

**Irodalomjegyzék**

- MSZ-04-140-2:1991 – Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai, hőtechnikai méretezés
- EN ISO 6946:1999 - Épületszerkezetek és épület-elemek. Hővezetési ellenállás és hőátbocsátás. Általános számítási módszerek

Fekete, I (1985) Épületfizika kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest

## Faanyagú tartószerkezet laboratóriumi diagnosztikai vizsgálata I.

LŐRINCZ György<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Széchenyi István Egyetem, Műszaki Tudományi Kar, Szerkezetépítési Tanszék

**Kivonat**

Egy laboratóriumban felállított, nyílásának mintegy 2/3 részén kétfás gerendát is tartalmazó faszerkezetet koncentrált erővel hajlítva, vagy impulzusgerjesztéssel igénybe véve, statikus és dinamikus méréseket végeztünk. A két fa egymáson való elcsúszási tulajdonsága, így a kétfás gerendaszakasz hajlítási merevsége is változtatható volt. Megfigyeltük a szerkezet fokozatos lebontásával nyert különböző fatartók statikai és dinamikai tulajdonságainak változását. Annak eldöntése érdekében vizsgáltunk, hogy az elsősorban dinamikai változásokhoz egyértelműen és mérésekkel is kimutathatóan hozzárendelhetők-e a tartó előre definiált módosulásai. Mértünk és ugyanezen értékeket számítással is meghatároztuk. Ezen utóbbihoz szükséges statikai váz felállítása sok kompromisszumot követelt, de sikerült olyan modellt felvennünk, melyen a mért és számított értékek eredményesen egyeztethetők voltak.

**Kulcsszavak:** kétfás tartó, elcsúszás, dinamikai tulajdonságok, fatartók sajátfrekvenciája

## Diagnostic test of a timber construction in laboratory part 1

**Abstract**

This laboratory and theoretical work discusses the statical and dynamical laboratory measurement results and their data processing, along with the setting up of the working line, in the case of a timber construction of practical quality which works as a timber girder in its detachable structured part. Proceeding from the point that the measured and calculated stoops are equal, the dynamic features are defined upon the frame and the behaviour of the girder in each of the below detailed states, where the slipping of the two timbers and the relative rotation of the adjustable swivel connection are variable values.

**Key words:** timber girder, displacement, dynamical features, eigenfrequency of timber constructions

## Bevezetés

A mérnöki tartószerkezeti műtárgyak és épületek létesítése, használata, fenntartása során ismerünkünk kell azok – objektív műszeres mérésekkel roncsolásmentesen meghatározható – tényleges viselkedését. Minden szilárd testnek jól definiálható dinamikai tulajdonságai vannak. Ezek, ill. ezek változása egyértelműen jellemző a szilárd testre, tartószerkezetre. Ugyanis a dinamikai tulajdonságok a test tömegétől, keresztmetszetétől és anyagától, a kialakításától, azaz az elmozdulásait szabályozó külső kényszerektől, valamint a rezgések lefolyását megszabó csillapítási tulajdonságaitól függ. Bármelyik megváltozik a fenti tulajdonságok közül, módosulnak a dinamikai jellemzők. Nekünk csak megfelelő mérésekkel konstatálnunk kell a változást, és ennek jellegéhez, mértékéhez hozzárendelhető az ezt előidéző szerkezeti módosulás. (Pl. korrózió, repedés miatti keresztmetszet-csökkenés, az alátámasztás elmozdulása, az öregedés, fáradás, lassú alakváltozás miatti anyag- ill. szerkezetváltozás, egy alkotóelem törése, szegecs- ill. csavarlazulás, csavarkép-módosulás, stb.)

Ahhoz, hogy bármely szerkezeti változáshoz okot rendelhessünk hozzá, végtelen sok vizsgálat szükséges. Ezek számát csökkentendő, elméletileg modelleznünk kell a tartószerkezeteket. Ezt a szerkezettervezés részeként elvégzett statikai számításban elvégezzük. A kapott statikai modellen időtől független terhekre határozzuk meg az építendő tartószerkezet méreteit. A dinamikai vizsgálat eredményeinek elméleti követéséhez felállítjuk a szerkezet minél érzékenyebb dinamikai modelljét. Ezen modellen előidézett változások számított dinamikai következményeit összevetve a mérési eredményekkel, a roncsolásmentesen megmért dinamikai változásokhoz hibák rendelhetők hozzá. Ez a munka persze hosszú, az eredmények szerkezet-specifikusak. A modellt nagyon aprólékosan és célszerűen kell felállítani, matematikai leírásához nem mindig elégséges az építőmérnöki tervezések során megszokott és bevált módszerek alkalmazása. Részletesebb vizsgálódásra is szükség lehet.

