

ΞΥΛΙΝΕΣ ΔΟΚΟΙ ΤΥΠΟΥ GLULAM - ΟΠΛΙΣΗ ΜΟΡΦΗΣ SANDWICH

Θεμιστοκλής Τσαλκατίδης

Διδάκτωρ

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Ξάνθη, Ελλάδα

e-mail: ttsalka@gmail.com

Αρης Αβδελάς

Καθηγητής

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

e-mail: avdelas@civil.auth.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ξύλινες δοκοί τύπου glulam (glu-laminate) αποτελούνται από στρώματα ξύλου που συνδέονται με ειδικό συγκολλητικό υλικό. Είναι βιομηχανικό προϊόν ξύλου, υψηλής αντοχής και πιστοποίησης, που χρησιμοποιείται ευρέως στις ξύλινες κατασκευές. Η εργασία αυτή αποσκοπεί στην διερεύνηση και κατανόηση της μηχανικής συμπεριφοράς των άοπλων και οπλισμένων με μεταλλικές πλάκες ξύλινων δοκών τύπου glulam, μέσω δύο υπολογιστικών προσομοιωμάτων. Για την υπολογιστική μοντελοποίηση χρησιμοποιείται το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ANSYS. Τα υπολογιστικά αποτελέσματα συγκρίνονται με αντίστοιχα πειραματικά από τη διεθνή βιβλιογραφία [1] και προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα για την ορθότητα και την ακρίβεια του εγχειρήματος. Επίσης, προτείνεται από τους συγγραφείς ένας νέος τρόπος όπλισης των ξύλινων δοκών τύπου glulam μορφής sandwich με ενισχυμένες μηχανικές ιδιότητες.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ξύλο αποτελεί ένα ιδιαίτερα διαδεδομένο φυσικό δομικό υλικό, ακόμη από τα αρχαία χρόνια. Έχει χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα κατασκευών αφού συνδυάζει μικρό ίδιο βάρος, ευκολία επεξεργασίας και είναι εξόχως φιλικό προς το περιβάλλον [2,3]. Αποτελεί σήμερα το πλέον 'πράσινο' υλικό κατασκευής. Στη σύγχρονη εποχή χρησιμοποιούνται ευρέως και τα βιομηχανικά προϊόντα ξύλου. Οι ξύλινες δοκοί τύπου glulam, που αποτελούνται από στρώσεις ξύλου οι οποίες ενώνονται με ειδική κόλλα, αποτελούν ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα βιομηχανικού ξύλινου δομικού στοιχείου ευρείας εφαρμογής. Μειονεκτήματα του ξύλου αποτελούν οι τρωτότητά του έναντι πυρκαγιάς και υγρών συνθηκών περιβάλλοντος [3,4].

3. ΞΥΛΙΝΕΣ ΔΟΚΟΙ ΤΥΠΟΥ GLULAM

Οι δοκοί τύπου Glulam κατασκευάζονται από δύο ή περισσότερες στρώσεις (laminations) ξύλινων σανίδων, οι οποίες συνενώνονται με ειδικό συγκολλητικό υλικό (glue). Αποτελούν χαρακτηριστικά δομικά στοιχεία συγκολλητής βιομηχανικής ξυλείας και όπως όλα τα βιομηχανικά προϊόντα έχουν τυποποιημένες διαστάσεις και μηχανικές ιδιότητες. Οι δοκοί αυτές έχουν συνήθως μήκος 1,5-5 μέτρα και συνολικό πάχος 5-12 εκατοστά. Τα εξωτερικά στρώματα των δοκών κατασκευάζονται από μεγαλύτερης αντοχής ξύλο σε σύγκριση με τις εσωτερικές στρώσεις, αφού εκεί παρατηρείται συγκέντρωση τάσεων υπό καμπτική επιπόνηση [1]. Το υλικό συγκόλλησης αποτελεί μία ρητίνη με συνηθέστερη τη MUF (Melamine Urea Formaldehyde) ή τη PRF (Phenol Resorcinol Formaldehyde).

