

Fűrészáru szilárdság szerint történő osztályozásának gyakorlati alkalmazása. I. rész.

Divós Ferenc, Csóka Levente, Szalai László, Gyenizse Péter *

Practical application of strength-based classification of lumber. Part I.

This article describes the possibility of classifying lumber using nondestructive methods, according to the specifications of the standard MSZ-EN 338. A new device is introduced that measures the density of lumber and its dynamic MOE based on longitudinal vibration. The first part of the paper describes the theoretical background of the measurement and discusses certain considerations and correction factors. The measurement method is also described. The second part will summarise the results of some practical investigations carried out using this method.

Bevezetés

A fűrészáru szilárdság szerint történő osztályozásának az egyik lehetőségét ismertetjük. Bemutatjuk a dinamikus rugalmassági modulusz és sűrűség mérésére kifejlesztett hordozható osztályozó berendezést. Alkalmazási példaként, cikkünk második részében bükk rétegelt ragasztott tartók lamelláinak és a Nyugat-Magyarországi Egyetemen felállított fakupola szibériai vörösfenyő alapanyagának osztályozását ismertetjük.

Fűrészáru szilárdság szerint történő osztályozása hazánkban

Magyarországon a fűrészárut szilárdsági-
lag nem osztályozzák, csak kereskedelmi osztályokba sorolják. Az I. és a II. kereskedelmi osztályt az MSZ 15025:1989 szabvány szerint átminősíthetjük a II. és a III. szilárdsági kategóriákba mindenféle külön vizsgálat nélkül. A szilárdsági osztályozással pénzt és anyagot is megtakaríthatnának a tervezők és kivitelezők. Például rétegelt-ragasztott tartók gyártásánál a semleges szál közelébe kisebb szilárdságú, míg a jelentős igénybevételnek kitett helyekre nagyobb szilárdsággal rendelkező anyagot lehet beépíteni. Ezt bármely más szerkezetre is alkalmazni lehet. A nagyobb szilárdságú anyag kisebb keresztmetszetet kíván meg a tervezéskor, vagy ugyanolyan méretekkel jobban terhelhető. A szilárdsági osztályozás talán azért nem terjedt el hazánkban, mert nem volt és talán

még ma sincs kellő kereslet iránta, vagy talán azért nincs kereslet, mert nincs kínálat.

A vizuális osztályozás nagy szakértelmet követel. Sok szempontból kell az anyagot megvizsgálni. Az osztályozás előírásait az MSZ 10144:1986 vagy az MSZ EN 518:1998 szabvány tartalmazza. Az utóbbi szabvány a vizuális szilárdsági osztályozásnak azokat az alapelveit írja elő, amelyeket bizonyos jellemzőkre vonatkozó határérték követelmények kidolgozása esetén be kell tartani. Vizuális osztályozással csak I. vagy annál alacsonyabb osztályba sorolható be a faanyag.

A gépi szilárdsági osztályozás valószínűleg a költségessége miatt sem terjedt el. A hazai fűrészüzemek nem engedhették és talán ma sem engedhetik meg maguknak, hogy ilyen mérvű beruházást eszközöljenek. A piacon a nyugati fejlesztésű, jó minőségű gépek ára esetenként csillagászati, és nem is biztos, hogy a kisebb üzemek ki tudnák használni a gépek teljesítményét. A Nyugat-Magyarországi Egyetemen a Roncsolásmentes Faanyagvizsgáló Laboratóriumban kifejlesztésre került egy szilárdsági osztályozó berendezés (**1. ábra**), amely az anyag longitudinális rugalmassági moduluszát és sűrűségét határozza meg, valamint szilárdsági osztályba sorolja azt.

A hordozható számítógép alatt látható a kiegészítő egység. Ez tartalmazza azt a speciális Advantech gyártmányú adatgyűjtő kártyát, (PCL-818H) mely feldolgozza a mérleg és a mikrofon jeleit. A szerkezeti célra felhasznált

* Dr. Divós Ferenc egy. docens, Csóka Levente demonstrátor, Szalai László doktorandusz hallgató, NyME Roncsolásmentes Faanyagvizsgáló Laboratórium. Gyenizse Péter okl. faipari mérnök Rakodólap üzem, Rajka.



