

Doktori (PhD) értekezés

# Akác faanyag akusztikai térképe



*Készítette:* Horváth Miklós  
okleveles faipari mérnök  
PhD jelölt

*Konzulens:* Dr. Divós Ferenc  
egyetemi tanár

Nyugat-magyarországi Egyetem  
Cziráki József Faanyagtudományi és Technológiák Doktori Iskola  
Roncsolásmentes Faanyagvizsgáló Labor

2010

---

## Akác faanyag akusztikai térképe

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében  
a Nyugat-magyarországi Egyetem,  
Cziráki József Faanyagtudományi és Technológiák Doktori Iskolája

Faanyagtudomány programja

Írta:  
Horváth Miklós

Témavezető: Dr. Divós Ferenc  
Elfogadásra javaslom (igen / nem)

.....  
(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton ..... % -ot ért el,  
Sopron,.....

.....  
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr. ....) igen /nem  
(aláírás)

Második bíráló (Dr. ....) igen /nem  
(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr. ....) igen /nem  
(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el  
Sopron,.....

.....  
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....  
Az EDT elnöke

---

## **Akác faanyag akusztikai térképe**

készítette: Horváth Miklós

konzulens: Divós Ferenc

Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 2010

Korábbi tanulmányok bemutatták, hogy az akác (*Robinia pseudoacacia*) kiváló akusztikai tulajdonságokkal rendelkezik, hasonló a *Dalbergia* fafajhoz. Nem olyan régen kezdték alkalmazni az akácfát, mint hangszer alapanyagot xilofon és marimba hanglapoknak. A hangszerkészítők abban érdekeltek, hogy kiváló minőségű alapanyagot dolgozzanak fel. A munka során a különböző akusztikai tulajdonságok eloszlása került meghatározásra egy fatörzsön belül a talajszinttől a csúcsig. A rostirányú hangsebesség mellett, a nyíróhullám sebessége, a sűrűség, a logaritmikus dekrementum és a rostirányú zsugorodás lett mérve kisméretű mintákon. Az említett tulajdonságok kétdimenziós ábrázolásban kerültek bemutatásra. A vizsgálat alapján a fa akusztikailag legértékesebb része lett lokalizálva.

---

## **Acoustic map of black locust tree**

author: Miklós Horváth

supervisor: Ferenc Divós

University of West Hungary, Sopron, 2010

Previous studies have demonstrated, that Black locust has excellent acoustic properties, similar to Dalbergia. Recently Black locust is used as raw material of xylophone and marimba bars. Instrument makers are interested in getting top quality material.

Distribution of different acoustic properties is determined in a whole tree from the ground level to the top. Sound velocity along the grain, shear velocity, density, logarithmic decrement and longitudinal shrinkage has been measured on small size specimen. Two dimensional representation of the mentioned properties are prepared. Based on the investigation the acoustically most valuable part of the tree is localised.

---

## Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék .....	6
1. Bevezetés .....	9
1.1. A probléma felvetése .....	9
1.2. A téma aktualitása .....	9
2. A kutatómunka tudományos előzményei a szakirodalomban .....	11
2.1. A sűrűség hatása .....	12
2.2. A sejtfa szerkezet hatása a mechanikai tulajdonságokra .....	13
2.3. Homogén izotróp rudak rezgésének elmélete .....	15
2.3.1. A dinamikus rugalmassági modulusz meghatározása longitudinális rezgésekkel (hosszú rudak esetén) .....	15
2.3.2. A dinamikus rugalmassági modulusz meghatározása hajlító rezgésekkel, a Timoshenko-elmélet és az Euler-féle közelítő számítás, az Euler egyenlet problémái .....	16
2.3.3. A nyíró rugalmassági modulusz meghatározása transzverzális időméréssel .....	19
2.3.4. A csillapítási tényező és a logaritmusos dekrementum .....	19
2.3.5. Az anizotrópia és az inhomogenitás hatása a rudak rezgéseire .....	21
3. A vizsgálat tárgya, módszerei, eszközei, a mérések leírása .....	22
3.1 A választott fafaj .....	22
3.1.1 Fehér akác - akácfa ( <i>Robinia pseudoacacia</i> L.) .....	22
3.1.2 A mérésekhez felhasznált fa kiválasztása, erdei munkálatok .....	29
3.1.3 A próbatestek elkészítése .....	34
3.2 A mérésekhez, próbatest készítéshez használt eszközök .....	37
3.2.1 A fa kiválasztásához felhasznált eszközök .....	37
3.2.2 A faanyag feldolgozásának eszközei .....	37
3.2.3 A labormérés eszközei .....	37
3.2.3.1 A felhasznált FFT szoftver .....	38
3.3 A mérések leírása .....	39
3.3.1 Rostirányú zsugorodási vizsgálat .....	39
3.3.2 Longitudinális rezgések frekvenciájának mérése .....	41
3.3.3 Hajlítórengések frekvenciájának mérése .....	42

---

3.3.4	Transzverzális hullám terjedési idejének mérése, G meghatározás	45
3.3.5	Tangenciális sebességmérés	47
3.3.6	A csillapítási tényező mérése	48
3.3.7	A juvenilis-érettfá határ meghatározása	49
3.3.8	Írányfüggő vizsgálat	51
3.3.9	Dinamikus keménységmérés	51
4.	Eredmények	53
4.1	Fa hanglapú ütős hangszer (xilofon, marimba) készítése	53
4.1.1	A hangszerek csoportosítása	53
4.1.2	Üzleti terv szerepe	55
4.1.3	A gyártás előkészítése 1.	55
4.1.3.1	Faanyag kiválasztása, tárolása	56
4.1.3.2	A hangszer paramétereinek meghatározása	57
4.1.3.2.1	A hangolás képletének meghatározása	57
4.1.3.2.2	A hangszer fajtájának, alakjának, méretének meghatározása	59
4.1.4	A gyártás előkészítése 2.	59
4.1.4.1	A hanglapok elkészítése	59
4.1.4.1.1	A marimba és a xilofon ideális felhangrendszere	60
4.1.4.1.2	A hangolás módszere	61
4.1.4.1.3	Írányfüggő vizsgálat eredményei	62
4.1.5	A gyártás közben felmerülő nehézségek (E/G arány, felületkezelő anyagok hatása)	63
4.1.6	Rezonátorok, állványzat	65
4.1.7	Ellenőrzés, tárolás	66
4.2	Műszeres mérési eredmények bemutatása	66
4.2.1	Rostirányú hangsebesség eloszlása	68
4.2.2	Sűrűség eloszlása	70
4.2.3	Rugalmassági modulusz (E) eloszlása	72
4.2.4	Nyíró-rugalmassági modulusz (G) eloszlása	74
4.2.5	E/G arány eloszlása	76
4.2.6	Logaritmikus dekrementum eloszlása	78
4.2.6	Rostirányú zsugorodási vizsgálat	80
4.2.7	Tangenciális hangsebesség mérése	81

---

4.2.8 Juvenilis-érettfá meghatározása .....	82
4.2.8.1 Juvenilis-érettfá meghatározása wavelet módszerrel .....	82
4.2.8.2 Juvenilis-érettfá meghatározása időméréssel .....	84
4.2.9 A felületek dinamikus keménységi vizsgálatának eredményei .....	85
5. Az új tudományos eredmények összefoglalása .....	87
6. Konklúzió .....	88
A dolgozat témájához kapcsolódó publikációk .....	89
7. Irodalomjegyzék .....	91
Köszönetek .....	96
Melléklet .....	97

## 1. Bevezetés

### 1.1. A probléma felvetése

Sok hasznos és korszakalkotó tanulmány látott már napvilágot a faanyagkutatás területén. Ezen belül kiemelkedő terület a roncsolásmentes faanyagvizsgálat, hiszen nagy a jelentősége mind az erdészeti-kertészeti munkákban (élőfa-vizsgálatok), mind pedig a faipari vizsgálatoknál (beépített faanyagok vizsgálatai, fűrészáru-osztályozás).

Jelen dolgozat arra keresi a választ, hogy egy egész fán belül (a tőtől a koronáig) milyen a „hangtérkép”, az adott fa adott magassági pontjain, illetve egy adott magasság keresztmetszetén belül milyen akusztikai paraméterek találhatóak. Jelen alkalmazott kutatás felhasználja az eddigi roncsolásmentes faanyagvizsgálati módszereket, és új összefüggések felismerését irányozza elő. Az eredmények majdani ismerete hasznos és elengedhetetlen információ lesz az egy fából kinyerhető különböző paraméterű alapanyagok eloszlását illetően, azaz speciális területeken alkalmazott, magas minőségi követelményű (pl: nagy szilárdsági értékekkel rendelkező) alapanyagok megtalálása tekintetében.

### 1.2. A téma aktualitása

A hangszergyártás, illetve hangszerkészítés alapvető tényezője a megfelelő minőségű faanyag rendelkezésre állása. „...Fagerenda lenni gyenge. Kár, hogy nincs nagy gerenda, nagy fa neked...” – mondta Ludas Matyi – ’talján’ építőmesternek öltözve – Döbröginek. Amikor ez a mondat elhangozhatott (volna), még messze nem állt olyan rosszul - vagy jobb szóval élve gyengén - az erdőgazdaságok zöme, nagy átmérőjű fa-alapanyagból, mint ma. Tény, hogy ma sok erdő alig éri meg a vágás érettségi kort, máris „berregnek” a fűrészek. E miatt sokkal kisebb érettfá állomány áll rendelkezésünkre a juvenilis-érettfá arány szempontjából. A juvenilis fa számos ipari alkalmazásban eltérően viselkedik az érett fához képest (jobban vetemedik, zsugorodik). S hogy ez hogyan kapcsolódik a hangszerkészítéshez, erről szól e dolgozat.

Az egyre kevesebb éltes korú faanyag mellett napjainkban nehéz jó minőségű faanyagot beszerezni, illetve a szükséges minőség „jóságának” meghatározása túlmutat az egyszerű fakereskedői gyakorlaton. A minőség „gyengesége” leginkább a felgyorsult



világ gazdálkodási szokásaiban gyökerezik. Azonban a megnövekedett fa-feldolgozás következményeit félretéve, szükséges a rendelkezésre álló faanyag jellemzőinek, és azok szerepének vizsgálata. Nem csupán a hangszerkészítők találkoznak azzal a jelenséggel, hogy nehéz „jó” faanyagot találni. A nagyobb fakereskedésekben is szinte fellelhetetlen - az egyre kisebb keresztmetszetű fáknak köszönhetően - a bél nélküli deszka, palló. (1.1 kép, 1.2 kép - forrás: Forintek Canada)



**1.1 kép**  
Fatörzs átmérők régen



**1.2 kép**  
Fatörzs átmérők ma

A szárítási problémák, a ráfordított idő „hiánya”, nem megfelelő szaktudás pedig a meglévő fa-alapanyag állományt is tovább ronthatja. Általánosítás helyett a hangszerfákra koncentrálva: a tengeren túlról érkező faanyagok szárítva érkeznek, de semmi információval nem rendelkezhetünk róluk. (Hol, mikor döntötték; hogyan, milyen állapotában, meddig tárolták, az adott fa melyik részéből származik a megvásárlásra kínált fűrészáru, stb.) A tapasztalat azonban a hangszergyártók részéről összességében az, hogy a gyártás szempontjából az egyik fontos paraméter, a – szükséges kémleles - szárítás nem megfelelő; időnként szabad szemmel könnyen értékelhető, esetenként csak a gyártás utolsó fázisában derül ki (belső repedések). A faanatómiai jellegzetességből következő eltérésekhez, a szilárdsággal való összefüggések méréséhez azonban csak műszeres elemzés során juthatunk.

S ha Magyarországon már nincs megfelelő faanyag-import - vagy ha van is, csillagászati áron nyugat-európai lerakatból,- a magyarországi gyártóknak, hangszerkészítőknek az elmés magyarság hagyományaként szükséges, hogy saját forrást találjanak. Ennek kiválasztásában, a faanyag nyomon követésében, kezelésében, tárolásában kell előrelépéseket tenni, hogy a zenészek nagy igényeihez mindenkor, mindenben eleget lehessen tenni, hiszen csak így lehet felvenni a versenyt a piacon már szereplő, nagynevű hangszergyártó cégekkel.

Célul tűzendő ki, az akácból készült fa alapú ütőhangszerek meghonosítása, melynek alapfeltétele a rendelkezésre álló alapanyagok mélyreható megismerése, a hangszerfa egy fatörzsön belüli kiválasztási helyének pontos ismerete, a faanyagnak a fadóntástól az utolsó simításokig történő gondos és szakszerű tárolása, kezelése.

## **2. A kutatómunka tudományos előzményei a szakirodalomban**

A faanyag megjelenése és potenciális értéke számos, fa anatómiai jellemzőtől függ. Ezeket a jellegzetességeket a genetika, a növekedési körülmények, az erdőgazdálkodás továbbá a döntés kora határozza meg. A megmunkálások során, szintén a fa jellemzőit módosítjuk. Mindamellet amíg a faanyag az erdőtől a késztermékig eljut, számos tulajdonságot veszünk számításba a feldolgozás során. A minimum technikai megfontolás, amit a fűrészüzem és a vásárló is értékelni tud, a faanyag rugalmassági modulusza, illetve alaktartása (egyenesség-görbeség). A juvenilis és érettfá tulajdonságai több területen is eltérést mutatnak, így akusztikai elveken alapuló műszeres vizsgálatuk elengedhetetlen. A juvenilis fánál a keménység, a görbeség és a méretstabilitás nagyobb eltéréseket mutat az érett fához viszonyítva [Kretschmann 1991, 1993; Zobel 1998; Williams 1999]. Amiórt ezek a tulajdonságok változnak a juvenilis fában, azt a faanatómiai vizsgálatok során értjük meg. Amikor a biológiai és a mesterséges anyagok egyfajta összeillesztett szerkezetben jelennek meg, azt az axiómát használhatjuk erre, hogy a forma követi a funkciót [Gordon 1978; Gordon és Jeronimidis 1974; Mosbrugger 1990; Mattheck és Kubler 1995; Lichtenegger et al. 1999, Huang 2003]. Ehhez hasonlóan érthetjük meg a fának a megjelenését - ami rostokból, sejtekből épül fel -, a sejtek falán elhelyezkedő spirális alakban felcsavarodó cellulóz fibrillák, és a cellulóz sejtfal réteges szerkezetét. Például rövid vágásidejű ültetvényeknél fenyők esetén a fő fizikai és mechanikai

tulajdonságát a faanyagnak a bél körül elhelyezkedő évgyűrűkből származtatjuk, amikor a faanyag hajlékonysága a növekedéssel szoros kapcsolatot alkotott. Éppen ezért ezeknek a fiatal fáknek a legjellemzőbb fizikai tulajdonsága a mikrofibrilla-szög [Preston 1934, 1974; Cave 1968, 1969; Cave, Walker 1994; Walker, Butterfield 1996; Butterfield 1998; Lindström et al. 1998], a sűrűség [Bamber, Burley 1983; Zobel, van Buijtenen 1989; Cown et al. 1999; USDA 1999], és alkalmanként a csavarodott növekedés [Cown et al. 1991, Haslett et al. 1991]. Azok a tulajdonságok, amelyekben ezek a fa anatómiai jellegek kifejezésre kerülnek, a keménység [Jeronimidis 1980; Ashby et al. 1985], a merevség [Cave 1968, 1969] és a stabilitás.

## 2.1 A sűrűség hatása

Az abszolút tömör (pórusmentes) faanyag sűrűsége kb. 1500 kg/m<sup>3</sup>. Ez az érték igaz minden fafajra, a balsától a teak fáig [Weatherwax, Tarkow, 1968]. A lágy lombosok sűrűsége átlagosan 400-600 kg/m<sup>3</sup> között változik, feltéve, hogy a sejtfa kb. 1/3 a sejtüreghez képest. Easterling és munkatársai megfigyelték [Easterling et al. 1982], hogy a fa anizotróp jellege függ a sejtfa tulajdonságaitól, illetve a sejtek méretétől és alakjától. Megállapították, hogy a faanyag rostirányú rugalmassági modulusza a sejtfallal van összefüggésben:

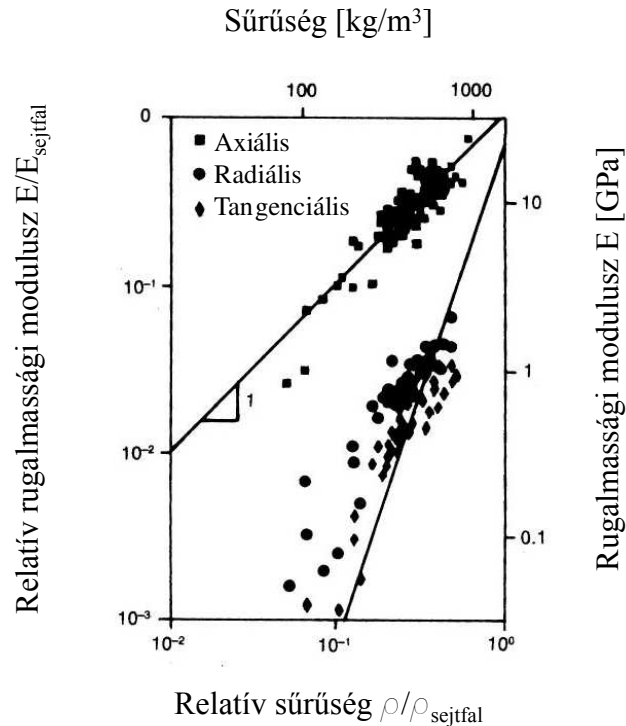
$$E_{\text{rost}} = E_{\text{sejtfa}} \frac{\rho}{\rho_{\text{sejtfa}}} \quad \{2.1\}$$

ahol:  $E$  – Young-féle rugalmassági modulusz adott anatómiai irányban,  
 illetve a sejtfaiban [GPa]  
 $\rho$  – sűrűség [kg/m<sup>3</sup>]

Sugárirányban nem folytonos a növekedési átmenet, mivel a sejtfa sejtüregek választják el egymástól, ezért a fa ebben az irányban porózus testként viselkedik. Ezért:

$$E_{\text{tangenciális}} = E_{\text{sejtfa}} \left( \frac{\rho}{\rho_{\text{sejtfa}}} \right)^3 \quad \{2.2\}$$

Gibson és Ashby munkájukban [Gibson és Ashby 1997] bizonyították Esterling állítását. Ezek alapján a sugárirányú és a rostirányú rugalmassági moduluszok aránya 1-100 között változik alacsony sűrűségű balsafa esetén. (2.1 ábra)



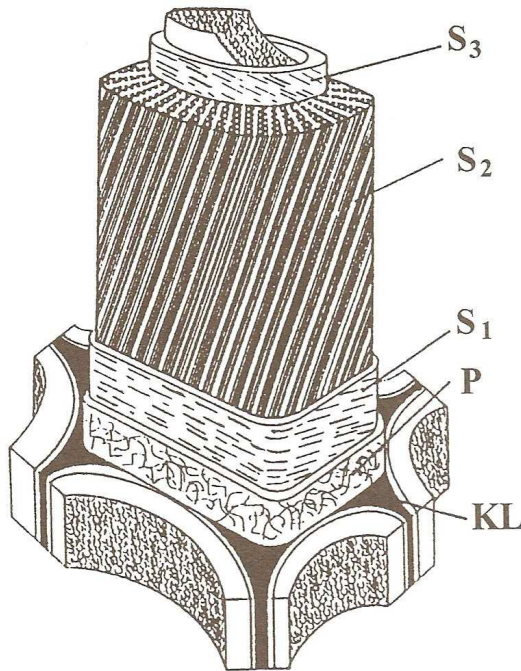
2.1 ábra

A Young modulusz ábrázolása a sűrűség függvényében különböző fák esetén [Gibson és Ashby (1997)]

## 2.2 A sejtfal szerkezet hatása a mechanikai tulajdonságokra

A sejtfal egy háromdimenziós összetett szerkezet, több rétegből épül fel, melyben az egyes rétegek is eltérő tulajdonsággal rendelkeznek (2.2 ábra). Az egyes rétegekben a megkülönböztetés a cellulózfibrillák rostiránnyal bezárt szöge alapján azonosítható. A cellulózfibrilla nagyon hosszú (néhány mikron), és nagyon kicsi (2,5-3,5 nm) átmérőjű és alapvetően ez határozza meg a fa szilárdsági tulajdonságait. A másodlagos sejtfal 60-90%-a az egész sejtfalnak. Ha ebben a rétegben a mikrofibrillák szöge kicsi, akkor ezek a mikrofibrillák nem vesznek részt a többi sejtfal réteg szilárdságában. A lágylombosok esetén a mikrofibrilla szög az  $S_2$  rétegben  $40-60^\circ$  között változik a bélhez közel, és  $5-15^\circ$  az érettfá rostjaiban. A fokozatos változás, ami közel ötszörös növekedést jelent a bétől a kéreg felé haladva, a rostirányú szilárdságban is hasonló mértékű. A

sejtfalban a mikrofibrillák szöge egyértelműen meghatározza a faanyag mechanikai tulajdonságait. Ezeket a spirális mikrofibrillákat rugónak feltételezve a rugalmassági



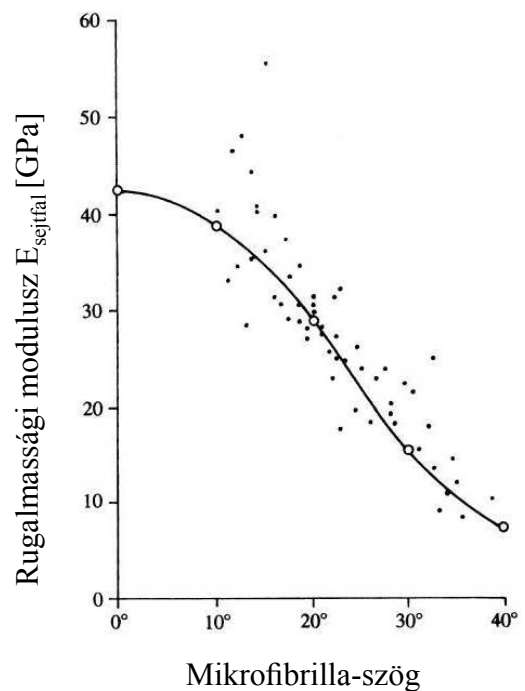
2.2 ábra  
A sejtfal rétegződése [Molnár 2000]

KL - középlemez

P - elsődleges (primer) sejtfal

S - Másodlagos (szekunder) sejtfal, mely három további részre bontható (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>)

modulusz ötszörös növekedését jelentik, amikor a szög 40°-ról 10°-ra csökken [Walker, Nakada 1999]. Alacsony mikrofibrillaszögek esetén a szakító, vagy összenyomó szilárdság a rostirányban sokkal magasabb. Elméleti modellezéssel a mikrofibrillaszögek változását ezt megerősítő eredményre jutunk. [Cowdrey, Preston 1966; Cave 1968, 1969] (2.3 ábra)

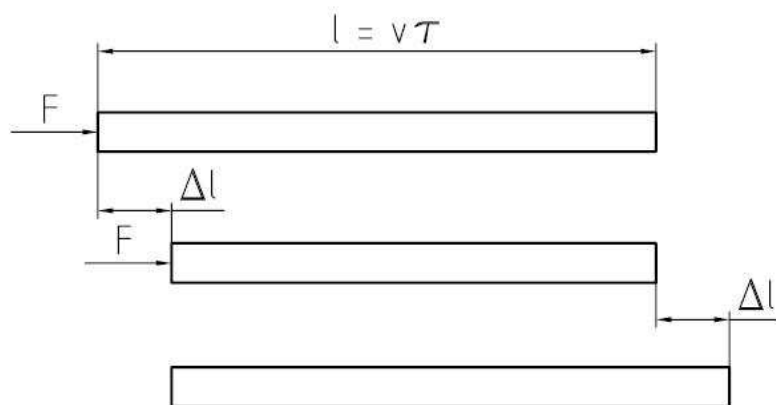


2.3 ábra  
A Young modulusz és a mikrofibrilla szög kapcsolata - Pinus radiata [Cave 1968]

## 2.3 Homogén izotróp rudak rezgésének elmélete

### 2.3.1 A dinamikus rugalmassági modulusz meghatározása longitudinális rezgésekkel (hosszú rudak esetén)

A rugalmas hullámok terjedésénél az anyagi közeg részecskéi között fellépő rugalmas erők játszanak szerepet. A hullámok terjedési sebessége hosszú, homogén, izotróp rudak esetén egyszerű dinamikai megfontolásokkal határozható meg. A 2.4 ábrán látható rúd keresztmetszete  $A$ , sűrűsége  $\rho$ , rugalmassági modulusza pedig  $E$ . Ha



2.4 ábra  
A véglap elemi elmozdulása  $F$  erő hatására

a rúd bal oldali végére hosszirányban igen rövid ideig  $F$  erő hat, pl.: egy kalapácsütés hatására, akkor ez a kis összenyomódás longitudinális hullámként halad  $v$  sebességgel, és  $\tau$  idő alatt  $l=v\tau$  távolságra jut el. A  $t=\tau$  időpontban a rúd baloldali véglapja már  $\Delta l$ -lel elmozdult, ekkor a jobboldali véglap még nyugalomban van, majd a  $t=2\tau$  időben a jobb oldali véglap is elmozdult  $\Delta l$ -lel. A Hook törvény alapján fennáll:

$$\Delta l = \frac{IF}{EA} \quad \{2.3\}$$

Az ábra szerint az  $F$  erőlkés hatására először a baloldali véglap, majd egymás után az egész rúd valamennyi keresztmetszete elmozdul  $v' = \Delta l/\tau$  sebességgel. Tehát az egész  $m$  tömegű rúd elmozdul, és az impulzustétel alapján kijelenthető:

$$F\tau = mv' = \rho Av\tau \frac{\Delta l}{\tau} \quad \{2.4\}$$

A két egyenlet összegzéséből az egyszerűsítések után következnek:

$$E = \rho \cdot v^2 \quad \{2.5\}$$

Az élőfában a keménység, a szilárdság és a merevség döntő tulajdonságok, habár fontosságuk a fa életkorával változik. Például a fiatal fának hajlékonynak kell lennie, hogy kitérjen a szél elől kellő szilárdság hiányában, és könnyen a fény felé tudjon fordulni. Ezért a bél körüli évgyűrűkben található rostok falában nagyobb a mikrofibrilla szög, mint a külső évgyűrűkben.

Annak ellenére, hogy a mikrofibrilla szög laboratóriumi körülmények között jól mérhető, ipari alkalmazhatósága nem terjedt el. Az akusztikai módszerek gyors és közvetlen lehetőséget biztosítanak az anyag rugalmassági tulajdonságainak megismerését illetően [Pellerin 2002], ha pl.: megmérjük a hang terjedési sebességét a faanyagban, ami nagy mértékben befolyásolt a mikrofibrilla szögek által. Éppen ezért a vizsgált próbatestben (fűrészáruban) egy átlagolt szilárdsági értéket kaphatunk a hangsebesség méréséből, mely mérés a gyakorlati életben egyre elterjedtebb, jelentősége folyamatosan nő.

### **2.3.2 A dinamikus rugalmassági modulusz meghatározása hajlító rezgésekkel, a Timoshenko-elmélet és az Euler-féle közelítő számítás, az Euler egyenlet problémái**

A klasszikus ütőhangszerek hanglapjainak vizsgálatához elengedhetetlen néhány fogalom tisztázása, a gyakorlatban is alkalmazott összefüggések elméleti alapjainak megismerése.

Homogén, izotróp rudak rezgéseinek vizsgálatához mindenképp először a hajlító rugalmassági modulusz meghatározására van szükség. A hajlító rugalmassági modulusz meghatározható egyrészt statikus, másrészt dinamikus módszerekkel. A rugalmassági modulusz dinamikus mérésére szintén több lehetőség adódik. Egyik megoldás a hajlítórezgések sajátfrekvenciájának mérése. Ez a módszer jó becslést ad mind a statikusan mért rugalmassági modulusz ( $r > 0,99$ ; [Gallagin és Pellerin 1966]), mind pedig a hajlítószilárdság ( $r = 0,84$ ; [Divós 1994]) esetében. A hajlító rezgések frekvenciáját az anyagok elasztikus tulajdonságai határozzák meg.

A matematikai összefüggések megfogalmazásában, prizmatikus rudak esetén jó közelítést ad az úgynevezett Timoshenko-elmélet [Weaver 1990]. Ez az elmélet a hajlítórezgések mozgásegyenletének negyedfokú sorbafejtéséből indul ki, és a következő

differenciálegyenlettel jellemzi a rúd rezgését:

$$EI \frac{\partial^4 r}{\partial x^4} + \rho A \frac{\partial^2 r}{\partial t^2} - \rho I \left( 1 + \frac{E}{\beta G} \right) \frac{\partial^4 r}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{\rho^2 I}{\beta G} \frac{\partial^4 r}{\partial t^4} = 0, \quad \{2.6\}$$

- ahol:  $\beta$  - nyíró faktor (1/1,2 prizmatikus rudak esetén);  
 $r$  - kitérés;  
 $x$  - a futópont koordinátája a rúd hosszirányában;  
 $t$  - idő;  
 $A$  - keresztmetszet;  
 $\rho$  - sűrűség;  
 $I$  - tehetetlenségi nyomaték;  
 $E$  - hajlító rugalmassági modulusz;  
 $G$  - nyíró rugalmassági modulusz.