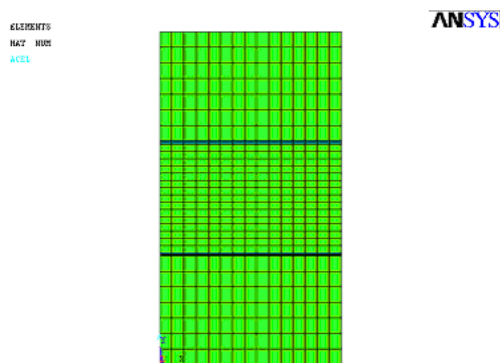
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η όπλιση ξύλινων δοκών μορφής glulam με χρήση μεταλλικών, πλαστικών ή ακόμη και ανθρακονημάτων πλακών (πάχους 0,05-2 εκατοστών) σε μία εξωτερική επιφάνεια της δοκού. Η προσθήκη οπλισμού δεν αλλάζει σημαντικά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οπλισμένης –πλέον- δοκού αλλά συμβάλλει στην κατακόρυφη αύξηση των μηχανικών αντοχών της [1,3].

4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

4.1 Περιγραφή υπολογιστικού μοντέλου

Για την υπολογιστική προσέγγιση της ξύλινης δοκού glulam κατασκευάστηκαν στο πρόγραμμα ANSYS [5] τρία μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων με κοινές παραδοχές.

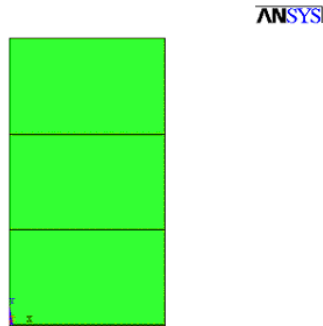
Στο πρώτο μοντέλο, που φαίνεται στο Σχ.1, μελετάται η περίπτωση της άοπλης δοκού Glulam (UGB-Unreinforced Glulam Beam) αποτελούμενης από τρία στρώματα ξύλου με διαστάσεις 6 επί 11 επί 176 εκατοστά. Μεταξύ των στρώσεων παρεμβάλλεται υλικό συγκόλλησης με χρήση κατάλληλων πεπερασμένων στοιχείων επαφής.



Σχ. 1: Διατομή άοπλης δοκού glulam (UGB)

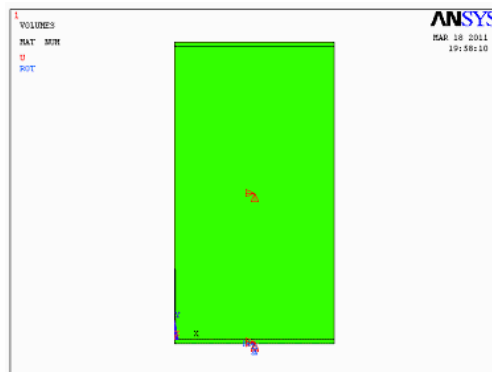
Στο δεύτερο μοντέλο, η διατομή του οποίου φαίνεται στο Σχ. 2, προσομοιώνεται η οπλισμένη με μεταλλική πλάκα δοκός glulam (RGB- Reinforced Glulam Beam). Το πάχος της πλάκας είναι 0,15 εκατοστά και έχει προσαρτηθεί στη κάτω επιφάνεια της δοκού. Διαφορά, με το προηγούμενο υπολογιστικό προσομοίωμα, αποτελεί η χρήση συγκολλητικού υλικού μόνο στη διεπιφάνεια μέταλλου-ξύλου και όχι στη διεπιφάνεια των ξύλινων σανίδων όπου έγινε η παραδοχή απλής ένωσης των στρωμάτων του ξύλου, με τη

χρήση ειδικής εντολής του ANSYS [6]. Με την επιλογή αυτή εστιάζουμε στην αλλαγή της συμπεριφοράς της δοκού λόγω της όπλισης, ‘ελαφρύνοντας’ σημαντικά το μοντέλο. Φυσικά, για λόγους πληρότητας δημιουργήθηκε προσομοίωμα οπλισμένης δοκού glulam με τρεις διακριτές διεπιφάνειες επαφής και τρία διαφορετικά ζεύγη στοιχείων επαφής, που απορρίφθηκε όμως λόγω χαμηλής υπολογιστικής ακρίβειας.