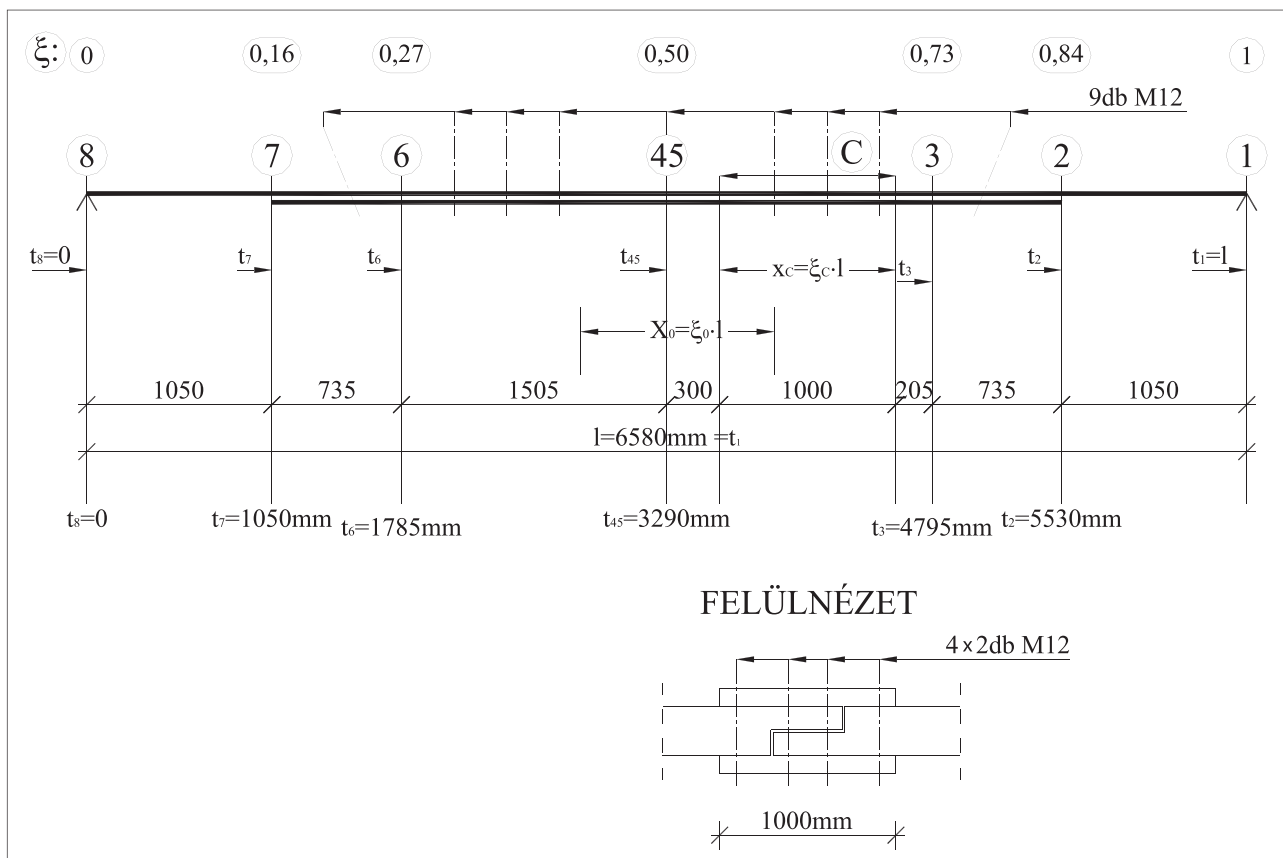
A fentieket szerettem volna egy faanyagú tartón ellenőrizni. Ennek érdekében a Széchenyi István Egyetem Szerkezetvizsgáló laboratóriumában felállított tartón változásokat (ha úgy tetszik hibákat) iktattam be. A tartót statikus és dinamikus teherrel vettem igénybe. Meghatároztam egy modellt, ezen

kiszámítottam és a megépített tartón megmértem a változások dinamikai következményeit, ezeket összevettem. És figyeltem, hogy tudok-e, egyáltalán érdemes-e a fenti feltételezésekkel az építőmérnöki szerkezeteken is kutatni azt, hogy miként érzékelhető a lokális hiba egy tartószerkezet globális viselkedésén. Ezen méréssorozat megállapításait a „Dinamikus hatások szimulációja és kísérleti ellenőrzése faszerkezetű gerendatartókon.” c. disszertációban foglaltam össze (Lőrincz 2007).

## A kísérleti tartó

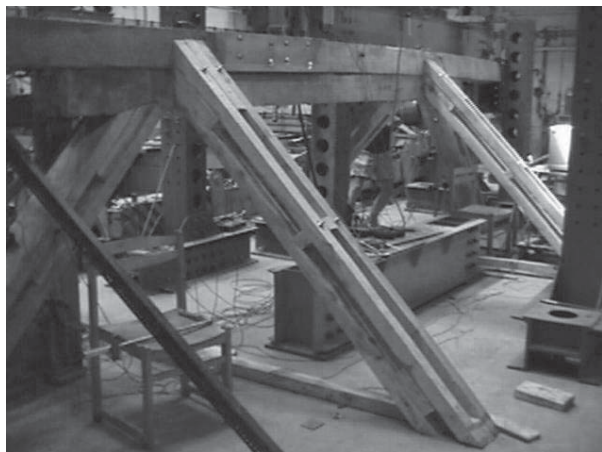
A szerkezetek dinamikai vizsgálata és a mért eredmények számítottakkal való összevetése a hibajelzés, a hibamegállapítás egy eszköze, mégpedig roncsolásmentes eszköze lehet. Ezt vizsgáltuk egy laboratóriumban felállított faszerkezeten (1. és 2. ábra). Statikus és dinamikus méréseket végeztünk. Mivel a megépült szerkezetek dinamikai tulajdonságai módosulásának valamely szerkezeti változáshoz való egyértelmű hozzákapcsolhatóságát vizsgáltuk, a laboratóriumi mérések céljára olyan szerkezetet terveztünk és építettünk, amelynek minősége, pontossága nem haladja meg az ácsolt faszerkezetekét. A megépített fatartót fokozatosan lebontva egyszerűsödik a vizsgálandó szerkezet. Mindegyik szerkezet/állapot hajlítási merevsége az egyes fák egymáson való elcsúszásának módosításával – a gerendák közötti átmenő csavaros kapcsolat gyengítésével-erősítésével – könnyen változtatható. Így a tartó rendszerét (statikai vázát), a részben kétfás gerenda K elcsúszási modulusát (így hajlítási merevségét), kapcsolatainak hajlékonyságát (pl. a gerenda felső fájában lévő toldás miatti rugalmas csukló rugóállandóját) változtatjuk, és megfigyeljük a sajátlengésszámok és a sajátlengésalakok módosulását és ennek tendenciáját. Összefüggést igyekszünk felállítani a szerkezet és a dinamikai jellemzők változása között, hogyan és mennyire mérhetően befolyásolják a szerkezeti változások a dinamikai jellemzőket? A fokozatos lebontással kialakított vizsgált szerkezetek:

- ① Térben is kitámasztott kétszeres feszítőmű.
- ② Síkbeli kettős feszítőmű. (Mint ①, de a térbeli ferde kitámasztások nélkül.)
- ③ Síkbeli egyszeres feszítőmű. (Mint ②, de csak egyik síkbeli ferde kitámasztással.)
- ④ Kéttámaszú gerenda. (A tényleges tartószerkezet kitámasztások nélkül.)