A fenti egyenlet meglehetősen bonyolult, és a megoldáshoz legalább két rezgési módusban mért frekvenciára van szükség. A differenciálegyenletnek nincsen közvetlen megoldóképlete, az eredmény csak iterációs módszerekkel számítható ki. A módszer előnye, hogy a nyírást figyelembe veszi, mely kis támaszközök esetén fontos szerepet játszik. A megoldást iterációs algoritmus program (DYNEG) segítségével számíthatjuk, mely szimultán határozza meg a hajlító rugalmassági moduluszt, és a nyíró rugalmassági moduluszt [Chui 1989].

A Timoshenko egyenletnél egyszerűbb az Euler-féle közelítés, mely ugyan a nyírást elhanyagolja,

$$EI \frac{\partial^4 r}{\partial x^4} + \rho A \frac{\partial^2 r}{\partial t^2} = 0, \quad \{2.7\}$$

- ahol:  $r$  - kitérés;  
 $x$  - a futópont koordinátája a rúd hosszirányában;  
 $t$  - idő;  
 $A$  - keresztmetszet;  
 $\rho$  - sűrűség;  
 $I$  - tehetetlenségi nyomaték;  
 $E$  - hajlító rugalmassági modulusz.



de ez a differenciálegyenlet már közvetlenül megoldható a kezdeti- (a gerjesztés helye, iránya és időtartama) és a peremfeltételek mint pl. az alátámasztás helye ismeretében:

$$E = \left( \frac{2f_n}{\gamma_n \pi} \right)^2 \frac{mL^3}{I}, \quad \{2.8\}$$

ahol:  $f_n$  - az n-edik módusban mért frekvencia;

$$\gamma_n - \left( n + \frac{1}{2} \right)^2, \text{ de } \gamma_1 = 2,267 \quad \gamma_2 = 6,249;$$

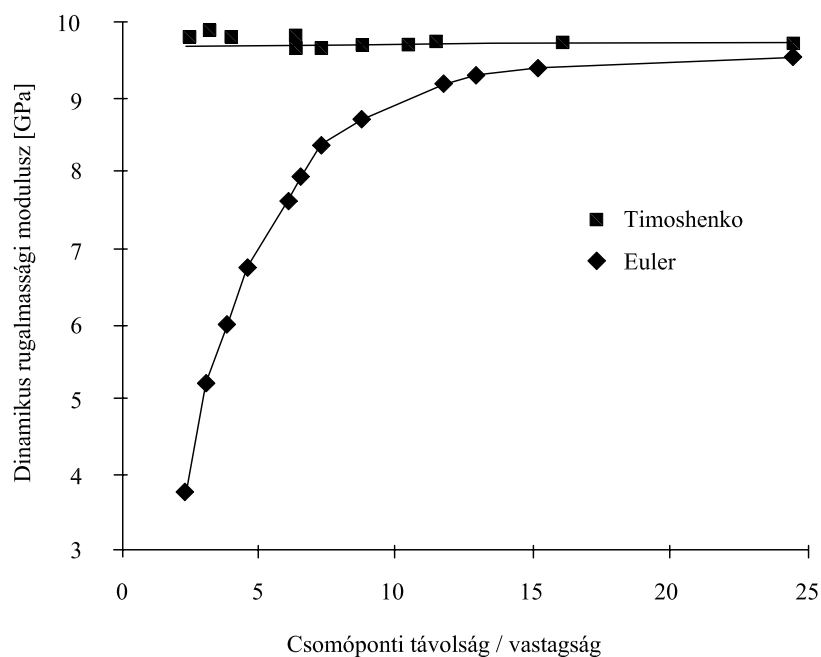
$m$  - a próbatest tömege;

$n$  - módusszám;

$L$  - a próbatest hossza;

$I$  - tehetetlenségi nyomaték.

Az Euler egyenlet hibája, hogy a hajlító rezgéseknél szerepet játszó nyíró rugalmassági modulusz hatását nem veszi figyelembe. Emiatt a pontosabb eredményt, a bonyolultabb Timoshenko-féle egyenlet megoldása nyújtja. A nyíró rugalmassági modulusz szerepe annál fontosabb, minél kisebb az alátámasztási távolság vastagsághoz viszonyított értéke. A 2.5 ábráról jól leolvasható, hogy az eltérés nem túlzottan jelentős, ha a csomóponti távolság és a vastagság aránya nem kisebb, mint 15. Ezen érték alatt az Euler egyenlet segítségével számított rugalmassági modulusz értéke exponenciálisan csökken, s így egyre pontatlanabbá válik.



2.5 ábra

Az Euler és a Timoshenko módszerrel számított rugalmassági modulusz közötti különbség

### **2.3.3 A nyíró rugalmassági modulusz meghatározása transzverzális időméréssel**

A faanyag rugalmas állandóinak meghatározására több lehetőségünk is van (Chui, 1991). Mind a Young-féle rugalmassági modulusz (E), mind pedig a nyíró rugalmassági modulusz (G) meghatározható statikusan és dinamikusan is [Bucur, 1995]. A nyíró rugalmassági modulusz dinamikus meghatározására több módszer is alkalmazható. Az egyik a Timoshenko egyenlet alkalmazásával történik, melyhez a hajlítórezgések, tömeg, és geometriai méretek szükségesek. A Timoshenko egyenlet megoldása csak iterációs módszerrel lehetséges, mely művelet számítógéppel megoldható.

Másik lehetséges megoldás a rudak torziós rezgés frekvenciájának mérése, melyből a G közvetlenül meghatározható [Hearmon 1966, Perstorper 1944], hasonlóan a csavarással történő statikus méréshez [Szalai 1994]. A torziós rezgés frekvenciájának mérése pontos eredményre vezet, ám a mérés kivitelezése sokszor nagy gyakorlat mellett is lassú folyamat, illetve több próbatestnél a mérési eredmények bizonytalanságot sejtetnek. A mérés nehézsége továbbá, hogy a torziós rezgés gerjesztésekor gyakran hajlítórezgések is előidéződnek, ami a helyes frekvencia meghatározást nehezíti, pontosabban ennek elkerülése végett célszerű minden irányból lemérni a hajlítórezgések frekvenciáit is, ami plusz időt vesz igénybe. Amennyiben lehetőség van, a mérések közül a sajátfrekvenciás rezgéseket kell alkalmazni, hiszen ezek eredményei a legmegbízhatóbbak [Schnell 1985], de az előbbi módszereknél lényegesen gyorsabb megoldás a nyíróhullám terjedési idejének mérése. A terjedési időből az ismert távolsággal sebesség számítható. A sebesség négyzete pedig arányos G-vel, ahol az arányossági tényező a sűrűség [Budó 1972].

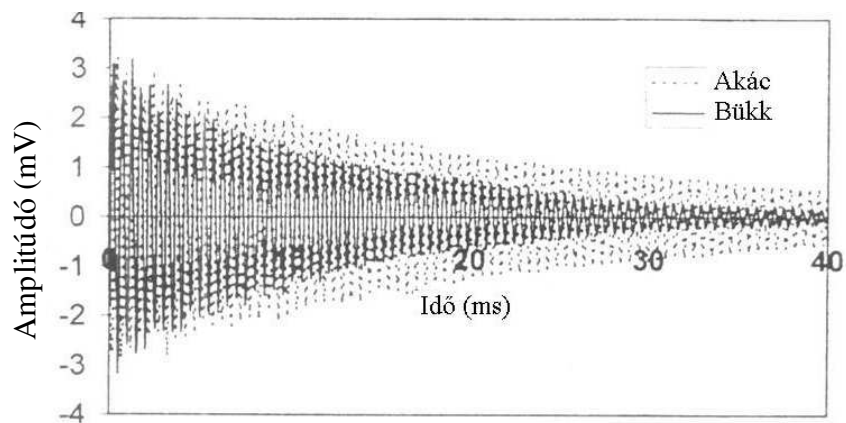
### **2.3.4 A csillapítási tényező és a logaritmikus dekrementum**

A hangszerfák keresése során rendkívül fontos paraméter a csillapítási tényező vizsgálata. Alacsony csillapítási tényezőhöz akusztikailag értékesebb faanyag tartozik. A rezgések során csillapított rezgésekről beszélünk, mivel a rezgésbe hozott fa esetén a bevitt energia egyrészt hang formájában kisugárzódik, a megfogási pontokon a súrlódás következtében hővé alakul, illetve belső súrlódás révén felemésződik. Mindhárom eset fennáll, de a megfogás befolyásoló szerepét az ügyesen megválasztott alátámasztásokkal minimálisra tudjuk csökkenteni.

Az időben csillapodó rezgés:

$$x(t) = x_0 e^{-\beta t} \sin(2\pi f t + \alpha) \quad \{2.9\}$$

- ahol:  $x$  – a kitérés [m]  
 $x_0$  – kitérés a  $t=0$  időpontban [m]  
 $\beta$  – csillapítási tényező [1/s]  
 $f$  – a csillapított rezgés frekvenciája [Hz]  
 $\alpha$  – fázisszög  
 $t$  – idő [s]



**2.6 ábra**  
 Az időben csillapodó rezgés burkológörbéje akác és bükk faanyag esetén

A csillapítási tényezőn kívül, több paraméter is elterjedt a csillapítás jellemzésére, pl.: a logaritmikus dekrementum.

$$\Lambda = \frac{\beta}{f} \quad \{2.10\}$$

- ahol:  $\Lambda$  – logaritmikus dekrementum  
 $\beta$  – csillapítási tényező  
 $f$  – a csillapított rezgés frekvenciája

A logaritmikus dekrementum használata célszerű, mivel kevésbé függ a vizsgált rezgés frekvenciájától, igaz a csillapító erők befolyásolják a periódusidőt és így a frekvenciát is.

$$f_0 = f \sqrt{1 + \frac{\Lambda^2}{4\pi^2}} \quad \{2.11\}$$

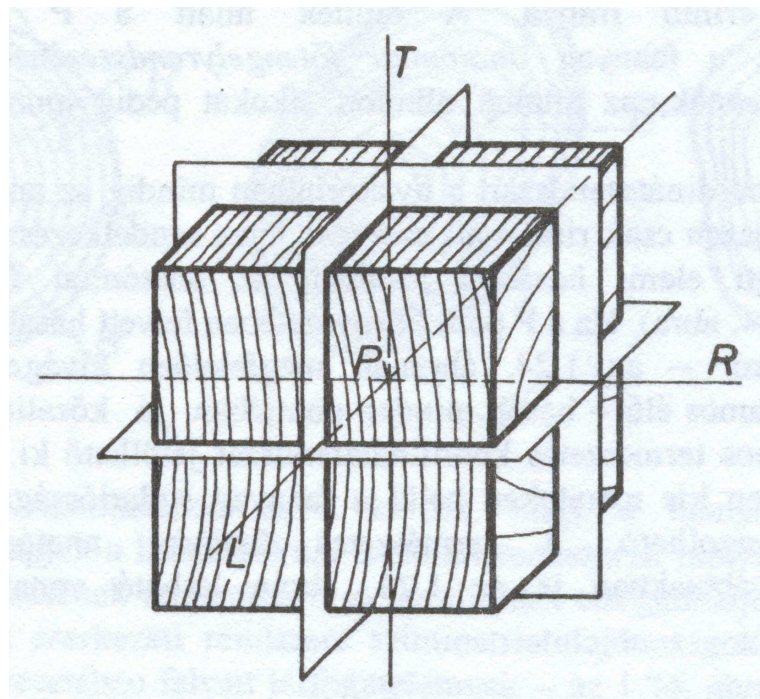
- ahol:  $f_0$  – az észlelt frekvencia  
 $f$  – a megfelelő csillapítatlan frekvencia

### 2.3.5 Az anizotrópia és az inhomogenitás hatása a rudak rezgéseire

A természetes fa egy inhomogén, ortogonálisan anizotróp anyag. Inhomogén testről akkor beszélünk, ha a vizsgált anyag fizikai tulajdonságai a test különböző pontjaiban eltérőek. A természetes faanyag esetén ez mind mikro-, mind makroszinten jelentkezik, hiszen már a szilárdítást meghatározó sejtfal is inhomogén szerkezetű. A makroszintű inhomogenitást az évgyűrűn belüli korai és kései pászták elkülönülése, a törzsön belüli szíjács és geszt elkülönülés, a göcsök, illetve a külső körülményekre való reakciók következményei miatt kialakuló nyomottfa, vagy húzottfa jelenléte eredményezheti. Az inhomogenitást tükröző szerkezet ellenére a műszaki gyakorlat tapasztalatai mégis azt mutatják, hogy bizonyos esetekben a homogén anyagmodellen alapuló elméleti számítások elfogadható eredményt adnak.

Az anizotrópia a fizikai tulajdonságok irányfüggését jelenti. A természetes faanyag esetében az ortogonális anizotrópia, röviden ortotrópia, a faanyagot a rombikus kristályszerkezetű anyagok közé sorolja. E szerint a természetes faanyagoknak három szimmetriasíkja van (2.7 ábra), mely síkok normálisai a rost-, húr-, illetve sugárirányba mutatnak [Szalai 1994].

- L - rostirány
- R - surárirány
- T - húrirány



2.7 ábra  
A faanyag szimmetriasíkjai

### 3. A vizsgálat tárgya, módszerei, eszközei, a mérések leírása

#### 3.1 A választott fafaj

A bevezetőben említett beszerzési nehézségek (horribilis ár, gyenge, ellenőrizhetetlen minőség) sok hangszerkészítőnek okoztak már nehéz perceket, és nem kis veszteséget a látatlanban vásárolt - utólag bizonyíthatatlan - rossz fa-alapanyag miatt. Már ez is elég indok egy közvetlen közelről (Kelet-Közép-Európában is) elérhető, olcsóbb, a jelenleg - zenészek által - elfogadotthoz hasonló, jó hangszer alapanyag kereséséhez. A megoldásra tán egy időben több gyártó, kutató is rátalált, mégpedig a fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) kipróbálásával. [Wittmann 1997] Az ütőhangszergyártásban legkedveltebb honduraszi rózsafa (*Dalbergia stevensonii*) alapanyaghoz színben nem, de mechanikai tulajdonságaiban nagyon hasonlító, szívós, és nem elhanyagolhatóan olcsó alapanyagról van szó. Igaz, az ár tekintetében a kellő gondossággal tárolt, szárított, és a későbbiekben tárgyalt egyéb kritériumoknak megfelelő alapanyag itt is költséges, de még mindig kedvezőbb a tengerentúli megoldásoknál. Elfogadása zenész körökben változó, komolyabb zenekaroknál kisebb, mely főként az alacsonyabb gyártási minőséggel, megalapozatlan marketinggel magyarázható, illetve kétes hírnevű gyártóknak, cégeknek (is) köszönhető.

Jelen dolgozat a fehér akácot, mint Magyarországon is elterjedt fafajt helyezi górcső alá. A hangszerfa keresés alapelvei között az első szempont a kiválasztott fafaj teljes körű ismerete.

##### 3.1.1 Fehér akác - akácfa (*Robinia pseudoacacia* L.)

###### Elnevezések:

Fehér akác, Robinie, falsche Akazie (német), Black locust (angol), Robinia (olasz), Belaja akacija (orosz), Robinier, faux acacia (francia). Több országban egyszerűen akácfának nevezik, mely tévedésre ad okot: így könnyen összetéveszhető a szubtrópusi, trópusi övezetben tenyésző valódi akácfajokkal (*Acacia* nemzetség).

###### Elterjedés:

J. Robin párizsi királyi főkertész sok egyéb növényfajjal együtt 1601-ben hozta be Észak-

Amerikából Európába (a földtörténeti kutatások szerinti „harmadidőszakban” az akác már megtalálható volt Európában is). A fát Magyarországra elsőként, - a futóhomok megkötése céljából - Tessedik Sámuel evangélikus lelkész hozta 1710-ben.

Ma a magyar erdők 22,6%-a akácos, és Európa egyetlen országában sincs annyi akácerdő (396 ezer ha), mint Magyarországon, így a fakereskedelemben nem véletlenül tekintik az akácot tipikus magyar fafajnak. A melegebb éghajlatot és a tápdús homoktalajokat kedveli (klímaigénye a szőlőéhez hasonló). Európában Románia, Olaszország, Franciaország, Szerbia, Bulgária, Szlovákia és Ukrajna rendelkeznek jelentősebb állományokkal. Ma különösen gyorsan terjed Kínában és Dél-Koreában.

#### Az élőfák jellemzői:

20-25 m magasságra nő és 30-60 cm mellmagassági átmérőt fejleszt. A növekedése 25 év után erősen lecsökken, így általában 25-40 éves korban kitermelik. Kérge hálózatosan repedezett, vastag, szürkésbarna. Zárt állományban viszonylag egyenes, hengeres törzset fejleszt.

#### Az akác változatai, államilag minősített fajták, fajtajelöltek:

- Legismertebb változata az árbocakác (Robinia pseudoacacia var. Rectissima Raber).
- Államilag elismert akác fajták: ‘Appalachia’, ‘Jászkiséri’, ‘Kiskunsági’, ‘Üllői’, ‘Zalai’, ‘Rózsaszín-AC’.
- Fajtajelöltek: ‘Ópályi oszlop’, ‘Váti-46’, ‘Bácska’, ‘Homoki’, ‘Oszlopos’, ‘Szálás’, ‘Vacsi’.

#### Az akác termőhelyi igénye:

Az akác melegigényes, fagyérzékeny fafaj. Jól szellőzött talajt igényel, legkedvezőbb számára az üde vízgazdálkodású, többlet-vízhatástól független termőhely. A tartós szárazságot elviseli, de növekedése ilyen körülmények között lelassul. Telepítésére legalkalmasabbak a homoki termőhelyek, ezek közül is a rozsdabarna erdőtalajokkal és a kovárványos barna erdőtalajokkal jellemzettek.

#### A fatest makroszkópos jellemzői:

A fa makroszkópos szerkezete alatt a szabad szemmel és kézi nagyítóval jól megkülönböztethető szöveti elemeket, az évgyűrűket, a korai- és késői pásztákat, a juvenilis fát valamint a szijács és a geszt részeket értjük.

A fatest műszaki tulajdonságai szempontjából nagy jelentősége van a késői pászta arányának. Az akác kiemelkedő szilárdsági jellemzői – a gyűrűslikacsú lombosok között is kiemelkedően nagyok –, átlagosan 85%-os kései pászta arányával van összefüggésben. Az akác szövetszerkezeti szempontból a gyűrűs likacsú lombos fafajokhoz tartozik, jól elkülönülő évgyűrűkből és azon belül korai és kései pásztából áll. A 30-35 éves akácállományokban a kései pászta aránya hozzávetőleg 77%, az átlagos évgyűrűszélesség 3-3,5mm.

Az akác színes gesztű fafaj, keresztmetszetét vizsgálva határozott színbeli változás tapasztalható a törzs világosabb színű perifériális szíjács területe és a sötét színű központi geszt zónája között, a geszt határa élesen, jól elkülöníthető. Szíjácsa keskeny (a szíjácsréteg 2-6 évgyűrűt tartalmaz), világos zöldessárga, gesztje sötétebb zöldessárga színű, a vörösesbarnaig változva. A szíjácsban a gesztesítő anyagok hiányoznak, ezért mechanikai jellemzői és tartóssága elmaradnak a gesztétől. A gesztesedés folyamata az akácban kétféle módon megy végbe: egyrészt gesztesítő anyagok rakódnak le, másrészt tilliszek hatolnak be az edényekbe, és eltömik azokat. Az akác tartóssága szempontjából a leglényegesebb gesztesítő anyagok a csersav- és a robinetinféleségek. A szíjács nagy víztartalmú és sok egyszerű szerves anyagot tartalmaz, ezért a gombák és a rovarok elsősorban a fának ezt a részét támadják meg. Az akácnál a juvenilis fa határa a 9. évgyűrű körül van, e határig a rosthosszúság folyamatosan növekszik, majd 1mm körül állandósul [Molnár, 1988].

A fiatalabb korban kivágott törzsek igen nagy juvenilis fa hányaddal rendelkeznek, például egy húsz éves átlagos akác törzsnél még 38,8%, míg egy 31 éves korú vágásérett törzsnél 15,2%.

#### Mikroszkópos jellemzők:

A fatest alapállományát a vastag falú libriform rostok alkotják. Mennyiségi részarányuk 58%, átlagosan 1mm hosszúak. A nagy átmérőjű edények (200-250  $\mu$ m) a korai pásztában 2-3 sorban helyezkednek el, a gesztben tilliszekkel erősen tömítettek. A késői pászta kisebb átmérőjű edényei (70-140  $\mu$ m) egyesével vagy kisebb húr és sugárirányú csoportokat alkotva helyezkednek el. Az edények részaránya ca. 15%. A bélsugarak nagy mennyiségűek (ca. 21%), keskenyek (1-3 sejtsor). A hosszparenchimák az edények körül paratracheálisan elhelyezkedők, kevés számúak (6% területi részarány), gyakran emeletesen elhelyezve. A hossz- és bélsugárparenchimák gyakran tartalmaznak kristályos

lerakódásokat. A különböző tömítő anyagok és a tillisz jelenléte azt eredményezik, hogy az akác semmilyen irányban nem engedi át a folyadékokat. (Így hordó gyártáskor az akácnál nem követelmény a tükrös-vágás.)

Fahibák, károsodások, tartósság:

Az akácfa szöveti hibái közül nagyobb figyelmet érdemelnek az egyenlőtlen évgyűrűszélesség, a külpontosság, az álévgyűrűk, a kéregbenövés és nem utolsó sorban a göcsösség. Sajátos szöveti szerkezete és kémiai összetétele miatt jól ellenáll a biológiai károsításoknak. A lábon álló akácfa szinte egyedüli jelentős gombakárosítója a tőkorhadást kiváltó kőristapló (*Fomes fraxineus* Cooke). A raktározott, beépített fa szíjácsában gyakran megfigyelhető a szíjácsbogár (*Lyctus linearis*) károsítása. A sudarlósság, mint fahiba (1,5 cm/fm felett) az akác fűrészipari rönkök 20-24%-ánál fordul elő. A fűrészüzemekben feldolgozott rönkök 15-20%-a síkgörbe. A tővastagodás hossza az akácnál nem jelentős, általában nem haladja meg az 50 cm-t. Tekintettel arra, hogy a tőterpeszekhez gyakran csatlakozik a bordás növény és a bélkorhadás, ezért ezen szakaszok eltávolítása javasolható. Az akác fűrészpora bőrrel való érintkezés esetén allergiát válthat ki. Az ENSZ 350-2 nemzetközi szabvány szerint az európai fafajok közül egyedül az akácfa sorolható az 1-2. rezisztencia osztályba. Az akácfa vegyszeres kezelés nélküli kiemelkedő tartóssága miatt különösen környezetbarát anyagnak tekinthető.

A magyarországi és külföldi tapasztalatok alapján az akácfa gyakorlati tartóssága a következők szerint becsülhető:

- szabadban talajjal érintkezve: 25-40 év
- szabadban talajjal nem érintkezve: 80-100 év
- épületben száraz helyen és víz alatt: 500 év felett

Fizikai tulajdonságok [Molnár 1998]:

Sűrűsége [ $\text{kg/m}^3$ ]:

- abszolút száraz: 540-740-870;
- légszáraz ( $u=12\%$ ): 580-770-900;
- élőnedves: 800-900-950.

A frissen kitermelt akácfa mindössze 35-45% nettó nedvességet tartalmaz, ezért frissen vágva is jól ég. Az akácfa rosttelítettségi pontját különböző vizsgálatok során 21,8-22,5% nettó nedvességtartalomban határozták meg.



Zsugorodása [%]:

- rostirányú: 0,1;
- húrirányú: 5,4-7,2;
- sugárirányú: 3,2-4,6;
- térfogati: 11,4-12,2.

Pórustérfogata [%]: 52. [Molnár 1998]

Az akác esetében igen kedvezőnek ítéltető a húr- és sugárirányú jellemzők hányadosa (a zsugorodási anizotrópia). Ezzel szemben meg kell jegyezni, hogy az akácfaiban igen jelentős belső feszültségek vannak. Ez kapcsolatban áll a fafaj gyors növekedésével, az évgűrűszerkezet rendkívüli inhomogenitásával, a nagy juvenilis fa részarányával és a gyakori külpontos bél elhelyezkedéssel. E belső feszültségek gyakran okozói a különböző alakváltozásoknak, repedéseknek.

Mechanikai tulajdonságok:

A Közép-Európában termesztett fafajok közül az akác rendelkezik a legkiemelkedőbb szilárdsági és rugalmassági jellemzőkkel. Az akácfa fontosabb mechanikai jellemzői az alábbiak:

Hajlítószilárdság [MPa]	103 - 136 -169
Hajlító rug. modulusz [MPa]	9000 - 11300 - 13600
Nyomószilárdság [MPa]	
- rostokkal párhuzamosan	62 - 72 - 81
- rostra merőlegesen	18,5
Húzószilárdság [MPa]	88 - 136 -184
Nyírószilárdság (húrirányú) [MPa]	11 - 13 - 16
Ütő-hajlító szilárdság [J/cm <sup>2</sup> ]	12 - 14 - 18
Keménység (Brinell), [MPa]	
- bütü irányban	67 - 78 - 88
- oldal irányban	28
Hasító szilárdság, [MPa]	
- húr irányban	0,6 - 1,1
- sugár irányban	1,12

**3.1 táblázat**  
Az akác mechanikai jellemzői [Molnár 1998]

A különböző fafajokra jellemző kopási értékeket általában a bükkhöz szokták viszonyítani. Így a fontosabb fafajok sorrendje: akác 0,37; bükk 1,00; kőris 1,53; tölgy 1,56, tehát az akácfa kopásállósága egyedülálló az európai fafajok között.

Kémiai tulajdonságok:

Az akác fatest elemi összetétele %-ban kifejezve:

C - 49,2; H - 5,91; O + (N) - 43,1; hamualkotók 0,79 (a nitrogén becsült mennyisége 0,2-0,3%). Az akácfa sejtfalát alkotó vegyületek: az akác fatestben mintegy 40-50% cellulóz, 15-22% hemicellulóz és 25-30% lignin található.

Az akác járulékos anyagai között jelentősek a csersavak. Ezek mennyisége: kéreg 3-6%, fatest 2-4%. A csersav mellett az akácfa nagy tartósságában jelentős szerepe van a dihidrorobinetinnek. Az akácfa gesztjében 2-5% mennyiségben figyelhető meg. E járulékos anyagnak köszönheti az akác a jellegzetes zöldessárgás-barnás színét is. Elsősorban a bélsugarakban, de esetenként az edényekben is megfigyelhetők kristályos lerakódások (kalcium-karbonát, kalcium-oxalát). Ezek erősen hozzájárulnak az akácfa szerszám éltompító hatásához.

Erdei választékok:

Magyarországon évente mintegy 8500 ha akácerdőt termelnek ki a különböző erdőgazdálkodók. Az előhasználatokkal együtt az elmúlt időszakban az évi akácfa kitermelésünk bruttó 1,5-1,9 millió m<sup>3</sup> volt. Az erdőállományok minőségével összefüggésben változik a véghasználat kora, ami országos átlagban 31 év.

A fakitermelés választékai:

- fűrészipari rönk
- kivágás-és fagyártmány feldolgozási fa (rövid fűrészipari alapanyag)
- bányászati faanyagok
- oszlop, karó, forgácsfa stb.
- tűzifa

A fűrészipari célra felhasználható választékok részaránya 18-20%. A választék-összetételt jelentősen befolyásolja az akác tűzifa iránti rendkívüli kereslet. Az eladhatóság miatt sok esetben a rönk mellett egyéb választékot, mint tűzifa nem is készítenek.

Megmunkálási sajátosságok:

A fűrészipari alapanyag viszonylag kicsi átmérője (átlag 23-24 cm) miatt a fatestben igen kicsi a göcsmentes zóna. A nagyméretű göcsök közötti távolság 60-70 cm, és igen gyakoriak a korhadt göcsök is. E probléma miatt az akácból 1 m-nél hosszabb, teljesen göcsmentes termékek nehezen termelhetők, ami ütőhangszer készítésnél nem akadály, mivel 17-60 cm hosszúságú darabokra van szükség.

Az akácfa nagy keménysége és szilárdsági jellemzői miatt nehezen fűrészelhető, a tölgyhöz viszonyítva a fűrészelési ellenállás (teljesítmény szükséglet) 20-30%-al nagyobb, hasonló mértékben fokozódik a faanyag éltompító hatása is. A rönktéri tárolásnál az akácfa különleges védelmet (pl: permetezés) nem igényel.