Σχ. 2: Διατομή οπλισμένης δοκού glulam (RGB)

Στο τελευταίο υπολογιστικό μοντέλο προτείνεται από τους συγγραφείς ένας εναλλακτικός τρόπος όπλισης ξύλινων δοκών τύπου glulam μορφής sandwich. Η διατομή της δοκού παρουσιάζεται στο Σχ. 3.



Σχ. 3: Διατομή δοκού glulam με διπλό οπλισμό (SGB)

4.2 Νόμοι υλικού ξύλου, χάλυβα και συγκολλητικού υλικού

Οι μηχανικές ιδιότητες του ξύλου είναι κοινές σε όλες τις στρώσεις των δοκών και σε όλα τα προσομοιώματα. Χρησιμοποιήθηκε μη γραμμικός νόμος υλικού με μέτρο ελαστικότητας 13,5 GPa και λόγο Poisson 0,3. Η αντοχή του ξύλου σε εφελκυσμό παράλληλα προς τις ίνες καθορίστηκε στα 18,12 MPa και σε κάμψη στα 22 MPa [1,4].

Στην περίπτωση του χάλυβα χρησιμοποιήθηκε διγραμμικός ελαστο-πλαστικός νόμος υλικού με κινηματική κράτυνση και με κριτήριο διαρροής το κριτήριο von Mises [6]. Η εφελκυστική αντοχή του χάλυβα λήφθηκε ίση με 320 MPa και το μέτρο ελαστικότητας ίσο με 210 GPa. Ο λόγος Poisson λήφθηκε ίσος με 0,3.

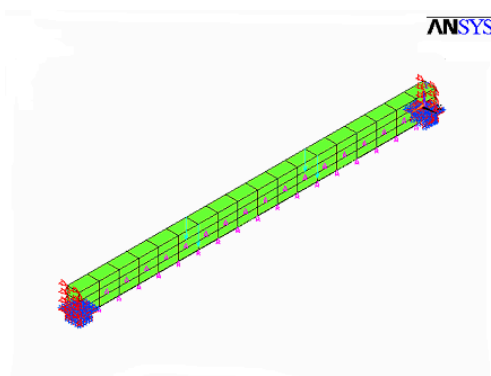
Για το υλικό συγκόλλησης χρησιμοποιήθηκε μη γραμμικός νόμος υλικού με εφελκυστική αντοχή ίση με 27 MPa και μέτρο ελαστικότητας 10 GPa. Ο λόγος Poisson της ρητίνης

λήφθηκε ίσος με 0,38 [7].

Στις διεπιφάνειες επαφής ο συντελεστής στατικής τριβής λήφθηκε ίσος με 0,3 [6]. Το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ANSYS χρησιμοποιεί το μοντέλο τριβής του Coulomb. Επιπρόσθετα, οι πυκνότητες του ξύλου, του χάλυβα και του υλικού συγκόλλησης λήφθηκαν ίσες με 360, 7850 και 1700 Kgr/m³ αντίστοιχα [3,7].

4.3 Συνθήκες στήριξης και φόρτισης

Όπως φαίνεται στο Σχ. 4, η ξύλινη δοκός θεωρήθηκε αμφιέρειστη και φορτίστηκε με δύο συγκεντρωμένα φορτία σε απόσταση από κάθε στήριξη της ίση με το 1/3 του ανοίγματος. Η φόρτιση και η στήριξη της δοκού συμπίπτει με την πειραματική διάταξη, προκειμένου να επιτευχθεί ακρίβεια προσομοίωσης [1].



Σχ. 4: Συνθήκες στήριξης και φόρτισης δοκών

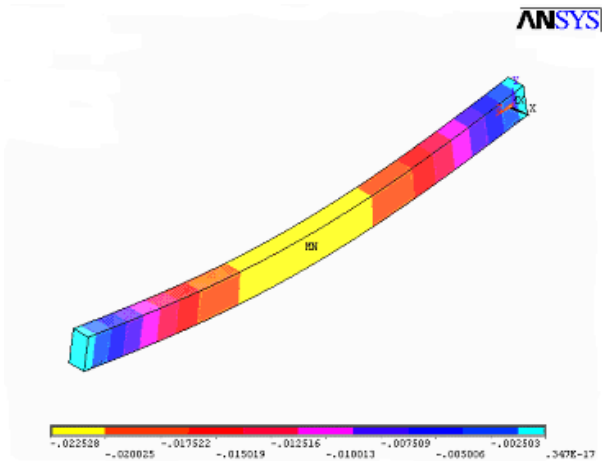
5. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΟΠΛΙΣΗΣ ΔΟΚΟΥ GLULAM

