

Fa csillapítási tényezője

Csóka Levente [✧]

Damping Characteristics of Wood

The experimental work described in this article was aimed at measuring the logarithmic decrement of wood and non-wood materials. The vibrational characteristics of wood were measured along the grain with an FFT analyser system, using excitation signals in the 60 to 4100 Hz frequency range. The temperature and moisture content conditions varied between -20 °C and 90 °C, and 0% to 100%, respectively. Experimental results indicate that the excitation frequency does not seem to affect the logarithmic decrement, while temperature and moisture content influence it significantly.

Keywords: Wood construction, Strength design, Standards, Eurocode, Finite Element Method

Bevezetés

A rezgések és a hangok közötti összefüggést már az ókorban ismerték. Boetius (475 - 524), aki „De institutione musica” című nagy művében az ókor zenei eredményeinek összefoglalását adja, így ír: „Hogy tehát hang keletkezzék, ahhoz mozgásnak kell jelen lennie. Minden mozgás magában hordozza gyorsaságának vagy lassúságának ismérvét. Ha egy ütés által létrehozott mozgás lassú, mély hang keletkezik. És ahogy a lassúság közel áll a mozdulatlansághoz, a hang mélysége is közel áll a csendhez. Gyors mozgás magas hangot eredményez ...”

Egy gerjesztett rezgés amplitúdója az idő múlásával fokozatosan csillapodik, majd elhal. Ebből kifolyólag a rezgések nem pontosan harmonikus rezgések, mert az anyag belső súrlódása, a peremfeltételek és egyéb tényezők hatására a rezgések amplitúdója fokozatosan csökken. Ezt a jelenséget csillapításnak nevezzük.

Az egyszerű matematikai tárgyalás a rezgő testeket pontszerűnek, merevnek tételezi fel. A valóságban ezzel szemben a rezgő testeknek térbeli kiterjedésük van és rezgés közben rugalmas alakváltozást szenvednek. Az elvonatkoztatással hibát követünk el, mert nem ragaszkodunk a valósághoz, hanem a matematikailag könnyen járható utat választjuk. Ha valamely tömeggel rendelkező, de térbeli kiterjedéssel nem bíró anyagi pontra ható erőket ismerjük, a mozgás differenciál-egyenleteit aránylag könnyen felírhatjuk. A differenciál-egyenletek egyszerű megoldhatósága az erőtvény alakjától függ, az akusztikában pedig általában egyszerű

erőtvényekkel számolhatunk (Schadoffsky 1996).

Az akusztikában, sőt általában az egész fizikában a szinuszos rezgések kitüntetett szerepet játszanak. Ez a kísérleti tapasztalat matematikailag is szerencsés, mert a szinusz-függvény előnyös tulajdonságai nagyban egyszerűsítik a rezgéstan matematikai tanulmányozását. A legtöbb rezgő rendszer a Hooke-féle erőrendszernek engedelmeskedik (kis amplitúdójú szabad rezgések). Ha pedig valamely anyagi pont vagy ponthalmaz egyensúlya Hooke-féle erőkkkel van meghatározva, Newton univerzális érvényű II axiómája egyszerű alakja miatt ez az anyagi ponthalmaz harmonikus rezgéseket fog végezni (Pap 1994).

A csillapodó rezgés

A rezgések két legfontosabb vesztesége a súrlódás és a sugárzás. A próbatest megütése során közölt energiát az anyag belső súrlódása, és maga a megszólaló hang (sugárzás) emészti fel. Ezekon kívül fontos a faanyagok anatómiai felépítése és inhomogenitása, nedvességtartalma, hőmérséklete.

A valódi közegekben, így jelen mérésünkönél is, a hullámterjedést befolyásolják a határfelületek, ahol visszaverődik, megtörik a hullám, és ahol kialakulnak a felületi hullámok. Ezen kívül a faanyagokban található göcsök, gyantatáskák, mind a hullám torzulását okozzák.