Az elmúlt években Magyarországon kb. 150-220 ezer m<sup>3</sup> akác hengeresfát fűrészelték fel évente. Az akác fája gőzölés esetén elveszíti kellemetlen zöldes-sárgás színét, fokozatosan megbarnul. A gőzölt akác könnyebben forgácsolható, kevesebb a szálkiszakadás, repedés. Az akác fűrészáru gőzölést tömör rakatokban, közvetlenül a felfűrészelés után szokták végezni. A gőzölés leghatékonyabban túlnyomásos gőzölő hengerekben (autoklávokban) végezhető el, (110°C mellett a gőzölési ciklusidő 20-30 óra).

Az akác jól szárítható. Jelentős előnye az alacsony kezdő nedvesség. A tapasztalatok szerint a fakitermelést követő 1-1,5 hónapon belüli felfűrészelés esetén a fűrészáru nettó nedvességtartalma 30-35%. E tulajdonsággal függ össze, hogy az akác fűrészárut, parkett frízt, bútorlécet már közvetlenül a rönk felvágása után mesterséges szárítókba lehet rakni (általános felhasználás esetén), és a károsodás veszélye nélkül szárítható. A gőzzel lágyított fa jól hajlítható bútorépítés céljára. Az ipari feldolgozásban elterjedtebb lombos fafajokhoz (tölgy, bükk) viszonyítva, az akácfa megmunkálásához a forgácsolószerszámokat gyakrabban kell cserélni. Az akácnál az ismert felületkezelési technológiák jól alkalmazhatók. A színbeli tarkaság megfelelő alapozással, pácolással mérsékelhető. [forrás: hungarobinia.hu]

#### Felhasználási területek:

Az akác felhasználása a forgácslap-gyártástól a bútorgyártáson át, a bútorigipari felhasználáson keresztül a rétegelt-ragasztott tartó gyártásig mindenhol jelentős (a teljesség igénye nélkül).

Hangszerfaként elsősorban a fa hanglapú ütőhangszereknél van jelentősége.

E fejezetből is jól látható, hogy az akác, mint hangszerfa több odafigyelést igényel, kiemelten a következő területeken:

- lassú növekedésű erdőterület – kevés csapadéknak köszönhetően, így sűrűbb évgyűrűszerkezet érhető el.
- a faanyag döntés utáni pihentetése és a természetes (elő)szárítás a növekedési, illetve belső feszültségeket csökkenti, mely elengedhetetlen a későbbi felhasználásnál

- A faanyagok kiválasztásánál a szemrevételezéskor célszerű figyelni a következőkre (a leggyakoribb akác szöveti hibákat elkerülve):

a minél homogénebb évgyűrűszerkezet

a minél sűrűbb évgyűrűszerkezet (lassú növekedés)

korhadás-, és hibamentes, egyenes szálú faanyag (a lehetőségekhez mérten)

- A faanyagok kiválasztásánál célszerű a rostirányú hang terjedési sebességének mérése

### **3.1.2 A mérésekhez felhasznált fa kiválasztása, erdei munkálatok**

A vizsgálathoz szükség volt egy akácára a tőtől a csúcsig, melyet egy véghasználatú akác erdőrészben a helyszíni mérések alapján választottam ki. A helyszínt a lehetőségek határozták meg, így került sor a Kaszói Erdőgazdaság erdejében történő mérésekre.

Az előzetes mérésekkor közel 40 akácfa vizuális illetve műszeres próbamérései alapján a minden szempontból legalkalmasabb került kijelölésre. A fákon műszeres vizsgálatként a rostirányú hang terjedési idejét mértem, melyből az érzékelők távolságának (jelen esetben az egyszerű számolás és mérés kedvéért  $s=1,0$  m) ismeretében terjedési sebességet számítottam.

A hang terjedési sebesség értékek 3700 és 4600 m/s között voltak, ezek közül választottam ki a minden szempontból legmegfelelőbbet (3.1 kép). A szempontok között kiemelten kellett ügyelni a sík és térgörbeség elkerülésére, és lehetőleg a nagy átmérőre.



**3.1 kép**  
**Rostirányú hangsebességmérés a kiválasztás helyszínén (Kaszói erdőgazdaság)**

Az átmérők mérését átlalóval végeztem. (3.2 kép)

A kiválasztott fát arra alkalmas (időjárásálló) festékkel jelöltem meg (3.3 kép), majd a helyszínen szolgálatot teljesítő munkások elvégezték a fa döntését. A természetes,



**3.2 kép**  
**Átmérők mérése átlalóval**



**3.3 kép**  
**A döntésre kiválasztott fa megjelölése**

kiemelkedően egyenes növésű kiválasztott akácfát LKT erdészeti közelítő traktossal húzták ki az erdőrészből, majd a már letisztított területen megtörtént a fa gallyazása. A döntéshez és a gallyazáshoz láncfűrész használattunk. A legallyazott akác északi oldalát szintén festékkel jelöltem végig, hogy darabolás után is be tudjuk azonosítani az egyes



**3.4 kép**  
**A döntés pillanata**

rönkdarabok, illetve a majdani próbatetek égtáj szerinti helyét. A rönk teljes hossza 25,5 m volt, melyet 1,5 m-es hossztolással tettünk szállíthatóvá. A darabolás „jelölte ki” az egyes magassági szinteket is, ahol a mérésekre később sor került. A kidöntött fa tőátmérője 380 mm, míg a csúcsátmérő 74 mm. Az egyes rönkdarabokat sorra beszámoztam a pontos beazonosíthatóság részeként. A rönköket a NymE által rendelkezésünkre bocsátott platós kisteherautóval szállítottuk Kaszóból Sopronba, ahol a Faipari Tanműhely előtt lettek leterhelve.



**3.5 kép**  
**Közelítés LKT-vel, gallyazás**



3.6 kép  
Égtáj jelölése



3.7 kép  
Magassági szintek jelölése



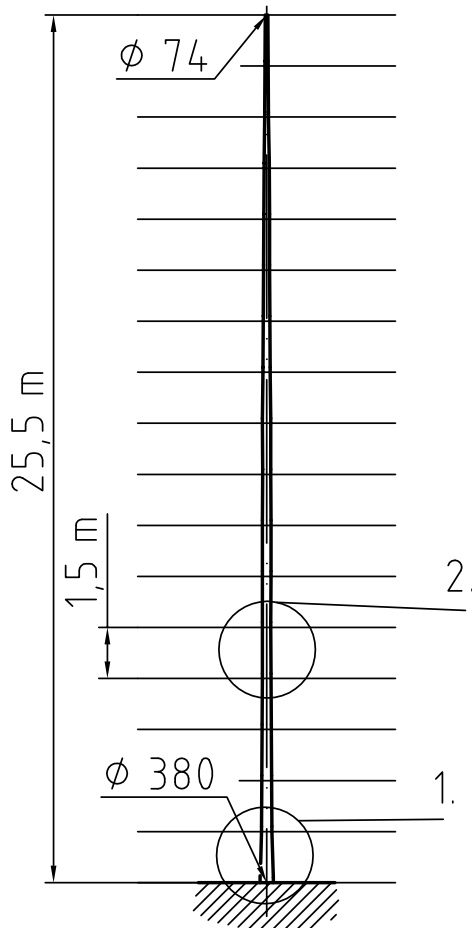
3.8 kép  
Hossztolás láncfűrészsel

3.9 kép  
Szállítás előkészítése

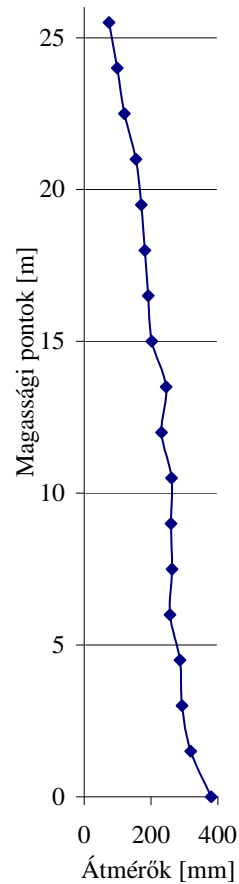


3.10 kép  
Tisztítóvágás láncfűrészsel

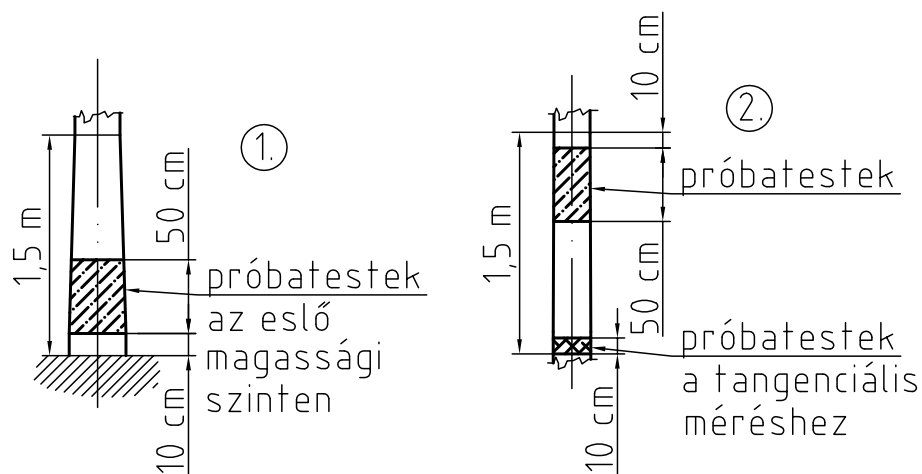
Néhány napos pihentetés után a rönkök végén tisztítógátásokat végeztem (10-10 cm) láncfűrészsel, illetve az így levágott korongokat további mérésekhez tettem félre. A maradék rönkdarabokból a legalsó darab (tő) kivételével a felső 50 cm-t használtam fel próbatest készítéshez, különös gondot fordítva az egyes elemek tájolására.



3.1 ábra  
A fa rajza



3.2 ábra  
Átmérők a magasság függvényében



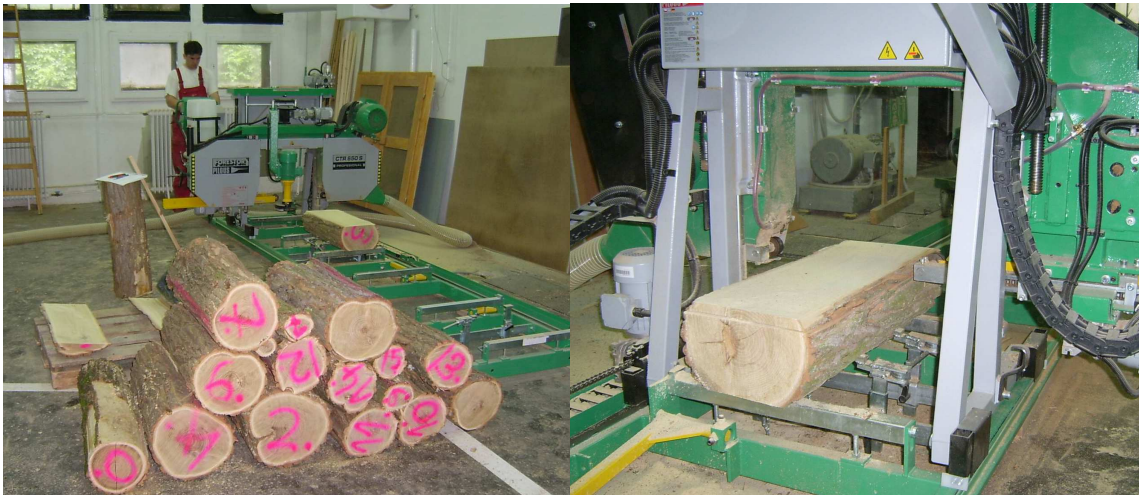
3.3 ábra  
A próbatestek "kinyerési" helye



### 3.1.3 A próbatestek elkészítése

Az első munkafázis a rönkök felszeletelése volt, a NymE tanműhelyében található vízszintes szalagfűrészsel. A fűrészlapok minősége, és a gép nem túl jó adottságai nehezítették a munka eredményességét, de a munka – nem fizikai, inkább beállítási, gépkezelhetőségi – problémáitól eltekintve a lehetőségekhez mérten sikerrel zárult.

A megmunkálandó rönkelemet először a megjelölt északi oldalával felfelé rögzítettem, majd optimális előtolással bázissíkot alakítottam ki a további munkák előkészítéseként. Ezek után a rönköt a bázissíkra helyezve (hossztengely mentén elfordítva 180°-ot), újbóli rögzítés után felszeleteltem. A próbatestek tervezett mérete a



3.11 kép  
A “rönkszeletelés”



3.12 kép  
Tárolás a zsugorodási vizsgálathoz

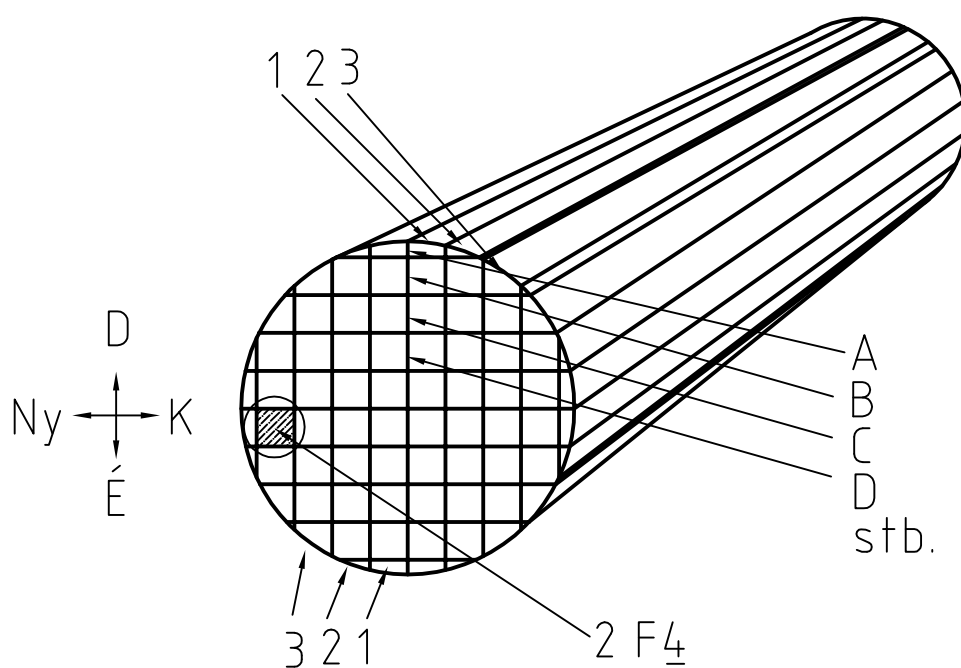
3.13 kép  
Próbatestek végméretének kialakítása

nagyobb átmérőknél 20x20 mm, a kisebb átmérőknél 15x15 mm volt. A száradás miatt a rönkök felfűrészelése túlmérettel történt.

Minden egyes deszka betűjelet kapott a rönkszám mellé, hogy beazonosítása pontos legyen. A felszeletelt deszkák a további munkafolyamatig zsákban tárolódtak (zsugorodási vizsgálat miatt).

A következő munkafolyamat a deszkák további hosszirányú felfűrészelése volt, a végleges négyzetes keresztmetszetre. A fűrészelés a bél megjelölése után következett. Ettől jobbra, illetve balra történt az egyes próbatestek megjelölése. Ekkor minden próbatest a rönkszám, deszkabetűjel mellé egy további számot kapott aláhúzottan, illetve aláhúzás nélkül annak megfelelően, hogy a hossz tengelytől milyen irányban található. Például: a 2-es magassági szinten lévő rönkdarab „F” jelű deszkájából készült, baloldalt lévő negyedik léce a „2F4” jelölést kapta.

Így az elnevezéseknek köszönhetően az ömlesztett próbatest-halmazból bármikor felépíthető az eredeti kör keresztmetszetű rönk, illetve ugyanezen jelölések jelennek meg később az eredmények bemutatásakor a mért paraméterek eloszlását jelölő ábrákon is (4.3, 4.5, 4.7, 4.9, 4.11, 4.13, 4.14, 4.16 ábrák). A megfelelő elnevezések ellátása mellett igyekeztem a hibák kiejtésére, illetve a végek pontos, merőleges tisztítógásására, ügyelve, hogy a próbatestek hossza 400-500 mm között maradjon. Nagyobb hibák esetén ettől szükséges volt eltérni. A fűrészelés kellően sima felületet biztosított, így további



3.4 ábra  
A próbatestek elnevezése, helye

felületi megmunkálásra nem volt szükség. A zsugorodási vizsgálat mérésig az anyagot továbbra is zsákban tároltam.

Az akusztikai paraméterek méréséhez összesen 1116 db próbatest készült, 17 db korong a tangenciális sebességek különböző magassági szinteken történő méréséhez, illetve 1099 db, a már említett 20x20, és 15x15 mm keresztmetszetű rúd. A próbatestek száma a tőtől a csúcsig a 3.2 és 3.3 táblázatokban található.



3.14 kép  
A korong és rúd próbatestek

Magassági szint	Próbatest korongok száma
<u>16</u>	1
<u>15</u>	1
<u>14</u>	1
<u>13</u>	1
<u>12</u>	1
<u>11</u>	1
<u>10</u>	1
<u>9</u>	1
<u>8</u>	1
<u>7</u>	1
<u>6</u>	1
<u>5</u>	1
<u>4</u>	1
<u>3</u>	1
<u>2</u>	1
<u>1</u>	1
<u>0</u>	1
Összesen:	<b>17</b>

3.2 táblázat  
Korongok száma az egyes magassági szinteken

Magassági szint	Próbatestek száma
<u>15</u>	32
<u>14</u>	40
<u>13</u>	43
<u>12</u>	46
<u>11</u>	48
<u>10</u>	57
<u>9</u>	61
<u>8</u>	77
<u>7</u>	74
<u>6</u>	81
<u>5</u>	88
<u>4</u>	95
<u>3</u>	110
<u>2</u>	115
<u>1</u>	132
Összesen:	<b>1099</b>

3.3 táblázat  
Próbatestek (rudak) száma az egyes magassági szinteken

## **3.2 A mérésekhez, próbatest készítéshez használt eszközök**

### **3.2.1 A fa kiválasztásához felhasznált eszközök**

1. Fakopp időmérő készülék érzékelőkkel
2. Kalapács
3. Mérőszalag
4. Jelölőfesték

### **3.2.2 A faanyag feldolgozásának eszközei**

1. Vízszintes rönkvágó szalagfűrész - Forestor Pilous CTR 650S Professional (3.11 kép)
2. Körfűrész – ROJEK (3.13 kép)

### **3.2.3 A labormérés eszközei**

A rezgés mérésekhez, időmérésekhez felhasznált eszközök:

1. Laptop
2. FFTA illetve FFT szoftver (Fakopp Enterprise)
3. Külső hangkártya (Creative Soundblaster)
4. Mikrofon (Manta)
5. Transzverzális idő méréshez alkalmas érzékelők
6. Fakopp időmérő, érzékelők
7. Keményfa-fejű verő, gumi-fejű verő, szivacs alátámasztások
8. Digitális tolómérők (Mitutoyo):
  - a. CD-20 (200 mm-es)
  - b. CDN-75 (750 mm-es)
9. Digitális mérleg ([g] - tizedes pontosságú)
10. Digitális oszcilloszkóp
11. Mérőszalag (5m-es)
12. Keményfa-fejű verő, gumi-fejű verő, szivacs alátámasztások
13. Dinamikus keménységmérő berendezés

### 3.2.3.1 A felhasznált FFT szoftver

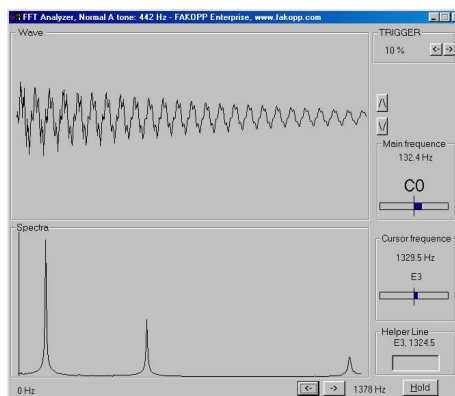
A mérések során FFT (Fast Fourier Transformation) analízátor készüléket (3.15 kép), illetve egy PC alapú hangolóprogramot (3.16 kép) használtam. Mindkét eszköz alkalmas a mérések elvégzéséhez, azonban a zömében használt hangolóprogram előnye, hogy kezelése egyszerű, s mindazt tudja, amit a bonyolult, és drága FFT analízátor.

A hagyományos hangológépektől az különbözteti meg az általam is használt hangolóprogramot, hogy egyszerre több rezgési módusz, mint később látni fogjuk a felharmónikusok, egyidejűleg vizsgálhatóak. A PC alapú program hőmérséklet független, hardver igénye csupán egy Windows kompatibilis hangkártya, illetve egy, a szükséges frekvenciatartományt lefedő mikrofon. A hangolóprogram használata előtt azonban célszerű elvégezni a szükséges hardverek hitelesítését, mivel nem korszerű hangkártya esetén mérési pontatlanságok keletkezhetnek.

Az FFT analízátor és a hangoló-program is Fourier transzformációt hajt végre, felbontja a hanghullámokat s a rezgésképet szinuszos hullámok soraként állítja elő. Ez a transzformáció a periodikus jelek elemzésére széles körben használható, akusztikai vizsgálatokra kiváló.



3.15 kép  
FFT analízátor készülék



3.16 kép  
Hangolóprogram

### 3.3 A mérések leírása

Ahhoz, hogy kijelentéseket lehessen tenni az egy törzsön belüli  $E$ ,  $G$ ,  $\rho$ ,  $\Lambda$  paraméterek eloszlásáról, változásáról, szükséges egy teljes fatörzsből készült próbatesteken történő mérési sorozat.

A megfelelő számú magassági adat, illetve az egyes magassági pontokon történő részletes, és kellő számú próbatesten végrehajtott mérésből – a mechanikai paraméterek alapján - következtetni lehet a hangszerkészítésre legalkalmasabb faanyag helyére.

A próbatesteken mért paraméterek:

- geometriai adatok
- longitudinális rezgés frekvenciája
- hajlító rezgés frekvenciája (alapl módusz)
- transzverzális hullám terjedési ideje
- csillapítási tényező (logaritmikus dekrementum)
- keménységmérés (dinamikus)

Az így kapott értékekből készíthető el egy teljes fa hangtérképe, mely tartalmazza:

- a hang terjedési sebesség értékek
- a dinamikusán mért Young-féle rugalmassági moduluszok ( $E$ )
- a dinamikusán mért nyíró rugalmassági moduluszok ( $G$ )
- a sűrűségek
- a dinamikai keménységek
- a csillapítási tényezők

eloszlását, mely elengedhetetlen segítség a hangszergyártónak abból a szempontból, hogy a fának mely része a legalkalmasabb a gyártás szempontjából.

#### 3.3.1 Rostirányú zsugorodási vizsgálat

A rostirányú zsugorodási vizsgálat célja a reakciófa jelenlétének vizsgálata, azaz volt-e számottevő feszültség a fában. A zsugorodási vizsgálatához az élő-nedves, illetve a

légszáraz állapotot vettem figyelembe.

A zsugorodási vizsgálat elkészítéséhez a 3., 6., 8., 11., 15.-ös rönkdarabokat használtam fel, hogy információ származzon a fa több magassági részéről. A munkafolyamat során a legkisebb nedvességvesztés elkerülése miatt a felfűrészelt deszkákat illetve próbatesteket az első mérésekig nylon zsákban tároltam, ügyelve a lehető legkisebb várakozási időre.

A laborméréseket a NymE Bódig József Roncsolásmentes Faanyagvizsgálati Laboratóriumában végeztem, az ott található, a 3.2.3 fejezetben felsorolt eszközökkel.

A zsugorodási vizsgálat első lépése az elkészült próbatestek kellő pontosságú geometriai mérése volt, melyhez mind a hossz, mind a keresztmetszeti mérésekhez digitális tolómérőt használtam.



**3.17 kép**  
**Geometriai mérések**

A méréseket a hosszmérésekkel kezdtem, 750 mm-es tolómérővel, a jól szemléltethető várt eredmények miatt két tizedes pontossággal. A mérésekkel igyekeztem a mérésből adódó hibát a lehető legkisebbre csökkenteni. A keresztirányú próbatest méreteket 200 mm-es digitális tolómérővel végeztem, szintén két tizedes pontossággal. Ezután következett a tömegmérés 1 tizedes grammos pontossággal.

A mérések fizikai kivitelezése több napot vett igénybe, mely a tárolásból (nylon zsák) eredeztethetően a nedvesség távozása miatt némi foltosodást eredményezett a próbatestek egy részén. A lehető legrövidebb időn belül a próbatesteket a mérések után kis rakatba helyeztem el, és így szellőztetés, illetve a későbbi téli időszakban a fűtésnek köszönhetően elkezdődött egy kíméletes szárítás. A száradási folyamatban repedéseket nem, de a növekedési feszültségek miatt görbüléseket tapasztaltam.



3.18 kép  
Természetes szárítás máglyában

1 éves máglyában történő tárolás után következett a próbatestek geometriai adatainak visszamérése, szintén két tized mm-es pontossággal.

### 3.3.2 Longitudinális rezgések frekvenciájának mérése

A lökéshullám sebessége jelen vizsgálatnál a longitudinális rezgés frekvenciájából határozható meg:

$$v = 2fL \quad \{3.1\}$$

ahol  $v$  – rostirányú hanghullám terjedési sebessége [m/s]

$L$  – a próbatest hossza [m]

$f$  – a rezgés frekvenciája [Hz]



3.19 kép  
Longitudinális rezgések  
frekvenciájának mérési  
elrendezése

A vizsgálat sajátrezgésen alapuló mérés, melynek összeállítása a 3.19 képen látható. A longitudinális frekvencia méréséhez FFT programot használtam. A próbatesteket lazán kézben tartva ütöttem meg keményfejű verővel, miközben a mikrofont a megütéssel átellenes oldalra helyeztem el. A frekvenciaértékek az FFT program kijelzőjéről közvetlenül, vagy egér segítségével a megfelelő csúcs kijelölésekor

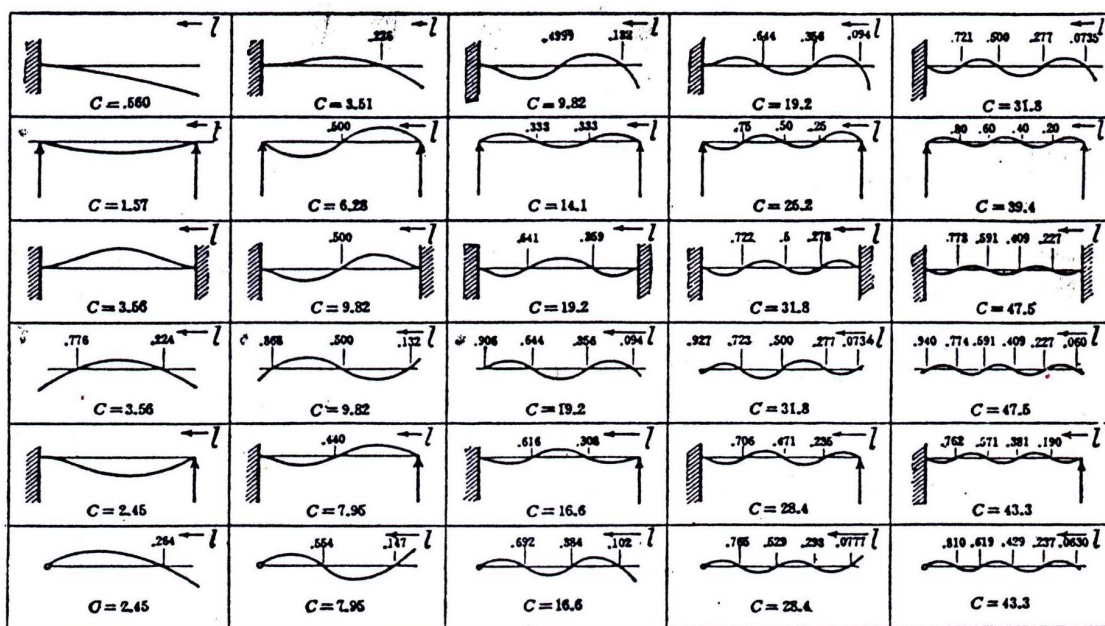


leolvashatóak voltak. A {2.5} egyenlet alapján a Young-féle rugalmassági modulusz dinamikus meghatározásához a {3.1} egyenlettel számított sebességértéket használtam fel a sűrűség értékek számítása után.

### 3.3.3 Hajlítórezgések frekvenciájának mérése

A Young-féle rugalmassági modulusz dinamikus meghatározásához egy másik lehetséges megoldás a hajlítórezgések frekvenciájának mérése. Az Euler egyenlettel elméletileg bármely, a 3.5 ábrán felvázolt peremfeltétel mellett mérhető a dinamikus rugalmassági modulusz értéke. A gyakorlatban a legegyszerűbb a 4. sor, a szabad-szabad (befogás és alátámasztás nélküli) rezgési séma használata. Mérésekkor alkalmazunk ugyan alátámasztást, de e rugalmas alátámasztások - amennyiben pontosan a helyükre kerülnek-, nem befolyásolják nagymértékben az eredményeket. [Bejó 1999].

