

Színfurnérok rugalmasságának anizotrópiája - I. rész

Kovács Zsolt, Dénes Levente, Bálint Zsolt, Láng Elemér *

Orthotropic elasticity of sliced veneers – Part 1.

Predicting the properties of structural wood based composite materials necessitates information about the mechanical performance of its constituents. Assessing properties of the composite raw material subjected to the effects of manufacturing parameters provides the proper input data. This paper describes an investigation of the orthotropy of dynamic MOE and static MOE in bending, in planes ranging from LT to LR, using sliced veneer samples. The experiment included two hardwood species grown in Hungary, namely beech (*Fagus sylvatica L.*) and maple (*Acer pseudoplatanus L.*). The effects of composite manufacturing parameters were simulated by curing resin spread on individual veneer layers using hot press conditions. The orthotropy of the dynamic and static MOE was investigated using an ultrasonic technique and a paper-bending equipment respectively. Two-dimensional Hankinson-formula with variable exponent as well as an equation based on four-dimensional tensor theory were fitted to the observed values.

Bevezetés

A műszaki fatermékek elterjedése egyrészt a gazdaságos nyersanyaghasznosítás igényéből, másrészt a szerkezeti célú alapanyagok megbízhatósága iránti igény fokozásából következik. A rendelkezésre álló nyersanyag csökkenő méreti és minőségi jellemzői mellett az értéknövelő hasznosítás úgy oldható meg, hogy újabb – kedvezőtlen tulajdonságai miatt eddig nem használt – fafajokat vonunk be, fokozzuk a meglévő technológiák kihozatalát, vagy a fafeldolgozás során keletkező hulladékot hasznosítjuk.

Ilyen hasznosítható alapanyagként minősülhet a színfurnérgyártás során keletkező hulladék is, hiszen az a legjobb minőségű rönkökből kerül ki. Bár a furnéralapú kompozit-technológiák (rétegtelmez, rétegtel furnérfa – LVL, szálfurnérfa – PSL) műszaki furnért használnak alapanyagként, fafaj tekintetében pedig a túlevelűeket részesítik előnyben, nem szabad figyelmen kívül hagyni a lombos fafajokat sem. Szerkezeti célú termékekről lévén szó elsősorban a rugalmassági és szilárdsági tulajdonságokat, azok anizotrópiáját kell megvizsgálni.

A furnéralapú, építőipari célra alkalmas gerenda típusú kompozitok rugalmas jellemzőit főként az alapanyag – jelen esetben a furnér – tulajdonságai, és a gyártási paraméterek befolyásolják (Láng és tsai. 2000, 2002). Ezek

ismeretében felépíthető egy olyan kombinált determinisztikus-probabilisztikus matematikai modell, amely a kompozit termék keresztmetszeti jellemzőit az azt felépítő részecskék tulajdonságai alapján számítja ki (Bejó 2001). E modell segítségével lehetőség nyílik arra, hogy olyan tervezett tulajdonságú terméket állítsunk elő, amely ismert, kis változékonyságú szilárdsági jellemzőkkel rendelkezik. Bemenő paraméterek a farészecskék fizikai, mechanikai jellemzői az ortotrópia tetszőleges irányában, az orientátság foka, a részecskék mérete és elhelyezkedése az adott keresztmetszetben, valamint tulajdonságaik módosulása a ragasztási-préselési eljárás során. Kimeneti jellemzőként a modell a termék mechanikai tulajdonságait határozza meg a vizsgált keresztmetszetre vonatkozóan. A továbbiakban adott keresztmetszeti jellemzőkkel bíró kis hosszúságú tartórészek egymásután sorolásával az egész tartó mechanikai viselkedését jelzi előre. A számítási modellt kísérletileg is ellenőrizzük. Az anyagi és gyártási jellemzők célszerű változtatásával – tervezett kísérletekkel – a termékjellemzők előrejelzésére alkalmas matematikai modell felállításának újabb lehetőségéhez (válaszfelület) jutunk (Kovács 2001, Kovács és tsai. 2002). A kutatás jelentőségét elismerve az OTKA (Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok) támogatást adott a Nyugat-Magyarországi

* Dr. habil Kovács Zsolt CSc. intézetigazgató egy. tanár, Dénes Levente doktorandusz, NyME Terméktervezési és Gyártástechnológiai Int., Bálint József egy. hallgató, NyME FMK, Dr. Láng Elemér associate prof., West Virginia University

Egyetem Terméktervezési és Gyártástechnológiai Intézete, Fa- és Papírtechnológiai Intézete és Műszaki Mechanika és Tartószerkezetek Intézete által végzendő munkához (projekt szám T 025985), melynek témája a szerkezeti célú kompozitok tulajdonságtervezése hazai lombos faanyagok ortotróp jellemzői alapján. A projektben a West Virginia University részéről is vettek részt kutatók. Az együttműködés a NATO finanszírozásával folyt (NATO Cooperative Research Grant CRG.LG 973967).