1.ábra– Osztályozó berendezés működés közben

faanyag osztályozására vonatkozó MSZ EN 338:1998 szabvány éppen a rugalmassági moduluszt és a sűrűséget veszi alapul. A szabvány arra a tapasztalatra épül, hogy a faanyag szilárdsága és rugalmassági modulusa között szoros kapcsolat van. A szabvány alkalmazása lehetővé teszi a faanyag biztonságos felhasználását és ezzel egy időben a fában rejlő szilárdsági tartalék kihasználását. A gépi szilárdsági osztályozásra felhasznált berendezésekkel szemben támasztott követelményekkel az MSZ EN 519:1998 szabvány foglalkozik. A berendezéshez tartozik egy mérleg, amely a vizsgált anyag tömegének a felét méri a kéttámaszú tartó elvén, vagyis a fűrészáru egyik vége a mérlegen a másik pedig egy szivacsos alátámasztáson fekszik fel, és a hozzákötött számítógép a mért értéket megszorozza kettővel. A mérleg alkalmas megválasztásával tetszőleges méretű faanyag minősítésére alkalmas a berendezés, pl.: rétegelt-ragasztott tartók, vezetékoszlopok, gerendák, stb.

A dinamikus rugalmassági modulusz mérése longitudinális rezgésekkel

A rugalmassági modulusz az anyagoknak az a tulajdonsága, amely meghatározza a terhelés hatására bekövetkező alakváltozás mértékét. Ez a paraméter tehát fontos olyan szerkezetek esetében, ahol a behajlásra méretezünk (födémek, polcok, stb.). A másik ok, amiért ez a paraméter érdeklődésre tarthat számot, az, hogy a rugalmassági modulusz jól korrelál a hajlítószilárdsággal ($r^2=0.8$), így felhasználható annak becslésére is. Ezt az alapelvet ma már széles

körben alkalmazzák fűrészáru gyártás közbeni minősítésére, ahol görgős rendszerek segítségével becslik a hajlítószilárdságot.

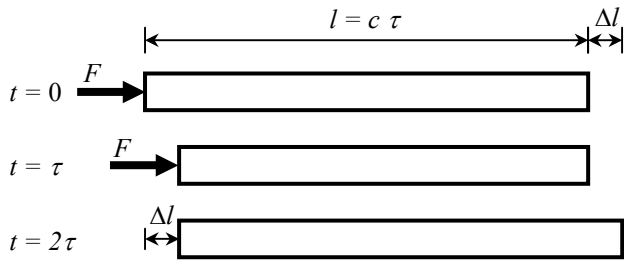
A különböző anyagok rezgési karakterisztikájára nézve meghatározóak az elasztikus tulajdonságok. A megfelelő összefüggések ismeretében tehát a szerkezetek rezgési karakterisztikájából következtetni lehet az anyag rugalmassági moduluszára. Az ilyen módon meghatározott rugalmassági moduluszt dinamikus rugalmassági modulusznak hívjuk, és mérésére többféle lehetőség kínálkozik. Ezek közül az egyik legegyszerűbb a longitudinális rezgések használata. Ezt a módszert már több kutató is vizsgálta és megállapították, hogy a longitudinális rugalmassági modulusz kiválóan korrelál a hajlítószilárdsággal (Pellerin és Galligan 1965, Divós 1999).

A dinamikus rugalmassági modulusz mellett a gyakorlat számára fontos a statikus rugalmassági modulusz is. A vizsgálatok azt mutatják, hogy a két anyagjellemző közt meglehetősen szoros összefüggést lehet felállítani. A két modulusz érték közti különbség elsődleges oka az, hogy a dinamikus vizsgálatnál az anyag deformációja nagyon gyorsan megy végbe. Ez nem ad lehetőséget a viszkoelasztikus deformációra, ami statikus terhelésnél fontos szerepet játszik. A két mérés közt a mérésre fordított idő akár 3-4 nagyságrenddel is különbözhet. Ha a fa viszkoelasztikus viselkedését figyelembe vesszük, akkor a jelentős időkülönbség magyarázatot adhat arra, hogy miért nagyobb 8-10%-kal a dinamikusan mért rugalmassági modulusz, mint a statikus.