A hajlítórezgések mérésekor egyszerre több rezgési módusz frekvenciája



3.5 ábra [Freberg 1944]

Homogén izotróp rudak sajátrezgései különböző befogások és alátámasztások mellett

gerjesztődik. A móduszsám azt mutatja meg, hogy a mért frekvencia melyik rezgési móduszhoz tartozik. Az elsőt alapmódusznak, a többit második-, harmadik-, stb. módusznak nevezzük. Az elsőtől eltérő móduszokat gyűjtőnéven felharmónikusoknak is nevezzük. Az egyes rezgési móduszok jól gerjeszthetők, ha a 3.5 ábra szerint az egyes csomópontokban rugalmas alátámasztásokat helyezünk el, s a próbatestet az amplitúdó-maximumok helyén koppintjuk meg.

A hajlítórengés frekvenciáinak meghatározását a szemléltetéshez kellően hosszú bükk (*Fagus sylvatica*) próbatest mérésén keresztül illusztrálom. (3.20 kép) A mérés során el kell tudni különíteni az alap-, illetve a magasabb rezgési módusokat. Ezek



**3.20 kép**  
**Hajlítórengések frekvenciájának mérése**

pontos beazonosításához segítenek hozzá a 3.5 ábrában szereplő  $C$  konstans értékei, melyek a következőképpen határozhatóak meg:

$$C = \frac{(n + 0,5)^2 \pi}{2}, \quad \{3.2\}$$

ahol:  $C$  - konstans

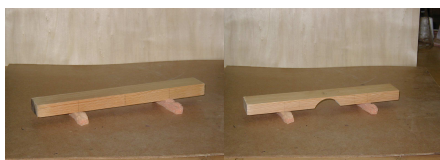
$n$  - módusszám ( $n = 1$  esetén:  $C = 3,56$ ;  $n = 2$  esetén:  $C = 9,82$ )

A  $C$  konstansok csak szabad rezgés esetén közelíthetők ezzel a formulával, mely ez esetben igaz, s ha a mérés pontos, akkor arányainak meg kell egyeznie a frekvenciák arányaival. A számítások eredménye a 3.4 táblázatban található:

Módusszám	$C$	$C$ arányai	Frekvencia (Hz)	Frekvenciaarány
1	3,56		49	
2	9,82	2,78	132	2,69
3	19,24	5,45	256	5,22
4	31,81	9,01	418	8,53
5	47,52	13,46	612	12,49

**3.4 táblázat**  
**A  $C$  konstans és a mért frekvenciák arányainak összehasonlítása**

Az eltéréseket a 2.3.2 fejezetben tárgyalt Euler egyenlet problémája, a nyírás elhanyagolása okozza. C konstansok értéke a befogások, alátámasztások, illetve a rezgés móduszától függnnek. Értékei csak prizmatikus rudakra igazak, ezért hangszerkészítés során csupán a kiinduló helyzetben vehetjük figyelembe őket, itt azonban nagy segítséget nyújtanak a hajlítórezgések móduszának azonosítására. A felharmónikusok mozgatása, - azaz, mint később látható lesz - a felhangrendszer befolyásolása a próbatestek bizonyos szakaszának elvékonyításával oldható meg, ekkor a C konstansok értéke megnő, azaz az egyes móduszok frekvenciái eltávolodnak egymástól. Ezt mutatja be a 3.5 táblázat, melyhez egy vékonyítatlan, állandó keresztmetszetű próbatest frekvenciáit, majd középen történő vékonyítás utáni frekvencia értékeit mértem meg.



3.21 kép  
Állandó - és vékonyított keresztmetszetű rúd

Vékonyítás nélküli próbatest				
Frekvencia (Hz)	Móduszsám	C	C arányai	Frekvenciaarány
1001,4	1	3,56		
2508,6	2	9,82	2,78	2,51
4274,1	3	19,24	5,45	4,27
Középen elvékonyított próbatest				
Frekvencia (Hz)	Móduszsám	C	C arányai	Frekvenciaarány
249,3	1	3,56		
1022,7	2	9,82	2,78	4,10
2677,2	3	19,24	5,45	10,74

3.5 táblázat  
A C konstans és a mért frekvenciák arányainak összehasonlítása  
állandó, illetve változó keresztmetszetű rúd esetén

Bár a C konstansok értékei a felharmónikusok vizsgálata során a módosított keresztmetszet miatt nem használhatóak, mégis a kiinduláskor elengedhetetlenek a tényleges rezgési móduszok frekvenciáinak beazonosítására. A várható frekvenciaértékek közelében több más csúcs is megjelenhet a műszeren, melyek zajokból, vagy egyéb más rezgésekből eredő frekvenciák lehetnek. A felharmónikusok mozgatása nagy odafigyelést kíván, ezért a már említett vékonyítás során fontos az egyes móduszok frekvenciáinak folyamatos nyomonkövetése.

### 3.3.4 Transzverzális hullám terjedési idejének mérése, G meghatározás

Vizsgálataimhoz a 2.3.3-ban tárgyalt nyíróhullám terjedési idejének mérését alkalmaztam. E méréshez szükségessé vált a rendelkezésre álló műszerek fejlesztése. Az első méréseknél használt kés alakú nyíróérzékelőt a próbatestek végeitől 1 cm-re befűrészelt vajatába szorítottam, majd a fejlesztésekből született, gyors mérést lehetővé tevő csiptetős nyíróérzékelőkkel dolgoztam (3.22 kép), mellyel kellő pontossággal lehet nyíróhullám terjedési időt mérni. A jelet Fakopp Ultrasonic Timer adta. A digitális oszcilloszkópról leolvasott időkből, és az érzékelők távolságából sebességet számítottam:

$$c_G = \frac{s_{ny}}{t_{ny}}, \quad \{3.3\}$$

ahol:  $c_G$  - a nyíróhullám sebessége

$s_{ny}$  - a nyíró érzékelők távolsága

$t_{ny}$  - az oszcilloszkópról leolvasott terjedési idő

A  $G$  (nyíró rugalmassági modulusz meghatározható):

$$G_k = \rho \cdot c_G^2,$$

ahol:  $G_k$  - a közvetlen sebességméréssel meghatározott nyíró

rugalmassági modulusz



3.22 kép

Közvetlen időméréssel meghatározott  $G$  mérési elrendezése

A mérés megbízhatóságának tesztelésére két külön mérési sorozatot készítettem, melyben a közvetlen időmérést sajátrezgés méréssel hasonlítottam össze, azaz a nyíróhullám terjedési idejének méréséből számított  $G$  értéket hasonlítottam össze a



3.23 kép  
Torziós rezgésekkel meghatározott G mérési elrendezése

torziós rezgéssel mért értékből számított G nagyságával. Az első mérési sorozatban kisebb mintaszámú (22 db), hibamentes Lucfenyő (*Picea abies*) próbatesteket használtam (20x20 mm), a második sorozatban nagyobb mintaszámú (58 db) Fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) próbatesteket alkalmaztam (400 x 22 x 30 mm; nedvességtartalom: laboratóriumi légszáraz (u=12%))

A torziós rezgésekkel meghatározott G mérése a 3.23 képen látható elrendezésben történt. A méréskor ügyelni kellett a hajlítórezgések frekvenciáinak megjelenésére, ezért célszerű volt azokat előre megmérni. A torziós rezgésekkel történő nyíró rugalmassági modulusz meghatározása a következő összefüggés alapján lehetséges:

$$G_{\text{din,torziós}} = \left( \frac{2Lf_t}{n} \right)^2 \frac{\rho I_p}{K_t} \quad \{3.4\}$$

ahol:  $f_t$  – torziós frekvencia

$L$  – próbatest hossza

$\rho$  – a próbatest sűrűsége

$n$  – módusszám

$I_p$  – poláris inercia,  $I_p = \frac{ab}{12}(a^2 + b^2)$

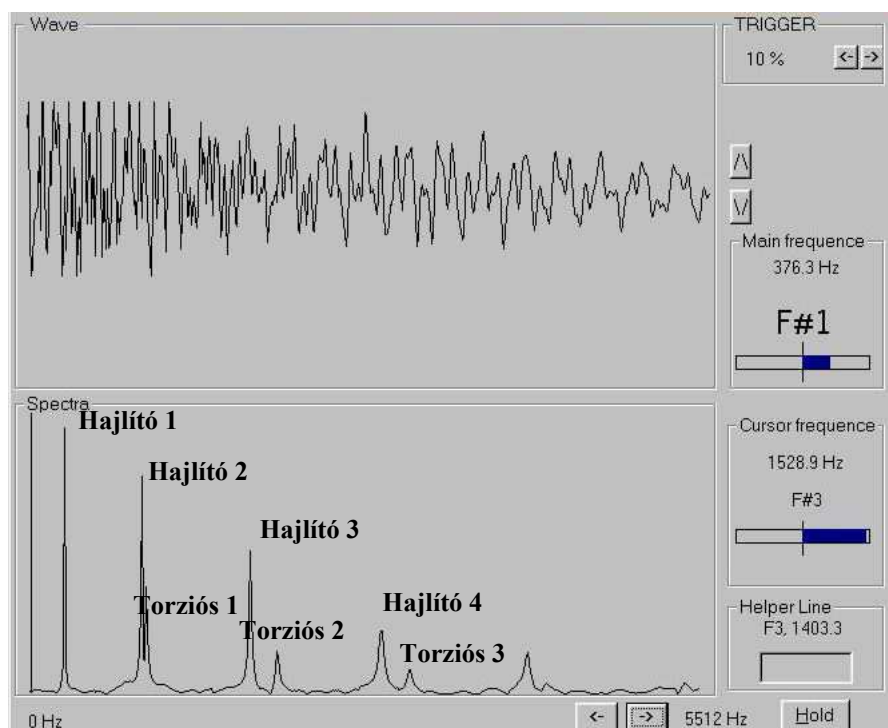
$K_t$  – keresztmetszeti tényező,  $K_t = cab^3$

$a, b$  – a keresztmetszet oldalhossz méretei

$c$  – a/b függvényében meghatározható konstans

a/b	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	4	5	10	20
c	0,141	0,172	0,196	0,214	0,229	0,249	0,263	0,281	0,291	0,312	0,323

A következő ábrán példaként hajlító és torziós rezgések rezgéseképei láthatóak. A torziós rezgés frekvenciáinak beazonosítása az alapján történt, hogy az egyes móduszok frekvenciaértéke rendre az alaplómódusz többszöröse.



3.6 ábra  
Torziós és hajlító rezgések alap- és magasabb móduszai  
[Fehér 2002]

### 3.3.5 Tangenciális sebesség meghatározása

A tangenciális sebesség meghatározásához a tangenciális irányba terjedő nyomáshullám terjedési idejét kell mérni. Az egy fában felállítható analógia érdekében a lehető legtöbb magassági ponton célszerű méréseket végezni. Erre a célra a tőtől a csúcsig a létező magassági pontokról származó korongokat használtam fel. Minden esetben 2-2 mérést végeztem, kettőt a bélen keresztül (É-D, K-Ny irányban), kettőt pedig tangenciálisan (Ny-D, illetve K-D irányban). A mérésekhez Fakopp időmérőt, illetve érzékelőket használtam. Az érzékelők csatolása túske alakú érzékelő-házzal történik. Az érzékelőket a fába kell ütni addig a mélységig, amíg két ujjal már nem lehet elmozdítani a tengelyük körül. A start érzékelőre könnyedén, fém kalapáccsal kell ütést mérni. A készülékről a hanghullám terjedési ideje közvetlenül leolvasható. A hiba elkerülése

végezt minimum három mérést végeztem minden pozícióban. Az érzékelők távolságát szintén rögzítettem.

A mért idők illetve a távolságok ismeretében a sebesség meghatározható:

$$v_{\text{tang}} = \frac{s_{\epsilon}}{t_{\text{tang}}} \quad \{3.5\}$$

ahol  $s_{\epsilon}$  – az érzékelők távolsága [cm]

$t_{\text{tang}}$  – a leolvasott időértékek [ $\mu\text{m}$ ]



3.24 kép  
Tangenciális sebességmérés

### 3.3.6 A csillapítási tényező mérése

A csillapítási tényezőt a rezgést burkoló exponenciális görbe határozza meg. A mérésekhez két egymás utáni Fourier transzformáció elvégzésére van szükség, időben egymástól eltolva. Először ki kell választani a vizsgált móduszt, illetve a hozzá tartozó frekvenciát. A csúcs amplitúdók aránya, valamint az időeltolódás ismeretében meghatározható a csillapítási tényező:

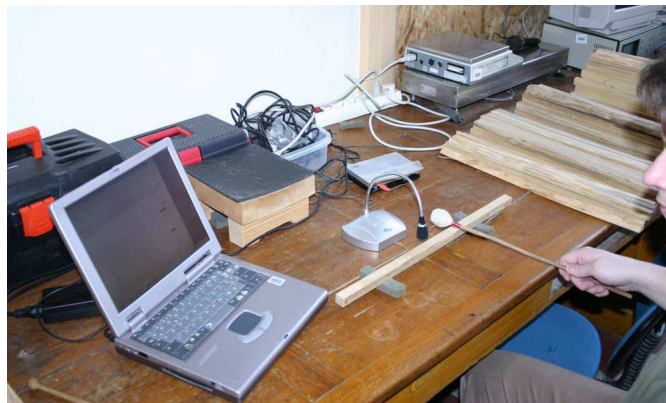
$$\beta = (-1) \frac{\ln \frac{A_2}{A_1}}{dt}, \quad (A_1 > A_2) \quad \{3.6\}$$

ahol:  $A_{1,2}$  – a két csúcs amplitúdója

$\beta$  – csillapítási tényező

$dt$  – az időeltolás mértéke

A gyakorlatban a 2.3.4 fejezetben bemutatott {2.10} összefüggés, a logaritmusos dekrementum  $\bullet 10^3$  értéke közvetlenül leolvasható a méréshez használt FFT program kijelzőfelületéről. A méréshez FFT szoftvert, puha szivacs alátámasztásokat, illetve puha verőt használtam. Az időeltolás beállítása után a 3.25 képen látható mérési elrendezést alkalmaztam.



**3.25 kép**  
**Logaritmusos dekrementum mérése**

### **3.3.7 A juvenilis-érettfa határ meghatározása**

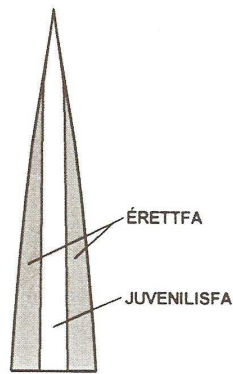
A hangszerkészítés szempontjából már korábban említésre került tulajdonságok (évyűruszerkezet) vizsgálata mellett a szíjács-geszt, és még inkább a juvenilis, érettfa arányának a vizsgálata lehet jelentős. A juvenilis fában jelentős növekedési feszültségek halmozódnak fel.

A juvenilis fa a geszt része, de attól eltérő tulajdonságokkal rendelkezik, a bél körül kialakult évyűrűket tartalmazza. Szabad szemmel nem látható fejlődési szakasz, mely a fa korától függetlenül a fa csúcsának közelében mindig megtalálható. A fa különböző fejlődési szakaszai (gest, juvenilis, szíjács) eltérő tulajdonságokat hordoznak, ezért szükséges lehet a juvenilis-érettfa határ beazonosíthatósága.

A juvenilis fa határának megállapítására többféle módszer is ismeretes, dolgozatomban két ismertebbet és két újabb módszert szeretnék említeni:

- farostok és a tracheidák hosszának meghatározása
- mikrofibrillák szögének mérése





3.7 ábra  
Juvenilis-érettfa

- ismételt Fourier transzformáció alkalmazása a fa sűrűség eloszlási görbéin [Csóka 2007]
- wavelet transzformáció [Csóka 2007]

A Wavelet transzformáció egy lineáris operátor. Olyan jelenségek vizsgálatánál alkalmazható, melyeknél a frekvencia időben változik. A Wavelet transzformáció továbbfejlesztett Fourier transzformáció, amely nem csak a jel frekvencia tartalmát mutatja meg, hanem

azok időbeli elhelyezkedését is. Egy egyváltozós függvényt, jelen esetben a sűrűség függvényt, egy kétváltozós függvénnyé alakít, mely a függvény komponenseit adja meg különböző felbontásban, azaz megmutatja, hogy az egyes komponensek mikor fordulnak elő a jelben. A Wavelet transzformáció a sűrűségfüggvény karakterisztikáit egyértelműen meghatározza a választott alaphullám és a skálaparaméter értéke mellett.

A folyamatos Wavelet transzformáltja egy diszkrét sűrűség szekvenciának  $x(s)$  a következőképp definiálható:

$$W_n(s) = \text{FFT}^{-1} \left[ \sum_{k=0}^{N-1} \hat{x}_k \left( \sqrt{\frac{2\pi s}{\delta t}} \hat{\Psi}_0 \cdot (s\omega_k) e^{i\omega_k n \delta t} \right) \right] \quad \{3.7\}$$

ahol:  $N$  - a diszkrét értékek száma

$s$  - wavelet skála érték

$\delta t$  - távolság a diszkrét értékek között

$x_k$  - diszkrét Fourier transzformáció

$\hat{\Psi}_0(s\omega_k)$  - (alaphullám) kernel függvény, jelen esetben Paul és Morlet

típusú (módosított Gauss-görbe), melyek a következő alakban írhatók fel:

$$\text{Paul kernel függvény esetén: } \frac{2^m}{\sqrt{m(2m-1)!}} H(\omega) (s\omega)^m e^{-s\omega} \quad \{3.8\}$$

$$\text{Morlet kernel függvény esetén: } \pi^{1/4} H(\omega) e^{-(s\omega-m)^2/2} \quad \{3.9\}$$

ahol:  $m$  - hullámszám,

$H(\omega)$  - Heaviside lépés függvény,

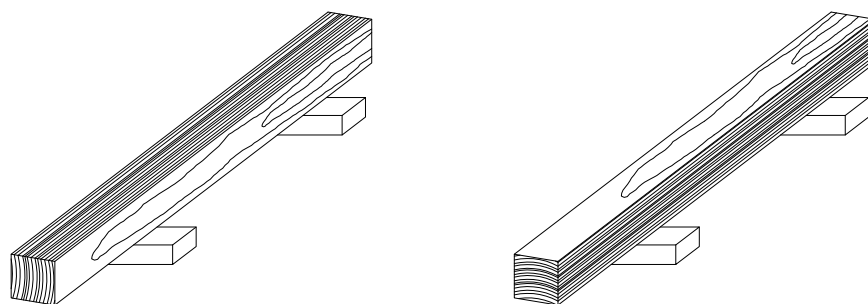
$H(\omega) = 1$  ha  $\omega > 0$ ,

$H(\omega) = 0$  egyébként.

### 3.3.8 Irányfüggő vizsgálat

A hangszerkészítés szempontjából egy speciális, de lényeges szempont, hogy a majdani hanglapokon az évgyűrűk állása mennyire befolyásolja a hajlítófrekvencia értékeket. Ismert ugyanis, hogy az anizotrópia következtében a faanyag három anatómiai irányába mutató rugalmassági modulusza jelentős különbségeket mutat. [Szalai 1994]

A méréshez olyan próbatesteket használtam, melyek évgyűrűi közel párhuzamosak a próbatest valamely oldalfelületével. A próbatestek szélességi és magassági méretei megegyeztek, a hosszúságuk tetszőleges volt, de minden esetben meghaladta az 500 mm-t. Mértém a hajlító frekvenciát (első három rezgési módusz) oly módon, hogy először álló, majd fekvő helyzetűek voltak az évgyűrűk.



**3.8 ábra**  
Próbatestek álló és fekvő helyzetű évgyűrűk esetében

### 3.3.9 Dinamikus keménységmérés

A dinamikai keménységmérés egyrészt a különböző felületkezelő anyagok, másrészt a xilofonok esetében történő keményfejű verő használata miatt lehet jelentős. Ez utóbbi ugyanis előbb-vagy utóbb tönkreteszi a felületet, mely általában kiszállásodik, és cserére szorul. A felületek dinamikus keménységének mérése rávilágíthat, hogy a fa melyik részéből célszerű – e paraméternek is megfelelő – alapanyagot választani.

Marimbák esetében a felület keménységének jelentősége nem számottevő, mivel ott zömében puha (fonál) bevonatú verőt használnak.

A dinamikai keménység mérése az ISO 6508-1986 és az MSZ 105-11-1987 szabványoknak megfelelő berendezéssel történt. Ez az eszköz a különböző felületek és bevonatok dinamikus keménységének meghatározására alkalmas. A berendezés három fő alkotóelemből áll: állványból, súlyból és golyóból.

- Az állvány egy 40 mm belső átmérőjű, legalább 550 mm hosszú acélső. Ezen az acélsővön különböző magasságokban furatok találhatóak annak érdekében, hogy a keménységvizsgálatot más-más, de



3.26 kép

Dinamikus keménységmérő berendezés

mindig pontosan ugyanolyan magasságnál tudjuk elvégezni. Az állvány szerepe a súly pontos megvezetése, és az azonos magassági pontok biztosítása.

- Az 500 g súlyú henger átmérője 1 mm-rel kisebb, mint az állvány belső átmérője. A henger nyomja bele az acélgolyót a vizsgálandó felületbe.

- A harmadik alkatrész a 14 mm átmérőjű acélgolyó, amely a ráejtett súly hatására benyomódik a vizsgálandó felületbe.

A mérés egy különálló (Fehér akác) próbatest sorozaton, illetve a kiválasztott akácfa két magassági szintjén lett elvégezve. Az első próbatest sorozat vizsgálatokor különböző felületkezelő anyagok hatása is számításba lett véve, ezért minden mintán kezeletlen és felületkezelt rész is megtalálható volt. A súly ejtése két magasságból (25 és 100 mm) lett elvégezve, mivel látható volt, hogy a magasabbról ejtett súlynál a roncsolás mértéke olyan nagy, hogy a felületkezelő anyag hatása már nem érvényesül. Egyféle bevonat esetén 24 db összehasonlító mérés történt. A különböző magasságokból történő ejtések hatására bekövetkezett benyomódásokat a próbatest és a mérőberendezés közé indigóval ellátott papírlap rögzítette körlenyomatok formájában. Az átmérők elemzése AutoCad program segítségével történt.

A vizsgált akácfa 2 magassági szintjén végzett vizsgálat során minden próbatest két különböző oldalán lettek mérések végezve. Például egy sugár és egy húr irányú mérés.

---

## 4. Eredmények

### 4.1 Fa hanglapú ütős hangszer (xilofon, marimba) készítése

Az eredmények között szereplő 4.1-es fejezet több éves kutatómunka és fejlesztés eredményeit vonultatja fel, tiszteletben tartva gyártók titkait, mely minden esetben saját gyakorlattal, tapasztalatszerzés útján, kreatív innovatív lépésekkel érhető csak el.

#### 4.1.1 A hangszerek csoportosítása

A mai zenekari gyakorlat a hangszereket négy csoportba sorolja: vonósok, fa- és rézfúvósok, illetve ütősök. Ez a felosztás azonban nem helyes, mivel nem illeszthető bele egyik csoportba sem például a zongora, a hárfa, a pengetős hangszerek, stb. Létezik másféle felosztás is, a hangszerek anyaga szerint (ősi kínai), és meg kell említeni egy arab rendszert is, mely két csoportos elkülönítést említ.

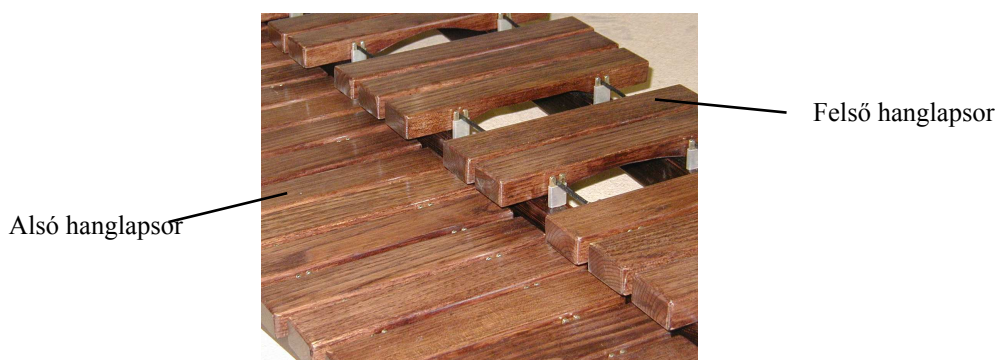
A mai elfogadott csoportosítás az indiai zenetudományi eredményekre támaszkodik. A hinduk egyszerű és logikus felosztását a belga származású Victor Mahillon vette át (1878). A négy csoport utolsó elemét módosítva, tudományos elnevezéssel ellátva, a következőkről van szó:

- Kordofon hangszerek – hangjukat a húr rezgése adja
  - Aerofon hangszerek – hangjukat a légoszlop rezgése adja
  - Membranofon hangszerek – külső hatásra a hangszeren kifeszített hártya ad hangot
  - Idiofon hangszerek – saját rugalmasságuknál fogva önmagukban szólalnak meg
- /Az utolsó csoport elnevezését Erich von Hornbostel javaslatára alakították át autofonról idiofonra./ [Tarnóczy 1982]

Az idiofon hangszercsoporton belül, a fa idiofonok osztályába tartozik a xilofon és a marimba, illetve a xilorimba és a basszusmarimba is. Pontos eredetük nem ismert, de kezdetben valószínűleg olyan fa lapokat ütögettek botokkal, amelyeket földön levő lyukak fölé helyeztek. Az elnevezéséhez egy mítosz is fűződik, miszerint létezett egy Marimba nevű istennő, aki fából készítettett egy hangszert, mely alatt tökök lógtak.

A xilofon, a marimba, illetve a xilorimba és a basszusmarimba, mint ütős dallamhangszerek nem különíthetők el teljesen egymástól, egyszerű megfogalmazással

élve: a xilofon, a marimba „kistestvére”; a xilorimba tulajdonképpen egy nagyobb (mélyebb) hangterjedelmű, minden esetben rezonátorcsövekkel ellátott xilofon, a basszusmarimba pedig a legmélyebb frekvenciatartományt magába foglaló ütős dallamhangszer. Mindegyik hangszer fa hanglapjainak elrendezése leggyakrabban egy zongora klaviatúrájára emlékeztet, a fehér billentyűket a diatónikus skála, az alsó hanglapsor; a fekete billentyűket, a módosító hangokat, az alsó hanglapokat kissé betakaró, felső hanglapsor testesíti meg (4.1. kép). Ez a hanglapsor olykor egy szintben helyezkedik el a diatónikus skálát tartalmazó hanglappal (4.3. kép).



**4.1 kép**  
**Alsó és felső hanglapsor elhelyezkedése (kromatikus hangszer)**



**4.2 kép**  
**Diatónikus hangszerek**



**4.3 kép**  
**Kromatikus hangszerek**  
**(alsó és felső hanglapsor egy szintbe esik)**

A xilofonok különösen Afrikában, de Délkelet-Ázsiában is elterjedtek, ahol bekerültek az indonéz gamelán zenekarokba. [Midgley 1996] A marimba eredetéről annyit tudunk, hogy a 16. század körül került Dél- Amerikába, Dél- Afrikából odahurcolt rabszolgák által. Ott egy Sebastian Hurtado nevű guatemalai férfi készített egy marimbát,

---

de a tökök helyett már fa rezonátorokkal látta el a mai hangszer őseit. Dél-Amerikából később az USA-ba került, majd több fejlesztésen is keresztülment az ütős hangszerek egyik királynője. 1910-től nagyobb mennyiségben kezdték el gyártani, ekkor már alumínium, vagy réz rezonátorcsövekkel. Legelterjedtebb változatai a 4 és fél, illetve az 5 oktávos marimba.

A xilofonoknál a három, illetve a négy oktávos hangterjedelem a legjellemzőbb. A hanglapok alapanyaga általában honduraszi rózsafa (*Dalbergia stevensonii*), padauk (*Pterocarpus soyauxii*), de a gyártók sok egyéb fafajjal is kísérleteznek, mint például: mahagóni (*Swietenia macrophylla*), wenge (*Millettia laurentii*), tiszafa (*Taxus baccata*), brazíliai rózsafa (*Dalbergia nigra*), indiai rózsafa (*Dalbergia latifolia*), afrikai mahagóni (*Khaya anthothea*), erdeifenyő (*Pinus sylvestris*), szitkafenyő (*Picea sitchensis*). A hangszer tartalmazhatja csak a diatonikus skálát (4.2. kép), de gyakoribb a kromatikus hanglapsor (4.1. kép; 4.3. kép).

#### 4.1.2 Üzleti terv szerepe

Ez a rövid fejezet csupán a dolog hangsúlyossága miatt került bele a dolgozatba. Remélhetőleg közgazdasággal foglalkozó emberek örömmel olvassák, hogy mérnökök is hangsúlyosnak érzik eme lépést.