Célkitűzés

A kutatás végső célja a teljes mértékben tervezett tulajdonságú, faalapanyagú szerkezeti kompozitok készítése, valamint tulajdonságaiknak előrejelzése a felhasznált alapanyag ortotróp jellemzői és a gyártási paraméterek alapján.

A kutatás első fázisában a számításba vehető alapanyagok ortotróp mechanikai jellemzőinek, és e jellemzők eloszlásának a megismerése a cél; olyan adatbázis létrehozása, amely a matematikai modell sztochasztikus bemeneti jellemzőinek generálására alkalmas. A második fázisban a gyártási paramétereknek a kompozit alapanyagul szolgáló farészecskék mechanikai jellemzőire gyakorolt hatását tanulmányozzuk.

Munkánk célja a színfurnér felhasználás szempontjából jelentőséggel bíró két hazai fafaj (bükk és juhar) vizsgálata. Szerkezeti célú termékről lévén szó, az alapanyagként használt színfurnér-hulladék hajlítórugalmissági modulusának anizotrópiáját vizsgáljuk az anatómiai irányok függvényében. Emellett az egyedi furnércsíkakat ragasztási és hőpréselési folyamat során fellépő hatásoknak próbáljuk alávetni, hogy azt követően a hajlítórugalmissági modulus megváltozását értékelhessük az ortotrópia különböző irányjaiban.

Elméleti háttér

A rugalmassági modulus hangsebesség mérésén alapuló vizsgálata az utóbbi években a faiparban is elterjedt roncsolásmentes vizsgálati eljárások egyike. Az ilyen vizsgálati módszerek lehetővé teszik az alapanyag-felhasználás optimalizálását és a gyártási folyamatok hatékony és megbízható minőség szabályozását. Az általunk is alkalmazott ultrahangos eljárás előnye a

termelési vonalba történő integrálhatóságában és a viszonylag alacsony bevezetési költségekben rejlik.

A módszer azon alapul, hogy a piezoelektromos konverter az elektromos energiát mechanikai energiává alakítja át, amely hullám formájában tovább terjed a vizsgált anyagban. Ha két jelátalakítót bizonyos távolságra elhelyezünk a próbatest felületén, lemérhetjük az ultrahang terjedési sebességét.

Ez a sebesség összefüggésben van a vizsgált faanyag rugalmassági tulajdonságaival, azok irányfüggőségével, és felhasználható a fáhibák kiszűrésére (Divós és tsai. 1999), az alapanyagok és késztermékek osztályozására, a kompozitok ragasztási szilárdságának becslésére.

Az ultrahang terjedése a fa mikroszerkezeti elemeinek rezgésén alapul, és alapvetően az anyagnak a hullámterjedési irányában mutató rugalmas tulajdonságaitól függ (Sandoz 1996). Az ultrahang terjedési sebesség négyzetének és az anyag sűrűségének szorzata a faanyag dinamikus rugalmassági modulusának az értékét adja a hang terjedésének irányában (Bucur 1999). Faanyag esetében a hangterjedés illetve igénybevétel irányát és a fatest anatómiai irányjaival (L – longitudinális, R – radiális, T – tangenciális) bezárt szögek nagyságával adjuk meg. A három szög közül kettő (például a rostiránnyal bezárt szög és az évgyűrű érintőirányával bezárt szög, vagyis az évgyűrűállás szöge) a harmadikat meghatározza. Színfurnér esetén az évgyűrűállás szöge, azaz a késelés síkja és a fatest érintősíkja által bezárt szög nagysága változó. Több mechanikai tulajdonság esetében azonban az LR és LT anatómiai sík között mutató ortotrópia lényegesen kisebb fokú, mint a rostiránnyal szöget bezáró síkok között (Láng és tsai. 2001). Ezért vizsgálatainkat az igénybevételnek illetve hangterjedésnek a rostiránnyal bezárt szögére (θ) korlátoztuk.

A fa rugalmasságának és szilárdságának változását a rostiránnyal bezárt szög függvényében sokan vizsgálták és különböző egyenletek formájában a kapcsolatot meghatározták. Az első empirikus egyenletet Hankinson állapította meg (Hankinson 1921) és a szilárdság becslésére a következő képletet alkalmazta:

$$N = \frac{P \cdot Q}{P \sin^2 \theta + Q \cos^2 \theta}, \quad [1]$$

ahol

- N – a szilárdsági tulajdonság θ szögnél;
- P – a rostiránnyal párhuzamos szilárdság;
- Q – a rostra merőleges szilárdság;
- θ – rostiránnyal bezárt szög.