Rugalmas hullámok terjedése hosszú rudakban

A rugalmas hullámok terjedésénél az anyagi közeg részecskéi között fellépő rugalmas erők játszanak szerepet. Szilárd közegben például a V térfogatelem x irányú elmozdulásaként vagy rezgéseként megnyilvánuló zavar a nyomóerők által az x tengely menti, a nyíróerők által pedig az y tengely menti szomszédos elemekre is áterjed.

Legyen a rúd keresztmetszete A , sűrűsége ρ , rugalmassági modulusza pedig E . Ha a rúd baloldali végére hosszirányban igen rövid τ ideig F erő hat, például a rúd végére kalapáccsal



2.ábra – A zavar terjedése egy $l = c\tau$ hosszúságú rúdban

ráütünk, akkor ez a rúd összenyomásában megnyilvánuló zavar longitudinális hullámként halad jobbra bizonyos c sebességgel, és τ idő alatt távolságra jut el. Legyen a rúd hosszúsága éppen ez az l távolság. Ekkor a zavar terjedését a 2. ábra szerint képzelhetjük el. Az erőhatás kezdetekor, $t = 0$ -nál még az egész rúd nyugalomban van. A $t = \tau$ időpontban a rúd baloldali véglapja már valamilyen Δl -lel elmozdult, de a jobb oldali véglap még éppen nyugalomban van. A $t = 2\tau$ időpontban, az előrehaladás megszűnte után τ idő múlva a jobb oldali véglap is elmozdult Δl -lel. Az állandónak feltételezett F erő tehát az l hosszúságú rudat Δl -lel megrövidíti, azaz a Hooke-törvény alapján fennáll:

$$F = E \cdot \frac{\Delta l}{l} \cdot A, \quad [1]$$

Másrészt, az ábra szerint az $F \cdot \tau$ erőlkés hatására először a bal oldali véglap, majd egymás után valamennyi keresztmetszet elmozdul $v = \Delta l / \tau$ sebességgel, tehát végeredményben úgy számolhatunk, mintha ezzel a sebességgel az egész $m = \rho \cdot A \cdot c \cdot \tau$ tömegű rúd elmozdult volna. Ezért az impulzus-tétel szerint:

$$F \cdot \tau = m \cdot v = \rho \cdot A \cdot c \cdot \tau \cdot \frac{\Delta l}{\tau}, \quad [2]$$

Az F -et az előző egyenletből behelyettesítve, egyszerűsítés után a hang terjedési sebessége:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad [3]$$

Fontos megjegyezni, hogy a fenti összefüggés csak valóban hosszúkás anyagokban terjedő, longitudinális hullámokra igaz. Amennyiben minden irányban számottevő kiterjedéssel ren-

delkező testben gerjesztünk hullámokat, a terjedési sebesség különböző lesz longitudinális és transzverzális irányban.

A jelen vizsgálatnál a lökéshullám terjedési sebességét a longitudinális rezgésfrekvenciájából határozzuk meg a következő összefüggés segítségével:

$$c = 2 \cdot f \cdot L, \quad [4]$$

ahol

- L – a próbatest hossza;
- f – a rezgési frekvencia.

Ezek után a hang terjedési sebességére vonatkozó [3] összefüggés felhasználásával:

$$E = \rho \cdot c^2 = 4 \cdot L^2 \cdot f^2 \cdot \rho, \quad [5]$$

Ahhoz, hogy ezt az összefüggést használni lehessen, hosszúkás próbatesteket kell alkalmazni, ahol a hosszúság a szélesség ötszörösénél nagyobb kell lennie. Ez szerencsére a faiparban csak ritkán okoz problémát.

A csillapítás hatása a frekvenciára

Valós esetben a longitudinális lökéshullámok által keltett rezgés – akárcsak az összes többi rezgésfajta – nem pontosan harmonikus rezgés, mert az anyag belső súrlódása és egyéb tényezők hatására a rezgés amplitúdója csökken. Ezt a jelenséget csillapításnak nevezük. A csillapításnak több fajtája létezik, ezek közül matematikailag legegyszerűbben leírható az az eset, amikor az egymást követő amplitúdók geometriai haladvány szerint csökkennek, azaz a soron következő amplitúdó érték mindig ugyanolyan arányban csökken az előzőhöz képest. Feltételezve, hogy az általunk vizsgált csillapodó rezgés ebbe a rezgésfajtába tartozik, a mozgást a következő egyenlet írja le:

$$x = A \cdot e^{-\beta t} \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha), \quad [6]$$

ahol

- A – az amplitúdó értéke $t = 0$ -ban;
- β – csillapítási tényező;
- t – idő;
- ω – a rezgés körfrekvenciája ($2\pi f$);
- α – kezdőfázis.