Hangsúlyos, s tán a legfontosabb, mivel ötlete, találmánya bárkinek lehet, de annak a piacra vezetése, megtérülése, reklámozása, értékesítése nagyon sok munkát igényel. Ezért is szükséges minden mérnöki mozzanat előtt alapos, mindenre kiterjedő piackutatást és üzleti tervet készíteni, különös tekintettel a megtérülés esélyeit számba véve. A tényleges üzleti tervet most mellőzöm.

#### 4.1.3 A gyártás előkészítése 1.

Ütőhangszerek gyártásakor jobb szóhasználat a hangszer „készítés”, mintsem a gyártás, mivel sok mozzanat precíz kézi munkát, szubjektív megfigyelést (hangkép megállapítása) igényel, de most mellőzném a „szavak vitáját”.

A gyártás előkészítése elsősorban nagy körültekintést, információgyűjtést igényel. Legalább annyira faipari-szakmai oldalon, mint üzleti oldalon. A nehézségek többek között abból adódnak, hogy egyediségének, és a mai világot övező versenyszellemnek köszönhetően az ütőhangszergyártást nagy titkolózás fedi mind a mai napig. A

hangszerkészítés apró fortélyait mindig is féltve őrizték, de sokszor a tudás ismeretében is képtelen az emberiség leutánozni valami fantasztikusot (lásd: Stradivari hegedű), így biztos állíthatom, hogy az alábbi leírtak mellett a lényeg az apró nem látható részletekben van.

A gyártás előkészítése első lépésben tehát az információk begyűjtését jelenti, főként, ami a hangolási műveletekre utal, illetve egy alapvető faipari létesítmény (műhely) létrehozását, a faanyag megvásárlásának feldolgozási állapotától függően. A szükséges megmunkálóeszközök (gyalugép, csiszológép, fűrészgép darabolási céllal, fűrőgép) és felületkezelő egység meglétével indulhat a „jó” faanyag felkutatása, beszerzése, feldolgozása.

#### **4.1.3.1 Faanyag kiválasztása, tárolása**

A fa alapú ütőhangszereknél a megszólaló hang a farudak sajátrezgésének eredménye. A tárgyalt ütőhangszerek (továbbiakban hangszerek) alapanyagául a fejlesztések során, a mechanikailag legmegfelelőbb, illetve a hangjuk alapján - szubjektíven - legjobbnak megítélt alapanyagok szolgálnak. Hogy mi számít a „legjobbnak”, azt csak a zenészek elfogadókészsége határozza meg, mégpedig a hangzás oldaláról. Marimbák esetén szükségszerű a hosszú csengésű, lágy, meleg hangzás, xilofonok esetén a kemény, ugyanakkor nem túl éles hang.

A faanyag kiválasztása a hangszer alapanyagául szolgáló fafaj meghatározása után kezdődhet. A hangszer célcsoportjának (majdani vevők), és a gazdasági szempontok figyelembe vételével kiválasztott fafaj beszerzésénél a legfontosabb a minőségi követelmények áttekintése.

A hangszer adottságai miatt, minden egyes hanglapnak, azaz 'hangnak' - külön-külön is meg kell állnia a helyét éppúgy, mint a teljes hangszernek. Egy hangszerhez tehát értelemszerűen azonos fafajból, és azon belül hasonló paraméterekkel rendelkező alapanyagot kell választanunk. Ebből értetődően a mennyiséget az egy hangszerhez szükséges alapanyag szükséglet figyelembe vételével kell meghatározni, melyet bő ráhagyással érdemes számolni az esetleges nem látható belső hibák, illetve készítés közbeni 'elrontott' hangolású hanglapok miatt.

A paraméterek hasonlóságának szempontjai:

- azonos termőhely
- a fa termőhelyen belüli azonos/hasonló elhelyezkedése

- a fatörzs bizonyos részeinek felhasználása
- mechanikai tulajdonságok hasonlósága
- évgyűrűszélességek hasonlósága, évgyűrűk állásának megválasztása (optimális húr-sugár irány megválasztása)

A hasonló paraméterekkel rendelkező alapanyag nem csupán a munkát könnyíti meg, a homogén hangképnek is előfeltétele.

A kiválasztott faanyag tárolására vonatkozó szempontok:

- azonos tárolási, kezelési körülmények biztosítása
- klimatizálás (a munka utolsó, de lehető leghosszabb szakaszában)

A kezelési, tárolási eljárások közül a legmegfelelőbb a természetes szárítás, és szellős helyen való tárolás, majd szükség esetén a nagyon kíméletes gépi szárítás. Ezután a célcsoport igényének megfelelően a majdani, vagy egy átlagosan elfogadott hőmérsékletű és páratartalmú értékekkel rendelkező hely adataival megegyező klimatizálás. A hangolás utolsó fázisában ez elengedhetetlen, mivel a faanyag a mindenkori páratartalomnak és hőmérsékletnek megfelelően nedvességet ad le, illetve vesz fel, mely befolyásolja a fában a hang terjedési sebességét, így az általunk megszólaltatni kívánt hang magasságát is.

Mivel a hang terjedési sebessége arányos a frekvenciával, a következő összefüggés bővebb információt nyújt a hőmérséklet, és a nedvesség tartalom változására vonatkozólag [Matthews 1994]:

$$v = 5809,2 - 3,4 \cdot T - 34,9 \cdot u + 0,19 \cdot u^2 \quad \{4.1\}$$

ahol:  $v$  – a hang terjedési sebessége [m/s]  
 $T$  – hőmérséklet [°C]  
 $u$  – nedvességtartalom [%]

#### 4.1.3.2 A hangszer paramétereinek meghatározása

##### 4.1.3.2.1 A hangolás képletének meghatározása

A tényleges hangolás alapjául egy közelítő képlet szolgál. A dinamikus úton mért rugalmassági modulusz a {2.5}, illetve a {2.8} egyenletek alapján is meghatározható.



A {2.8} egyenlet átrendezés után a következő alakot ölti:

$$E_{\text{din.,Hajlító}} = \frac{f^2 \cdot m \cdot L^3}{C^2 \cdot I} \quad \{4.2\}$$

- ahol: L – hossz [m]  
 f – frekvencia [Hz]  
 m – tömeg [kg]  
 I – a keresztmetszet másodrendű nyomatéka [m<sup>4</sup>]  
 C – konstans;  $C=(n+0,5)^2\pi/2$ , ahol 'n' a móduszsám

A faanyag homogén feltételezésével élve {2.5} és {4.2} egyenletet egyenlővé tehetjük.

$$\rho \cdot v^2 = \frac{f^2 \cdot m \cdot L^3}{3,56^2 \cdot \frac{a \cdot b^3}{12}}$$

$$\frac{m}{L \cdot a \cdot b} \cdot v^2 = \frac{f^2 \cdot m \cdot L^3}{3,56^2 \cdot \frac{a \cdot b^3}{12}}$$

Egyszerűsítések ( $3,56^2=12,67 \approx 12$ ), és összevonások után kapjuk a végképletet:

$$f \cong \frac{v \cdot b}{L^2} \quad \{4.3\}$$

- ahol: f – frekvencia [Hz]  
 b – a vastagsági méret [m]  
 L – hossz [m]  
 v – hang terjedési sebessége a fában [m/s]

Tehát a behangolni kívánt hanglap frekvenciája függ a fa rostirányú hangsebességétől, a hanglap hosszától és vastagságtól (eltekintve az egyéb befolyásoló tényezőktől).

Ahogy a 4.1.1 fejezetben említésre került, a hangszer hanglapjainak elrendezése a zongora klaviatúrájához hasonló, s a hangolását tekintve is követi a temperált hangsort, azaz minden hang egyforma hangköz távolságra helyezkedik el egymástól.

A hangolás kezdetekor meg kell határozni, hogy milyen hangtartományra szeretnénk hangolni a hangszer hanglapjait. Az utólag csak komolyabb beavatkozással hangolható hangszerek (pl.: marimba, vibrafon, xilofon, stb...) hangmagasságának beazonosításául szolgál a normál zenei „á” hang frekvenciájának Herzben való megadása. /pl: 442 , vagy 445, stb./ Ez az érték az idők során folyamatosan emelkedik, a barokkban

használtak 438-as „á”-t is, míg ma a 445-t sem vetik már el. A leggyakoribb napjainkban a 442 Hz-es „á” hang, s ehhez kell viszonyítani a többi hanglap frekvenciáját. A hanglapok frekvenciáinak egymás viszonyított aránya  $\sqrt[12]{2}$ .

#### 4.1.3.2.2 A hangszer fajtájának, alakjának, méretének meghatározása

Első és legfontosabb lépés, hogy milyen hangszert szeretnénk készíteni. Marimbát, xilofont, basszusmarimbát, stb. A megszületett döntés után, az adott hangszer frekvenciatartományának ismeretében meghatározzuk az egyes hanglapok frekvenciáit, majd az alak, illetve alaprajz ismeretében kiszámítjuk az egyes hanglapok, - a munka kezdőfázisában még rudak – hosszait.

A hangolást a legmagasabb hang hosszának meghatározásával célszerű kezdeni, melyet, - mint ahogyan a {4.3} képletből is jól látszik - a hang terjedési sebessége a faanyagban, illetve a lap vastagsága határoz meg, hiszen a behangolni kívánt frekvencia adott. Mint ahogy a 4.1.4.1.2 fejezetben látni fogjuk, a hanglapok megfelelő frekvenciára történő hangolását a falapok ütfelülettel átellenes oldalán történő vékonyításával lehet elvégezni. Ha nem vékonyítanánk a lapokat, csupán a hosszokat változtatnánk az adott frekvenciákra, akkor egy parabolikus formához jutnánk, melyről könnyen belátható, hogy játéktechnikai szempontból nem éppen megfelelő, hiszen a játékosnak könnyedén kell mozognia a hangszer előtt. Arról nem is beszélve, hogy a játékosnak minden egyes hanglapot a lap közepén kell megütnie, - mivel ezzel tudja az alaphangot gerjeszteni -, ami azt jelentené, hogy a hangok egymásutánját egy parabolaív mentén szólaltathatná meg. A hangszer hanglapsorai együttesen trapéz alakot öltenek. A trapéz méretét nem a frekvenciák határozzák meg, hanem így a legmegfelelőbb játéktechnikai szempontból. Természetesen nem csak a praktikusság eredményezte ezt az alakot; az alaphangok behangolása mellett a felhangokat csak a vékonyítással lehet pozícionálni, melyhez a hanglapok hossz méretének csökkentése is szükséges, illetve a lapok rögzítéséhez is ez a forma a legmegfelelőbb.

#### 4.1.4 A gyártás előkészítése 2.

##### 4.1.4.1 A hanglapok elkészítése

A hangszer készítésének legfontosabb, és egyben a legtöbb türelmet és időt igénylő művelete. A hangszer paramétereinek ismeretében a rendelkezésre álló

---

faanyagból hossztolással előkészítjük az egyes hangok lapjait, majd következik maga a hangolás művelete. A hangolás kezdetekor szükséges meghatározni, hogy milyen legyen a kész hangszer hangképe, milyen felhangrendszert szeretnék behangolni.

#### 4.1.4.1.1 A marimba és a xilofon ideális felhangrendszere

A 3.5 ábra az egyes móduszok rezgéképét mutatja meg. Később látni fogjuk, hogy az egyes rezgési móduszok frekvenciái a hangoláskor beállítandó felhangokat jelölik, melyek megfelelő módszerrel külön-külön is gerjeszthetők. Az ütőhangszereknél a felhangoknak főleg az alacsonyabb frekvenciájú, azaz mélyebb alaphangú hanglapoknál van nagy jelentősége. Így különösképpen a basszus marimbánál, és a marimbánál, de bizonyos tartományban a xilofonnál sem elhanyagolható.

A hangolási metodikák nem azonosak a világ egyes területein. Amerikában, és Európában más részhangokat hangolnak be egy adott alaphanghoz. Fontos tehát megjegyezni, hogy míg a húrnál egy hanghoz adott felhangok tartoznak, addig a hanglapoknál ezeket külön, nagy gyakorlat megszerzése után „beállíthatjuk”. Persze a felhangok beállítása közel sem egyszerű. Ingolf Bork [Bork 1995] munkájából kiderül, hogy készítettek egy felmérést arra vonatkozólag, hogy mely felhangrendszer kombináció a legszimpatikusabb vájt fülű zenészek számára. A felmérésből kiderítette: hangoláskor a legtökéletesebb megoldás, ha a második részhangot az alaphang feletti második oktávra, a harmadik részhangot pedig az alaphang háromszoros oktávja feletti kis és nagy terc közé kell helyezzük. Ezáltal a hangalap dúr, és moll jelleget is felvehet, s a megadott teszt dallammal így érhető el a legjobb hatás, mely mindkét színezetű motívumot tartalmazza. Itt kell megjegyezni, hogy a felhangrendszer hangolása szubjektív tényező, bárki kialakíthat felhangrendszereket, persze figyelembe véve a technikai megvalósíthatóságot. A szakirodalmak a felhangokra vonatkozólag csak annyit szólnak, hogy a marimbákat zömében az előbb említett rendszerben hangolják.

A xilofont az alaphanghoz képest második oktávra, vagy oktáv+kvint (duodecima) magasságban elhelyezkedő felhangra, és természetesen a megfelelő alaphangra kell beállítani. Ennek fényében oktáv, illetve kvinthangolású xilofonról beszélhetünk. A hangolás gyakorlati megoldásában ez minden hanglapnál nem valósítható meg, bizonyos magasság után ugyanis a felhang a hanglap hosszának és vékonyításának függvényében már nem „mozgatható”.

#### 4.1.4.1.2 A hangolás módszere

A xilofon, és a többi ütős dallamhangszer hangolása hasonlóképpen történik. A hanglapok keresztmetszetét az ütőfelülettel átellenes oldalon csökkentjük, ezzel csökken az adott farúd sajátrezgésének frekvenciája, azaz egyre mélyebb hangokat kapunk. Ezt a keresztmetszet csökkentést körfűrész géppel, illetve szalagcsiszológéppel (4.4 kép) oldottam meg. A körfűrész lehetővé teszi, hogy az anyagba közel azonos mélységig vágjunk bele, míg a csiszológép lehetőséget nyújt a finomhangolásokhoz. Ennek a technológiának azonban van némi hátránya is, a szerszámok, illetve a szalagcsiszológép hengere meghatároznak egy adott sugarat, melynél kisebb lekerekítési sugár nem oldható meg.



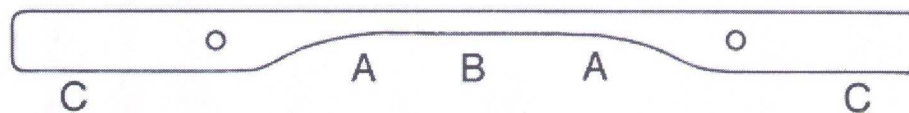
**4.4 kép**  
**Hanglap hangolása**

A 3.5 ábra szerinti csomópontok a rudak - s így a hanglapok - rezgéseinek csomóvonalait is jelölik. A 3.5 ábrán jelölt csomóvonal távolságok azonban csak prizmatikus rudakra igazak, a keresztmetszet módosításával, azaz a hangolással a csomóvonalak a hanglapok végei felé tolódnak el (4.1 ábra). Ennek figyelembe vétele fontos, hiszen e vonalak mentén kell a hanglapot később rögzíteni.

A -val jelölt helyen csökkenthetők a felhangok

B -vel jelölt helyen az alaphang csökkenthető drasztikusan

C -vel jelölt helyen - a tömeg csökkentésével - az alap-, és a felhangok emelhetők



4.1 ábra  
A hangolási területek

Az előbbi ábrából (4.1 ábra) kiderül, hogy a készülő hanglappból más-más helyen történő keresztmetszet csökkentéssel a különböző felhangokat, illetve az alaphangot tudjuk mozgatni.

#### 4.1.4.1.3 Irányfüggő vizsgálat eredményei

Az irányfüggési vizsgálat mérési eredményeiből látszik, hogy számottevő különbség nem mutatható ki, hiszen mindkét esetben a rostok „dolgoznak”. A hajlításból eredő maximális

Próbatest száma	Geometriai adatok		
	Hosszúság [mm]	Szélesség [mm]	Magasság [mm]
1.	890	20,5	20,5
2.	850	20,5	20,5
3.	707	20,5	20,5
4.	827	20,5	20,5
5.	567	20,5	20,5
6.	856	20,5	20,5
7.	517	20,5	20,5
8.	517	20,5	20,5

Próbatest száma	Álló helyzetű évgűrűk			Fekvő helyzetű évgűrűk		
	Hajlítórengés első három móduszának frekvenciája [Hz]			Hajlítórengés első három móduszának frekvenciája [Hz]		
	Alap	Második	Harmadik	Alap	Második	Harmadik
1.	137,4	378,7	722,9	133,6	372,7	720,3
2.	129,5	375,7	756,9	124,2	372,9	756,7
3.	225,1	605,4	1140,9	221,4	600,5	1123,2
4.	165,2	449,6	861,1	155,3	428,0	834,0
5.	347,1	908,6	1696,7	347,1	926,3	1731,2
6.	143,9	387,5	753,7	144,8	396,3	767,2
7.	417,3	1083,1	2041,0	430,7	1107,9	2088,8
8.	418,2	1081,0	2007,4	434,2	1104,8	2056,6

4.1 táblázat  
Mérési adatok álló és fekvő helyzetű évgűrűk esetén

húzó-, és nyomófeszültségek a szélső szálakban keletkeznek, így ezek minősége a legmeghatározóbb. A próbatestek évgyűrűszélessége egyik esetben sem haladta meg a 2-3 mm-t, mely fontos tény, hiszen a fekvő évgyűrűs vizsgálatnál, szélesebb évgyűrűk esetén a szélső szál, azaz a hajlítófeszültségek maximuma eshetne lazább szerkezetbe, mely valóban nagyobb eltérést eredményezett volna.

A méréseknél alkalmazott próbatesteknek, illetve a vizsgálat tárgyát képező hangszerek hanglapjainak hossz tengelye minden esetben a rostiránnyal esik egybe, s az évgyűrűszélesség is közel azonos, így megállapítható, hogy az évgyűrűk állása nem befolyásolja nagymértékben az eredményeket. A fenti adatok eltérései adódhattak a próbatestek pontatlan kialakításából is, azonban itt jegyzem meg, hogy az eredménytől függetlenül célszerű a hangszerek hanglapjainak álló évgyűrűs anyagot választani, mert az ütőfelületre így egy homogénebb anyagrész esik. Ellenkező esetben képezhetné az ütőfelületet egy lazább korai pászta, mely szerkezetéből adódóan kevésbé tartós a dinamikus ütésekkel szemben.

#### **4.1.5 A gyártás közben felmerülő nehézségek (E/G arány, felületkezelő anyagok hatása)**

##### E/G arány

A xilofonok felső másfél oktávjának készítésekor a gyártó érdekes és főként bosszantó jelenséggel találkozhat. Ebben a tartományban ugyanis a hanglapok geometriai méretének köszönhetően a hajlítórezgésekhez nagyon közeli frekvenciákra kerülhetnek a torziós rezgések frekvenciái is. A jelenség oka a Young-féle rugalmassági modulusz (E) és a nyíró rugalmassági modulusz (G) arányának bizonyos esetei. A jelenség valamelyest előre jósolható, a kellő pontosságú – a végméretre még nem feldarabolt – hosszú rúdiban mért E és G aránya alapján [Fehér 2002]. Azért használható a 'valamelyest' jelző, mert a fa inhomogenitása, illetve a feldaraboláskor történő hibakiejtések módosítják ezen értékeket, és így a végeredmény csak megközelítően tervezhető. Az említett felső hangtartományban - az általánosan alkalmazott hanglapvastagság (~22 mm) mellett - a hosszabb hanglapoknál (220-200 mm) jelentősen alacsony (8-9) E/G arányú, míg a rövidebb (200-130 mm) hanglapoknál a magas (16 feletti) E/G arányú alapanyaggal lehetséges a problémakör elkerülése. Egyes gyártók a torziós rezgések mérséklését a hanglapok alján történő keresztirányú vágásokkal oldják meg – több, kevesebb sikerrel. A leginkább célravezető megoldás: a tervezés (előzetes mérés), illetve a nem megfelelő, „azaz kettős hangzású” hanglapok szelektálása, pótlása.

Próbatest sorszama	Frekvencia értékek	Frekvencia értékek felületkezelés után	Frekvencia érték 34 nap múlva	Tárolási hely	Frekvencia változás [%]
1	721,2	717,3	719,6	Pince	0,32
2	577,2	574,8	577,1	Pince	0,40
3	432,8	431,4	432,8	Pince	0,32
4	583,6	583,3	585,4	Pince	0,36
5	504,5	503,8	505,7	Pince	0,38
6	506,6	505,7	507,4	Pince	0,34
7	599,2	598,0	599,2	Pince	0,20
8	654,8	652,3	654,8	Pince	0,38
9	949,8	947,0	949,8	Pince	0,29
10	654,8	654,1	656,2	Pince	0,32
11	662,9	661,6	663,9	Pince	0,35
12	869,0	867,9	870,1	Pince	0,25
13	555,9	555,0	559,9	Lakót. l.	0,88
14	545,4	545,1	548,9	Lakót. l.	0,69
15	303,2	302,8	306,1	Lakót. l.	1,08
16	672,0	671,4	675,8	Lakót. l.	0,65
17	644,1	644,5	648,7	Lakót. l.	0,65
18	811,9	811,6	817,9	Lakót. l.	0,77
19	586,1	585,8	592,2	Lakót. l.	1,08
20	603,3	603,2	608,9	Lakót. l.	0,94
21	956,3	956,3	966,7	Lakót. l.	1,08
22	598,6	598,7	602,6	Lakót. l.	0,65
23	497,6	497,8	500,2	Lakót. l.	0,48
24	1016,5	1018,8	1025,4	Lakót. l.	0,64
25	641,0	637,9	640,2	Műhely	0,36
26	580,9	579,1	581,2	Műhely	0,36
27	427,7	426,8	428,1	Műhely	0,30
28	662,8	662,7	663,4	Műhely	0,11
29	630,7	629,1	631,2	Műhely	0,33
30	766,9	764,7	766,4	Műhely	0,22
31	708,9	706,3	708,4	Műhely	0,30
32	596,3	594,4	596,1	Műhely	0,29
33	949,7	947,3	949,7	Műhely	0,25
34	689,3	689,0	691,3	Műhely	0,33
35	520,7	520,4	521,6	Műhely	0,23
36	867,8	867,7	869,7	Műhely	0,23

4.2 táblázat  
Frekvenciastabilitás vizsgálat értékei, eredményei

#### A felületkezelő anyagok hatása

A következőkben a frekvencia stabilitását érintő mérések eredményeire térek ki, mellőzve a 4.1.3.1 –ben már bemutatott hőmérséklet, és a nedvességtartalom változása okozta összefüggést. A továbbiakban három különböző felületkezelő anyag frekvenciát módosító hatását tárgyalom, mely vizsgálatra különböző kitettségi helyeken került sor, vizsgálva a tárolási körülmények befolyásoló szerepét is.

A vizsgálat kezdetén különböző, hanglapoknak megfelelő próbatestek készültek, melyek a hajlítórezgések frekvenciájának mérése után három különböző felületkezelő anyaggal (vizes bázisú és lakkbenzines parkettlakk, természetes viasz) lettek kezelve. Ezután ismét a próbatestek rezgésmérése következett. A vizsgálat után három csoportba, különböző kitettségi helyekre (nedves pincehelyiség / $t=20\text{ C}^\circ$ ,  $u=70\%$ /, száraz lakótelepi lakás / $t=25\text{ C}^\circ$ ,  $u=40\%$ /, műhely / $t=22\text{ C}^\circ$ ,  $u=55\%$ /) lettek elszállítva.

A mért adatok szerint, (4.2 táblázat) a pincében tárolt próbatestek frekvenciája a várakozásokkal ellentétben nem csökkent, hanem emelkedett. Ennek egyik oka az lehet, hogy a választott helység nem volt túl nyirkos. A lakótelepi lakásban elhelyezett hanglapok frekvenciája a várakozásoknak megfelelően változott, tehát a választott helyiség kellően száraz volt. A műhelyben tárolt próbatestek frekvenciaváltozása 1%-on belül maradt, tehát megállapítható, hogy a műhely alkalmas a hangszer készítésére. Nagyobb változás esetén a műhelykörülmények nem megfelelőek a gyártásra, hiszen túl nagy bizonytalanságot eredményeznének.

A felületkezelő anyagok tekintetében szintén kijelenthető, hogy csak nagyon kis mértékben befolyásolják a frekvencia értékeket. A mért számadatok alapján a differencia értékek még az egy százalékot sem érik el, így megállapítható, hogy a felületkezelő anyag fajtája - egy rövid idejű (34 nap) vizsgálat alapján - nem befolyásolja a frekvencia stabilitását, illetve annak változását.

#### **4.1.6 Rezonátorok, állványzat**

A rezonátorok kialakítása nagyon hangsúlyos fejezet, mivel adott frekvenciatartományban elengedhetetlen része a tárgyalt hangszereknek. Szerepe a gyorsan elhaló (csillapodó) hang felerősítésében van. Marimbáknál minden hang alatt, xilofonoknál csak a mélyebb hangok tartományánál találunk rezonátorcsöveket. Ezen hangsúlyos rész nem képezi eme dolgozat tárgyát, így most mellőzésre kerül.

Az állványzat kialakítására csupán irányelvek vannak, a lehetőségeknek csak a



---

fantázia, a pénzügyi keret, illetve a már meglévő versenytársak levédett formái szabhatnak gátat. Amire érdemes, (kell), ügyelni:

A szóban forgó hangszerek nem csupán a hangzás miatt 'jelennek meg' a színpadon. Mint hangszer, esztétikai jelentőségük és kiváltképp praktikai szempontjaik is fontosak.

Ami elengedhetetlen:

- kerekeken gördülő (fékezhető) szerkezet,
- állítható magasságú állvány,
- gyors össze-, illetve szétszerelhető rendszer,
- korlátozott súly.

Mindezeknél újra hangsúlyozható, hogy csupán irányelvek léteznek, mivel akad gyártó, aki fittyet hányva ezen elvekre, sokkal inkább a megbízhatóságra törekszik, mit sem gondolva a szállíthatóságra, összeszerelésre; nehéz, de ugyanakkor hihetetlenül masszív hangszert készít.

#### 4.1.7 Ellenőrzés, tárolás

Látható, hogy a hangszer elkészítésének legaprólékosabb része a hanglapok egyenkénti hangolása. A {4.1} összefüggésből látható, hogy hőmérséklet változás hatására (pl: hanglapok melegedése) a hanglapok hangmagassága változik. A gyártás során a mechanikai megmunkálás miatt a melegedés elkerülhetetlen, így a gyártó maga is tapasztalja, hogy több ellenőrzés, újramérés, finomcsiszolás eredményeként jön létre a véglegesen behangolt hanglap, és az is csak egy adott hibahatáron belül.

A korábban említett klimatizálás és újraellenőrzés, - szükség esetén korrigálás – épp ezért elengedhetetlen, hiszen a végfelhasználónál már kevésbé van mód ennek megtételére. Komolyabb gyártók garanciálisan vállalják az új környezetben elhelyezett hangszer „hangjainak mozgásából” eredő problémák javítását. Visszarendelik a hangszert, vagy a helyszínen ellenőrzik adott idő elteltével.