Az egyenletet később általánosították és a trigonometrikus függvények kitevőjét egy tetszőleges n értékre változtatták, amelyet kísérletileg kell megállapítani (Kollman és Cote 1968).

Ez az egyenlet más mechanikai tulajdonságok (rugalmassági modulusz, nyomószilárdság, hajlítószilárdság, stb.) irányfüggését is jól becsüli és az ultrahang terjedési sebességével is jól korrelál (Armstrong és tsai. 1991).

Az Askenazi-féle szilárdsági kritériumot felhasználva, az ortotróp tenzor elmélet a rugalmas tulajdonságok anatómiai fősíkokban való változását a rostsög függvényében a következőképpel fejezi ki (Szalai 1994):

$$\frac{1}{E_{ij}^{k(\alpha)}} = \frac{1}{E_i} \cdot \cos^4 \alpha + \left(\frac{4}{E_{ij}^{k(45)}} - \frac{1}{E_i} - \frac{1}{E_j} \right) \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha + \frac{1}{E_j} \cdot \sin^4 \alpha \quad [2]$$

ahol

- E_i, E_j – az anatómiai főirányokkal párhuzamos rugalmassági moduluszok;
- $E_{ij}^{k(45)}$ – az ij sík szögfelező irányához tartozó rugalmassági modulusz;
- α – az ij síkban az i anatómiai főiránnyal bezárt szög.

Vizsgálati anyag és módszerek

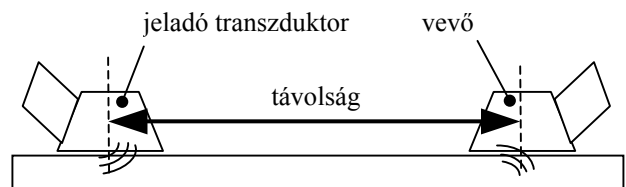
Bükk (*Fagus silvatica L.*) és juhar (*Acer pseudoplatanus L.*) furnérkötegekből véletlenszerűen választottunk ki két-két egymás melletti lapot, mindkét fafajból összesen 30x2 darabot. Az egyikből 120x120 mm-es négyzet alakú, a másikkól - ugyanarról a helyről - két-két 120x38 mm-es próbatestet vágunk rosttal párhuzamos és rostra merőleges irányban. Az egymás melletti elhelyezkedésből adódóan feltételezhető, hogy a két lap mechanikai tulajdonsága közel azonosak.

A dinamikus rugalmassági modulus meghatározása ultrahanggal

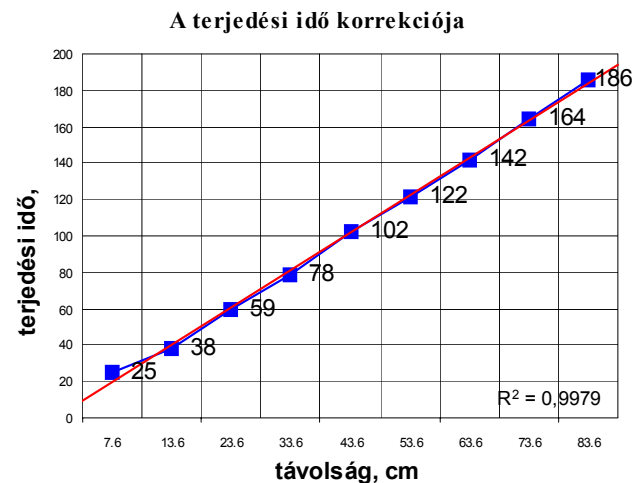
A négyzet alakú mintákon egymástól 84 mm-re elhelyezett piezo-elektromos konverterek segítségével 15 fokként mértük az ultrahang terjedési sebességét. A terjedési idő leolvasásához oszcilloszkópot használtunk. A Bárium-Titanát piezoaktív transzduktor frekvenciája 45 kHz, a leolvasási pontosság $\pm 0.5 \mu s$ volt. A mérési elrendezést az **1. ábra** szemlélteti.

A mért terjedési idő magába foglalja a hullám áthaladási idejét a háromszög alakú hullámterelőkből, ezért a hitelesítő mérések eredményeire illesztett egyenes ordináta-metszékének megfelelően 8,86 μs -os időkorrekciót vezetünk be (**2. ábra**).