**1. ábra** A középső szakaszán kétfás modell statikai váza

**Figure 1** Static frame of the investigated model



**2. ábra** A kísérleti mérésre összeállított tartó

**Figure 2** The assembled beam in the laboratory

A (Lőrincz 2007) disszertáció ismerteti az elvégzett kísérleti méréseket, az ezek során mért elmozdulásokat és a gerjesztésekre adott rezgés gyorsulásválaszfüggvényeket, a statikai váz felállítását egy esetben, a négy tartó mért és számított sajátfrekvenciáit, a szerkezeti változások dinamikai jellemzőiben fellelhető nyomait és tendenciáit.

A feladatmegoldás folyamatában a statikai váz célszerű felállításának döntő jelentősége van. Hiszen

a mérésekkel nem meghatározott, de a dinamikai számításokhoz szükséges adatokat legalább a mérési eredményekkel azonos pontosságban – nevezetesen a hajlékonysági mátrixok a mérésekből nem meghatározható elemeit – csak ennek segítségével tudjuk kiszámítani.

A vizsgálati folyamat egyes lépései: *a)* a tartó felállítása, az érzékelők felszerelése; *b)* mérés, feldolgozás; *c)* a pontos statikai váz meghatározása; *d)* a mért és számított lehajlások egyeztetése; *e)* az egyértelmű anyagjellemzők meghatározása; *f)* lehajlások kiszámítása egységére; *g)* a merevségi mátrixok felállítása; *h)* dinamikai jellemzők meghatározása; *i)* a dinamikai változások elemzése; *j)* következtetések levonása.

### A vizsgáldás elméleti alapja

A folytonos vagy diszkrét, csillapított  $w(t)$  kilengetésű rezgő rendszerek dinamikai alapegyenlete a mozgás  $\ddot{w}(t)$  gyorsulásával arányos tömegerő, a mozgás  $\dot{w}(t)$  sebességével arányos csillapító erő, az elmozdulás  $w(t)$  nagyságával arányos rugalmas erő és az  $F(t)$  gerjesztő erő mindenkor egyensúlyát fogalmazza meg. Ha a fenti arányok lineárisak és a rezgő rendszer anyaga rugalmas, gerjesztett mozgást

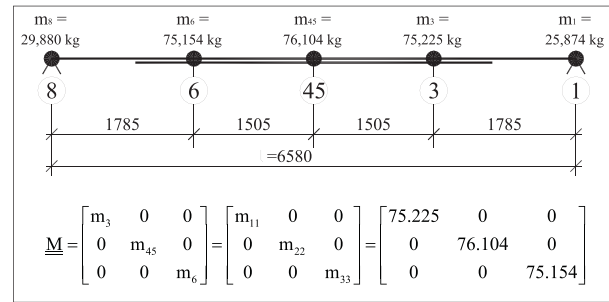
végző csillapított lineáris rendszerről beszélünk. Az építőmérnöki gyakorlatnak megfelelően a pontoknak csak egyirányú mozgását figyeljük, a többit elhanyagoljuk, vagy kényszerekkel megakadályozzuk. Azaz diszkrét rendszerrel annyi elmozdulást (szabadságfok) vizsgálunk, ahány tömegpontunk van. (Az  $n$  db tömegpont síkbeli viselkedésének jellemzésére az  $n \cdot n$  méretű mátrixok és az  $n$  db elemből álló vektorok alkalmasak.)

Egyezzek meg az erők és a mozgás iránya, vizsgálódjunk tehát célszerűen a függőleges síkban. Vizsgáljunk autonóm rendszert, azaz ne legyen gerjesztés, és a mérnöki gyakorlat tapasztalatainak megfelelően tekintsük a csillapítást elhanyagolható mértékűnek. Már is előállítottuk a szerkezetek dinamikai vizsgálatához szükséges alapegyenletet. Ennek egyszerű kezelhetősége alkalmat ad arra, hogy a tartószerkezetek változásainak a dinamikai jellemzőkre kifejtett hatásait vizsgáljuk. A fentieket alkalmazva írjuk fel az alapegyenletet:

$$\underline{\underline{M}} \cdot \ddot{\underline{w}}(t) + \underline{\underline{K}} \cdot \underline{w}(t) = \underline{0} \quad [1]$$

Az  $\underline{\underline{M}}$  tömegmátrixnak csak a főátlóban vannak elemei, amely résztömegeket a test teljes tömegének ismeretében az egyes pontokhoz rendelhetünk hozzá. Az egyes pontok tömegét egyensúlyi egyenletekből lehet meghatározni (3. ábra). A  $\underline{\underline{K}}$  merevségi mátrixot a  $\underline{\underline{H}}$  hajlékonysági mátrix inverzeként állítottuk elő. A  $\underline{\underline{H}}$  mátrix középső oszlopát – a középső ponton elhelyezett egységnyi erő hatására az ugyanitt keletkező függ. eltolódásokat – a mért lehajlásokból, a hiányzó elemeket a számított és a mért lehajlások összevetésével meghatározott statikai vázon határoztuk meg a kéttámaszú tartón. Így a ④ j. szerkezetnek vannak mért és számított értékei, a másik három – ①, ②, ③ j. – szerkezet sajátfrekvenciáit csak mérésrel határoztuk meg. Az [1] egyenlet megoldása során a  $|\underline{\underline{K}} - \omega_0^2 \cdot \underline{\underline{M}}| = 0$  karakterisztikus egyenletből a három sajátérték (a három saját lengésszám:  $f_i = \frac{\omega_i}{2\pi}$ ) meghatározható. Utána a  $(\underline{\underline{K}} - \omega^2 \cdot \underline{\underline{M}}) \cdot \underline{v} = \underline{0}$  egyenletből a sajátmódusokat kell kiszámítani. Végül – harmonikus lengést feltételezve – a [2] lengésgyenletet a  $\underline{v}_r$  sajátvektorok lineáris kombinációjaként írjuk fel. Az  $\underline{a}_r$  és  $\underline{b}_r$  konstansokat a kezdeti feltételek lapján határozzuk meg. (Autonóm lengés esetén a  $t = 0$  pillanatban nincs mozgás, így az elmozdulás valamint ennek sebessége is 0.)