## 4.2 Műszeres mérési eredmények bemutatása

A 25,5 m-es akácfából - ahogy már említésre került - 1099 db próbatest készült a rostirányú hangsebesség, sűrűség, rostirányú E és G moduluszok, rostirányú zsugorodás, illetve a logaritmikus dekrementum méréséhez. Ezen kívül minden 1,5 m-es darabból

Magassági szint		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Hangsebesség	Min	3731	4052	3319	3060	4723	4094	3988	2867	3778	2961	4304	4122	2685	2961	3213	<b>2685</b>
[m/s]	Max	5696	5374	5501	5575	5641	5552	5630	5428	5414	5190	5482	5654	5305	5265	5029	<b>5696</b>
	Átlag	4726	5059	5239	4869	5284	5104	5082	5005	4806	4631	5113	5100	4709	4900	4469	<b>4940</b>
	Szórás	339	238	298	431	208	305	338	386	329	472	293	284	437	339	459	
Sűrűség	Min	615	541	563	552	537	529	558	544	654	549	676	635	668	729	626	<b>529</b>
[kg/m <sup>3</sup> ]	Max	894	869	852	938	833	800	891	823	856	918	821	838	887	905	894	<b>938</b>
	Átlag	769	752	736	754	737	736	739	755	781	792	769	780	826	838	818	<b>772</b>
	Szórás	39	51	48	61	51	43	64	59	39	79	38	43	41	44	73	
E	Min	9,7	12,7	11,6	5,6	13,7	8,9	9,8	4,8	10,9	7,4	13,1	14,2	6,1	17,0	8,3	<b>4,8</b>
[GPa]	Max	21,8	22,9	25,8	24,7	24,1	22,5	22,6	23,5	23,2	21,2	24,1	26,8	23,5	23,7	21,3	<b>26,8</b>
	Átlag	17,5	19,4	20,6	18,1	20,6	19,6	19,2	19,1	18,2	17,1	20,2	20,7	18,8	20,5	16,6	<b>19</b>
	Szórás	2,4	2,1	2,0	3,3	1,9	2,5	2,8	3,2	2,7	3,5	2,8	2,3	3,5	1,6	3,8	
G	Min	-	0,64	0,52	-	-	0,60	0,41	-	0,42	-	0,54	-	0,61	-	0,51	<b>0,41</b>
[GPa]	Max	-	1,47	1,55	-	-	1,32	1,62	-	1,43	-	1,42	-	1,48	-	1,47	<b>1,62</b>
	Átlag	-	1,22	1,14	-	-	1,17	1,06	-	1,19	-	1,20	-	1,16	-	0,99	<b>1,1</b>
	Szórás	-	0,15	0,20	-	-	0,13	0,28	-	0,24	-	0,15	-	0,28	-	0,21	
Log.dek.	Min	21	16	11	18	10	14	12	14	17	19	14	9	18	17	19	<b>9</b>
	Max	42	37	26	47	24	38	49	50	53	60	24	30	40	31	70	<b>70</b>
	Átlag	28	21	15	24	15	20	18	20	25	28	17	17	25	22	35	<b>22</b>
	Szórás	4	4	3	5	3	5	6	6	6	10	2	4	5	3	14	

4.3 táblázat

Hangsebesség, sűrűség, E és G rugalmassági moduluszok, logaritmikus dekrementum értékek a fa teljes magasságában (szüretlen adatok)

levágott 10 cm-es – összesen 17 darab korongon – tangenciális irányú hangsebesség mérést végeztem. Két magassági szinten készült dinamikai keménységmérés, tő illetve mellmagasságban pedig juvenilis-érettfá határ meghatározás.

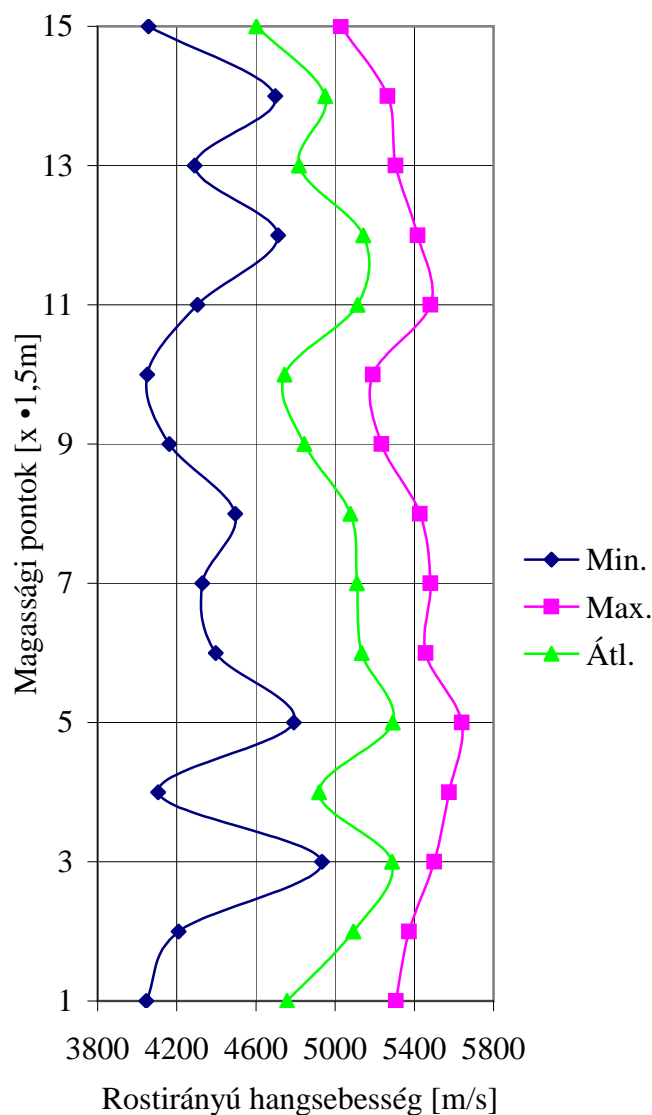
Az eredmények értékelése két lépcsőben történt. A 4.3 táblázat adatai a teljes és tényleges eredményeket, azaz bizonyos próbatestek repedései, korhadásai, egyéb fahibái miatt az átlagtól nagy mértékben eltérő, az összefüggések keresésében „nem értékelhető” adatokat is tartalmaznak. A teljes és valós „kép” miatt azonban elengedhetetlen eme táblázat bemutatása, hiszen a valóságban sem csak hibamentes, tökéletes faanyaggal találkozunk.

A továbbiakban az összefüggések keresése miatt a megengedhető hibahatáron belüli adatszűrést alkalmaztam a hibákra utaló megjegyzések figyelembevételével.

#### 4.2.1 Rostirányú hangsebesség eloszlása

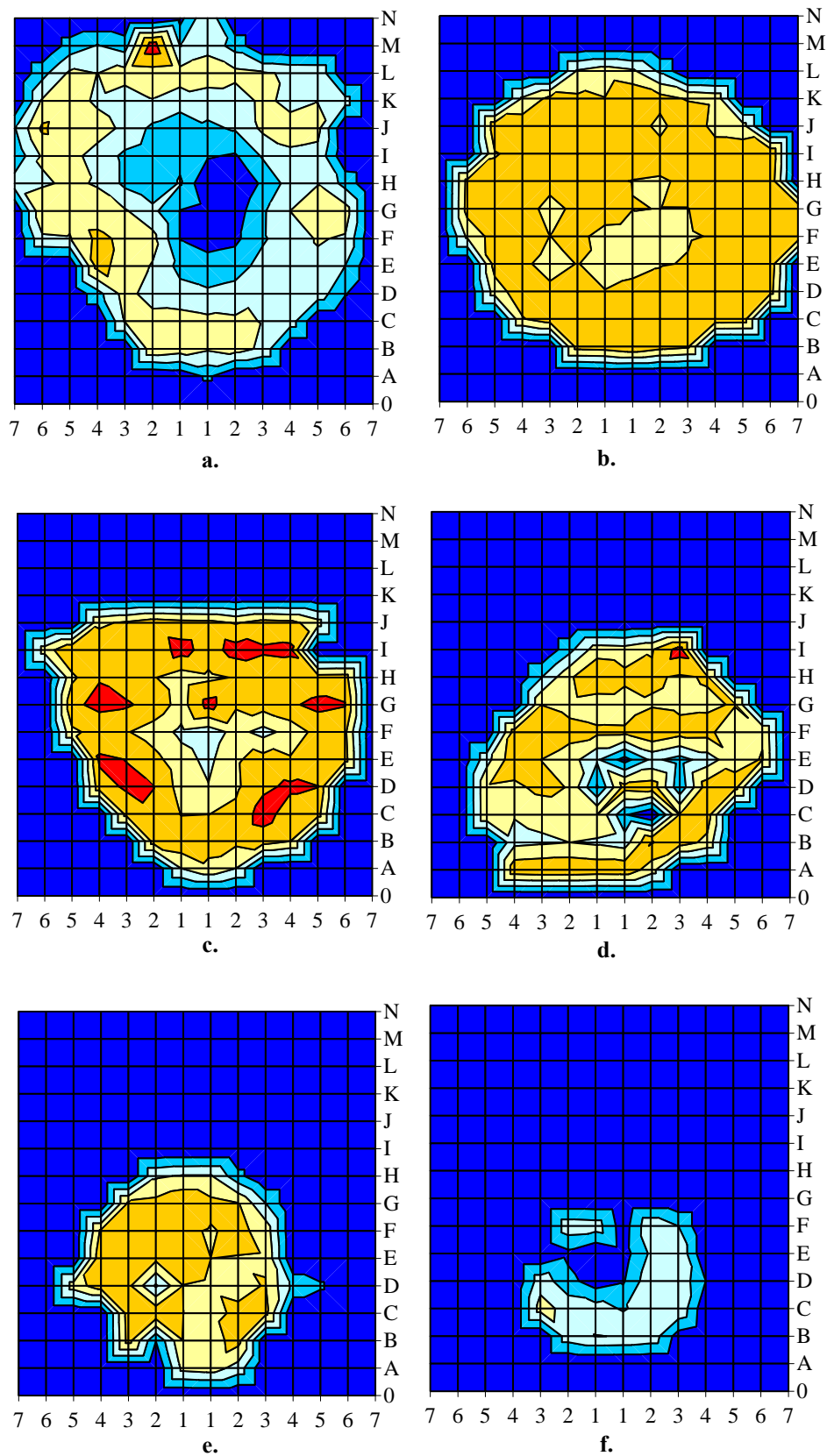
Hangsebesség				
	Min	Max	Átlag	Szórás
<u>15</u>	4056	5029	4602	299
<u>14</u>	4697	5265	4950	129
<u>13</u>	4290	5305	4816	222
<u>12</u>	4711	5418	5141	142
<u>11</u>	4304	5482	5113	293
<u>10</u>	4051	5190	4744	289
<u>9</u>	4162	5235	4845	267
<u>8</u>	4494	5428	5076	209
<u>7</u>	4329	5481	5109	274
<u>6</u>	4396	5457	5133	247
<u>5</u>	4791	5641	5291	200
<u>4</u>	4105	5575	4919	347
<u>3</u>	4933	5501	5288	141
<u>2</u>	4209	5374	5092	181
<u>1</u>	4045	5307	4757	282
	<b>4045</b>	<b>5641</b>	<b>4992</b>	<b>[m/s]</b>

4.4 táblázat  
Rostirányú hangsebesség értékek a fa 15 magassági pontján a tőtől a csúcsig



4.2 ábra

A fa 15 magassági pontja és a rostirányú hangsebesség értékeinek kapcsolata



■ 4000-4300    ■ 4300-4600    ■ 4600-4900    ■ 4900-5200    ■ 5200-5500    ■ 5500-5800

**4.3 ábra**  
 Rostirányú hangsebesség eloszlás [m/s] a fa különböző magassági pontjain  
 a. - 0,5 m, b. - 4 m, c. - 7 m, d. - 10 m, e. - 16 m, f. - 22 m

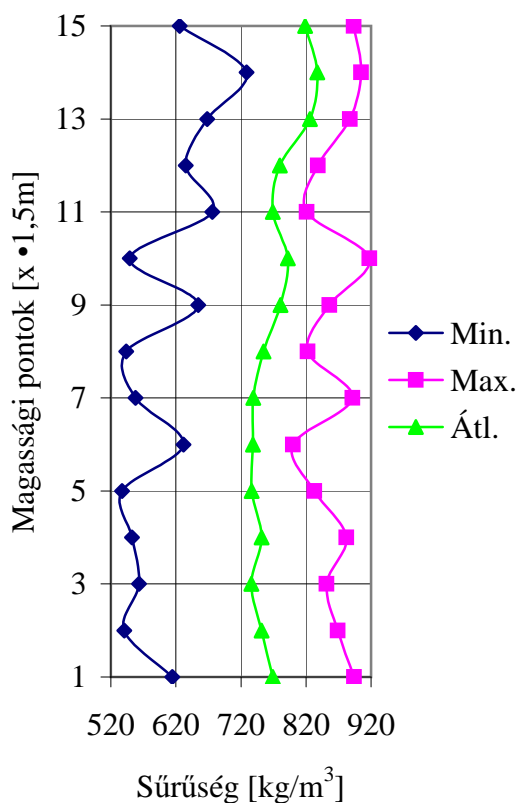
A rostirányú hangsebesség értékek alapvetően meghatározzák a kinyerhető legjobb minőségű faanyag területét. A vizsgált fa laboratóriumi légszáraz körülmények között mért hangsebesség értékei 4000-5600 m/s között változnak. A 4.2 ábrán is jól látható, hogy a legmagasabb átlagértékek a fa 3-5. magassági pontjain, azaz 3-7 m-es magasságban találhatóak. Az egyes szinteken az eloszlást bemutató ábrák (4.3 ábra) jól tükrözik a juvenilis és érettfá paramétereinek különbségeit. A magasabb hangsebesség értékek egyértelműen az érettfá-részben találhatóak. A b. és c. magassági pontok jól tükrözik a legjobb hangsebességi értékekkel rendelkező faanyag megtalálási helyét. A 4.2 ábrán a 4. magassági szinten arányaiban nagy szórás olvasható le, melynek hátterében az ezen a magassági szinten talált rovarkárosítás okozta hibák és bizonytalanabb eredmények húzódnak. A tőközeli anyag a várakozásainkkal ellentétben nem a legnagyobb értékeket hordozza, bár ott feltételeznénk a legnagyobb igénybevételt, s így a fa természetes reakciójaként a legnagyobb szilárdsági paramétereket. Az eredmény azonban összecseng más hasonló kutatási eredményekkel [Huang 2003]. A tendencia jól látható, a fában a hang terjedési sebessége a tőtől egy adott magasságig növekszik, majd átlagértékben valamelyest csökken. A felsőbb magassági pontok figyelembevétele a juvenilis fa nagy területaránya miatt nem olyan jelentős.

#### 4.2.2 Sűrűség eloszlása

Sűrűség				
	Min	Max	Átlag	Szórás
<u>15</u>	626	894	818	73
<u>14</u>	729	905	838	44
<u>13</u>	668	887	826	41
<u>12</u>	635	838	780	43
<u>11</u>	676	821	769	38
<u>10</u>	549	918	792	79
<u>9</u>	654	856	781	39
<u>8</u>	544	823	755	59
<u>7</u>	558	891	739	64
<u>6</u>	632	800	738	35
<u>5</u>	537	833	737	51
<u>4</u>	552	882	752	57
<u>3</u>	563	852	736	48
<u>2</u>	541	869	752	51
<u>1</u>	615	894	769	39
	<b>537</b>	<b>918</b>	<b>772</b>	<b>[kg/m<sup>3</sup>]</b>

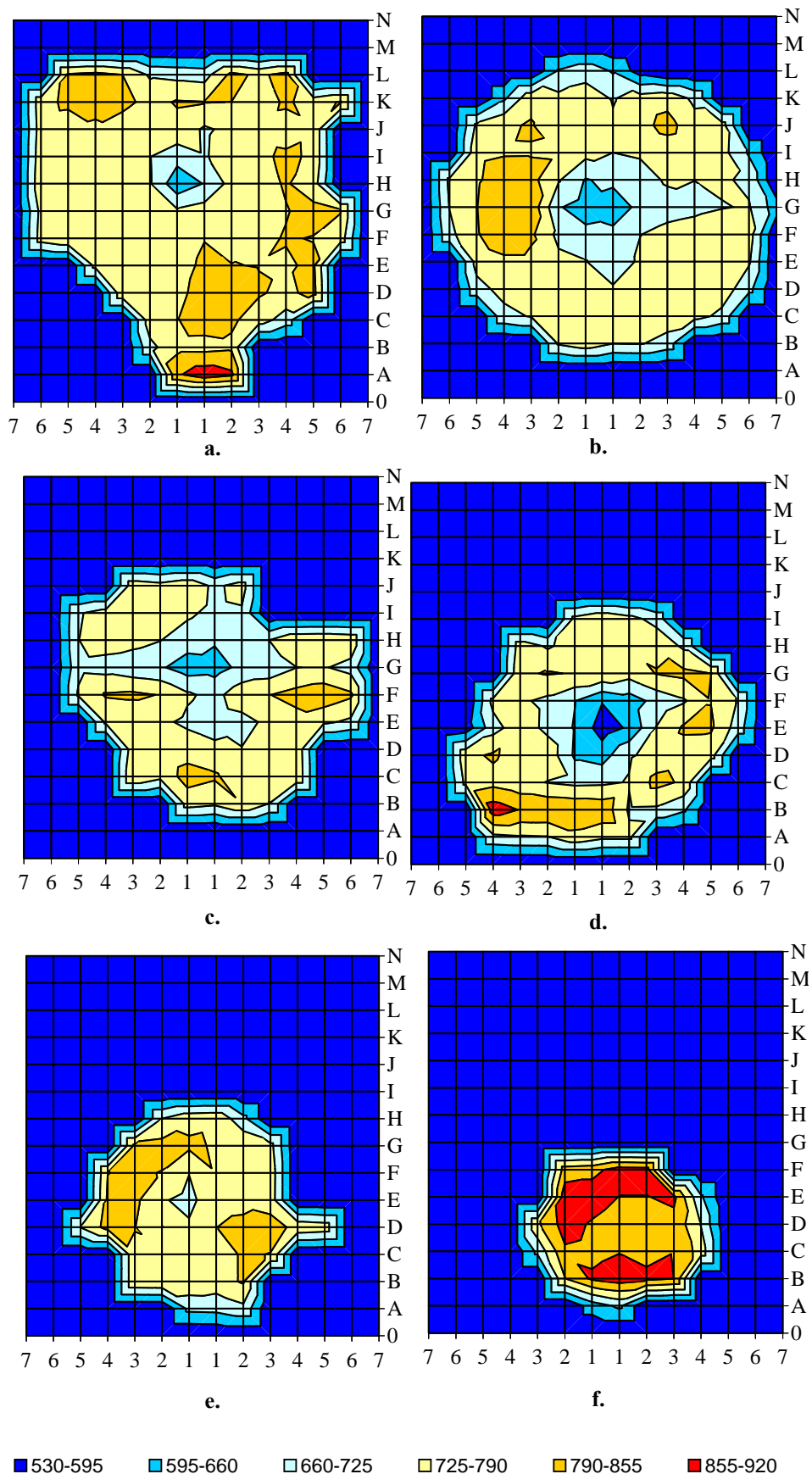
4.5 táblázat

Sűrűség értékek a fa 15 magassági pontján a tőtől a csúcsig



4.4 ábra

A fa 15 magassági pontja és a sűrűség kapcsolata



**4.5 ábra**  
**Sűrűség eloszlása [kg/m<sup>3</sup>] a fa különböző magassági pontjain**  
**a. - 0,5 m, b. - 4 m, c. - 7 m, d. - 10 m, e. - 16 m, f. - 22 m**

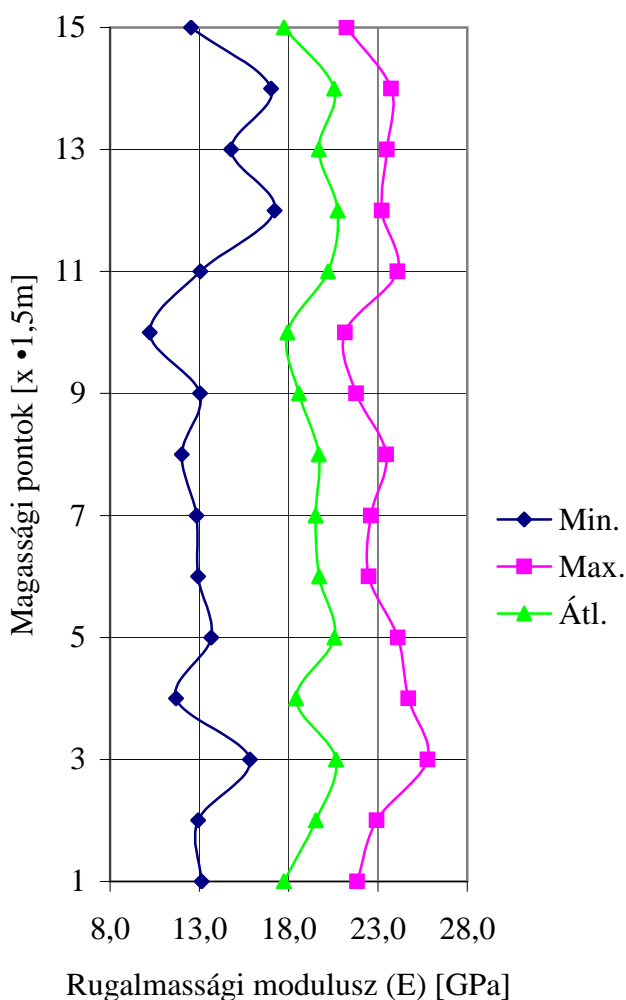
A sűrűség értékek az irodalmi adatokkal teljesen egyezők. [Molnár, 2002] A sűrűségi adatok átlagértékei a 4.4 ábra alapján a tőtől a csúcsig emelkedést mutatnak, A szíjács-geszt-juvenilis különbségei miatt nagy szórások találhatóak egy-egy adott keresztmetszetben is, főként a nagyobb keresztmetszetű alsóbb részeken, míg a homogénebb, főként juvenilis fát tartalmazó magasabb pontokon kisebb szórások láthatók. Összességében elmondható, a sűrűség átlagértékei közel azonosak az egész fán belül. A rostirányú hangsebességgel alkotott összefüggésben a legjobb terület megtalálása szempontjából a hangsebességhez hasonló eredmény várható.

#### 4.2.3 Rugalmassági modulusz (E) eloszlása

E				
	Min	Max	Átlag	Szórás
15	12,5	21,3	17,7	2,5
14	17,0	23,7	20,5	1,6
13	14,8	23,5	19,7	2,0
12	17,2	23,2	20,7	1,5
11	13,1	24,1	20,2	2,8
10	10,2	21,2	17,9	2,4
9	13,0	21,8	18,6	2,2
8	12,0	23,5	19,7	2,1
7	12,8	22,6	19,5	2,3
6	12,9	22,5	19,7	2,2
5	13,7	24,1	20,6	1,9
4	11,7	24,7	18,4	2,8
3	15,8	25,8	20,6	1,9
2	12,9	22,9	19,5	2,0
1	13,1	21,8	17,7	2,1
	<b>10</b>	<b>26</b>	<b>19</b>	<b>[GPa]</b>

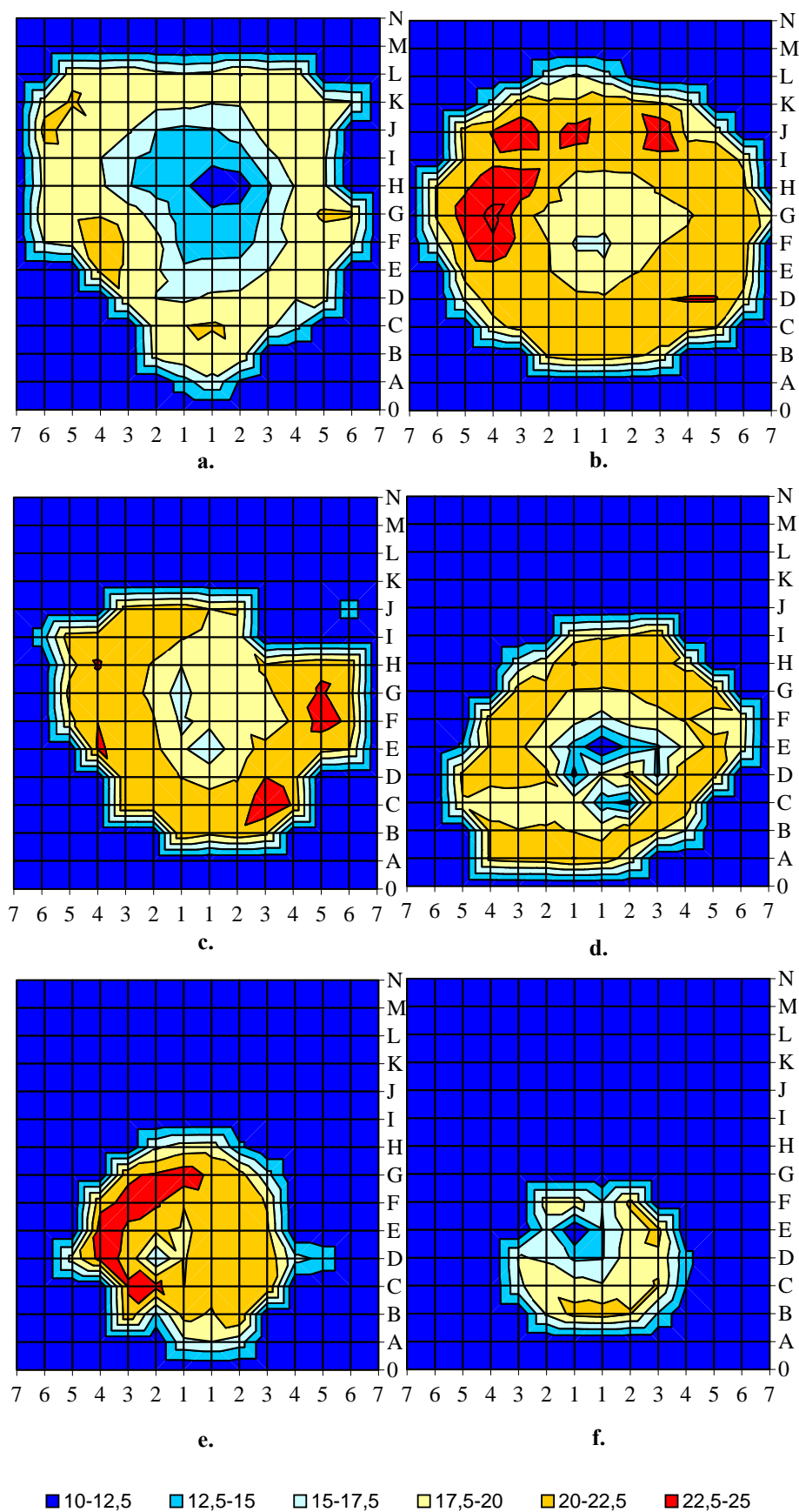
4.6 táblázat

E rugalmassági modulusz értékek a fa 15 magassági pontján a tőtől a csúcsig



4.6 ábra

A fa 15 magassági pontja és az E rugalmassági modulusz kapcsolata



**4.7 ábra**  
 E rugalmassági modulusz eloszlása [GPa] a fa különböző magassági pontjain  
 a. - 0,5 m, b. - 4 m, c. - 7 m, d. - 10 m, e. - 16 m, f. - 22 m

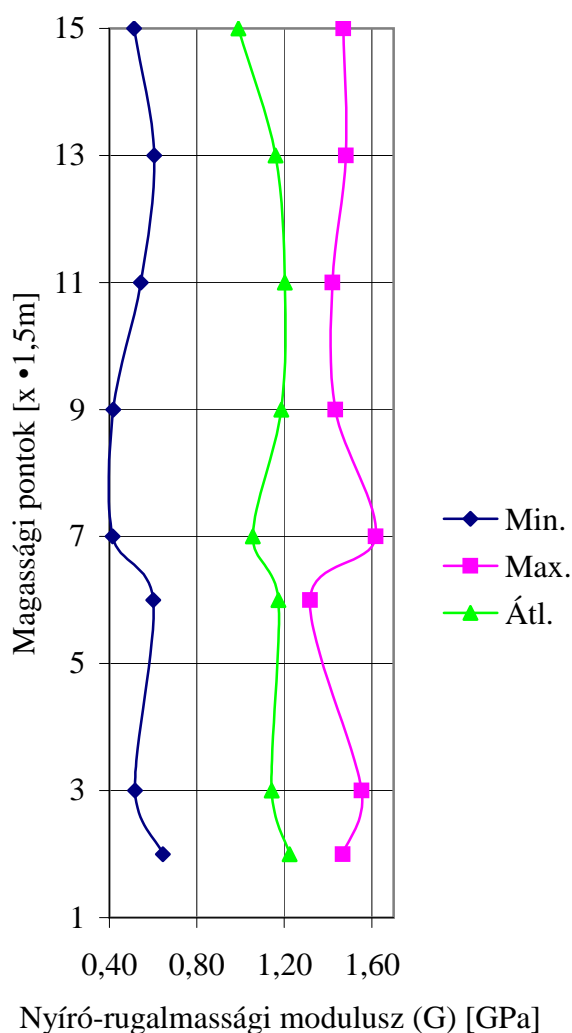


A várakozásnak megfelelően a hangsebesség és sűrűség adatok alapján a hangszergyártás szempontjából legmegfelelőbb, azaz magas rugalmassági modulusz értékek a fa 3-5. magassági pontjain, azaz 3-7 m-es magasságban találhatóak. Figyelemre méltó a 11-14. magassági pontokon mért magas átlagérték, de az itt található nagy juvenilis arány miatt e faanyag csak speciális esetekben (E/G arány miatti problémák) javasolt felhasználásra.