A sugárzási veszteségek a rezgéstanban kisebb szerepet játszanak, az energiavesztés legfőbb oka a súrlódás. A legmagasabb ultrahangok és a legerősebb szuperhangok tartomá-

[✧] Csóka Levente tanszéki mérnök, NyME Fa- és Papírtechnológiai Intézet

nyában a súrlódási törvény elég bonyolulttá válhat, és a sebesség egész és törtkitevős hatványaival kell számolnunk. A rezgéstartomány legnagyobb részében azonban, amelybe természetesen a hallástartomány is beletartozik, a legegyszerűbb súrlódási törvény is helyesen írja le a jelenségeket. A szabad rezgés kísérleti tanulmányozása arra vezet, hogy a természetben energiahozzáadás nélkül csillapodásmentes, tiszta szinuszos rezgés sohasem fordul elő. A súrlódás az energia egy részét állandóan hővé alakítja át és a rezgés kimozdulási amplitúdója fokozatosan csökken.

A csillapítási képesség a rezgő fa azon tulajdonsága, amikor a megütés során közölt energia nagy részét fokozatosan felemészti a belső súrlódás. A csillapítás mértékének meghatározására többféle állandót használhatunk, amelyek egymással egyszerű összefüggésben vannak. Csillapításról akkor beszélünk, ha a külső tényezőket vesszük figyelembe, csillapodásról pedig akkor, ha a rezgésképet vizsgáljuk.

A rezgés csillapodásának jellemzésére leggyakrabban a logaritmikus dekrementumot használják, amely a csillapodási hányados természetes logaritmus:

$$\Lambda = \ln K, \quad [1]$$

ahol K az egymást követő amplitúdók hányadosa.

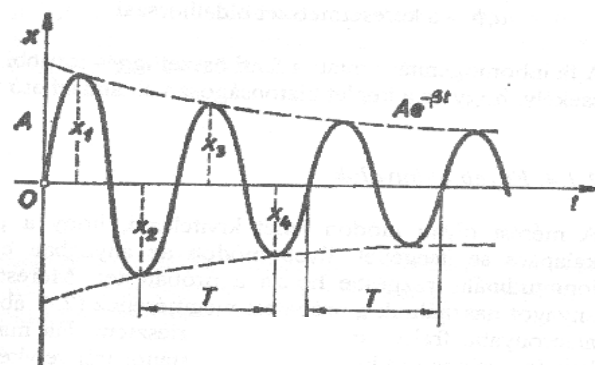
Egy rendszer rezgését a csillapítás és a sajátfrekvencia együttesen jellemzi. A csillapítási állandó ismerete megadja az exponenciálisan csökkenő rezgés burkológörbét. Ebben a munkában ezen csillapítási állandó mérésére került sor. Egy csillapodó rezgés egyenlete az alábbiak alapján írható le:

$$x = A \cdot e^{-\beta t} \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha), \quad [2]$$

ahol

- A - az amplitúdó értéke $t=0$ -ban,
- e - a természetes alap,
- β - csillapítási állandó,
- ω - a rezgés körfrekvenciája ($2\pi f$),
- α - kezdőfázis,
- t - idő.

A logaritmikus dekrementum értékeit befolyásolja a nedvességtartalom, a hőmérséklet, a szálirány és a rezgés frekvenciája (Dunlop



1.ábra – Csillapítandó rezgés (Divós et. al 1999)

1980, Pentoney 1955). A befolyásoló tényezők hatása nem lineáris összefüggés szerint változik. A logaritmikus dekrementum értéke általában a nedvesség növekedése hatására növekedszik, kivéve, ha a faanyag hőmérséklete fagypont alatt van.

A mérés leírása

A méréseket mikrofonnal összekötött számítógéppel végeztük. A mérési eredmények elemzése egy e célból már korábban megírt programmal történt. A jelek kis torzítással járó felerősítése csaknem tehetetlenségmentes regisztrálást eredményezett. A mérés frekvencia tartománya 60-4100 Hz-ig terjedt. A méréshez használt faanyagok egy része hazánkból, másik része pedig külföldről származott.

