A faanyag dinamikus rugalmassági moduluszának és veszteségi tényezőjének kísérleti mérése. II. rész.

Fodor Tamás❖

Experimental determination of the dynamic MOE and loss modulus of wood. Part 2·

In the strength design of timber structures, viscoelasticity, a significant rheological property of the material, must be taken into consideration. The aim of this research was to experimentally determine material properties of the viscoelastic material law, and to apply the results to structures. In the experiments we induced flexural vibration by harmonic support vibration on cantilever timber beams. After this, we measured the amplitude ratios at the fixed and free ends. The first part of the article explained the theoretical background of the measurement. The second installment describes the experimental methods and results, and concludes the work.

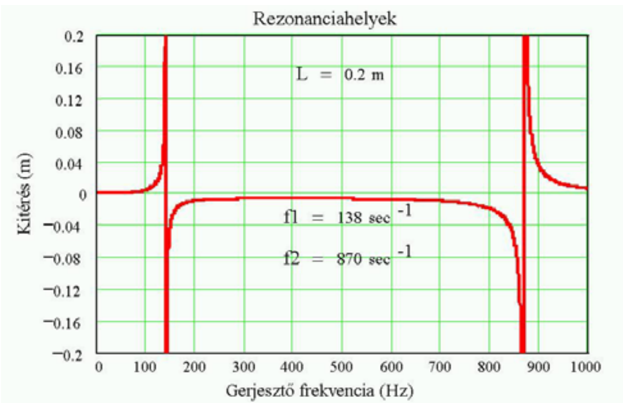
Key words: Rheological properties, Viscoelasticity of wood, Flexural vibration

Bevezetés

A dolgozatunk első részében megmutattuk, hogy miképpen lehet megmérni a faanyag dinamikus rugalmassági moduluszát és veszteségi tényezőjét, és milyen vizsgálati módszert kell alkalmazni. Ez a munka a vizsgálati módszer gyakorlati megvalósulását és az eredmények kiértékelését tárgyalja. Választ adunk arra, hogyan lehet a dinamikus vizsgálati eljárással nyert anyagállandókból a feszültség-relaxáció anyagállandóit kiszámítani. A kutatás az OTKA (T-030552) támogatás segítségével folyt.

Viszkoelasztikus anyagállandók kísérleti mérése dinamikus eljárással

A dinamikus rugalmassági modulusz és a veszteségi tényező vizsgálatát lucfenyőn végeztük el, különböző hosszúságú (150, 200, 250, 300 mm), 30x6 mm keresztmetszetű, 6.8 % egyensúlyi fanedvességű, 474,6 kg/m^3 térfogatsűrűségű és 14110 N/mm^2 statikus húzórugalmassági modulusú próbatesteken. Minden vizsgálati frekvencián három párhuzamos mérést végeztünk, és csak akkor fogadtuk el, ha ezek között nem volt lényeges eltérés.



1. ábra – A Számított rezonancia-frekvenciák.

A mérés megkezdése előtt a próbatest geometriai adatai alapján elméleti számítással meghatároztuk a rezonancia frekvenciák értékeit (**1. ábra**), mert ezen a frekvencia-tartományon kell a vizsgálatot végezni.

A mérés grafikus és numerikus megjelenítését a **2. ábra** mutatja. A befogási helyen és a szabad végen mért elmozdulások láthatók az idő függvényében, állandósult harmonikus gerjesztés mellett. Az átviteli függvény a két jel hányadosa. U1 a gerjesztést, U2 a konzolvégi kitérést jelenti, továbbá ezek legkisebb és legnagyobb értékei is szerepelnek az adatok között. Az ábra felső két grafikonja a frekvencia függvényében az elmozdulást mutatja.

Az állandó frekvenciákon mért átviteli értékeket egy grafikonban ábrázoltuk a frekvencia függvényében. A görbe maximuma a rezonancia helyét mutatta. A rezonanciahely környezetében határoztuk meg az E_d dinamikus rugalmassági moduluszt és a h veszteségi tényező értékét dolgozatunk első részében található $[10]$ és $[11]$ összefüggések segítségével. Az előre kiszámított rezonanciahelyeken meghatároztuk a dinamikus rugalmassági moduluszokat és a veszteségi tényezőket, majd a frekvencia függvényében ábrázoltuk a két dinamikus anyagállandót.

❖ Fodor Tamás CSc., egy. Docens, a NyME, Műszaki Mechanika és Tarószerkezetek Intézet

A **3. ábra** és a **4. ábra** mutatja a frekvencia függvényében a dinamikus rugalmassági modulusz és a veszteségi tényező változását.