$$\underline{w}(t) = \sum_{r=1}^n \underline{v}_r \cdot [\underline{a}_r \cdot \cos(\omega_{0r} \cdot t) + \underline{b}_r \cdot \sin(\omega_{0r} \cdot t)] \quad [2]$$



3. ábra A tartó tengelye mentén meghatározott tömegpontok nagysága

Figure 3 The appointed mass points along the beam axis

### A kéttámaszú gerenda statikai vázának meghatározása

Pischl (1968, 1969a, 1969b) és Stüssi (1971) hivatkoznak egy, az összetett keresztmetszetű tartók viselkedését leíró másodrendű differenciálegyenletre. Ez állandó keresztmetszetet és anyagminőséget, egymástól állandó távolságra elhelyezett kapcsolatot (betétfa, csavar, stb.) és a relatív megcsúszással arányos csúsztatóerőt tételez fel. Az előbbieket mindegyike tulajdonképpen elvi feltételezés faszerkezetek esetében, de a megoldhatóság miatt innen indultunk el. Feltételezések:

- az  $E$  rugalmassági és a  $K$  elcsúszási modulus állandó;
- a  $\Delta u$  elcsúszás egyenesen arányos a  $T(x)$  csúsztatóerővel;
- a tartó állandó keresztmetszetű, így az  $\alpha$  és a  $\gamma^2$  tényezők is állandók;
- a keresztmetszet magassága  $h$ , az alsó és a felső keresztmetszet inerciaja  $I_1$  és  $I_2$ ,  $I_s$  és  $S_s$  egy keresztmetszeti rész inerciaja és statikai nyomatéka az illesztés síkjára.

A két részből összetett keresztmetszetű tartó egyensúlyát leíró egyenlet és az egyes mennyiségek jelentése:

$$\frac{d^2 N(x)}{dx^2} - \gamma^2 N(x) + \alpha M(x) = 0 \quad [3]$$

$N(x)$  - normálerő

$$\frac{dN(x)}{dx} = T(x) \quad \text{- csúsztatóerő}$$

$M(x)$  - függ. síkú hajlító-nyomaték

$$\alpha = \frac{K}{E} \cdot \frac{h}{I_1 + I_2} \quad [1/\text{mm}^3]$$



$$\gamma^2 = \frac{K}{E} \cdot \frac{h}{I_1 + I_2} \cdot \frac{I_s}{S_s} \quad [1/\text{mm}^2]$$

$$K \cdot \Delta u = T(x) \quad K [=] \text{N/mm}^2$$

$$N(x) = C_1 \cdot e^{\gamma x} + C_2 \cdot e^{-\gamma x} + \quad [4]$$

$$+ \frac{1}{2} \cdot \frac{\alpha \left( \int e^{\gamma x} \cdot M(x) dx - e^{2\gamma x} \int e^{-\gamma x} M(x) dx \right) e^{-\gamma x}}{\gamma}$$

Avagy az exponenciális függvényeket hiperbolikus függvénnyel kifejezve:

$$N(x) = \int \frac{ch(\gamma \cdot x) \cdot \alpha \cdot M(x)}{\gamma} dx \cdot sh(\gamma \cdot x) +$$

$$+ \int \frac{sh(\gamma \cdot x) \cdot \alpha \cdot M(x)}{\gamma} dx \cdot ch(\gamma \cdot x) +$$

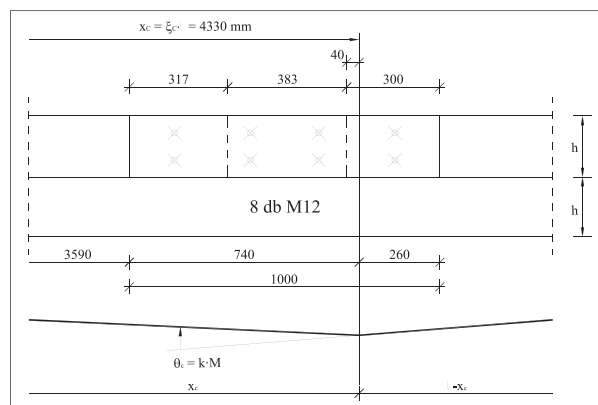
$$+ C_1 \cdot sh(\gamma \cdot x) + C_2 \cdot ch(\gamma \cdot x)$$

Az egyenletet alkalmazni kellett a nem teljes hosszán kétfás tartóra, egymáshoz csatlakozó szakaszból kellett összerakni a nem minden esetben folytonos nyomatéki ábráknak megfelelően. Esetemben a végigmenő felső fa két darabból állt, ugyanis a felső gerenda hossza 7 m, de két darabban szállították. Tehát a gerendát toldani és a toldást modellezni kellett, ugyanis a mért értékeken az látszott, hogy a toldás környékén a lehajlások nagyobbak, mint a másik, nem toldott szakaszon. Rálapolással, két-toldali hevederrel és átmenő csavarokkal csatlakoztattuk a két gerendavéget. Nevezzük ezt a toldást rugalmas csuklónak, amelynek elfordulási tulajdonságai/rugóállandója ismeretlen. Az elcsúszások elemzéséből megállapított helye nem a csatlakozás tengelyében van, hanem a  $\xi_c = 0,658$  keresztmetszetben (4. ábra). A tárgyalt esetben szükségszerű kialakításának az alábbi következményei vannak:

- az átmenő csavarokat meghúzva, azokban normálerő keletkezik. A kapcsolatokat rögzítő átmenő csavarok meghúzásával/elengedésével, így a bennük lévő erő változtatásával a kapcsolat rugóállandója, így a kapcsolat elfordulása változtatható, amelynek hatásai mérhetőek. A két fa elcsúszásának befolyásolása mellett ez is egy másik lehetőség arra, hogy az egyes tartók állapotát változtassuk;
- az elfordulások nagysága érdektelen, de a külső teher okozta nyomaték változását ismernünk