A rezgési görbét ebben az esetben egy exponenciális görbe burkolja, melynek egyenlete a fenti kifejezésben is szereplő $e^{-\beta t}$ függvény. Ebből látható, hogy a β értéke meghatározó a csillapítás mértékére nézve. A csillapítás jellemzésére gyakran használják a $\Lambda = \beta T$ értéket is, ahol T a rezgés periódusideje. Λ -t logaritmikus dekrementumnak nevezzük.

Fontos tudnivaló, hogy a csillapító erők nem csak a rezgés amplitúdójára vannak hatással, hanem befolyásolják a periódusidőt, és ezzel a frekvenciát is. Ezt a jelenséget a következő összefüggés írja le matematikailag:

$$f = \frac{f_0}{\sqrt{1 + \frac{\Lambda^2}{4\pi^2}}}, \quad [7]$$

ahol

- f_0 – az érzékelt frekvencia;
- f – a megfelelő csillapítatlan rezgés frekvenciája.

Longitudinális rezgések esetében a fa csillapítási tényezője nagyban függ a megfogási körülményektől (például jelentősen növekszik merev befogás esetén, amely nem engedi szabadon továbbterjedni a hullámokat). Amennyiben a próbatestet nem fogjuk be, hanem csupán valamilyen alátámasztó felületre helyezzük, a logaritmikus dekrementum értéke igen kicsiny, így a csillapítás legtöbbször elhanyagolható. Fontos megjegyezni, hogy ez nem minden anyag esetén igaz, például forgácslapok esetében a fenti korrekciót nem lehet elhagyni.

A Rayleigh korrekció

Az eddig tárgyalt összefüggések csak végtelen hosszú anyag esetében szolgálnak teljesen pontos eredménnyel. Az anyagok véges hosszának figyelembe vételére (Rayleigh 1945) a következő korrekciót vezette be:

$$f = f_0 \cdot \left(1 + \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot v^2 \cdot (a^2 + b^2)}{24L^2} \right), \quad [8]$$

ahol

- f – korrigált frekvencia;
- f_0 – mért frekvencia;
- L – a próbatest hossza;
- n – rezgési módusz;
- v – a Poisson állandó értéke (feltételezett értéke 0,3);
- a, b – a keresztmetszet oldalhosszai.

A fa inhomogenitása miatt a fenti összefüggés további korrekcióra szorulna, azonban az eltérés olyan csekély, hogy ez a képlet biztonságosan alkalmazható faanyag esetében is.

Egyéb megfontolások

A mérést olyan módon lehet kivitelezni, hogy a próbatest bütijét finoman megkocintjuk egy kalapács segítségével. Ilyen módon az anyagban egy rostirányú lökeshullámot indítunk el, ami longitudinális rezgésbe hozza a próbatestet. Méréstechnikailag fontos, hogy milyen keménységű anyagot használunk a próbatest megütéséhez. A puhább anyagok jobban megfelelnek, ha alacsonyabb frekvenciát akarunk gerjeszteni. Ha magasabb frekvencia-tartományban kell mérnünk, keményebb kalapácsot kell használni. Általános irányelvként elmondható, hogy minél kisebb a próbatest, illetve minél nagyobb a rugalmassági modulusa, annál magasabb frekvenciát kell gerjeszteni, azaz annál keményebb kalapácsra van szükség.

Mint ismeretes, a fa ortogónálisan anizotróp (ortotróp) anyag, ezért tulajdonságai különbözőek a három anatómiai főirányban. Ennek megfelelően megkülönböztetünk longitudinális, radiális és tangenciális irányban mért rugalmassági modulusokat. Ezek közül, a faanyag sajátos felhasználási tulajdonságai miatt a legfontosabb a longitudinális rugalmassági modulus. Mivel ennél a vizsgálatnál longitudinális lökeshullámokat gerjesztünk, a mért frekvenciából számított rugalmassági modulus érték is ilyen irányú terhelésre vonatkozik.

