

Αξιολόγηση προτεινόμενης τροποποίησης της μεθόδου προσδιορισμού σκληρότητας ξύλου EN1534:2000 (μέθοδος Brinell)

Λυκίδης Χαράλαμπος

Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.), Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων (ΙΜΔΟ & ΤΔΠ), Εργαστήριο Ανατομίας και Τεχνολογίας Ξύλου, Τέρμα Αλκμάνος, 115 28, Ιλίσια, Αθήνα

Μπιρμπύλης Δημήτριος, Νικολακάκος Μιλτιάδης, Σακελλαρίου Ευάγγελος
Τμήμα Σχεδιασμού & Τεχνολογίας Ξύλου – Επίπλου, ΤΕΙ Λάρισας - Παράρτημα Καρδίτσας, Β. Γρίβα 11, 43100, Καρδίτσα

Περίληψη

Η σκληρότητα αποτελεί βασική μηχανική ιδιότητα του ξύλου, η οποία συσχετίζεται γραμμικά με την πυκνότητα και τις υπόλοιπες μηχανικές ιδιότητές του, ενώ προσδιορίζεται κυρίως με τις μεθόδους Janka και Brinell. Για τον προσδιορισμό της βάσει της μεθόδου Brinell, όπως αυτή περιγράφεται στο πρότυπο EN1534:2000, απαιτείται η μέτρηση της διαμέτρου αποτυπώματος το οποίο δημιουργείται από μεταλλική σφαίρα μετά από συμπίεσή της στην επιφάνεια του ξύλου. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η αξιολόγηση προτεινόμενης τροποποίησης της μεθόδου προσδιορισμού της ως άνω διαμέτρου στις τιμές της σκληρότητας Brinell. Η τροποποίηση βασίζεται στις δυνατότητες ακριβούς μέτρησης του βάθους αποτυπώματος που προσφέρουν οι σύγχρονες μηχανές δοκιμών. Από τα αποτελέσματα της έρευνας προκύπτει ότι η εν λόγω τροποποίηση οδηγεί σε στατιστικά σημαντικές διαφορές της σκληρότητας Brinell, σε σύγκριση με την βάση EN1534:2000 μεθοδολογία μέτρησης. Επιπροσθέτως, εφαρμόζοντας την εν λόγω τροποποίηση προκύπτει στατιστικά σημαντικότερη συσχέτιση της σκληρότητας Brinell τόσο με την πυκνότητα όσο και με τη σκληρότητα Janka, για 6 διαφορετικά είδη συμπαγούς ξύλου (οξιά, καστανιά, δρύς, πεύκο, Merbau, ipé) σε σχέση με την τυποποιημένη μεθοδολογία. Η εν λόγω τροποποίηση φαίνεται επίσης να δίνει ανάλογα αποτελέσματα και για συμπαγές ξύλο επικαλυμμένο με βερνίκι.

Εισαγωγή

Η σκληρότητα αποτελεί βασική μηχανική ιδιότητα του ξύλου, η οποία παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για ορισμένες χρήσεις του, όπως σε πατώματα, έπιπλα κλπ. Αποτελεί μια ιδιότητα η οποία συσχετίζεται γραμμικά με την πυκνότητα και τις υπόλοιπες μηχανικές ιδιότητες του ξύλου (Kollman 1951, Schwab 1990, Bektas κ.α. 2001, Hirata κ.α. 2001, Rautkari κ.α. 2011). Για το λόγο αυτό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον ποιοτικό έλεγχο του ξύλου χωρίς αυξημένο κόστος ελέγχου καθώς για τον έλεγχο της δεν είναι απαραίτητα μεγάλα δείγματα, ούτε δαπανηρός εξοπλισμός. Για τον προσδιορισμό της σκληρότητας ξύλου υπάρχουν μερικές τυποποιημένες μέθοδοι με κυριότερες τις μεθόδους Janka και Brinell. Η μέθοδος Janka περιγράφεται στο πρότυπο ASTM D 143-1997. Σύμφωνα με αυτό, ημισφαιρική κεφαλή, ακτίνας 5,64 mm, φορτίζεται επάνω στο

δοκίμιο μέχρι την εισχώρηση σε βάθος ίσο με την ακτίνα της κεφαλής, ενώ η σκληρότητα εκφράζεται από το μέγιστο καταγραφέν φορτίο.