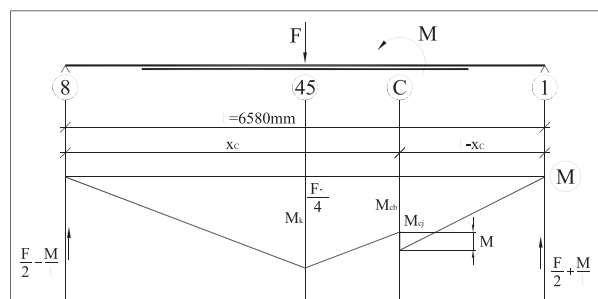
kell, hogy lehajlást tudjunk számolni. Ezen nyomaték értéke legyen  $M$ , amely jelenti a  $c$  pontban létrejött gátolt elfordulás miatti nyomaték-változást (5. ábra);

- teljes geometriai szimmetria esetén sem mértük volna azt, hogy a tartó bal- és jobb oldalán, a középső keresztmetszettől azonos távolságra lévő pontok függőleges elmozdulása megegyezik. Egy helyszínen gyártott faanyagú tartó pedig soha nem lesz geometriailag szimmetrikus! Ez csak akkor gond, ha mért és számított eredményeket egyeztetünk, mert bonyolódik a statikai váz.



4. ábra A rugalmas csukló modellezése

Figure 4 Modell of the flexible joint



5. ábra A gátolt elfordulás miatt nyomatékváltozást kell figyelembe vennünk

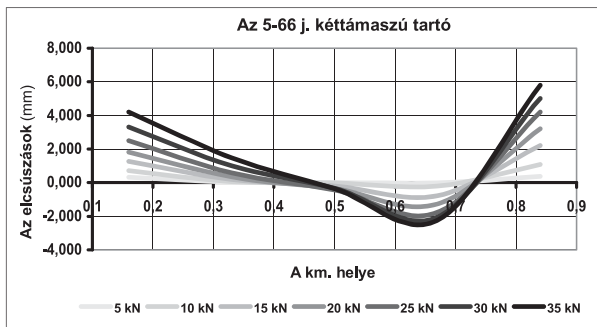
Figure 5 Momentum alteration caused by the blocked slue

A felső és az alsó fa egymáson való eltolódását átmenő csavarokkal gátoltuk. A csavarokban lévő tengelyirányú erő az anyag meghúzásával/megengedésével változtatható. Az elcsúszás nagyságától függ a kétfás tartó hajlítási merevsége. A változások statikai és dinamikai következményeit vizsgálva először a kétfás szakasz elcsúszásait mértük. A mért elcsúszási ábrák vizsgálatából az alábbiak következnek:

- az abszolút elcsúszási ábrák (6. ábra) nem szimmetrikusak, a relatív elcsúszási ábrák (7. ábra) pedig nem antimetrikusak. A jelenségek mind-

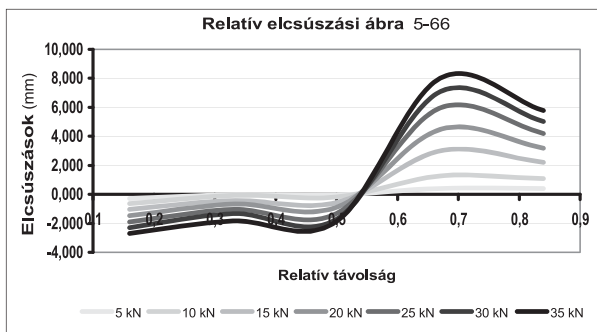
két fajtája azonos abban a tekintetben, hogy a görbék jobb és a bal oldala egységesen tér el egymástól mindegyik terhelő erő és mindegyik állapotú tartó esetén. A kétfás szakasz bal végén az elcsúszások kisebbek, mint a kétfás szakasz jobb végén;

- az elcsúszási görbék szélsőértékének helye a felső gerenda toldása alá esik. Itt kell feltételeznünk a rugalmas csuklót.



**6. ábra** Az egymásra illesztett fák abszolút elcsúszási ábrája változó terhelésre

**Figure 6** Absolute slip diagram of the joint timbers in case of altering load



**7. ábra** Az egymásra illesztett fák relatív elcsúszási ábrája változó terhelésre

**Figure 7** Relative slip diagram of the joint timbers in case of altering load

Az elcsúszások feldolgozása azt mutatja, hogy a szerkezeti viselkedés a kisebb erőkre nem lineáris. (Az 5 és 10 kN nagyságú terhelés számít kisebb erőnek, és a 15, 20 és 25 kN terhelések esetén már egyenes arány van az erő és az elmozdulások között.) Ennek a hajlékonysági mátrix számításánál van különös jelentősége. Ugyanis a mátrix elemei egységnyi terheléshez rendelt lehajlásokat tartalmaznak, tehát vagy az alkalmazott terhekből keletkező lehajlásokat arányosítjuk – a mátrix középső oszlopa –, vagy egységterhelre végezzük el a számításokat a mátrix két szélső oszlopa elemeinek meghatározásához. Olyan korrekció szükséges, amellyel a hajlékony-

sági mátrix elemei gyakorlati pontossággal meghatározhatók. A mért mennyiségek feldolgozása és a korábbi megfontolások után az alábbi értékeket és közelítéseket vettük figyelembe:

- a két fa egymáson való elcsúszása miatt az összetett keresztmetszetek tehetetlenségi nyomatéka csökken, és a hajlítási merevség csökkenésének mértékét fejezi ki az  $a_i$ ;
- nem azonos pontosságú a szélső keresztmetszetekben valamint a középső keresztmetszetben számítható lehajlás értéke az  $e_{3sz}$ ,  $e_{6sz}$ , és  $e_{45sz}$ . Ezért felvettük ismeretlenként a  $\kappa$  számot, a középső keresztmetszet lehajlásainak korrekcióját is, tehát a középső keresztmetszet számított lehajlása  $\kappa \cdot e_{45sz}$ ;
- megkíséreltük az inerciák pontos közelítését úgy, hogy a mért keresztmetszeti méretekből meghatározott tehetetlenségi nyomatékokra a Spline iterációval görbét fektettünk, és a tartó tengelye mentén változó ismert függvényként vettük figyelembe az inerciákat, így a hajlítási merevséget is. Ez amelllett, hogy nagyon lelassította a számítást, relatíve nem hozott lényeges eredményt, ezért nem alkalmaztuk. Így mind a bal oldalon, mind a jobb oldalon a két egyfás szakasznak ( $I_{87} = k_1 I_{21}$  és  $I_{21}$ ) és a két kétfás szakasznak ( $I_b$  és  $I_j = k \cdot I_b$ ), van egymástól eltérő inerciája. Az egyes szakaszok hajlítási merevségének értékei balról jobbra:  $K_{87} = E_h k_1 \cdot I_{21}$   $K_b = E_h \cdot I_b$   $K_j = E_h k \cdot I_b$   $K_{21} = E_h I_{21}$
- az első mérésekből több esetben meghatároztuk a tartó anyagának  $E_b$  rugalmassági modulusát valamint a  $\gamma^2$  elcsúszási relációt, ill. ennek  $\gamma$  négyzetgyökét. Az ellenőrzések során az alábbi, figyelembe vett értékek jónak bizonyultak:  $E_b = 4400 \text{ N/mm}^2$ ;  $G_b \approx E_b/20 = 220 \text{ N/mm}^2$   $6,0 \cdot 10^{-4} \text{ 1/mm} < \gamma < 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ 1/mm}$
- A fenti anyagjellemzők nem építési fára jellemzők, meglepően alacsonyak. Azonban a mért és a számított lehajlások összevetése igazolta helyességüket.
- Az elcsúszás mértékét alig befolyásolta a csavarokban keletkező erő, emiatt a  $\gamma$  közeli értékek között változik. A  $K$  elcsúszási modulus nem konstans, mert a csavarok egymástól mért távolsága nem állandó. Átlaga:  $8,83 \text{ N/mm}^2$ . A csavarok elcsúszással szembeni  $C$  ellenállásának átlaga:  $3860 \text{ N/mm}$ ;
- a végleges megoldáshoz egy iteráció vezetett, azaz az először meghatározott értékekkel kiszá-



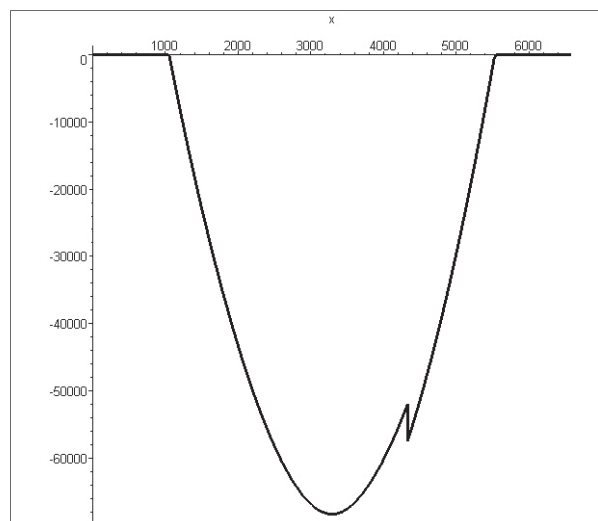
mítottam a lehajlásokat ( $e_{sz}$ ) és ezeket viszonyítottam a mért lehajlásokhoz ( $e_m$ ). A viszonyszám:  $\beta_0 = e_m/e_{sz}$ . A viszonyszámmal módosítottam az összetett keresztmetszet tehetetlenségi nyomatéka csökkenését kifejező korrekciós tényezőt:  $\nu = \alpha_i/\beta_0$ . Ezzel korrigálva az inerciát, az előző eredménynél pontosabbat kaptam, azaz a másodszorra számított lehajlások jobban közelítik a mért lehajlásokat,  $\beta = e_m/e_{sz}$ , így az  $|1 - \beta| < |1 - \beta_0|$ .

A fentiek alkalmazásával sikerült egy olyan statikai vázat felállítani, amelyen a számított lehajlások 3%-on belül megegyeznek a mért lehajlásokkal. Emiatt volt szükség a fenti tényezők figyelembevételére. Fel kellett írni továbbá a középső 2/3-án kétfás tartó kezelhető differenciálegyenletét, amelynek megoldása elegendő tesz a végpontokban és a közbenső keresztmetszetek alatt előírt kerületi feltételeknek. Mivel három lehajlást mértünk, három ismeretlen mennyiséget ( $M$ ,  $\alpha_i$ ,  $\kappa$ ) tudtunk meghatározni a középső szakaszon kétfás tartóra felírt egyenletből. A munkatételeket alkalmaztuk, és figyelembe vettük a nyírási alakváltozás munkáját is. – Az összes meghatározott jellemzőt az 1., 2., 3. táblázatok tartalmazzák. A kéttámaszú tartó minden egyes vizsgált, azaz kilenc esetére. (Ugyanis három egymástól eltérő vízszintes elcsúszást és a rugalmas csukló három különböző rugóállandóját állítottuk elő.)

A tartó statikai leírása után a nem mért terhekre is meghatározhatók a lehajlások. Az egységteherre való számításokhoz eldöntendő a sarkalatos probléma, azaz a tartó szimmetriája és linearitása. A terhelés szimmetriáját és linearitását valamint az alkalmazott anyagok lineáris viselkedését elfogadjuk. (Az alkalmazott anyagok rugalmassági modulusa állandó.) A tartószerkezet kialakítása nem szimmetrikus. A gyakorlati eseteknél nem jobban, de változnak a méretek, az alátámasztások helyei, a közbenső szakaszon kialakított kétfás szakasz felületeinek illeszkedése, az együttműködés erőssége és hatékonysága. (A  $K$  elcsúszási modulus és a  $\gamma^2$  elcsúszási reláció nem állandó.) A felső gerenda toldása sem szimmetrikus, valamint a toldási szakaszon relatív elfordulás lehetséges. (Ezen kialakítás sem idegen a gyakorlattól.) A határállapokra épülő méretezés esetén ezen egyenlőtlenségek nem játszanak szerepet. Esetünkben azonban, amikor mért és elméleti adatokat egyeztetünk, s emiatt érzékenyebb elméleti megfontolásokat kell tennünk, a szimmetriától való