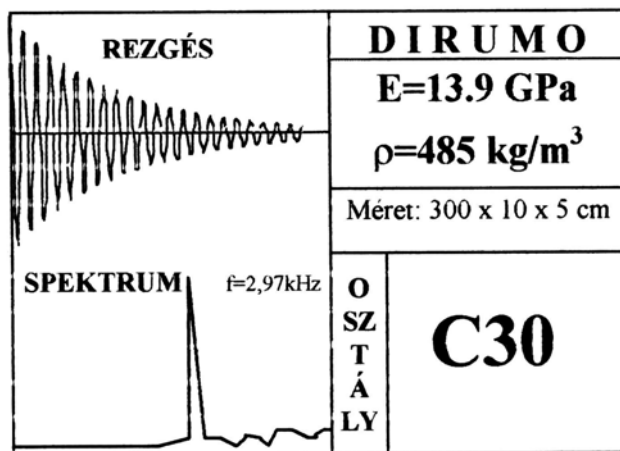
A teljesség kedvéért meg kell említeni, hogy a rugalmassági modulus értéke bizonyos mértékben változik a hőmérséklet és a

1. táblázat - osztályozási kritériumok fenyő és nyár fafajokra (az MSZ EN 338:1998 alapján)

Fenyő osztály	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40
MOE (GPa)	7	8	9	10	11	12	12	13	14
ρ (kg/m ³)	350	370	380	410	420	450	460	480	500

2. táblázat - osztályozási kritériumok lombos fafajokra. (az MSZ EN 338:1998 alapján)

Lombos osztály	D30	D35	D40	D50	D60	D70
MOE (GPa)	10	10	11	14	17	20
ρ (kg/m ³)	640	670	700	780	840	1080



3. ábra – A számítógép képernyője a mérés elvégzése után

nedvességtartalom hatására, ami értelemszerűen befolyásolja a hang terjedési sebességét is. Fenyő faanyag esetében (Matthews et al. 1994) a következő összefüggést állították fel, mikor is a rugalmassági moduluszt longitudinális rezgésekkel mérték:

$$E = 17871,9 - 24,6 \cdot t - 90,7 \cdot u + 0,54 \cdot u^2, \quad [8]$$

ahol

t – hőmérséklet;

u – nedvességtartalom.

A fenti kifejezést vizsgálva kiderül, hogy növekvő hőmérséklet hatására a rugalmassági modulusz, és ezzel a hangsebesség, lineárisan csökken. A nedvességtartalom növelésének hatására a rugalmassági modulusz egy bizonyos pontig csökken, majd enyhén növekvő tendenciát mutat.

A mérés menete

Első lépésben a faanyag méreteit (hossz, szélesség, vastagság) kell meghatározni és azokat számítógépbe be kell írni. Természetesen, ha azonos méretű anyagokat vizsgálunk, akkor csak az elsőnél kell a méreteket beírni cm-es pontossággal. A vizsgált faanyagot a géppel összeköttetésben lévő mérlegre kell helyezni és ezután a bütüre mért kalapácsütéssel be is fejeződik a mérés. A kalapácsütés hangját mikrofon rögzíti. A kiértékelés két másodpercen belül megtörténik. A képernyőn megjelenik a longitudinális rezgésnek a képe, a rezgés frekvencia összetevőit jellemző spektrum. A számítógép meghatározza a rezgés frekvenciáját. Ebből, a mért tömegeből és a méretekből a csillapítás hatásának és a Rayleigh korrekciónak a figyelembe vételével kiszámítja a dinamikus rugalmassági moduluszt (E), és a sűrűséget (ρ). Ezen adatoknak megfelelően pedig az MSZ EN 338 alapján szilárdsági osztályba sorolja a vizsgált faanyagot: C14, C16,... C35 és C40, vagy D30,...D70. A C sorozat fenyőre és nyár fafajokra, a D sorozat lombos fafajokra vonatkozik (3. ábra).

Az osztályozás elvégzéséhez csak két emberre van szükség de egy harmadik személlyel, aki az adatok rögzítését végzi, az osztályozás felgyorsítható.