Η μέθοδος Brinell περιγράφεται από το πρότυπο EN1534:2000. Συνοπτικά, η μεθοδολογία απαιτεί τη συμπίεση στην επιφάνεια του δείγματος μεταλλικής σφαίρας η οποία φορτίζεται με δύναμη 1000N για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Αποτέλεσμα της φόρτισης είναι η δημιουργία στο δοκίμιο αποτυπώματος η διάμετρος του οποίου μετράται. Η σκληρότητα υπολογίζεται εφαρμόζοντας τον παρακάτω τύπο:

$$HB = \frac{2F}{\pi D \left[D - \sqrt{D^2 - d^2} \right]} \quad (1) \quad \text{όπου:}$$

HB: Η σκληρότητα Brinell (Kg/mm²)
F: Η εφαρμοσθείσα δύναμη (1000N)
g: Η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s²)
D: Η διάμετρος της μεταλλικής σφαίρας (10mm)
π: 3,14
d: Η διάμετρος του αποτυπώματος (mm)

Πέρα από τις παραπάνω, έχουν εφαρμοστεί και διάφορες τροποποιήσεις με σκοπό τη βελτίωση των τυποποιημένων μεθόδων (Schwab 1990, Holmberg 2000, Niemz και Stubi 2000; Bektas κ.α. 2001, Hirata κ.α. 2001, Rautkari κ.α. 2009).

Η μέθοδος Brinell αν και είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη στον ευρωπαϊκό χώρο, εμφανίζει ορισμένα μειονεκτήματα που έχουν αναφερθεί από διάφορους ερευνητές (Niemz και Stubi 2000). Ένα από τα βασικότερα μειονεκτήματα είναι η μέθοδος μέτρησης της διαμέτρου αποτυπώματος, η οποία πραγματοποιείται με ακρίβεια 0,2mm και υπόκειται στην υποκειμενικότητα εκτίμησης των ορίων του αποτυπώματος στο δοκίμιο ξύλου και επομένως επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά και τις ικανότητες του ερευνητή. Για την αντιμετώπιση του ως άνω προβλήματος έχει προταθεί ο προσδιορισμός της διαμέτρου αποτυπώματος d μετρώντας το βάθος αποτυπώματος (Niemz και Stubi 2000, Rautkari κ.α. 2011).

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η αξιολόγηση της ως άνω προτεινόμενης τροποποίησης της μεθόδου Brinell. Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με στατιστικό έλεγχο της συσχέτισης τόσο της ισχύουσας όσο και της τροποποιημένης μεθόδου Brinell με την πυκνότητα και τη σκληρότητα Janka 6 διαφορετικών ειδών ξύλου.

Υλικά και μέθοδοι

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή της παρούσας έρευνας αποτελούσαν από έξι (6) είδη συμπαγούς ξύλου: α) οξιά (*Fagus sp.*), β) καστανιά (*Castanea sp.*), γ) δρυς (*Quercus sp.*), δ) πεύκο (*Pinus sp.*), ε) Merbau (*Intsia sp.*), και στ) Ιπέ (*Tabebuia sp.*) τα οποία είχαν υποστεί μηχανική κατεργασία και ήταν κατάλληλα μορφοποιημένα με σκοπό τη χρήση στην κατασκευή πατωμάτων (παρκέτα). Ειδικά για τα είδη Merbau και Ιπέ έγινε προμήθεια δειγμάτων με διαφανή προστατευτική επικάλυψη (βερνίκι). Η προμήθεια των δειγμάτων έγινε από ελληνική επιχείρηση παραγωγής και εμπορίας παρκέτων. Για τα δύο (2) τελευταία είδη ξύλου (Merbau, Ιπέ) χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον δοκίμια από τα οποία αφαιρέθηκε με αποτριβή το εφαρμοσθέν προστατευτικό βερνίκι. Έτσι τελικά διαμορφώθηκαν προς έλεγχο 8 διαφορετικά είδη ξύλου: 1) οξιά, 2) καστανιά, 3) δρυς, 4) πεύκο, 5) Merbau με βερνίκι, 6) Merbau γυμνό, 7) Ιπέ με βερνίκι και 8) Ιπέ γυμνό.