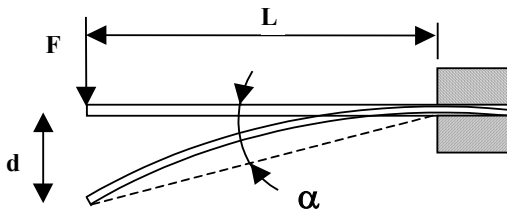
A technológiai hatások anyagjellemzőkre gyakorolt befolyásának vizsgálatára a 120x120 mm-es furnérlelapokat az ultrahang terjedési sebesség mérésének befejezése után rezol típusú fenol-formaldehid műgyantával (Dorolac termék) vontuk be hengeres enyvfelhordó segítségével. A gyanta szárazanyagtartalma 40%, a felhordott átlagos mennyiség 75 g/m² volt.



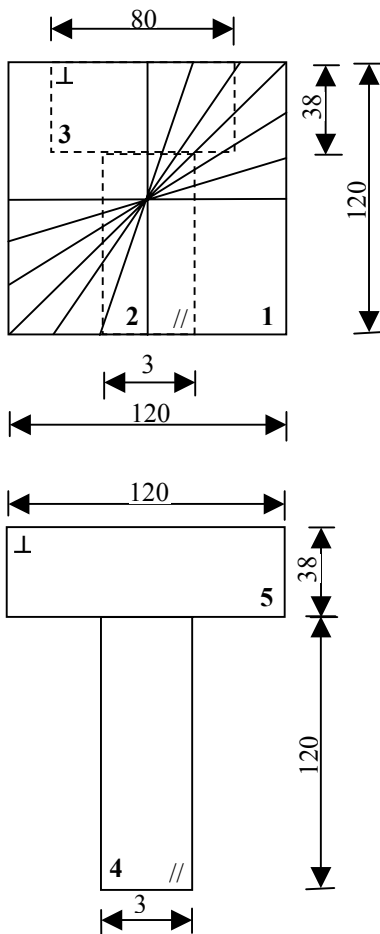
1. ábra – Az ultrahangos mérés elrendezése



2. ábra – A mért idő korrekciójának meghatározása



3. ábra – A statikus hajlítórugalmassági modulusz mérése



4. ábra – A vizsgálatokhoz alkalmazott próbatetek szabásmintája

- 1 – műgyanta nélküli illetve műgyantával bevont próbatetest az ultrahangsebesség anizotrópiájának meghatározásához;
- 2, 3 – rosttal párhuzamos, illetve merőleges műgyantás minta statikus hajlításhoz;
- 4, 5 – rosttal párhuzamos, illetve merőleges száraz furnérpróbatetest statikus hajlításhoz.

Ezután, hogy a furnérlapokat ugyanolyan hatások érijék, mint a kompozit termékben, hőprés lapjai közé helyeztük azokat, a tapadás elkerülése céljából vékony alumíniumfólia alátéttel és borítással. A préselési paraméterek a következők voltak: préselési hőmérséklet 145 °C; présnyomás 1,5 MPa; présidő 10 perc. A minták vastagságát préselés előtt és után is megmértük, hogy a tömörödést illetve a sűrűsége növekedést meg tudjuk határozni. A kikeményedés után a mintákon ismét elvégeztük 15 fokként az ultrahang terjedési sebességének mérését.

A statikus rugalmassági modulusz meghatározása hajlítóvizsgálattal

Az ultrahang terjedési sebességéből becsült dinamikus és a statikus rugalmassági moduluszok összehasonlítása céljából mind a száraz, mind a gyantával bevont, konzolként befogott próbatesteket statikus terhelésnek vetettük alá. A 120x120 mm-es, ragasztóval bevont és kikeményített mintákból 80x38 mm-es csíkokat vágunk, párhuzamos és merőleges irányokban, majd a papíriparban használt Büchel 116BD típusú elektronikus merevségmérővel (leolvasási pontosság ± 2%) mértük a próbatetek hajlításához szükséges erőt. A készülék működési elvét a 3. ábra mutatja. A rugalmassági modulusz a következőképpen számítható:

$$E = \frac{60 \cdot F \cdot L^2}{\pi \cdot \alpha \cdot I} \quad [3]$$

ahol

- F – a hajlításhoz szükséges erő [N];
- L – vizsgálati hossz [mm];
- α – hajlítási szög, [°];
- I – a keresztmetszet másodrendű nyomatéka [mm⁴].

A 120x38 mm-es, ragasztó nélküli, rostiránnyal párhuzamosan kialakított próbatetek mérését mindkét oldalon 2-2 helyen, a rostirányra merőlegesen kialakított, valamint a műgyantával bevont próbatetek mérését pedig mindkét oldalon 1-1 helyen végeztük el. A próbatetek méretét és kialakítását a 4. ábra szemlélteti.