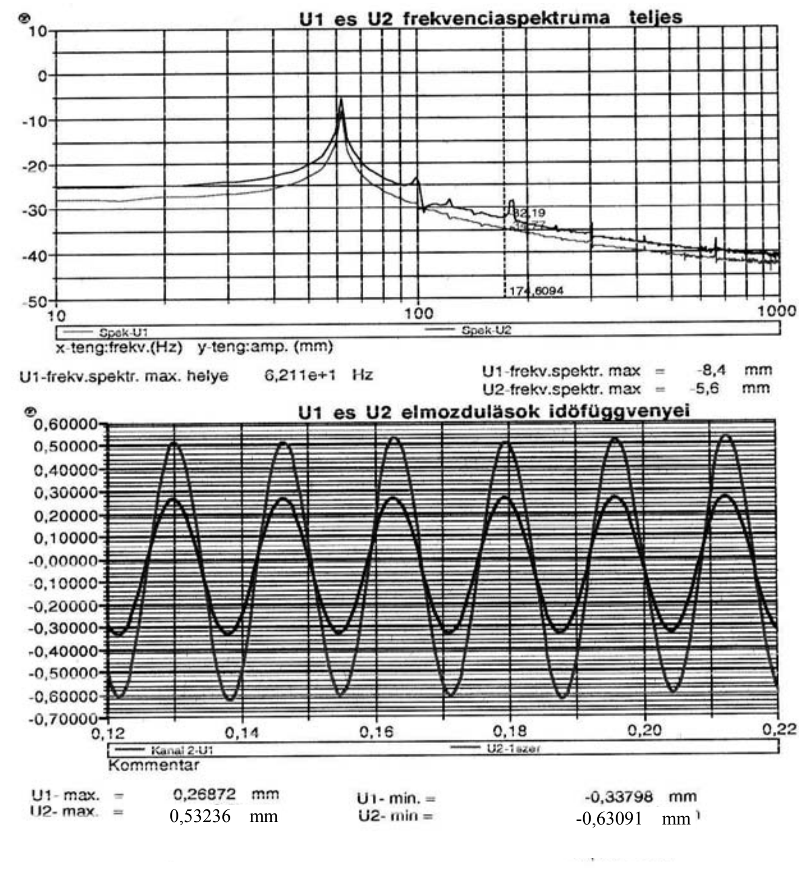
A lineáris rendszerek általános elméletének felhasználásával a dinamikus rugalmassági modulusból és a veszteségi tényezőből ki tudjuk számítani a komplex rugalmassági modulust a következő transzformációs összefüggések segítségével:

$$\hat{M}(j\omega)=\frac{\hat{\sigma}(j\omega)}{\hat{\varepsilon}(j\omega)}=j\omega\int_{-\infty}^{\infty}Y_{\sigma}(t)\ e^{-j\omega t}\ dt=$$
$$=j\ \omega\,\Im\left[Y_{\sigma}(t)\right]=M_d(\omega)+j\,M_v(\omega)=$$
$$=M_d(\omega)\ \left[1+j\eta(\omega)\right] \qquad ,[1]$$

A relaxációs függvény Fourier transzformáltja a komplex rugalmassági modulusz. Azaz a komplex modulusz Fourier transzformációjával a relaxáció függvényéhez jutunk.

$$Y_{\sigma}(t)=\Im^{-1}\left[\frac{\hat{M}(j\omega)}{j\omega}\right]=$$
$$=\frac{M_o}{2}+\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{\hat{M}(j\omega)}{j\omega}e^{j\omega t}d\omega \qquad , \qquad [2]$$

A relaxációs függvény előállításához a gyors inverz Fourier transzformációt (IFFT) használtunk a MathCad matematikai program segítségével. Az inverz Fourier transzformációval nyert relaxációs függvényt az **5. ábra** mutatja. A hosszas részletes számítások ismertetését mellőzük. Az ábráról leolvasható, hogy a viszkózus relaxáció viszonylag kicsi a teljes relaxációhoz viszonyítva, és hamar eléri a végtelen időhöz tartozó értéket. Ez azzal magyarázható, hogy a terhelési szint kicsi, és a száraz faanyag egyensúlyi fanedvessége igen alacsony, (6.8 %) volt.



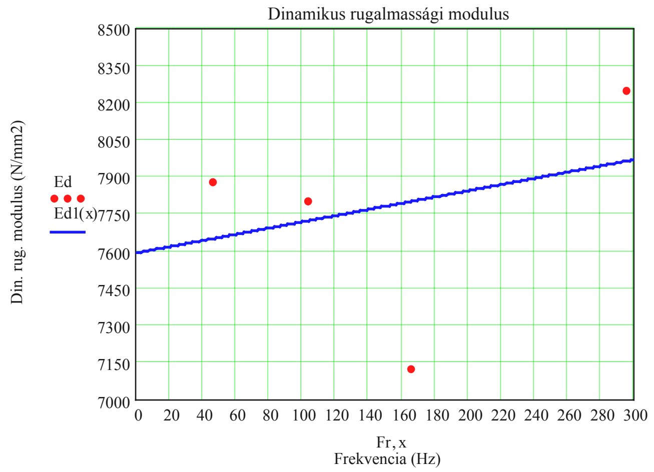
2. ábra – A felső ábrán a kitérésekhez (U1, U2) tartozó frekvencia spektrumok. (LUC_200_R6-3), az alsó ábrán a konzol befogott (U1) és szabad végének (U2) kitérése az idő függvényében.