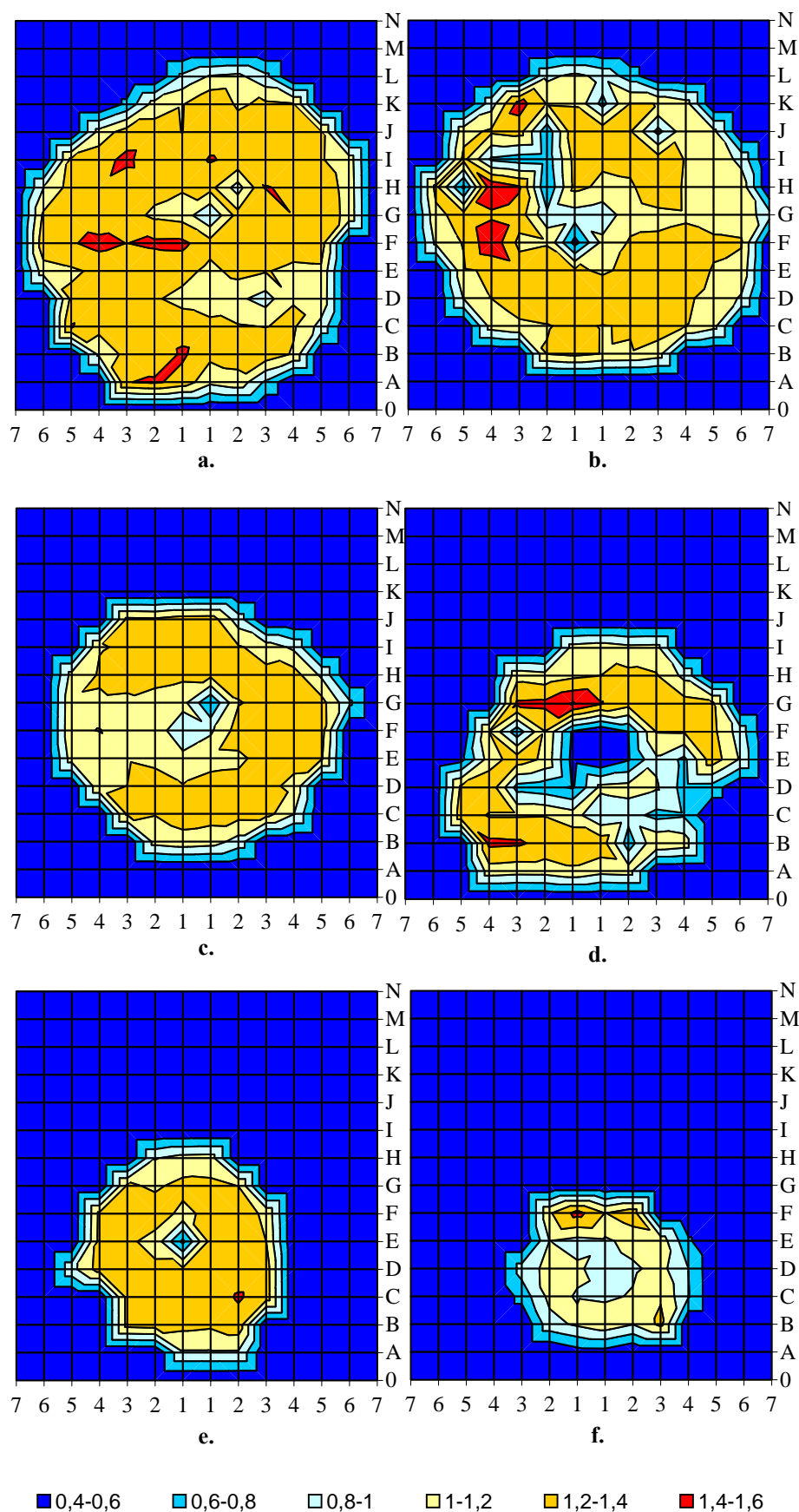
#### 4.2.4 Nyíró-rugalmassági modulusz (G) eloszlása

G				
	Min	Max	Átlag	Szórás
15	0,51	1,47	0,99	0,21
13	0,61	1,48	1,16	0,28
11	0,54	1,42	1,20	0,15
9	0,42	1,43	1,19	0,24
7	0,41	1,62	1,06	0,28
6	0,60	1,32	1,17	0,13
3	0,52	1,55	1,14	0,20
2	0,64	1,47	1,22	0,15
	0,41	1,62	1,14	[GPa]

4.7 táblázat  
G nyíró rugalmassági modulusz értékek a fa 8 magassági pontján a tőtől a csúsig



4.8 ábra  
A fa 8 magassági pontja és az G nyíró rugalmassági modulusz kapcsolata



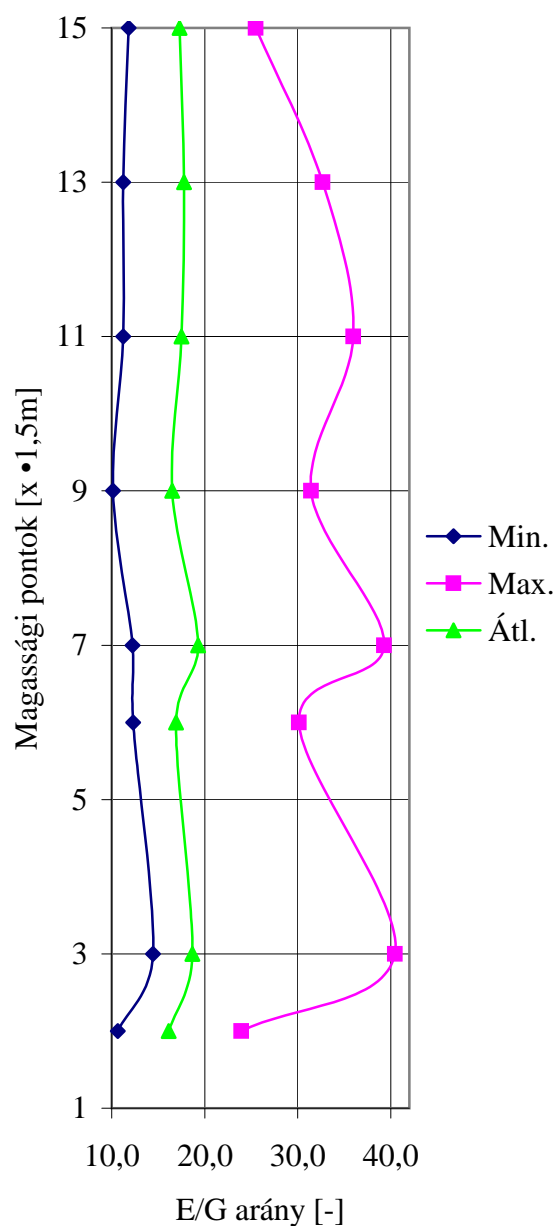
**4.9 ábra**  
**G nyíró rugalmassági modulusz eloszlása [GPa] a fa különböző magassági pontjain**  
 a. - 2,5 m, b. - 4 m, c. - 8,5 m, d. - 10 m, e. - 16 m, f. - 22 m

A G nyíró rugalmassági modulusz adatok átlagértékei a 7-es magasság kivételével csökkenő értéket mutatnak a fa tővétől a csúcsáig. A 7-es szint eltérő adatai a nagy szórással is magyarázhatóak. A G értékek mérésének jelentősége az E rugalmassági modulusz arányával alkotott E/G értékekben van, ezek eloszlásának ismerete ad lehetőséget a kettőshangzás kiküszöbölésére. A kellően alacsony, illetve magas E/G arányú részek alkalmasak a kettőshangzásra érzékeny tartomány alapanyagául.

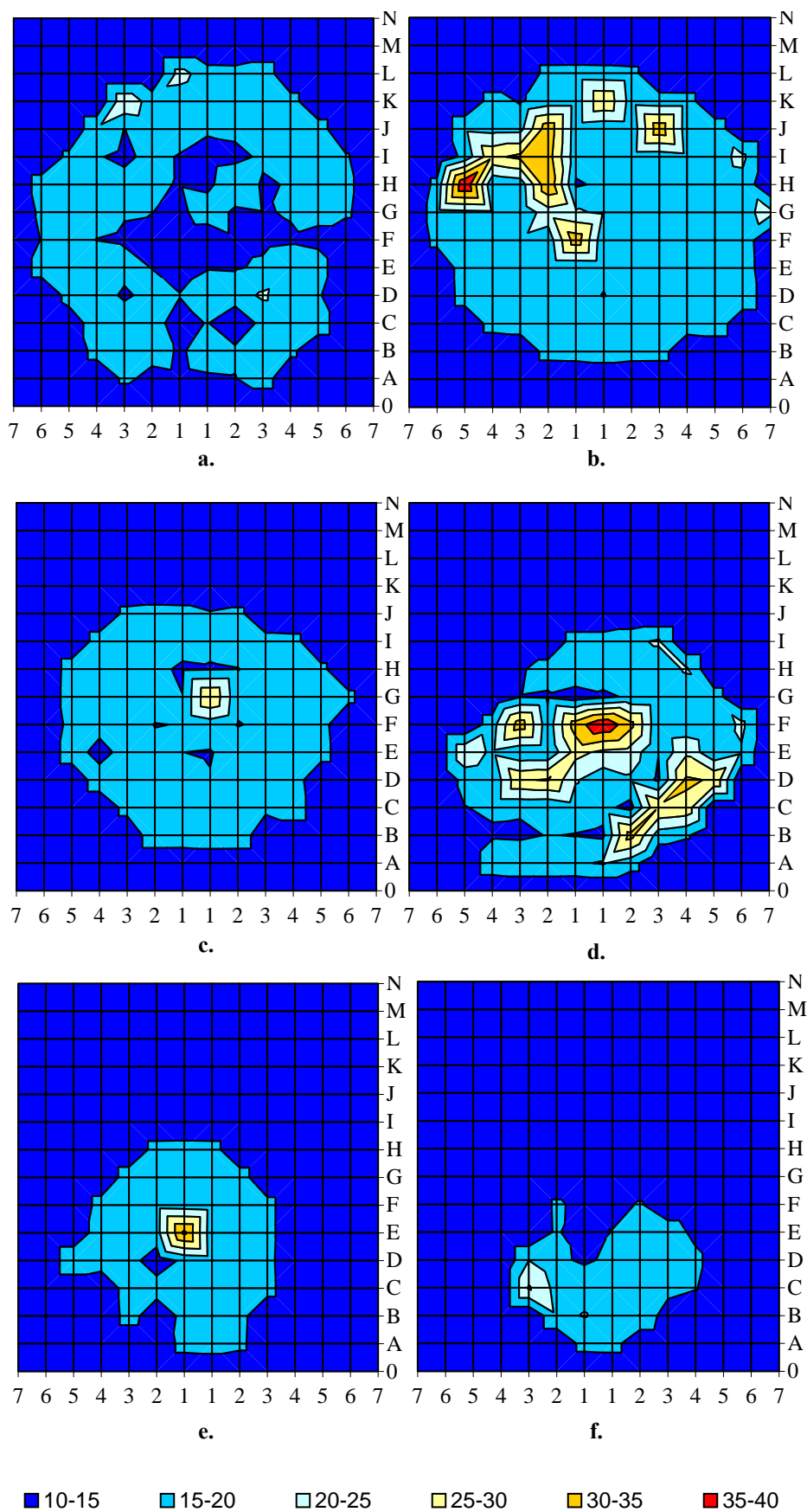
#### 4.2.5 E/G arány eloszlása

	E/G			
	Min	Max	Átlag	Szórás
15	11,8	25,5	17,3	2,8
13	11,3	32,7	17,8	5,4
11	11,2	36,0	17,5	3,2
9	10,1	31,4	16,5	4,6
7	12,2	39,3	19,3	5,8
6	12,3	30,1	16,9	2,0
3	14,4	40,4	18,7	4,7
2	10,6	23,9	16,1	1,9
	10,1	40,4	17,5	

4.8 táblázat  
E/G arány értékek a fa 8 magassági pontján  
a tőtől a csúcsig



4.10 ábra  
A fa 8 magassági pontja és az E/G arány kapcsolata



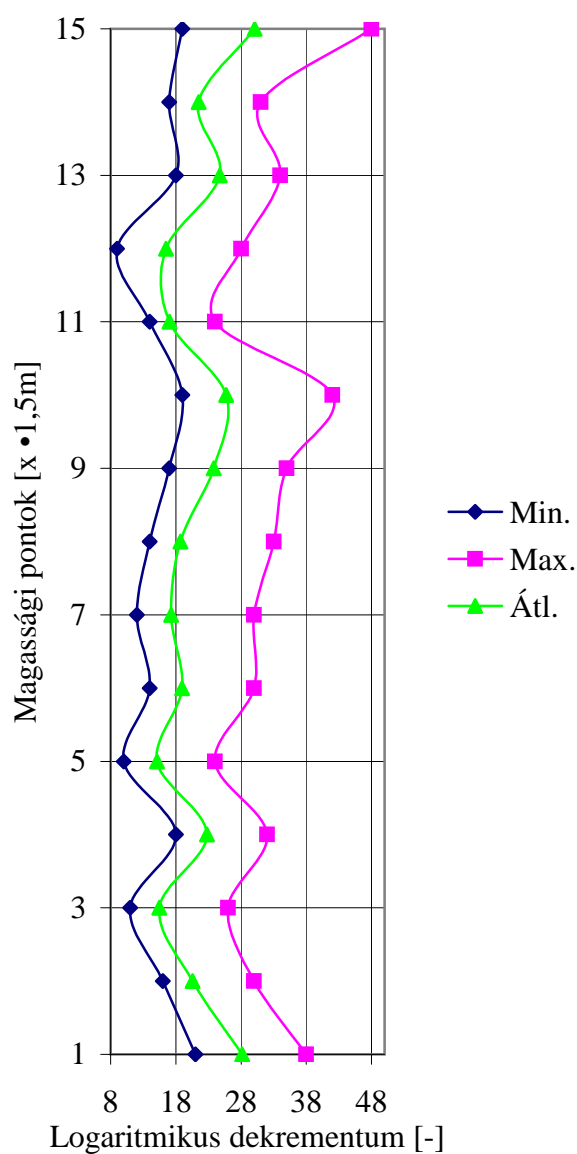
**4.11 ábra**  
 E/G arány eloszlása a fa különböző magassági pontjain  
 a. - 2,5 m, b. - 4 m, c. - 8,5 m, d. - 10 m, e. - 16 m, f. - 22 m

Az E/G értékek eloszlása jól mutatja, hogy főként a bálnél találhatóak magas E/G értékek. Ezen területek bár nem tartoznak az optimális hangszer alapanyag kategóriába, mégis a kettőshangzás problémakör megoldását képezik. A magas, illetve a jelentősen alacsony E/G arányú alapanyaggal lehetséges a problémakör elkerülése és a megfelelő hang terjedési sebesség megléte mellett szükségszerűen alkalmazható e területekről származó faanyag is.

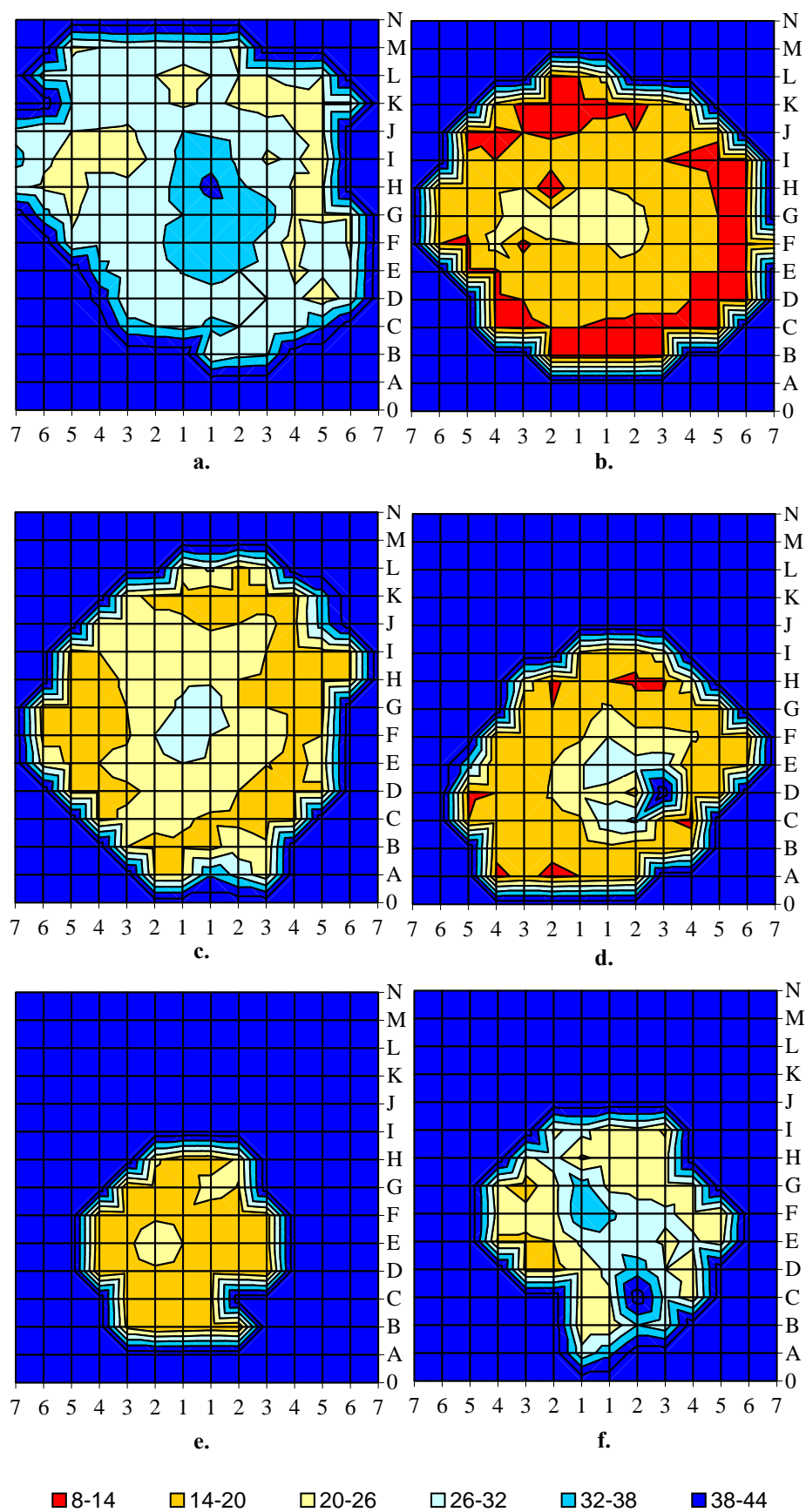
#### 4.2.6 Logaritmikus dekrementum eloszlása

Logaritmikus dekrementum				
	Min	Max	Átlag	Szórás
<u>15</u>	19	48	30	9
<u>14</u>	17	31	22	3
<u>13</u>	18	34	25	4
<u>12</u>	9	28	17	4
<u>11</u>	14	24	17	2
<u>10</u>	19	42	26	6
<u>9</u>	17	35	24	4
<u>8</u>	14	33	19	4
<u>7</u>	12	30	17	4
<u>6</u>	14	30	19	4
<u>5</u>	10	24	15	3
<u>4</u>	18	32	23	3
<u>3</u>	11	26	15	3
<u>2</u>	16	30	21	3
<u>1</u>	21	38	28	4
	9	48	21	

4.9 táblázat  
Logaritmikus dekrementum értékek a fa 15 magassági pontján a tőtől a csúcsig



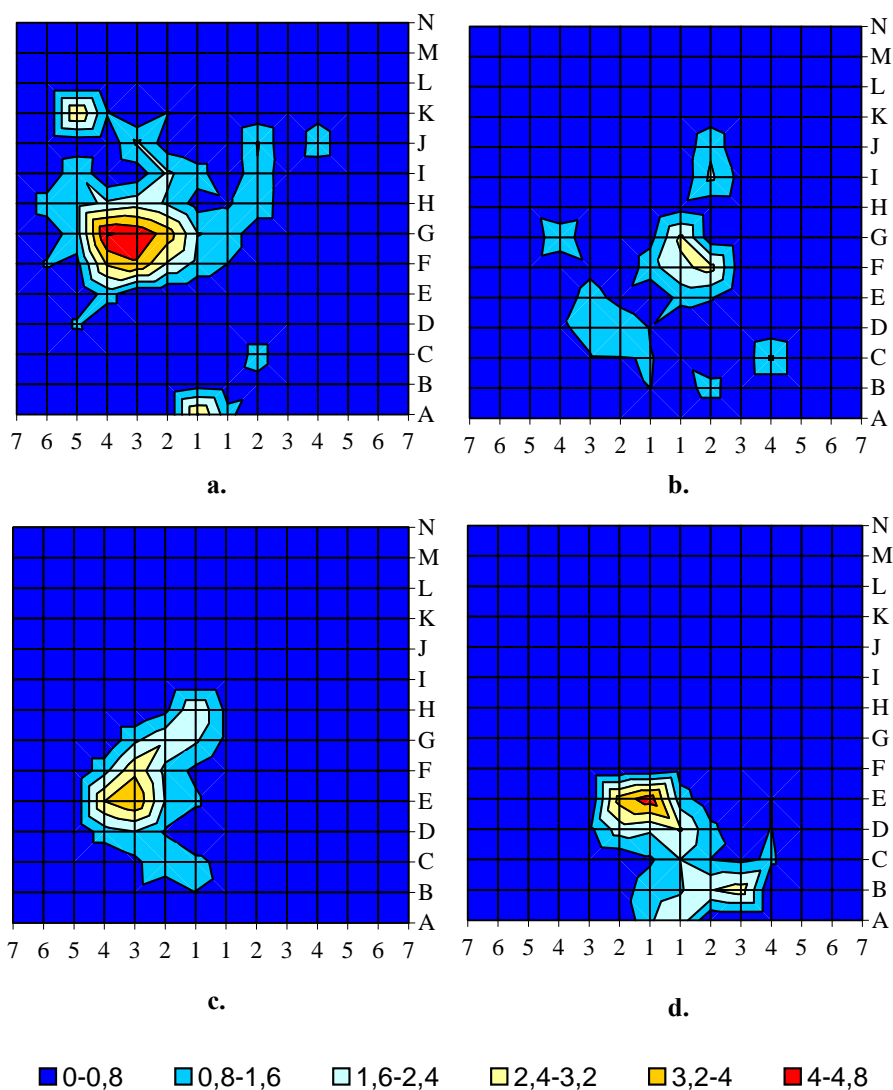
4.12 ábra  
A fa 15 magassági pontja és a Logaritmikus dekrementum értékek kapcsolata



**4.13 ábra**  
 Logaritmusos dekrementum eloszlása a fa különböző magassági pontjain  
 a. - 0,5 m, b. - 4 m, c. - 7 m, d. - 10 m, e. - 16 m, f. - 22 m

A logaritmusos dekrementum értéke minél kisebb, a vizsgált faanyag annál értékesebb hangszerkészítés szempontjából, hiszen minél kisebb, annál hosszabban csengő faanyagot jelent. Az eloszlásokból jól látszik, hogy a legalacsonyabb értékek minden esetben az érettfá tartományba esnek. Átlag és minimum értékek szempontjából is a vizsgált fa 3-5. magassági pontjain, azaz 3-7 m-es magasságban találhatóak az ideális elemek. A 4-es magassági szint ettől némileg eltérő dentenciája a már említett fahibának köszönhető. Jelentős lehet még a fa magasabb pontjain mért alacsony logaritmusos dekrementum érték is, kivált ha az E/G problémakör megoldását tartalmazó faanyagról van szó.

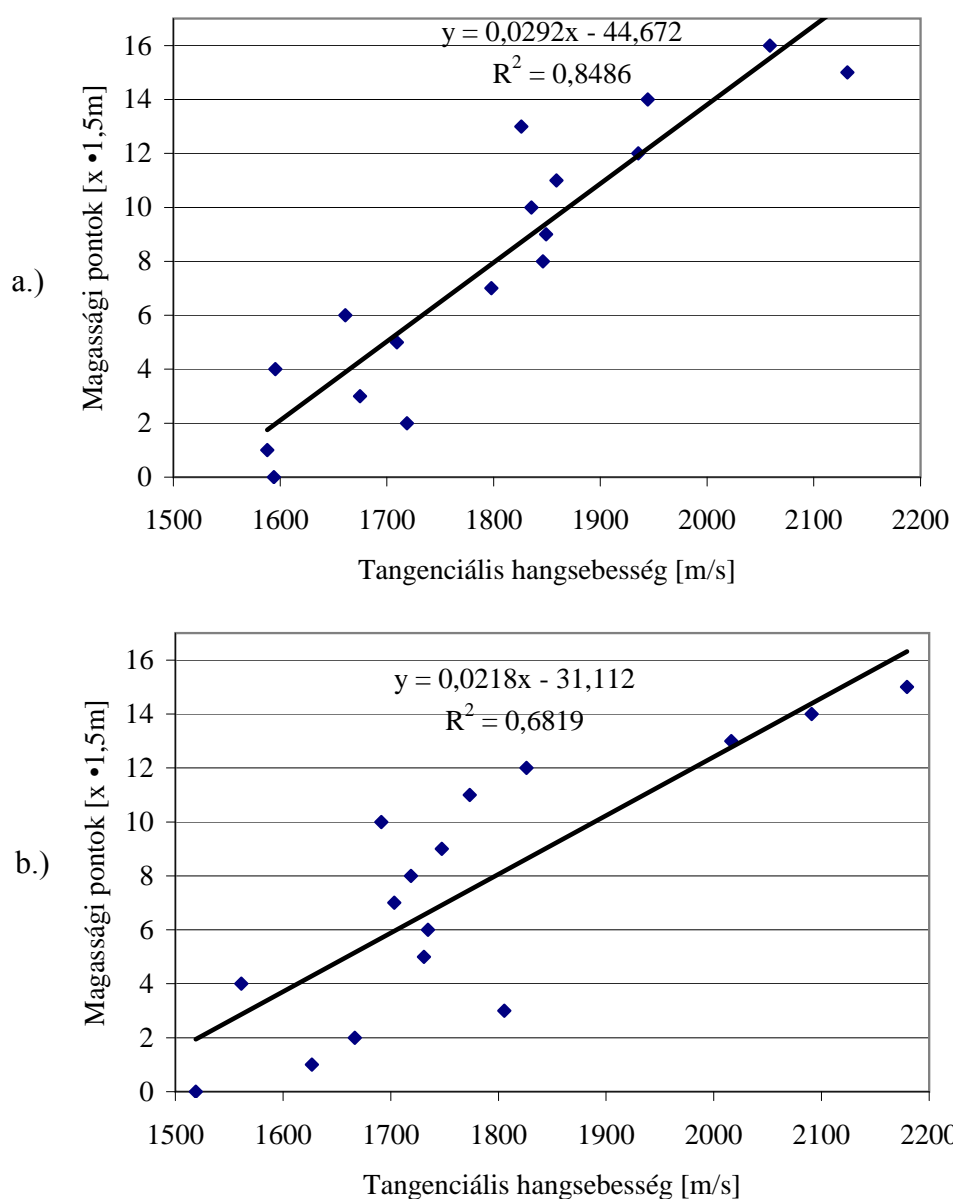
#### 4.2.6 Rostirányú zsugorodási vizsgálat



4.14 ábra  
Rostirányú zsugorodás eloszlása a fa különböző magassági pontjain  
a. - 4 m, b. - 8,5 m, c. - 16 m, d. - 22 m

A zsugorodási vizsgálat elsődleges célja a reakciófa kimutatása. A reakciófa feltételezhetően nagyobb mikrofibrillaszöggel rendelkezik, ezért alacsonyabb rostirányú hangsebességet eredményez. A mérési eredmények 20-30%-os hibával terheltek, habár 2 tizedes pontosságú hossz mérés történt, a bütük gyenge felületi minősége, illetve a mérés közbeni leszorítások feltételezhető különbözősége miatt. Az eredmények alapján nem mutatható ki reakciófa a vizsgált akác faanyagban. A nagyobb rostirányú zsugorodási értékek a juvenilis fában találhatóak a tő és a csúc közeli szinteken is.

#### 4.2.7 Tangenciális hangsebesség mérése



**4.15 ábra**  
Tangenciális irányú sebességértékek a fa 17 magassági pontján a tőtől a csúcsig  
a.) K-D; b.) Ny-D irányú mérések eredményei



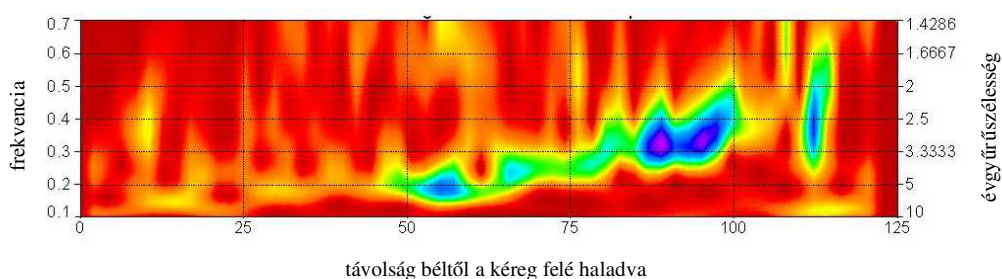
A tangenciális irányú sebességértékek a tőtől a csúcsig növekvő értéket mutatnak. Az egyenletes távolságban lévő korongok és a tangenciális sebességértékek közötti összefüggésben a korrelációs együttható  $r=0,92$  illetve  $r=0,83$ . A felfelé haladva kapott nagyobb sebességértékek az egyre növekvő juvenilis részarány jelenlétét támasztják alá. A juvenilis fában jelen levő nagyobb mikrofibrillaszög rostokra merőlegesen nagyobb sebességet eredményez.