Στο τελευταίο υπολογιστικό μοντέλο περιγράφεται, όπως είδαμε, μια οπλισμένη δοκός τύπου glulam με οπλισμό μορφής sandwich (SGB-Sandwich Glulam Beam). Ο οπλισμός αποτελείται από δύο μεταλλικές πλάκες πάχους 0,15 εκατοστών έκαστη τοποθετημένες κολλητά στην άνω και στη κάτω επιφάνεια της δοκού. Το μοντέλο αυτό κατασκευάστηκε με προσθήκη της κάτω μεταλλικής πλάκας στο μοντέλο της RGB.

Ο τρόπος όπλισης δοκού μορφής sandwich αποτελεί την πρόταση των συγγραφέων, με σημαντικά πλεονεκτήματα όπως φαίνεται και στην επόμενη ενότητα των συγκριτικών αποτελεσμάτων.

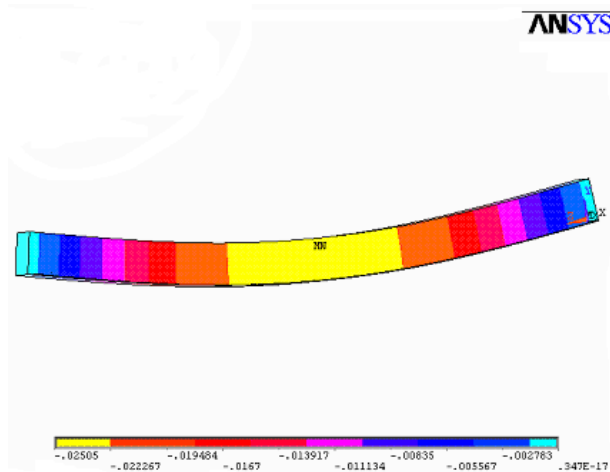
6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο Σχ. 5 παρουσιάζεται η βύθιση υπό μέγιστο φορτίο της άοπλης δοκού glulam (UGB).

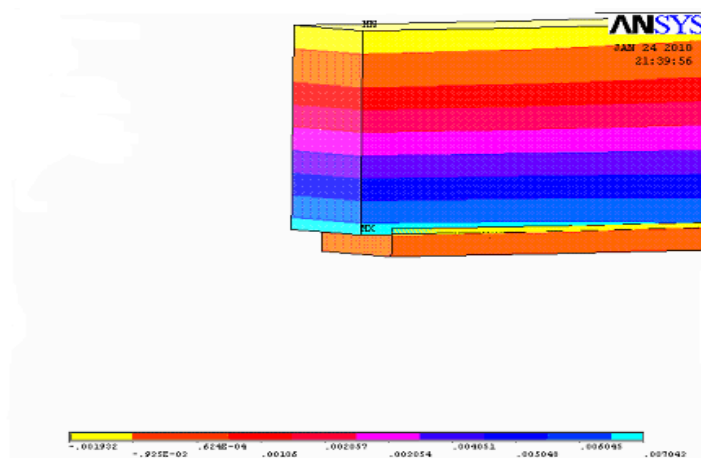


Σχ. 5: Βύθιση υπό μέγιστη φόρτιση (UGB)

Στα Σχ. 6 και Σχ. 7 παρουσιάζονται η μέγιστη βύθιση και η αμοιβαία διαμήκης ολίσθηση χάλυβα-ξύλου της σπλισμένης με μία μεταλλική πλάκα δοκού glulam (δοκός RGB).