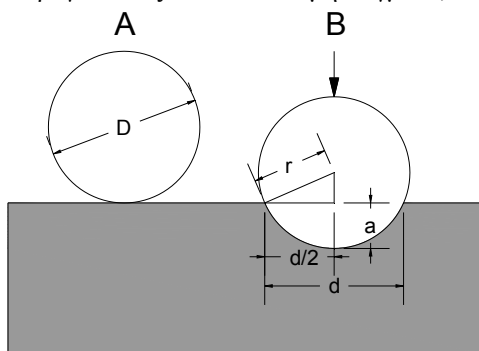
Από όλα τα ως άνω δείγματα αφαιρέθηκαν οι μη επίπεδες περιοχές των δειγμάτων και οποιαδήποτε σφάλματα υπήρχαν. Τα δημιουργηθέντα παραλληλεπίπεδα δοκίμια διαστάσεων 6x6 cm λειάνθηκαν με γυαλόχαρτο p80 και έπειτα με p120 για την επίτευξη λείας επιφάνειας. Ακολούθως κλιματίστηκαν μέχρι σταθερού βάρους σε συνθήκες σχετικής υγρασίας αέρα 65(±3)% και θερμοκρασίας 20(±1)°C και χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της σκληρότητας με τις μεθόδους Brinell (EN1534:2000) και Janka (ASTM D 143-1997).

Για τον προσδιορισμό της σκληρότητας Brinell και σύμφωνα με το ως άνω πρότυπο, η διάμετρος του αποτυπώματος (d) μετρήθηκε με μεγεθυντικό φακό και μικρόμετρο ως ο μέσος όρος 2 κάθετων διαμέτρων, η μια εκ των οποίων ήταν παράλληλη, ενώ η άλλη κάθετη προς τις ίνες του ξύλου. Εφαρμόζοντας τη μέθοδο αυτή υπολογίστηκαν οι τιμές σκληρότητας Brinell B.

Η σκληρότητα Brinell προσδιορίστηκε και με την προαναφερθείσα τροποποίηση μετρώντας το βάθος αποτυπώματος a (Σχήμα 1). Το βάθος αποτυπώματος προσδιορίστηκε με ακρίβεια 0,001mm και αντιστοιχούσε στο μέγιστο βάθος εισχώρησης της μεταλλικής σφαίρας μέσα στη μάζα του ξύλου κατά τη διεξαγωγή της δοκιμής. Χρησιμοποιώντας το a είναι δυνατός ο γεωμετρικός υπολογισμός του d,

$$d = 2\sqrt{2ra - a^2} \text{ . Με αντικατάσταση στην εξίσωση (1) προκύπτει ότι: } HB = \frac{F}{\pi Da} \text{ (2)}$$

Χρησιμοποιώντας τον παραπάνω μαθηματικό τύπο υπολογίστηκαν οι τιμές σκληρότητας Brinell A. Εφαρμόζοντας την προτεινόμενη μεθοδολογία ο προσδιορισμός του d έγινε με την παραδοχή ότι το αποτύπωμα που δημιουργείται στην επιφάνεια του ξύλου είναι σφαιρικό και δε μεταβάλλεται μετά τη φόρτιση δηλ. δεν λαμβάνονται υπόψη τυχόν ελαστικές παραμορφώσεις του ξύλου. Στις περιπτώσεις που λόγω της φόρτισης εμφανίστηκαν ραγαδώσεις στα υπό δοκιμή δείγματα, αυτά απορρίφθηκαν.



Σχήμα 1: Υπολογισμός της διαμέτρου αποτυπώματος (d) μετρώντας το βάθος αποτυπώματος (a).