Az osztályozási algoritmus a rugalmassági modulusz és a mért sűrűség alapján történik a 1. és 2. táblázatban rögzített minimum értékek figyelembevételével. A faanyagok mind a sűrűség, mind a rugalmassági modulusz tekintetében meg kell felelnie az adott osztály kritériumainak.

Alkalmazások

A bemutatott osztályozó berendezéssel több mérést végeztünk a gyakorlatban. Kipróbáltuk a Tanulmányi Erdőgazdaság Rt. soproni fűrészüzemében, bükk ragasztott tartó lamelláit osztályoztuk a Grazi Műszaki Egyetemen és szibériai vörösfenyő pallót osztályoztunk, a Nyugat-Magyarországi Egyetemen felállítandó fakupola építéséhez. Ezekről az alkalmazásokról a cikk második részében számolunk be.

Irodalomjegyzék

1. MSZ 10144:1986. **Teherhordó faszerkezetek anyagai.** 14 old.
2. MSZ 15025:1989. **Építmények teherhordó faszerkezeteinek tervezése.** 41 old.
3. MSZ EN 338:1998 **Szerkezeti fa. Szilárdsági osztályok.** 7 old.
4. MSZ EN 518:1998 **Szerkezeti fa. Osztályozás. A vizuális szilárdsági osztályozásra vonatkozó szabványok követelményei.** 12 old.
5. MSZ EN 519:1998 **Szerkezeti fa. Osztályozás. A gépi osztályozású fa és az osztályozógépek követelményei.** 12 old.
6. Strutt, J. W. Lord Rayleigh. 1945. **Theory of Sound.** 2nd ed., vol. 1. Macmillan, New York.
7. Pellerin, R. F. 1965. **A Vibrational Approach to Nondestructive Testing of Structural Lumber.** Forest Prod. J. 15(3):93-101.
8. Matthews, B., Zombori, B., Divós, F. 1994. **The Effect of Moisture Content and Temperature on the Stresswave Parameters.** Proc. 1st European Symp. on Nondestructive Evaluation of Wood. Sopron. pp. 261-269.
9. Divós, F., Bejő, L., Gergely, L., Magoss, E., Salamon, Z., 1999. **Roncsolásmentes faanyagvizsgálat.** Egyetemi jegyzet, Soproni Egyetem

A fehérnyár hibridek faanyagminőségének javítási lehetőségei

Molnár Sándor, Németh Róbert, Paukó Andrea, Göbölös Péter ✧

Possibilities of improving the wood properties of white poplar hybrids

The most important results of a project assessing some wood properties of white poplar hybrids are discussed. White poplar material from 15 different sites was examined. Findings show that healthy white poplar wood is similar in properties to denser, cultivated poplar types. The xylem of different hybrids varies because of natural crossing. Using selective breeding is important to ensure good quality material.

Bevezetés

A fehér nyár (*Populus alba*) és a rezgő nyár (*Populus tremula*) természetes hibridjeit a gyakorlatban egységes fafajként (*Szürkenyár* – *P. canescens*) kezelik. Ezen őshonos hibridek kitűnnek kiváló ellenálló képességükkel a szélsőséges termőhelyi viszonyok között, ezért felértékelődött lehetséges szerepük az Alföld fásításában.

A dekoratív külső megjelenésű fehérnyarak azonban rendkívül változékony és kedvezőtlen faanyag tulajdonságokkal rendelkez-

nek, így jellemző rájuk az erős gesztesedés (szurkos geszt), álgesztesedés, bélkorhadás és a gyűrűsrepedések. Az ipari fa kihozatalt csökkentik a törzsek sík- és térgörbesége.

Emiatt az Erdészeti Tudományos Intézetrel együttműködve fontos feladatnak tekintettük felkutatni azon fehérnyár hibrid előfordulásokat, amelyek előnyösebb alakú jellemzőkkel és faanyag tulajdonságokkal rendelkeznek. A témában a 2000. év óta OTKA kutatást végzünk (T 032625), amelynek eredményeiről a következőkben kívánunk számot adni.

✧ Dr. Molnár Sándor DSc. egy. tanár, intézetigazgató, Németh Róbert egyetemi adjunktus, Paukó Andrea és Göbölös Péter doktorandusz hallfgatók a NyME Faanyagtudományi Intézetében