Irodalomjegyzék

1. Bejő, L. 2001. *Simulation based modeling of the Elastic Properties of Wood Based Composite Lumber*. PhD. Dissertation, West Virginia University Morgantown, WV. 224 old.
2. Divós, F., Bejő, L., Salamon, Z., Magoss, E., Gergely, L. 1999. *Roncsoltásmentes Faanyagvizsgálat*. Egyetemi jegyzet, Soproni Egyetem.
3. Hankinson, R. L. 1921. *Investigation of crushing strength of spruce at varying angles of grain*. Air Service Information Circular 3(259), Material Section Paper No. 130.
4. Kovács, Zs. 2001. *Tervezett tulajdonságú termékek*. In: Alap- és alkalmazott kutatások a faiparban. Az MTA Erdészeti Bizottság Faanyagtudományi Albizottság és VEAB Erdészeti Szakbizottság Faipari Munkabizottság Kiadványa. pp. 90-102.
5. Kovács, Zs., Szalai, J., Láng, E., Bejő, L., 2002. *Szerkezeti célú fakompozitok tulajdonság-tervezése alacsony értékű hazai lombos faanyagok ortotróp jellemzői alapján*. OTKA zárójelentés (OTKA T 025985)
6. Lang, E. M., Bejő, L., Szalai, J., Kovacs, Zs., 2000. *Orthotropic Strength and Elasticity of Hardwoods in Relation to Composite Manufacture. Part I. Orthotropy of Shear Strength*. Wood Fiber Sci. 32(4):502-519.
7. Lang, E. M., Bejő, L., Szalai, J., Kovacs, Zs., Anderson, B. 2002. *Orthotropic Strength and Elasticity of Hardwoods in relation to Composite Manufacture. Part II.: Orthotropy of Compression Strength and MOE*. Wood Fiber Sci. 34(2):350-365
8. Szalai, J. 1994. *A faanyag és faalapú anyagok anizotróp rugalmasság- és szilárdságtana. I. rész: a mechanikai tulajdonságok anizotrópiája*. EFE, Sopron.

Összetett reakciók a krómionnal kezelt faanyag fotodegradációjában

Németh Károly, Stipta József*

Complex reactions in the photodegradation of wood treated with chromium ions

This paper describes the results of the spectral analysis of two hardwood species (black locust and poplar) when subjected to UV light. It was found that the changes in the individual bands are interrelated. The relationship is especially evident on the relative intensity change curves. The characteristics of these curves result from complex chemical processes. Other treatments (e.g. by CrVI ions) affect the chemical processes and, consequently, the relative intensity changes. This can be useful in detecting the presence of chromium ions. The effect may vary depending on the chemical composition of the given species. IR spectra recorded after water extraction of irradiated wood verify the presence of water soluble, small-molecular materials.

Bevezetés

A faanyag fotodegradációs folyamatának értékelésére elsősorban a színmerést, (Sandermann és Schlumbonn 1962; Faix és Németh 1988) az infravörös foto-metriát, ezen belül is a DRIFT (Diffúzió-Reflexió Fourier Transzformációs Infravörös Spektroszkópia) eljárást alkalmazták (Faix és Németh 1988; Tolvaj 1991). A megfelelően kiválasztott sávok intenzitás-változása a legtöbb esetben a folyamat kinetikájának a meghatározására is alkalmas (Németh 1989). Egyes jól meghatározott szerkezethez tartozó abszorbanciák változása azonban nem tükrözi egyértelműen a degradáció lefutását. Az intenzitás-változásban fenn-

álló látszólagos anomáliákat elsősorban azért vizsgálták kevésbé, mert fellépésük a ritkábban elemzett kinetikai értékelésnél volt csak jobban észlelhető.

A fotodegradáció mellett fellépő további hatások szintén befolyásolják az egyes szerkezetekhez tartozó abszorbanciákat. Így a hőmérséklet érintőleges említése mellett a faanyag előéletének, kezelésének hatását vizsgálták elsősorban (Németh 1997). A krómionnal végrehajtott kezelés IR spektrumra kifejtett hatását viszont kevésbé tanulmányozták – bár a krómiont, mint a fotodegradációt gátló anyagot kiemelten tárgyalták –, így nem került sor a jelentkező nem egyértelmű abszorbancia változások elemzésére sem (Feist 1972). A krómion-

* Dr. Németh Károly DSc., egyetemi tanár, Stipta József tudományos munkatárs, NyME Kémiai Intézet