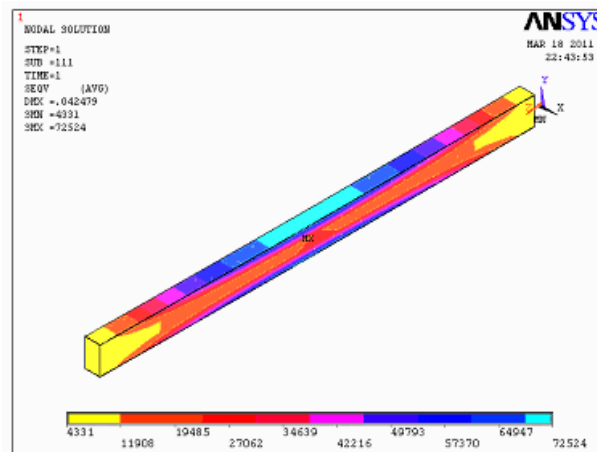
Σχ. 6: Βύθιση υπό μέγιστη φόρτιση (RGB)



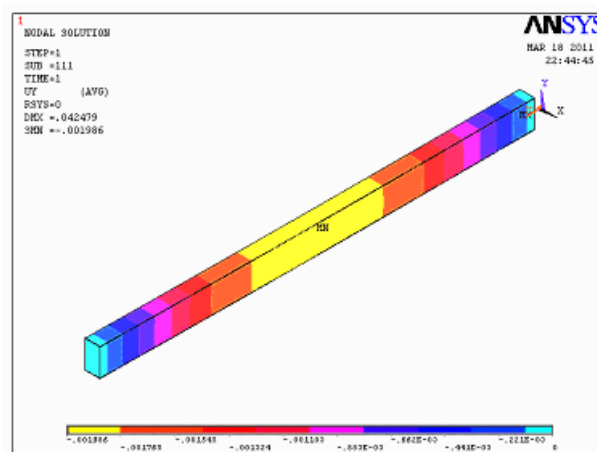
Σχ. 7: Διαμήκης ολίσθηση στη διεπιφάνεια επαφής υπό μέγιστη φόρτιση (RGB)

Στα Σχ. 8 και Σχ. 9 παρουσιάζονται αποτελέσματα της υπολογιστικής μελέτης του τρίτου

προσομοιώματος, που αναφέρεται στη οπλισμένη με δύο μεταλλικές πλάκες δοκό (SGB).



Σχ. 8: Τάσεις von Mises (SGB)



Σχ. 9: Βύθιση υπό μέγιστη φόρτιση (SGB)

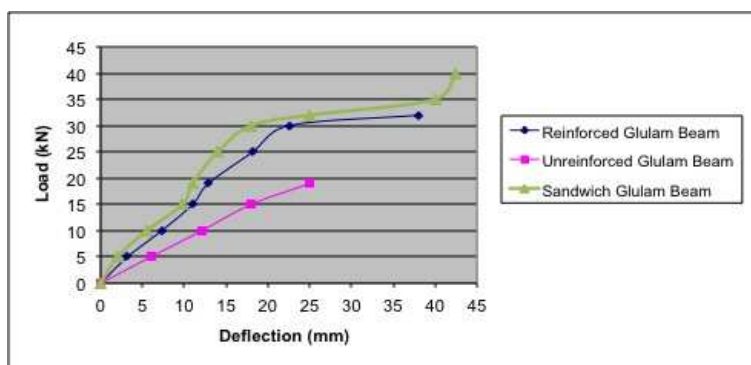
7. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο Σχ. 10 παρουσιάζονται συγκριτικά τα διαγράμματα φόρτισης-βύθισης για τις τρεις δοκούς που μελετήθηκαν. Από τη σύγκριση προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα, όπως:

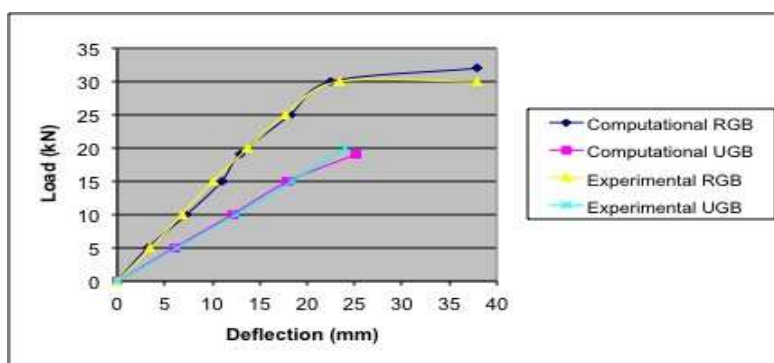
- Η προσθήκη της κάτω πλάκας στη δοκό SGB σε σχέση με την δοκό RGB, αυξάνει σημαντικά (περίπου κατά 30%) την καμπτική αντοχή της δοκού με αύξηση βάρους κατά 23% και κόστους κατά 15%.
- Οι μορφές αστοχίας των οπλισμένων δοκών τύπου glulam χαρακτηρίζονται όλκιμες σε αντίθεση με την ψαθυρή αστοχία της άοπλης ξύλινης δοκού.
- Η δοκός με τον οπλισμό μορφής sandwich κοστίζει σχεδόν όσο η άοπλη, αφού στις πάνω και κάτω έδρες της άοπλης δοκού χρησιμοποιείται συνήθως ξύλο μεγαλύτερης αντοχής. Συνεπώς, η προσθήκη μεταλλικών πλακών μας επιτρέπει να έχουμε ενιαίο χαμηλής κατηγορίας ξύλο στη διατομή πράγμα που ισοφαρίζει το κόστος του χάλυβα.
- Επόμενο βήμα στην ερευνητική δραστηριότητα αποτελεί η διεξαγωγή σειράς

πειραμάτων στη δοκό SGB, προκειμένου να υπάρξει περαιτέρω έλεγχος της αξιοπιστίας-ακρίβειας του υπολογιστικού μοντέλου μέσω της σύγκρισης υπολογιστικών και πειραματικών αποτελεσμάτων.

Στο Σχ. 11 συγκρίνονται τα διαγράμματα φόρτισης-βύθισης των δοκών UGB και RGB με τα αντίστοιχα πειραματικά που αποδεικνύουν την ακρίβεια της υπολογιστικής μελέτης.



Σχ. 10: Διαγράμματα Φόρτισης-Βύθισης για τους τρεις τύπους δοκών glulam



Σχ. 11: Διαγράμματα Φόρτισης-Βύθισης υπολογιστικά και πειραματικά για UGB και RGB

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Issa C., Kmeid Z. "Advanced wood engineering: glulam beams", *Construction And Building Materials*, Vol. 19, 2005, pp. 99-106.
- [2] ENV 1995-1-1: Eurocode 5 "Design of timber structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings", 1994.
- [3] American Institute Of Timber Construction, *Timber Construction Manual* (4th edition), John Wiley And Sons, 1994, New York.
- [4] Katsaragakis E. *Timber Structures*, N.T.U.A. Press, 2000, Athens (In Greek).
- [5] Moaveni S. *Finite Element analysis: Theory and Application with ANSYS*, Prentice Hall, 1999, New Jersey.
- [6] Tsalkatidis T., Avdelas A. "The unilateral contact problem in composite slabs: Experimental study and numerical treatment", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 66, 2010, pp. 480-486.
- [7] Zhao G., Li A. "Numerical study of bonded steel and concrete composite beam", *Computers and Structures*, Vol. 86, 2008, pp. 1830-1838.

TIMBER GLULAM BEAMS- SANDWICH REINFORCED GLULAM BEAMS

Themistoklis Tsalkatidis
Doctor
Democritus University of Thrace
Xanthi, Greece
e-mail: ttsalka@gmail.com

Aris Avdelas
Professor
Aristotle University of Thessaloniki
Thessaloniki, Greece
e-mail: avdelas@civil.auth.gr

SUMMARY

Glulam beams or glued laminated beams consist of sawn lumber laminations bonded with an adhesive material. This paper, through the development of three three-dimensional finite element models by the use of the ANSYS software package, studies the flexural properties of unreinforced (UGB), reinforced (RGB) and sandwich (SGB) glulam beams. The first one describes an unreinforced glulam beam that has been produced by three wood laminations of dimensions 6 by 3.6 by 176 cm. The second one describes a reinforced glulam beam, which has been produced by gluing a 0.15 cm thick steel plate at the bottom edge of the previously described beam. The third model describes a 'sandwich' glulam beam with two steel plates of 0.15 cm acting as reinforcement. This is an alternative way of reinforcing a glulam beam with significantly increases the bearing capacity if the beam at a small price. The computational analysis indicates that the glulam beams have significantly different bearing capacities under the same load and support conditions. The failure mode of the UGB is brittle whereas the one of the RGB and the SGB is ductile. The numerical results of the first two models are in close agreement with experimental ones from the international literature.