Figure 1: Calculation of indentation diameter (d) by measuring the indentation depth (a).

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας πραγματοποιήθηκε και με τη μέθοδο Janka, όπως καθορίζεται από το πρότυπο ASTM D 143-1997. Οι μετρήσεις έγιναν πολύ κοντά σε αυτές για τον προσδιορισμό της σκληρότητας Brinell σε αποστάσεις όμως όχι μικρότερες των 20mm. Όλες οι φορτίσεις έγιναν κάθετα προς την διεύθυνση των ινών

του ξύλου και εφαπτομενικά. Όλες τις δοκιμές της παρούσας έρευνας χρησιμοποιώντας μηχανή δοκιμών Zwick-Roell Z020.

Μετά τη διεξαγωγή του προσδιορισμού σκληροτήτων, τα δοκίμια τεμαχίστηκαν σε μικρότερα πρισματικά δοκίμια διαστάσεων περίπου 40x40mm κάθε ένα από τα οποία περιελάμβανε το αποτύπωμα της μέτρησης Brinell και Janka. Σε κάθε ένα εκ των ανωτέρω προσδιορίστηκε η φαινομενική πυκνότητα αφού κλιματίστηκαν μέχρι σταθερού βάρους σε συνθήκες σχετικής υγρασίας αέρα 65(±3)% και θερμοκρασίας 20(±1)°C. Για κάθε είδος ξύλου έγινε προσδιορισμός των αριθμητικών μέσων, τυπικής απόκλισης, τυπικού σφάλματος, ελάχιστης και μέγιστης τιμής. Χρησιμοποιώντας το στατιστικό πακέτο PASW Statistics 18 πραγματοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) μεταξύ των χρησιμοποιηθέντων ειδών για τις προσδιορισθείσες ιδιότητες.

Για τη διερεύνηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των διαφορετικών μεθόδων προσδιορισμού σκληρότητας και της πυκνότητας των δοκιμασθέντων ειδών ξύλου πραγματοποιήθηκε υπολογισμός των σχετικών συντελεστών γραμμικής συσχέτισης Pearson για όλα τα είδη ξύλου που χρησιμοποιήθηκαν.

Αποτελέσματα - Συζήτηση

Ο Πίνακας 1 περιλαμβάνει όλα τα περιγραφικά στατιστικά μεγέθη που προσδιορίστηκαν. Από τον Πίνακα 1 και τον διεξαχθέντα έλεγχο ANOVA μεταξύ των σκληροτήτων Brinell A και Brinell B προκύπτει ότι για όλα τα είδη ξύλου οι διαφορές των δύο υπολογισθέντων σκληροτήτων είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο σημαντικότητας $p=0,001$. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η προτεινόμενη τροποποίηση στη μεθοδολογία προσδιορισμού της σκληρότητας Brinell είναι στατιστικά σημαντική.

Από τον Πίνακα 2 προκύπτει ότι η σκληρότητα Janka συσχετίζεται ισχυρά (τιμές συντελεστή συσχέτισης Pearson: 0,794 - 0,973) με την πυκνότητα για όλα τα δοκιμασθέντα είδη με τη συσχέτιση αυτή να μην επηρεάζεται από τη χρήση επικαλυπτικού βερνικιού. Επίσης στατιστικά σημαντική συσχέτιση με την πυκνότητα παρουσιάζει η σκληρότητα Brinell A (τιμές συντελεστή συσχέτισης Pearson 0,547 - 0,941) με μοναδική εξαίρεση το ξύλο της οξιάς (τιμή συντελεστή συσχέτισης Pearson 0,153). Αντίθετα, η σκληρότητα Brinell B συσχετίζεται σημαντικά με την πυκνότητα μόνο για τα 4 από τα 8 δοκιμασθέντα είδη ξύλου. Αντίστοιχα είναι και τα ευρήματα κατά τη σύγκριση των σκληροτήτων Janka και Brinell, όπου η σκληρότητα Brinell A παρουσιάζει στατιστικά σημαντική συσχέτιση με την Janka για τα 7 από τα 8 είδη ξύλου, ενώ η σκληρότητα Brinell B για τα 4 από τα 8.