Összefoglalás

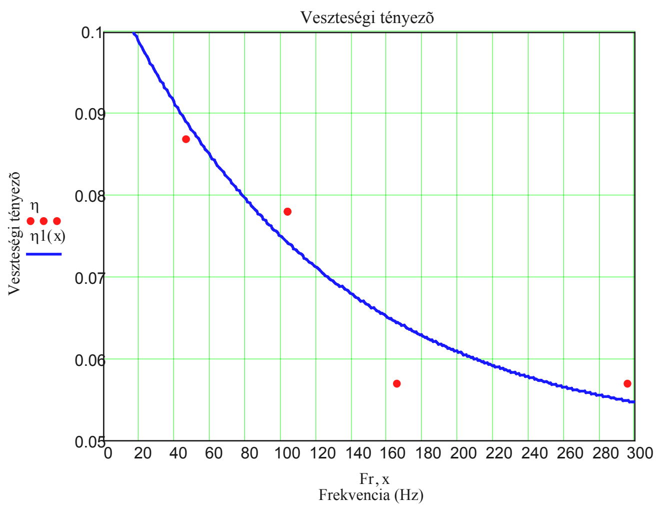
A végeredmény elméleti úton transzformációval nyert relaxációs függvény, melyet nem statikus vizsgálattal határoztunk meg, hanem dinamikus méréssel. A frekvencia tartományból elméleti számítással jutottunk az idő tartományba a fenti módszerrel. Kísérlettel és elmélettel sikerült igazolni a módszer használhatóságát és létjogosultságát, hogy viszkoelasztikus anyagállandókat dinamikus úton is mérhetünk indirekt kísérleti módszerrel. A vizsgálathoz a rezonancia módszer jól alkalmazható.

Az eredmények hasznosítása

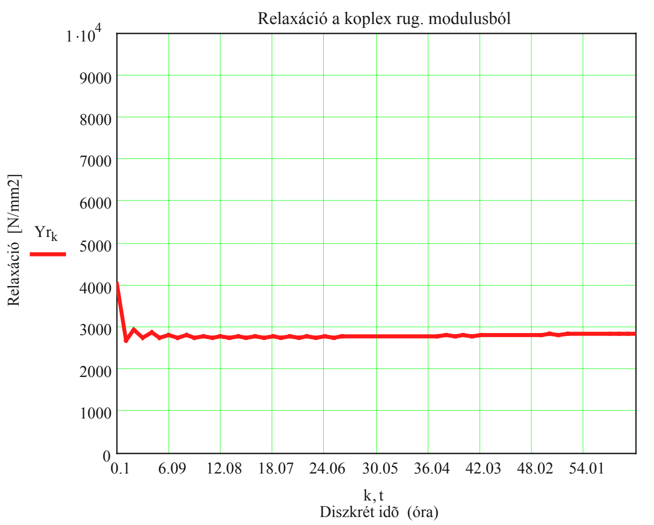
Az eredmények hasznosítása a fatartószerkezetek erőtani méretezésének területén várható, mivel az új európai szabványok előírásai nagyon szigorúak a dinamikai vizsgálatok tekintetében. Ezért nagyon fontos a faszerkezetek dinamikai tulajdonságainak részletesebb megismerése és alkalmazása tartószerkezeti célra.



3. ábra – Dinamikus rugalmassági modulusz a frekvencia függvényében.



4. ábra – Dinamikus veszteségi tényező a frekvencia függvényében.



5. ábra – A komplex rugalmassági moduluszból meghatározott feszültség-relaxáció függvénye.

Két alkalmazási terület jöhet szóba:

- A szerkezetdinamika speciális és igen fontos területe a földrengésvizsgálat, mely a könnyűszerkezetes favázas, többszintes épületek esetében is fontos műszaki követelmény. Az új európai szabvány (Eurocode 8: Tartószerkezetek földrengésállóságának tervezési előírásai.) hazánkra vonatkozóan is előírja a földrengésvizsgálatok elvégzését. Új, nagyobb biztonságot nyújtó megoldások kidolgozása. Kevéssé ismert, hogy hazánk kedvező fekvése miatt ugyan gyenge szeizmicitású, a rengések gyakorisága viszont jelentős.
- Fafödémek káros lengéseinek elemzése konstrukciós és anyagszerkezeti oldalról, többszintes faházak esetében. Új konstrukciós lehetőségek alkalmazása.

Irodalomjegyzék

1. Goschy, B. 1984 ***Építmények tervezése rendkívüli terhekre és hatásokra.*** Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
2. Kármán, T. A. Biot, 1963 ***Matematikai módszerek és feladatok megoldása.*** Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
3. Pritz, T. 1996 ***Rezgéscsökkentöő anyagok dinamikai tulajdonságai.*** Akadémia Kiadó, Budapest.
4. Roller B. 1990 ***Altering State in Elastoviscosity and Plasticity.*** Newletter Technical University of Budapest.
5. Vértes, Gy. 1976 ***Építmények dinamikája.*** Műszaki Könyvkiadó, Budapest.