A csillapítási mérés során kapott értékek (1. táblázat) nagysága tehát a csillapodó rezgés burkológörbéjének exponenciális csökkenését mutatja meg. Minél nagyobb ez az érték, annál meredekebb az exponenciális görbe lefutása és annál rosszabb a csillapítás. A rossz csillapítás fogalma alatt azt értjük, hogy az anyagban nagyon hamar hővé alakul a közölt energia. Ez természetesen csak bizonyos felhasználási területek, pl. a hangszerépítés szempontjából káros. Ha például faházak épületfizikai tulajdonságait vesszük figyelembe, mint léghanggátlás, szigetelés vagy testhanggátlás, akkor természetesen a rosszabb csillapítású anyagok előnyösebbek. Ilyen anyag például az LVL gerenda vagy a polisztirol műanyag. A különböző fajtájú faanyagok között is igen eltérő értékeket találunk. Az akácfa, a dió, a kígyófa csillapítása például akusztikai szempontból igen kedvező.

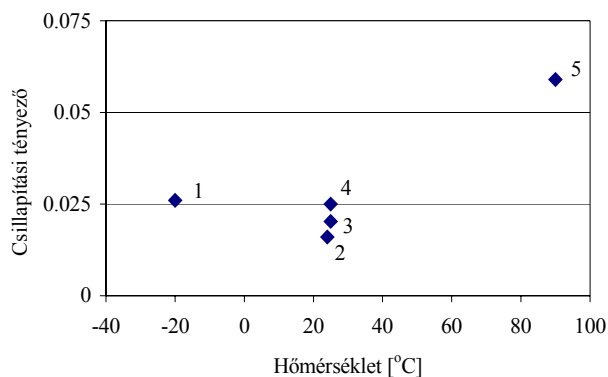
A közölt energia átalakulását számos tényező befolyásolja, melyeket méréskor megfelelően kézben kellett tartani. A méréseket közel azonos körülmények között próbáltuk elvégezni, hogy a zavaró tényezők hatását minimumon tartsuk.

Eredmények

A munka során több különböző fafaj, fa-termék, fém és üveg próbatestek csillapításának vizsgálata történt meg, akusztikai tulajdonságaik összehasonlítása céljából. A vizsgálatok során az akáccal részletesebben foglalkoztunk, mert e fafajból nagyszámú próbatest állt rendelkezésre. Az akác próbatestek különböző hosszúsági méretűek, de azonos keresztmetszetűek voltak.

A csillapítás a különböző anyagok olyan paramétere, mint például a sűrűség, vagy a sajátfrekvencia, tehát csak az adott anyag szerkezeti – anatómiai – sajátosságaira jellemző. Méréseink alapján a sűrűség és a csillapítás korrelációja 0,235-ös, a hangsebesség és a csillapítás közötti összefüggés pedig -0,567-es korrelációs koefficiens (r) értékkel jellemezhető. Az eredmények alapján a csillapítás lényegében független a vizsgált paramétereiktől.

Az akác próbatestek esetében bizonyos vizuális jellemzők is meghatározásra kerültek. Meghatároztuk a göcsök számát, az évgyűrűszélességet, az évgyűrűk vízszintessel bezárt szögét, és a rostlefutást. A mért tényezők és a csillapítás összefüggését rendre a következő korrelációs együtthatókkal jellemezhetjük: 0,17; 0,25; 0,31; 0,39. A fentiek alapján megállapítható, hogy a csillapítási tényező egy, az anyagra jellemző érték, más jellemzők segítségével nem



2. ábra – Csillapítás a hőmérséklet függvényében
1 – fagyasztott; 2 – szobahőmérsékleten mért; 3 – gőzölt;
4 – termikusan kezelt; 5 – felmelegített akác faanyag

határozható meg. Nem befolyásolja még a rostok hosszúsága sem, melyek a rezgéseket továbbítják az anyagban.

Az akác próbatestek közül 10-10 darabot lefagyasztottunk illetve szárítókemencében hevítettünk, hogy megnézzük, hogyan változik a csillapítás ezen szélsőségek között. A csillapítás értéke -20°C-on, 60°C-on és 180°C-ra