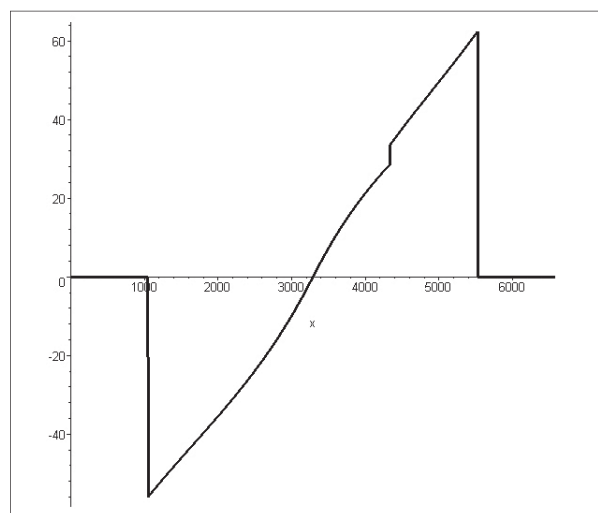
eltérésnek az egyeztetés eredményességét nehezítő következménye van, vagy a megoldhatatlanságig bonyolított sokparaméteres vázat kell felvinnünk. Ezen utóbbinak nincs értelme, mert általánosabb következtetések nem vonhatók le. Felvettünk egy, a lehető legtöbb sajátosságot figyelembe vevő szimmetrikus modellt (8. ábra), amellyel a mért és a számított lehajlások 3% körüli egyezősége biztosítható. Ezen statikai vázon meghatároztuk a kétfás szakaszon fellépő  $N(x)$  normálerő és  $T(x)$  csúsztatóerő ábrákat (8. és 9. ábra), amelyeket a további számításokban alkalmaztunk. A kétfás tartón a külső erők-ből keletkező nyomatékokat a normálerő csökkenti (a két fa súlypontjának távolsága  $h$ ), a nyíróerő pedig a nyomaték első deriváltja:

$$M_g(x) = M(x) - h \cdot N(x) \quad Q_g(x) = -\frac{dM_g(x)}{dx}$$



7. ábra Az  $N(x)$  normálerőábra

Figure 7 Normal force diagram



8. ábra A csúsztatóerők  $T(x)$  ábrája

Figure 8 Shear force diagram

**1. táblázat** Az egymáson legkevesebbé elcsúszó részben kétfás kétrámaszú gerenda (6.j.) meghatározott jellemzői  
**Table 1** Parameters of the simply-supported beam (6.j.) party with detachable part in case of minimum slip

A tartó azonosítása	Erő kN	M kNm	Szorzótényezők				Km.-ek (1. ábra)	e <sub>s</sub> számított alakváltozások (mm)			e <sub>M</sub> mért (mm)	β =e <sub>M</sub> /e <sub>s</sub>
			α <sub>1</sub>	κ	ν	hajlít.		nyírás	Σ			
A 6.j. tartó γ = 0,00072	15	4 682 936	0,451775	0,987542	0,495980	3	17,134	1,072	18,206	18,998	0,96 - 1,04	
							20	20,319	1,485	21,804		22,503
							25	16,180	1,026	17,206		17,964
	20	4 755 268	0,413923	1,005227	0,410515	3	25,895	1,422	27,317	27,153		
							45	31,256	1,980	33,236	33,129	
							6	24,789	1,375	26,164	26,006	
	25	4 511 532	0,388270	1,013029	0,366125	3	35,606	1,770	37,377	35,771		
							45	43,521	2,476	45,996	44,387	
							6	34,419	1,726	36,145	34,583	
15	5 438 022	0,426875	0,989161	0,449457	3	17,903	1,076	18,979	19,685	0,97 - 1,04		
						45	21,210	1,485	22,696		23,250	
						6	16,772	1,022	17,794		18,467	
20	5 448 372	0,392627	1,008591	0,386307	3	27,040	1,425	28,465	28,127			
						45	33,041	1,981	35,021	34,342		
						6	25,752	1,372	27,124	26,799		
25	4 986 622	0,382238	1,016140	0,367646	3	35,416	1,773	37,189	36,122			
						45	43,487	2,478	46,263	44,872		
						6	34,134	1,724	35,857	34,822		
15	6 459 514	0,395578	1,000451	0,406307	3	19,179	1,081	20,260	20,655	0,98 - 1,02		
						45	22,662	1,485	24,148		24,505	
						6	17,781	1,017	18,798		19,170	
20	6 202 412	0,379819	1,011279	0,377205	3	27,433	1,429	28,862	28,715			
						45	33,071	1,980	35,051	35,021		
						6	25,973	1,368	27,341	27,200		
25	5 700 987	0,372267	1,007682	0,364506	3	35,544	1,776	37,321	36,736			
						45	43,382	2,476	45,858	45,157		
						6	34,106	1,720	35,826	35,261		



**2. táblázat** Az egymáson közepes mértékben elcsúszó részben kétfás kéttámaszú gerenda (4.j.) meghatározott jellemzői  
**Table 2** Parameters of the simply-supported beam (4.j.) partly with detachable part in case of medium slip