Πίνακας 1: Περιγραφικά στατιστικά μεγέθη για τις προσδιορισθείσες πυκνότητες και σκληρότητες των δειγμάτων ξύλου.

Table 1: Descriptive statistics of the specimens densities and hardnesses .

		Δρυς	Πεύκη	Καστανιά	Οξιά	Merbau Γυμνό	Merbau Βερνίκι	Ιπέ Γυμνό	Ιπέ Βερνίκι
Πυκνότητα (g/cm³)	N	24	32	24	32	46	46	64	64
	\bar{x}	0,80	0,50	0,59	0,76	0,94	0,95	0,99	0,99
	s	0,0487	0,0300	0,0199	0,0218	0,0691	0,0678	0,0765	0,0789
	CV	6,0	5,9	3,3	2,8	7,3	7,1	7,7	7,9
	min	0,72	0,44	0,56	0,71	0,85	0,84	0,86	0,87
	max	0,86	0,56	0,63	0,84	1,05	1,05	1,11	1,14
Σκληρότητα Brinell A (Kg/mm²)	N	23	32	24	32	46	46	64	64
	\bar{x}	3,33	1,30	1,92	2,70	4,14	4,46	4,03	3,96
	s	0,3076	0,1789	0,3580	0,3420	0,6653	1,1277	0,7437	0,6394
	CV	17,2	13,6	18,2	12,5	15,9	25,0	18,3	16,0
	min	2,78	1,02	1,46	2,06	3,02	3,01	2,73	2,79
	max	3,87	1,82	2,54	3,51	5,47	6,52	6,23	6,00
Σκληρότητα Brinell B (Kg/mm²)	N	24	32	24	32	46	46	64	64
	\bar{x}	6,90	2,13	4,28	6,05	13,31	10,69	7,00	6,32
	s	0,7645	0,4053	0,9218	0,7736	0,7119	2,7314	0,2635	0,2314
	CV	10,8	18,7	21,1	12,6	5,3	25,3	3,7	3,6
	min	5,73	1,53	3,34	4,53	12,07	6,93	6,33	5,75
	max	9,36	3,20	6,47	7,66	14,95	14,59	7,76	6,80
Σκληρότητα Janka (N)	N	24	32	24	32	46	46	64	64
	\bar{x}	8730	2699	4282	8122	12552	11659	12340	12853
	s	1336	379	609	1032	3379	2699	1860	2461
	CV	15,0	13,8	13,9	12,5	26,6	22,9	15,0	19,0
	min	6476	1967	3136	6769	8319	8035	8830	8802
	max	10364	3275	5609	12345	17512	16610	15619	17792

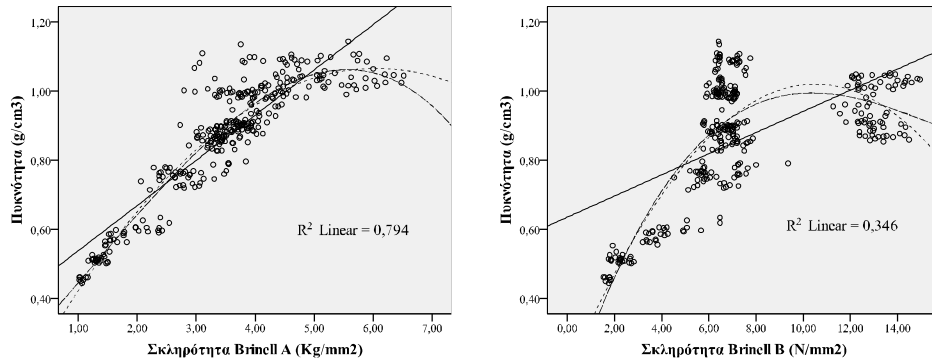
Πίνακας 2: Συντελεστές συσχέτισης Pearson μεταξύ των πυκνοτήτων και σκληροτήτων για τα δοκιμασθέντα είδη ξύλου.