1. táblázat – Csillapítási értékek

anyagfajták:	Logaritmikus dekrementum
fémes anyagok:	
Alumínium-ötvözet	0.0004
Laprugó	0.0020
Réz rúd	0.0005
Szerszámacél	0.0007
műanyagok:	
Polipropilén	0.0331
Polisztirol	0.1931
kompozitok:	
Farostlemez	0.0836
MDF	0.0500
Forgácslap	0.0545
Rétegelt bükk ágyrugó	0.0227
Nyárfa LVL	0.0263
Bükkfa LVL	0.0264
Cserfa LVL	0.0369
különböző fafajok:	
Rezgő nyár	0.0195
Balsa	0.0221
Fekete hárs	0.0214
Bükk	0.0260
Virginiai boróka	0.0336
Kései meggy	0.2669
Duglászfenyő	0.0155
Kígyófa	0.0135
Kóris	0.0266
Madárcseresznye	0.0213
Nyír	0.0961
Padauk, Andaman	0.0216
Balzsamos nyár	0.0193
Vörös tölgy	0.0216
Sassafras	0.0263
Tölgy	0.0304
Vörösfenyő	0.0176
Fekete dió	0.0189
Fehér fenyő	0.0235
Sárgafenyő	0.0230
egyéb	
Üveg	0.0073
Tükör	0.0070

felhevítve majd lehűtve, közel azonos értéket mutat. A **2. ábrán** jól látható, hogy a csillapítás minimuma – akácfa próbatesteken mérve – 20°C körül van. Sem a felhevítés, sem pedig a lefagyasztás nem javít a csillapítás értékén.

Az **1. táblázat** foglalja össze a különböző anyagok mért csillapítási értékeit. A táblázatból jól látható, hogy a fémek közül az alumínium-ötvetzetnek és a réznek van közel azonos csillapítási értéke. Ezek a fémek, szabad füllel hallgatva lecsengésüket, valóban nagyon hosszú ideig csengenek. Ezen jó tulajdonság a molekulák közötti fémes kötésből és a molekulák kristályrácsban való szabályos elhelyezkedéséből adódik. Mindezek mellett a fémek homogén anyagok, ellentétben a fával, amely a tér minden irányában eltérő szerkezeti tulajdonságokat mutat.

A fák csillapítási értékei között igen különbözőeket találunk. Némelyikből valóban lehet jó hangszert építeni, ahogyan az már bebizonyosodott évszázadok óta.

A mérési eredményeket igazolja az, hogy az alacsony csillapítású fenyő anyagból valóban készítettek hangszereket a történelem folyamán. Némelyeket a hegedűkészítők, másokat pedig zongoraépítők, marimba készítőik használtak. A fa „megszólaltatása” a mesteremberek keze alatt a mi világunkat tette teljesebbé és szebbé. Egy-egy Bach partita vagy hegedűverseny felhangzásakor elcsodálkozhatunk a hegedű hangjának a szépségén. A fa ilyenkor életre kel és régi mesterek gondolatait hozza közel hozzánk.

Összefoglalás

A csillapítási tényezőt különböző faanyagok esetén sikerült megmérni. Ezek az értékek fafajspecifikusak, az anyagok újabb jellemzőjének tekinthetjük őket. A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a hőmérsékletnek és a nedvességtartalomnak hatása van a logaritmusos dekrementum értékeire. Az optimális értékek szobahőmérsékleten mutatkoztak, légszáraz állapotban.

A faanyag anatómiai jellemzőinek ismerete nem visz közelebb a hangszergyártásra való alkalmasság és a csillapítási tulajdonságok megismeréséhez. Az ismertetett vizsgálati módszer segítségével azonban a hangszerkészítésben felhasznált faanyagot műszeresen minősíteni lehet és érdemes is.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom tanáromnak, Dr. Divós Ferencnek a Roncsolásmentes Faanyagvizsgáló Laboratórium vezetőjének segítségéért és támogatásáért.

Irodalomjegyzék

1. Divos F., Bejő L., Gergely L., Magoss E., Salamon Z. 1999. *A faanyag roncsolásmentes vizsgálata*. Egyetemi jegyzet, Soproni Egyetem. 78 old.
2. Dunlop, J.I. 1981. *Testing of poles by using acoustic pulse method*. *Wood Sci. Technol.* 15:301-310
3. Pap J. 1994. *A hangszerakusztika alapjai*. Bp.
4. Pentoney, R.E. 1955. *Effect of moisture content and grain angle on the internal friction of wood*. *Compos. Wood* 2(6):131-136.
5. Hoadley R.B. 1980. *Understanding Wood*. The Tauton Press Connecticut