A tartó azonosítása	Erő kN	M kNm	Szorzótényezők				Km.-ek (1. ábra)	e <sub>s</sub> számított alakváltozások (mm)			e <sub>M</sub> mért (mm)	β = e <sub>M</sub> /e <sub>s</sub>
			α <sub>1</sub>	κ	ν	hajlít.		nyírás	Σ			
4-4600	15	4 460 119	0,418857	0,962363	0,437703	3	19,018	1,101	20,119	20,770	1,0239	0,97-1,03
							22,793	1,542	24,335	24,448		
							18,192	1,057	19,249	19,881		
	20	5 069 152	0,394274	0,988603	0,390456	6	27,830	1,463	29,293	29,082	0,9911	0,97-1,03
							33,726	2,056	35,782	35,379		
							26,837	1,414	28,251	28,045		
	25	5 518 232	0,384129	1,009652	0,370436	3	36,397	1,825	38,222	37,192	0,9770	0,97-1,03
							44,397	2,570	46,966	46,383		
							35,292	1,771	37,063	36,054		
4-4400	15	5 043 084	0,411073	0,995245	0,427803	3	19,272	1,104	20,376	20,974	1,0304	0,97-1,03
							23,005	1,542	24,547	25,373		
							18,324	1,054	19,378	19,956		
	20	5 743 763	0,384708	0,993800	0,381047	6	28,260	1,467	27,726	29,515	0,9874	0,97-1,03
							34,727	2,056	36,783	35,967		
							27,115	1,410	28,525	28,320		
	25	6 392 873	0,373226	0,993993	0,361173	3	36,988	1,830	38,817	37,866	0,9705	0,97-1,03
							45,745	2,570	48,314	46,383		
							35,681	1,767	37,448	36,520		
4-4200	15	6 074 142	0,392307	0,987671	0,404774	3	19,954	1,109	21,063	21,551	1,0161	0,97-1,02
							24,075	1,542	25,617	25,705		
							18,773	1,049	19,882	20,289		
	20	6 648 653	0,373718	0,993819	0,370965	6	28,712	1,471	30,184	30,017	0,9895	0,97-1,02
							35,120	2,056	37,176	36,413		
							27,361	1,406	28,767	28,606		
	25	7 500 064	0,365439	0,996100	0,356299	3	37,197	1,835	39,032	38,291	0,9769	0,97-1,02
							45,772	2,570	48,341	46,778		
							35,642	1,761	37,404	36,685		

A 4.j. tartó  
 $\gamma = 0,00072$

**3. táblázat** Az egymáson közepes mértékben elcsúszó részben kétfás kéttámaszú gerenda (2.j.) meghatározott jellemzői**Table 3** Parameters of the simply-supported beam (2.j.) partly with detachable part in case of medium slip

A tartó azonosítása	Erő kN	M kNm	Szorzótényezők				Km.-ek (1. ábra)	e <sub>sz</sub> számított alakváltozások (mm)			e <sub>M</sub> mért (mm)	$\beta$ = e <sub>M</sub> /e <sub>sz</sub>												
			α <sub>1</sub>	κ	v	nyírás		Σ	hajlít.															
A 2.j. tartó γ = 0,00072	15	4 585 692	0,412032	0,987278	0,424806	3	19,738	1,115	20,853	21,324	1,0133	0,97 - 1,02												
													20	4 622 043	0,392495	0,986606	0,390154	3	28,358	1,479	29,837	29,704	0,9957	
																								25
	15	5 489 636	0,394184	0,993358	0,407736	3	20,235	1,119	21,355	21,893	1,0253													
													20	6 819 797	0,373419	0,997864	0,370134	6	19,241	1,066	20,307	20,387	0,9975	
																								25
	15	6 751 952	0,375684	0,998178	0,385615	3	20,926	1,126	22,051	22,482	1,0110		0,98 - 1,02											
														20	7 931 846	0,360256	1,002544	0,357604	45	25,096	1,568	26,664	27,133	0,9915



### Irodalomjegyzék

- Heilig, R (1953a) Zur Theorie des Starren Verbunds. Der Stahlbau 22(4):84-90
- Heilig, R (1953b) Zur Theorie des Starren Verbunds. Der Stahlbau 22(5):104-108
- Lőrincz Gy (1996-1999) Tartószerkezetek diagnosztikai vizsgálata. Összefüggések meghatározása laboratóriumi mérésekkel. Soproni Egyetem Tudományos Közleményei 42-45. évf.:135-148
- Lőrincz Gy (2007) Dinamikus hatások szimulációja és kísérleti ellenőrzése faszerkezetű gerendatartókon. Doktori (Ph.D.) értekezés, kézirat, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron
- Pischl, R (1968) Ein Beitrag zur Berechnung zusammengesetzter Hölzerner Biegeträger. Der Bauingenieur 43(12):448-452
- Pischl, R (1969a) Die Praktische Berechnung zusammengesetzter Hölzerner Biegeträger mit Hilfstafeln zur Berechnung der Abminderungsfaktoren. Der Bauingenieur 44(5):181-185
- Pischl, R (1969b) Die Auslegung der Verbindungsmittel bei zusammengesetzten hölzernen Biegeträgern. Der Bauingenieur 44(11):419-423
- Stüssi, F (1971) Vorlesungen über Baustatik 1-2. Birkhäuser Verlag, Basel und Stuttgart
- Timoshenko, S, Young, DH (1955) Vibration Problems in Engineering. D. Van Nostrand Company, Inc., Princeton, New Jersey

## Bükk (*Fagus sylvatica* L.) faanyag színének homogenizálása gőzöléssel

VARGA Dénes<sup>1</sup>, NÉMETH Róbert<sup>2</sup>, MOLNÁR Sándor<sup>2</sup>, TOLVAJ László<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NymE, Fizika és Elektrotechnika Intézet

<sup>2</sup> NymE, Faanyagtudományi Intézet

### Kivonat

Vizsgálatunk során nedves (47%), félszáraz (28%) és száraz (8%) álgesztes és álgeszt mentes bükk (*Fagus sylvatica* L.) próbatesteket gőzöltünk különböző hőmérsékleteken (80–120°C) színhomogenizálás céljából. Az alkalmazott hőmérsékleti értékek mindegyike alkalmas volt a vörös és fehér geszt színeltérésének minimalizálására. A hőmérséklet értéke 100°C alatt nem befolyásolja a színváltozást. A változás döntő része a kezelés első 12 órájában bekövetkezik. Az optimális homogenizálási idő 0,5–2 nap az alkalmazott hőmérsékleti értéktől függően. A kezdő nedvességtartalom nem befolyásolja a színváltozást rosttelítettségi pont felett. A kiinduláskor száraz próbatestek színváltozása kevésbé intenzív, mint a nedves próbatesteké. Száraz próbatestek 100°C alatti gőzöléssel történő színhomogenizálása nem javasolt.

**Kulcsszavak:** bükk, gőzölés, álgeszt, színhomogenizálás, nedvességtartalom

## Colour homogenisation of beech (*Fagus sylvatica* L.) by steam treatment

### Abstract

In this study, wet (47%), semi wet (28%) and dry (8%) beech (*Fagus sylvatica* L.) samples with and without red heartwood were steamed at different temperatures (80–120°C) for colour homogenisation. All of the applied temperature values were suitable to minimize the colour difference between white