστε να αντικαταστήσουν το συμπαγές ξύλο, το αλουμίνιο αλλά και πολλά άλλα παραδοσιακά υλικά σε πολλές εφαρμογές και να είναι πιο φιλικά στο περιβάλλον.

Βιβλιογραφία

- Brent, E., Schneider, P.J. 1994. Paper fiber/low-density polyethylene composites from recycled paper mill waste: Preliminary results. Proceedings of the 1994 TAPPI Recycling symposium: 1994 May Boston Atlanta.
- English, B. 1992. Meeting society's challenge: Value-added products from recycled materials. Pacific Rim Bio-Based composites symposium 9-13 November 1992. Rotorua, New Zealand.
- English, B., Schneider, J. 1993. The recycling of post-industrial jute/polyester automotive interior substrate panels. Final report for Findley industries. USDA Forest Service. Forest Products Laboratory Madison WI. June 1993.
- Gonzalez, C., Clemons, M.C., Myers, E.G., Harten, M.T. 1992. Effects of several ingredient variables on mechanical properties of wood fiber-polyolefin composites blended in a thermokinetic mixer. Materials interactions relevant to the pulp, paper and wood industries. Proceedings, Materials Research Society symposium. 1992 April 27-29 San Francisco. pp. 127-135.
- Hill CAS, Abdul Khalil HPS, Hale MD. 1997. A study of the potential of acetylation to improve the properties of plant fibers. *Industrial Crops and Products* 8:53-63.
- Kamdem, D.P., Jiang, H., Cui, W., Freed, J., Matuana, L. 2004. Properties of wood plastic

- composites made of recycled HDPE and wood flour from CCA-treated wood removed from service. *Composites Part A: Applied science and manufacturing*. 35 (2004) pp. 347-355.
- Krzysik, M.A., Youngquist, A.J. 1991. Bonding of air-formed wood fibre/polypropylene fibre composites. *International Journal of Adhesion and Adhesives* Vol. 11 No 4 October 1991.
- Lee NJ, Jang J. 2000. The effect of fibre content gradient on the mechanical properties of glass-fibre-mat/polypropylene composites. *Composites Science and Technology* 60:(2) 209-217.
- Minor, L.J., Atalla, H.R., Harten, M.T. 1993. Improving interfibre bonding of recycled fibres. *Journal of pulp and paper science*. Vol 19. No 4. pp. 152-155.
- Mohanty AK, Misra M. 1995. Studies on Jute Composites - A literature review. *Polymer-Plastic Technology and Engineering* 34:(5) 729-792.
- Myers, E.G., Clemons, M.C. 1993. Final report for solid waste reduction and recycling demonstration grant program. Project no 91-5. Wisconsin Department of Natural Resources. USDA Forest Service. Forest Products Laboratory Madison WI. March 1993.
- Myers, E.G., Kolosick, C.P., Chahyadi, S.I., Coberly, A.C., Koutsky, A.J., Ermer, S.D. 1990. Extruded wood-flour polypropylene composites: Effect of a maleated polypropylene coupling agent on filler-matrix bonding and properties. Materials interactions relevant to the pulp, paper and wood industries. Proceedings, Materials Research Society symposium 1990. April 18-20 San Francisco. pp. 66-76
- Munson, J.M., Kamdem, D.P. 1998. *Forest Products Journal*. 48(3). pp. 55-62.
- Nurmi, A.J. 1996. IRG/WP 96-50068. Stockholm Sweden: The international Research Group on Wood Preservation. 1996.
- Papadopoulos, A.N. 2002. Products from non wood sources. *The Bio Products Journal* 3(8): 3-12.
- Παπαδόπουλος, Α., Ν., Hill, C.A.S., Καραστεργίου, Σ.Π. 2004. Νέες τεχνολογίες στον τομέα των συνθετικών υλικών. Πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου Περιβαλλοντικού Συνεδρίου 5-7 Μαΐου, Ορεστιάδα, σελ. 721-725.
- Peijs T. 2002. Recent developments in ecocomposites. *Proceedings of the 4th International Wood and Natural Fibre Composites Symposium*. Kassel, Germany. pp: 10:1-10:11.
- Pritchard, G. 2004. Two technologies merge: Wood plastic composites. *Plastics Additives & Compounding*. July/August 2004. Elsevier Ltd.
- Roffael, E., Athanassiadou, E., Mantanis, G. 2002. Recycling of particle -and fibre-boards using the extruder technique. Proc. of the 2nd Conf. of Umweltschutz in der Holzwerkstoffindustrie, pp. 56-65, March 21-22, 2002. Goettigen, Germany.
- Rowell, M.R., O'Del, L.J., Rials, G.T. 1994. Chemical modification of agro-fiber for thermoplasticization. Second Pasific Rim Bio-Based Composites Symposium. Vancouver, Canada. November 6-9 1994.
- Sanadi, R.A., Caulfield, F.D. 1994. Reinforcing Polypropylene with natural fibers. *Plastics Engineering*. April 1994.
- Sanadi, R.A., Caulfield, F.D., Walz, K., Wieloch, L., Jacobson, R.E., Rowell, M.R. 1994. Kenaf fibers – potentially outstanding reinforcing fillers in thermoplastics. Proceedings of the International Kenaf Association March 8-10 1994. New Orleans Louisiana.
- Sanadi, R.A., Caulfield, F.D., Jacobson, R.E., Rowell, M.R. 1996. Reinforcing

- polypropylene with agricultural fibers. International symposium on biocomposites and blends based on jute and allied fibers. Indian Jute Industries Research Association. pp. 163-167.
- Sanadi, R.A., Young, A.R., Clemons, C., Rowell, M.R. 1994. Recycled Newspaper fibers as reinforcing fillers in thermoplastics: Part I- Analysis of Tensile and impact properties in polypropylene. *Journal of reinforced plastics and composites*. Vol 13-January 1994.
- Saheb, D.N., Jog, J.P. 1999. Natural fibre polymer composites: A review. *Advances in Polymer Technology* 18:(4) 351-363.
- Simonsen, J., Rials, T. 1992. Enhancing the interfacial bond strength of lignocellulosic fiber dispersed in synthetic polymer matrices. *Materials Research Society symposium proceedings* Vol. 266 pp. 105-111.
- Stark, N.M. 1999. Wood fiber derived from scrap pallets used in polypropylene composites. *Forest Products Journal* 49: (6) 39-46.
- Youngquist, A.J., Krzysik, M.A., Muehl, H.J., Carll, C. 1992. Mechanical and physical properties of air-formed wood- fiber / polymer-fiber composites. *Forest products journal*. Vol. 42. No 6 pp. 42-48.