Table 2: Pearson Correlation coefficients for the densities and hardnesses of the tested specimens.

		Brinell A	Brinell B	Janka		Brinell A	Brinell B	Janka
Πυκνότητα Brinell A	ΔΡΥΣ	,647**	-,092	,973**	ΙΠΕ ΓΥΜΝΟ	,672**	,505**	,811**
			,155	,615*			,497**	,515**
Brinell B				-,130				,512**
Πυκνότητα Brinell A	ΠΕΥΚΗ	,841**	,583**	,927**	ΙΠΕ ΒΕΡΝΙΚΙ	,547**	,311	,850**
			,786**	,712**			,121	,348*
Brinell B				,482*				,126
Πυκνότητα Brinell A	ΚΑΣΤΑ- ΝΙΑ	,747**	,723**	,912**	ΜΕΡΒΑΥ ΜΕΡΒΑΥ ΓΥΜΝΟ	,910**	,094	,972**
			,685**	,595*			,135	,909**
Brinell B				,610*				,101
Πυκνότητα Brinell A	ΟΞΙΑ	,153	,341	,794**	ΜΕΡΒΑΥ ΒΕΡΝΙΚΙ	,941**	,772**	,923**
			-,020	,281			,702**	,893**
Brinell B				,182				,720**

* : Στατιστικά σημαντική συσχέτιση σε επίπεδο σημαντικότητας 0,005

** : Στατιστικά σημαντική συσχέτιση σε επίπεδο σημαντικότητας 0,001



Σχήμα 2: Διαγράμματα διασποράς μεταξύ των δυο μεθόδων προσδιορισμού σκληρότητας και της πυκνότητας των όλων εξετασθέντων ειδών.

Graph 2: Scatter-plots presenting the correlation of the two Brinell hardnesses with the density of all tested specimens.

Η συσχέτιση της σκληρότητας Brinell A με την πυκνότητα για το σύνολο των μετρήσεων όλων των ειδών ξύλου χαρακτηρίζεται από αρκετά υψηλούς συντελεστές. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2 – αριστερά, ο γραμμικός συντελεστής R^2 εμφάνισε τιμή ίση με 0,794 κάτι που αποδεικνύει ισχυρή συσχέτιση της εν λόγω μεθόδου προσδιορισμού της σκληρότητας με την πυκνότητα. Αντίθετα, από το Σχήμα 2 - δεξιά προκύπτει ότι η σκληρότητα Brinell B παρουσιάζει πιο ασθενή συσχέτιση με την πυκνότητα των δοκιμασθέντων ειδών. Συγκριμένα, ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης είναι ίσος με 0,346. Παρόμοια είναι και τα αποτελέσματα συσχέτισης των δυο μεθόδων προσδιορισμού σκληρότητας Brinell με τη σκληρότητα Janka. Πιο συγκεκριμένα προέκυψε ότι η συσχέτιση της σκληρότητας Brinell A με τη σκληρότητα Janka είναι ισχυρότερη της σκληρότητας Brinell B, καθώς οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης ήταν 0,759 και 0,357.

Επιπροσθέτως, από τον Πίνακα 1 και την ανάλυση διακύμανσης προέκυψε ότι τόσο η πυκνότητα όσο και η σκληρότητα (για όλες τις μεθόδους που εφαρμόστηκαν στην παρούσα έρευνα) δεν επηρεάστηκαν σημαντικά από την προστατευτική επικάλυψη.

Συμπεράσματα

Η εφαρμοσθείσα τροποποίηση στη μέθοδο προσδιορισμού της σκληρότητας Brinell οδηγεί σε στατιστικά σημαντικές διαφορές της εν λόγω ιδιότητας σε σχέση με την βάση EN1534:2000 μεθοδολογία μέτρησης. Επιπροσθέτως, εφαρμόζοντας την εν λόγω τροποποίηση προκύπτει στατιστικά σημαντικότερη συσχέτιση της σκληρότητας Brinell τόσο με την πυκνότητα όσο και με τη σκληρότητα Janka, για 6 διαφορετικά είδη συμπαγούς ξύλου σε σχέση με την τυποποιημένη μεθοδολογία. Η εν λόγω τροποποίηση φαίνεται επίσης να δίνει ανάλογα αποτελέσματα και σε ξύλο επικαλυμμένο με βερνίκι.

Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς επιθυμούν να ευχαριστήσουν: τον Δρ. Γεώργιο Μαντάνη – Καθηγητή του Τμήματος Σχεδιασμού & Τεχνολογίας Ξύλου – Επίπλου για τις συμβουλές και τη βοήθεια στην εκπόνηση της εργασίας, τον κύριο Μιλτιάδη Κόκκινο - Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό του Τμήματος Σχεδιασμού & Τεχνολογίας Ξύλου – Επίπλου για την τεχνική βοήθεια και την Χλιάπας Α.Ε. για την ευγενική προσφορά των δειγμάτων ξύλου της έρευνας.

Assessment of a proposed modification to the determination of wood hardness according to the Brinell method (EN1534:2000)

Lykidis Charalampos

National Agricultural Research Foundation
Institute of Mediterranean Forest Ecosystems and Forest Products Technology
Laboratory of Wood Anatomy and Technology
Terma Alkmanos, 115 28, Ilisia, Athens, Greece

Birbilis Dimitrios, Nikolakakos Miltiadis, Sakellariou Evaggelos

TEI of Larissa, Dept. of Wood and Furniture Design & Technology
11 V. Griva Str. 43100 Karditsa, Greece

SUMMARY

Hardness is a key property which is linearly correlated with density and other mechanical properties of wood and is mainly determined by the Janka and Brinell methods. To determine hardness according to the Brinell method (as described in EN1534: 2000) the measurement of the diameter of the indentation produced by a pressed metal ball on the wood surface is required. The aim of this study was to assess a modification of the method for determining the indentation diameter. The amendment relies on the ability of accurate indentation depth measurement by modern testing machines. From the results of this study it was shown that the proposed modification results in a statistically significant difference of Brinell hardness compared to the method defined in EN1534:2000. Moreover, the application of the proposed amendment leads to statistically significant correlation between Brinell hardness with both density and Janka hardness of the 6 different solid wood species tested in comparison with the standard methodology. This proposed modification also produces similar results for varnish coated wood.

Βιβλιογραφία

American Society of Testing Materials (ASTM), 1997. Standard test methods for small clear specimens of timber. ASTM D 143. Annual book of ASTM standards, vol 4.10. Philadelphia, PA, USA.

Bektas, I., Alma, M.H., As, N. 2001. Determination of the relationships between Brinell and Janka hardness of eastern beech (*Fagus orientalis* Lipsky). Forest Products Journal, 51 (11-12): 84-88.

EN 1534, 2000. Wood and parquet flooring—determination of resistance to indentation (Brinell)—test method. CEN, European Committee for Standardization, Brussels.

Hirata, S., Ohta, M., Honma, Y., 2001. Hardness distribution on wood surface. Journal of Wood Science, 47 (1): 1-7.

Holmberg H., 2000. Influence of grain angle on Brinell hardness of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Holz als Roh- und Werkstoff 58: 91-95.

Kollmann F., 1951. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, vol I. Springer, Berlin: 910-926.

Niemz P., Stubi T., 2000. Investigations of hardness measurements on wood based materials using a new universal measurement system. In: Proceedings of the symposium on wood machining, properties of wood and wood composites related to wood machining, Vienna, Austria. pp. 51-61.

Rautkari L., Kamke F. Hughes M. 2011. Density profile relation to hardness of viscoelastic thermal compressed (VTC) wood composite. Προς δημοσίευση: Wood Science and Technology: 1-13.

Rautkari, L., Properzi, M., Pichelin, F., Hughes, M., 2009. Surface modification of wood using friction. Wood Science and Technology, 43 (3-4): 291-299.

Schwab E., 1990. Die Härte von Laubhölzern für die Parkettherstellung. Holz als Roh- und Werkstoff 48 (2): 47-51.