#### 4.2.8 Juvenilis-érettfa meghatározása

##### 4.2.8.1 Juvenilis-érettfa meghatározása wavelet módszerrel

A fák növekedését befolyásoló környezeti hatások ujjlenyomatát végig követhetjük a sűrűség görbe változásain keresztül. A görbéket szemlélve látható, hogy néhol sűrűbb, keskenyebb évgyűrűk követik egymást, egy másik helyen pedig hirtelen szélesebbek következnek. A sűrűség görbék wavelet transzformációja, a sűrűség oszcillációt két dimenziós, frekvencia-távolság tartományon rajzolja újra és a spektrális komponenseket jól elkülöníthető színes skálás gradiensként ábrázolja. Különböző növekedési ciklusok figyelhetők meg a következő (4.16 és 4.17) wavelet ábrákon, mely csoportokra bonthatóak a frekvencia és távolság tartományon. Egy-egy csoportba tartozó évgyűrűk a távolság tengelyen jól elkülöníthetőek, a frekvencia felbontás kárára.

A 4.16 ábra szemlélteti a vizsgált faminta wavelet spektrumát a mellmagassági

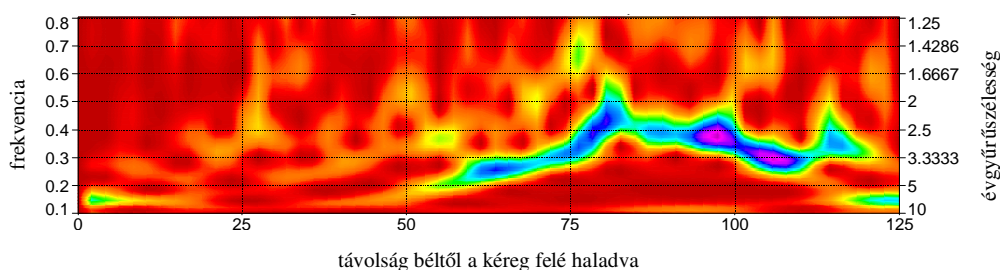


**4.16 ábra**  
Wavelet amplitúdó spektruma a mellmagassági átmérőből származó mintánál

átmérőből. A spektrális komponensek 0.15 és 0.5 1/mm tartományon belül helyezkednek el főként, amely értékek megfelelnek 7.1-2 mm évgyűrű szélességnek. A kiemelkedő amplitúdók (kék és lila színekkel határolt poligonok) nagy vonalakban két csoportra bonthatók. Az első csoport 10 évgyűrűt tartalmaz (50-85 mm között), a következő szintén 10-et (85-100 mm között). 60 és 64 mm között szakadás látható az első frekvencia

folyamban valamilyen környezeti hatásnak megfelelően, ugyanis itt szélesebbek az évgyűrűk, mint előtte vagy utána. Az első frekvencia csoport befejeződése után 85 mm körül egy magasabb frekvenciás folytatás figyelhető meg, amely ennek a következő résznek az egységét is jelenti egyben. Ez az átmenet a két évgyűrű csoport között megfeleltethető a juvenilis és érett farész átmenetével, a szöveti jellemzők határozottan különböző növekedési jelleget öltenek.

A következő 4.17 ábra mutatja a kiválasztott akácfa minta wavelet spektrumát a tő közeli helyről. Ez a spektrum keskenyebb frekvencia tartományt ölel fel, 0.2-0.5 1/mm között, de sokkal jellemzőbb karakterisztikát mutat, mint a mellmagassági átmérőből származó minta spektruma. Az elkülönülő csoportok jellemzően 14 évgyűrűt



**4.17 ábra**  
Wavelet amplitúdó spektruma a tőközeli átmérőből származó mintánál

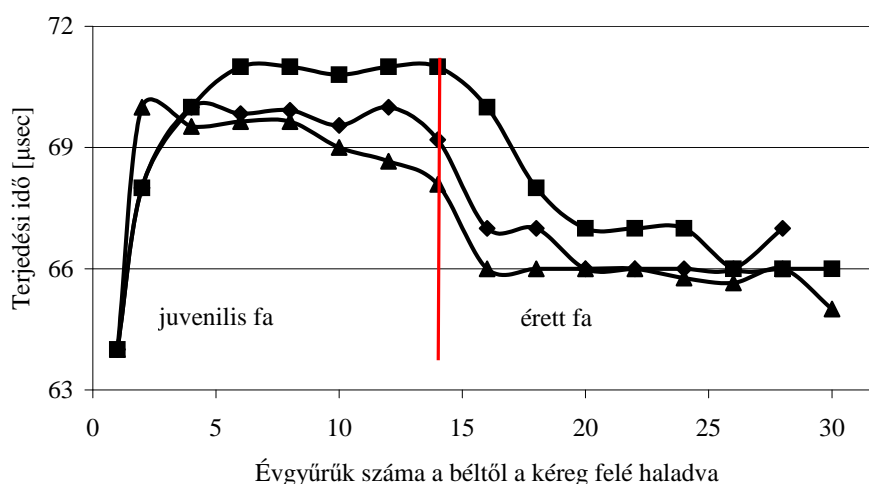
(világoskékkel határolt területek az ábra jobb oldalán) tartalmaznak (85 mm) felett, de rövidebb periódusok is találhatóak. Ez utóbbi periódusok a környezeti hatások hirtelen 1-2 éven belüli jelentős változásából erednek. 85-100 mm között a spektrális komponensek sokkal rendezetlenebbek, mint ezt megelőzően. Az első frekvencia folyamán látszólagos szakadás figyelhető meg a növekedési ritmusban 85 mm után. Ez az első frekvencia folyam vége, amely 3 jellemző amplitúdó területet ölel fel (50-85 mm között), megfeleltethető a juvenilis kor végének.

Az eddig bemutatott wavelet spektrumok karakterisztikái ellentmondanak a szakirodalom eddigi állításaival, miszerint a juvenilis és érett fa átmenet fokozatosan megy végbe. Sokkal inkább eltérő növekedési jelleg jellemzi a xylemnek ezt a két részét, mint azt korábban ismeret volt. [Csóka 2007] A különbségek nyilvánvalóak, jellemezhetőek. A fák évenkénti növekménye periodikus jelleggel bír, minden egyedre külön jellemző gén-kódolással, de azonos funkcióval. A növekedéskor fellépő környezeti hatások szintén megnyilvánulnak benne jól értelmezhető módon, de a juvenilis zóna határára nincsenek hatással.

#### 4.2.8.2 Juvenilis-érettfa meghatározása időméréssel

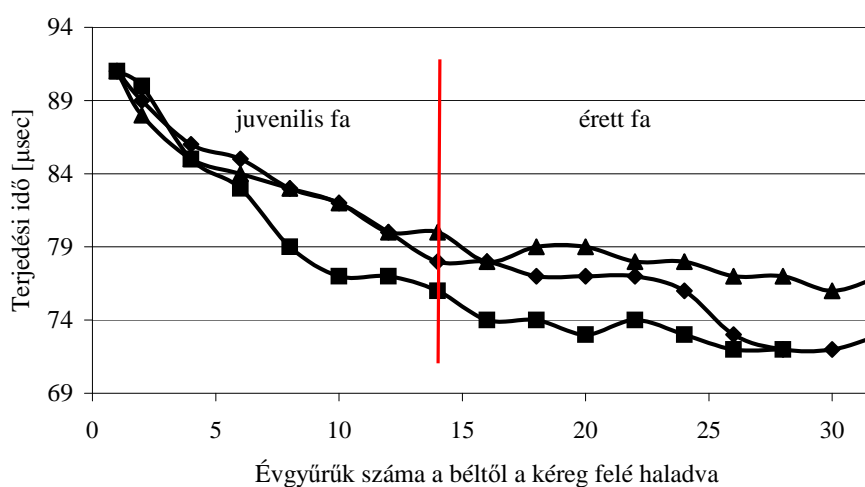
A hangsebességen alapuló juvenilis-érettfa határ meghatározás eredményeit a 4.18 és a 4.19 ábra szemlélteti. A 4.18 ábra a mellmagassági átmérőből származó minta rostirányú hangsebesség változásait mutatja be. A kezdeti szakaszban a bétől távolodva a 14 évgyűrűig egy viszonylag egységes 'plató' figyelhető meg. Ezt követően a terjedési idő lecsökken, majd az inflexiós pont után ismét egységes szerkezetűvé válik. Ez az átmenet az inflexiós pont körül feleltethető meg a juvenilis és érett farész átmenettel, ami egybeesik a wavelet spektrumon látható növekedési átmenettel.

A 4.19 ábra szemlélteti a terjedési idő változásokat a tő közeli minta esetén. A bétől a kéreg felé haladva a terjedési idő fokozatosan csökken, majd a 14 évgyűrű után



4.18 ábra

Terjedési idő változása a bétől a kéreg felé haladva (mellmagassági átmérő)

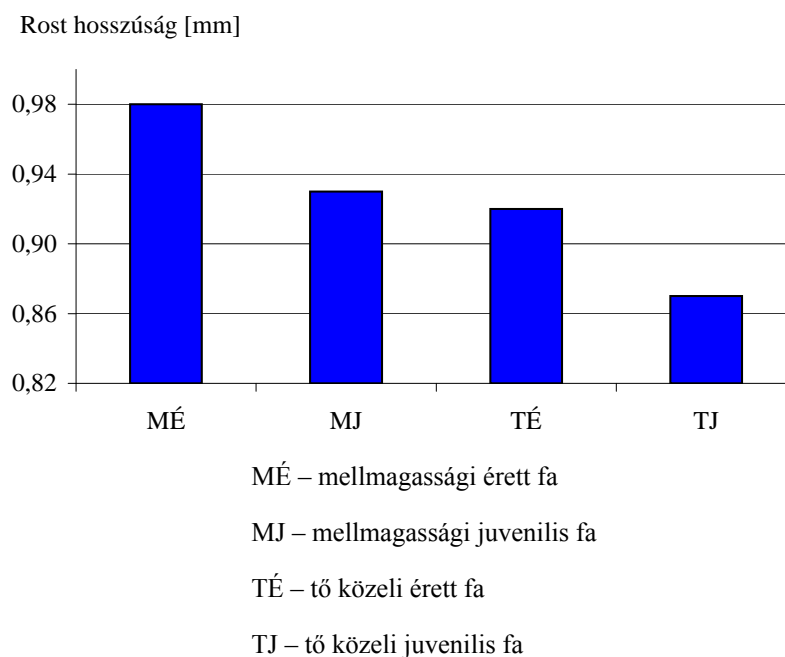


4.19 ábra

Terjedési idő változása a bétől a kéreg felé haladva (tőközeli anyag)

látszólagos egységes folyamattá módosul. A változás itt is szembevetendő, a juvenilis hatás itt is hasonló korban jelentkezik, mint amit a wavelet spektrum mutatott.

A 4.20 ábrán látható rosthosszúság eloszlás alapján igaz az a feltevés, hogy a bétől a kéreg felé haladva a rosthosszúság fokozatosan növekszik, ezért az érettfá szilárdsági jellemzői magasabbak, mint a juvenilis fáé. A változás alapján a juvenilis fában mért rosthosszúsághoz alacsony terjedési sebesség tartozik, míg az érett fában a hosszabb rosthoz magasabb.

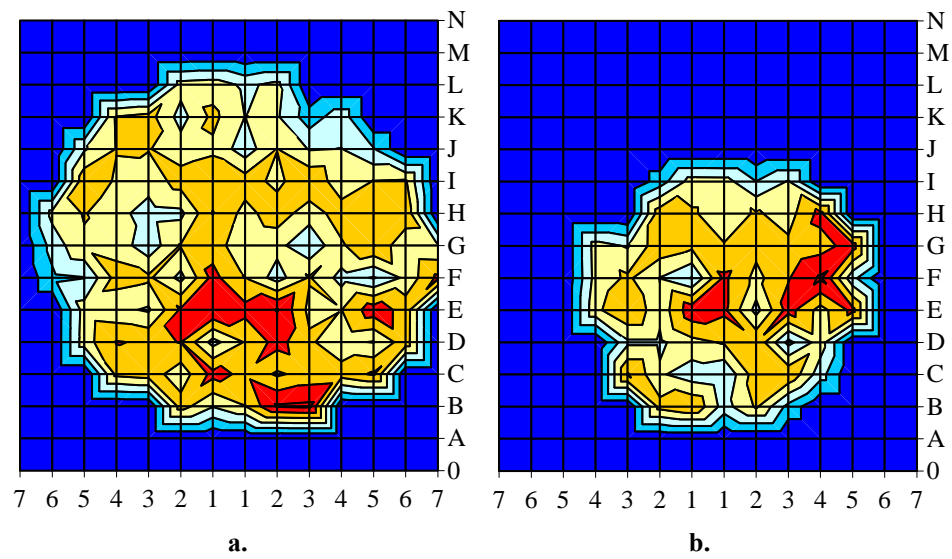


**4.20 ábra**  
 A rosthosszúság változásai a különböző magassági helyekről származó farészek juvenils és érett fa részeit vizsgálva

#### 4.2.9 A felületek dinamikus keménységi vizsgálatának eredményei

Az első mérési sorozatban mért adatok alapján elmondható, hogy a vizsgált felületkezelő anyagok csak nagyon kicsi, szinte elenyésző mértékben befolyásolják a rendelkezésre álló eszközzel mért dinamikai keménységet.

A 4.21 ábrán ábrázolt értékek az azonos próbatesteken, de szomszédos oldalakon mért adatok átlagértékeit tartalmazzák. A két szomszédos oldal keménységmérései közti százalékos eltérés 0 és 25 % között változik. A vizsgált akácfa két magassági szintjén végzett mérések alapján a bél körül, illetve a szíjácsban keletkeztek a legnagyobb benyomódások.



■ 3,5-3,8  
 ■ 3,8-4,1  
 ■ 4,1-4,4  
 ■ 4,4-4,7  
 ■ 4,7-5  
 ■ 5-5,3

**4.21 ábra**  
**Dinamikus keménységmérés a fa különböző magassági pontjain**  
**a. - 4 m, b. - 10 m**

## **5. Az új tudományos eredmények összefoglalása**

1. Az akác rönk akusztikai tulajdonságának eloszlását térképeztem fel abból a célból, hogy megtaláljam egy rönkön belül az optimális faanyag területeket ütőhangszer készítés céljára, azaz hogy hol „növeszti” a fa a legjobb minőségű faanyagot - e célból.

Követelmény, elvárás e téren a magas hangsebesség, magas sűrűség, alacsony logaritmikus dekrementum érték.

Több mint 1000 próbatest megvizsgálása után kijelenthető, hogy a hangszerkészítésre legalkalmasabb alapanyagok egy 25,5 m magas akácfa esetén a 3-7 m-es magasságban, az érettfá övben találhatóak.

2. Akác próbatesteken bemutattam, hogy a nyíró rugalmassági modulusz mérésre - az eddigi lehetőségekhez képest új, és gyors mérési metódus - a nyíró hullámok terjedési idejének csiptetős érzékelőkkel történő mérése alkalmasabb. A terjedési időből a sebességértékek közvetlenül meghatározhatóak.

3. Feltérképeztem az E/G arány rönkön belüli eloszlását abból a célból, hogy a hangszerkészítés során eddig egy megoldatlan problémára megoldást kínáljak. A xilofonok felső hangtartományában jelentkező kettőshangzás tervezhetően kiküszöbölhető, mely nagy selejtsökkentést eredményez. A megoldáshoz az általánosan alkalmazott hanglapvastagság (~22 mm) mellett - a hosszabb hanglapoknál (220-200 mm) jelentősen alacsony (8-9) E/G arányú, míg a rövidebb (200-130 mm) hanglapoknál a magas (<16) E/G arányú alapanyaggal lehetséges a problémakör elkerülése. Jelentősen magas (<30) E/G arányú faanyag jellemzően a bél körül található.

4. A fából készült ütőhangszerek alapanyagául szolgáló faanyag egyik legfontosabb követelménye a „hosszan csengő hang”. Ehhez alacsony (>20) logaritmikus dekrementumu faanyag szükséges. Alacsony (>20) logaritmikus dekrementummal rendelkező faanyag egy 25,5 m magas akácfa esetén a 3-7 m-es magasságban, az érettfá övben található.

## **6. Konklúzió**

Méréseim során azt tűztem ki célul, hogy feltárom egy teljes fa három dimenziós hangtérképét. A mérésekhez kiválasztott közel 26 méteres, kb. 32 éves akác rönk a valóságnak megfelelő hangszerfa alapanyag. Az eredmények segítenek eligazodni a hangszerfa beszerzés folyamatában: a gyártónak elengedhetetlen a fák döntésénél jelen lenni, és csak a szükséges rönkdarabokat megvásárolni. Így lényeges költségcsökkentés érhető el az alapanyag beszerzés terén, illetve teljes mértékben végigkövethető a vásárolt faanyag feldolgozás közben zajló tárolási, szárítási körülménye.

A mérések rámutattak, hogy egy fán belül is nagy eltérések mutatkoznak a faanyag rugalmas állandói szempontjából, melyek a hangszerkészítés folyamatában befolyásoló tényezők. Eredményként említhető, hogy az egyik legnagyobb hangszergyártási probléma - a kettőshangzás jelensége, - tervezéssel elkerülhető, mely sok bosszúságot és nem kevés költséget kímél meg a gyártó számára.

A juvenilis-érettfa határ pontos meghatározása, és a két terület eltérő mechanikai adottságai rávilágítottak, hogy törekedni kell a lehetőségekhez mérten idősebb faanyagok - nagyobb érettfa részarány - kiválasztására, ugyanakkor a már említett kettőshangzás problémakörének megoldásában segítség lehet a bélhez közeli juvenilis faanyag is.

Sopron, 2010. május

Horváth Miklós

## **A dolgozat témájához kapcsolódó publikációk**

*Tudományos folyóiratokban, konferencia-kiadványokban megjelent cikkek:*

1.) Horváth M., Divós F., - **Faanyag rugalmas állandóinak dinamikus meghatározása, összehasonlítása** - Faipar - LIV. évf. 2006/4, 3-7 o.

2.) Horváth M, Divós F - **Acoustic Properties of Black Locust Trees** – Proceedings of the 15th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood - 129-132 o.

3.) Horváth M, Divós F - **Acoustic properties of Black locust (Robinia pseudoacacia) wood with regard to percussion instrument manufacturing** – The Third Conference on European Hardwood Research and Utilisation in Europe – Conference proceedings - 72-79 o.

4.) Ott Á, Horváth M, Divós F, - **Dimension stability of beech lumber predicted by variations in stress-wave velocity** – The Third Conference on European Hardwood Research and Utilisation in Europe – Conference proceedings - Abstract - 59 o.

5.) Csóka L, Varga B, Horváth M - **Wavelet transzformációval szétválasztott akácfa juvenilis és érett farészeinek kémiai feltárása** – Papíripar LIII. évf. 1. 2009

6.) Horváth M. - **A 15. Nemzetközi Roncsolásmentes Faanyagvizsgálati Konferencia** - Faipar - LIV. évf. 2007/3, 35 o.

*Tudományos előadások, konferencia előadások:*

1.) Csóka L, Varga B, Horváth M - **Wavelet transzformációval szétválasztott akácfa juvenilis és érett farészeinek kémiai feltárása** – The Third Conference on European Hardwood Research and Utilisation in Europe – Sopron, 2010.05.17

2.) Horváth M, Divós F - **Acoustic properties of Black locust tree** - 15th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood - Duluth, MN, USA, 2007.09.11



3.) Horváth M, Divós F - **Acoustic properties of Black locust (*Robinia pseudoacacia*) wood with regard to percussion instrument manufacturing** - The Third Conference on European Hardwood Research and Utilisation in Europe – Sopron, 2007.09.03

4.) Horváth M - **Faanyag rugalmas állandóinak dinamikus meghatározása, összehasonlítása** - Tudományos Felolvasó Ülés – Sopron MTESZ Székház, 2006.03.14

5.) Fehér Cs, Horváth M, Taschner R - **Koncertminőségű xilofon készítése** - XXVI. OTDK Műszaki Tudományi szekció - Debrecen, 2003.04.16

6.) Fehér Cs, Horváth M, Taschner R - **Koncertminőségű xilofon készítése** - NYME-FMK TDK konferencia - Sopron, 2002

*Poszterek:*

1.) Horváth M, Divós F, Dimitrios T - **Comparision between Different Dynamic Shear Modulus Determination Techniques on Robinia Pseudoacacia Specimens** - 16th International Symposium on Nondestructive Testing and Evaluation of Wood - Beijing, 2009

2.) Divós F, Horváth M – **Visualization of the stress wave propagation in wood** - 14th International Symposium on Nondestructive Testing and Evaluation of Wood - Hannover, 2005

## **7. Irodalomjegyzék**

Ashby MF, Easterling K, Harrysson R, Maiti SK (1985) The fracture and toughness of wood. Proc Roy Soc A398 261–80

Bamber RK, Burley J (1983) The wood properties of radiata pine. Commonwealth Agriculture Bureau, Slough

Bejó L (1999) A dinamikus rugalmassági modulusz mérése hajlítórezgésekkel - Roncsolásmentes faanyagvizsgálat (szerk.: Dr. Divós Ferenc) 13-18 Sopron

Bork I (1995) Practical Tuning of Xylophone Bars and Resonators, Applied Acoustics 46: 103-127.

Bucur V (1995) Acoustics of Wood, New York, CRC Press Inc

Budó Á (1972) Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest

Butterfield BG (1998) Microfibril angle in wood. IAWA/IUFRO International Workshop at Westport, New Zealand, November 1997. University of Canterbury, pp 410

Cave ID (1968) The anisotropic elasticity of the plant cell wall. Wood Sci Technol 2(4): 268–78

Cave ID (1969) The longitudinal Young's modulus of Pinus radiata. Wood Sci Technol 3(1):40–8

Cave ID, Walker JCF (1994) Stiffness of wood in fast-grown plantation softwoods: the influence of microfibril angle. Forest Prod J 44(5):43–8

Chui YH (1991) Simultaneous evaluation of bending and shear moduli of wood and the influence of knots on these parameters, Wood Science and Technology 25: 125-134

Chui YH, Smith I: (1989) Influence of Rotary Inertia Shear Deformation and Support Condition on Natural Frequencies of Wooden Beams - Wood Science of Technology, (24) 233-245

Cowdrey DR, Preston RD (1966) Elasticity and microfibrillar angle in the wood of sitka spruce. Proc Roy Soc B166 245–72

Cown DJ, Herbert J, Ball R (1999) Modelling Pinus radiata lumber characteristics. Part 1: mechanical properties of small clears. NZ J For Sc 29(2):203–13

Cown DJ, Young DG, Kimberley MO (1991) Spiral grain patterns in plantation-grown Pinus radiata. NZ J For Sc 21(2/3):206–16

Csóka L (2007) Ismételt Fourier transzformáció alkalmazása a fa sűrűség eloszlási görbéin - Doktori dolgozat

Divós F, Dániel I, Hodász E, Járasi J (1994) Experimental Investigation of Thirteen Strength Predictor Parameters of Coniferous Wood - Proceedings, First European Symposium on Nondestructive Testing of Wood

Easterling KE, Harrysson R, Gibsons LJ, Ashby MF (1982) On the mechanics of balsa and other woods. Proc R Soc A383 31–41

Fehér Cs, Horváth M, Taschner R (2002) Koncertminőségű xilofon készítése - TDK dolgozat, Sopron

Freberg CR, Kemmler EM (1944) Aircraft Vibration and Flutter, Wiley & Sons

Gallagin WL, Pellerin RF, GG Marra (1966) Nondestructive Evaluation of Wood Strength and Elasticity by Vibration - Holz als Roh- und Werkstoff (24) 460-466

Gibson LJ, Ashby MF (1997) Cellular solids: structure and properties. Cambridge University Press (2nd Edition)

Gordon JE (1978) Structures: or why things don't fall down. Plenum Press, New York

Gordon JE, Jeronimidis G (1974) Work of fracture of natural cellulose. Nature 252(5479):116

Haslett AN, Simpson IG, Kimberley MO (1991) Utilization of 25-yearold Pinus radiata. NZ J For Sc 21(2/3):228–34

Hearmon RFS (1966) Vibration Testind fo Wood, Forest Products Journal, vol.16, No. 8, pp. 29-40

Huang CL, Lindström H, Nakada R, Ralston J (2003) Cell wall structure and wood properties determined by acoustics – a selective review, Holz als Roh- und Werkstoff 61 (2003) 321–335

Jeronimidis G (1980) The fracture behaviour of wood and the relations between toughness and morphology. Proc Roy Soc B208:447–60

Kretschmann DE, Bendtsen BA (1991) Ultimate tensile stress and modulus of elasticity of fast-grown plantation loblolly pine lumber. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI 53705-2398. General Technical Report

Kretschmann DE, Moody RC, Pellerin RF, Bendtsen BA, Cahill JM, McAllister RH, Sharp DW (1993) Effect of various proportions of juvenile wood on laminated veneer lumber. US For Ser Res Pap FPL-RP-521:30 pp.

Lichtenegger H, Reiterer A, Tschegg S, Fratzl P (1999) Experimental evidence for a mechanical function of the cellulose microfibril angle in wood cell walls. Phil Mag A79(9):2173–84

Lindström H, Evans JW, Verrill SP (1998) Influence of cambial age and growth conditions on microfibril angle in young Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.). Holzforschung 52(6):573–81

Mattheck C, Kubler H (1995) Wood: the internal optimisation of trees. Springer-Verlag, Berlin, pp 129

Matthews B, Zombori B, Divós F (1994) The effect of moisture content and temperature on the stress wave paraments, Sopron

Midgley R (1996) Hangszerek enciklopédiája, Budapest

Molnár S (1988) Doktori értekezés A korszerű akácgyártás és a faanyagminőség kapcsolata

Molnár S (2000) Faipari kézikönyv I. (szerk.) Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron

Molnár S (2000) Faipari kézikönyv I. (szerk.) Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron

Mosbrugger V (1990) The tree habit in land plants: a functional comparison of trunk constructions with a brief introduction into the biomechanics of trees. Springer-Verlag, Berlin, 161 p

Pellerin RF, Ross RJ (2002) Nondestructive Evaluation of Wood, p.22, Forest Product Society

Perstorper M (1994) Quality of structural lumber, Chalmers University, Department of Structural Engineering, Thesis, Göteborg, Sweden

Preston RD (1934) The organisation of the cell wall of the conifer tracheid. Phil Trans B224 131–74

Preston RD (1974) The physical biology of plant cell walls. Chapman, Hall, London  
SANZ. 1988. NZ 3631 New Zealand timber grading rules. Standards Assoc NZ, Wellington

Schnell L (1985) Jelek és rendszerek mérés technikája - Műszaki könyvkiadó, Budapest

Szalai J (1994) A faanyag és faalapú anyagok anizotróp rugalmasság- és szilárdságtana, I.rész: A mechanikai tulajdonságok anizotrópiája, Sopron

Tarnóczy T (1982) Zenei akusztika, Budapest

USDA (1999) Wood Handbook: Wood as an engineering material. USDA, Agriculture Handbook No 72. US Govt. Printing Office, Washington D.C., Tables 4-3a & 4-11a

Walker JCF, Butterfield BG (1996) The importance of microfibril angle for the processing industries. N.Z. Journal of Forestry 40(4): 34–40

Walker JCF, Nakada R (1999) Understanding corewood in some softwoods: a selective review. International Forestry Review 1(4): 251–9

Weatherwax RC, Tarkow H (1968) Density of wood substance: importance of penetration and adsorption compression of the displacement fluid. Forest Prod J 18(7): 44–6

Weaver W Jr, Timoshenko SP, Young DH (1990) *Vibration Problems in Engineering*, Fifth edition - John Wiley & Sons

Williams RS, Feist WC (1999) *Selection and Application of Exterior Stains for Wood*. Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin. General Technical Report

Wittmann G, Divos F, Bejo L, Nemeth L (1997) *Robinia as Construction Material and Xylophone Bars* *Journal of the Institute of Wood Science* 15(2), High Wycombe, p.82-86

Zobel BJ, Sprague JP (1998) *Juvenil wood in forest trees*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York

Zobel BJ, van Buijtenen JP (1989) *Wood variation: its causes and control*. Springer-Verlag, Berlin, pp 15

[http://www.hungarobinia.hu/az\\_a\\_kac/index.php](http://www.hungarobinia.hu/az_a_kac/index.php)

## **Köszönetek**

A kutatómunka létrejöttében nyújtott segítségéért szeretnék köszönetet mondani mindenek előtt konzulensemnek, Dr. Divós Ferencnek, aki egyetemre kerülésem első pillanatától fogva mellettem állt, és mindenben segítségemre volt.

Köszönöm Dr. Winkler András bácsinak mindenkor segítő gondoskodását, támogatását.

Köszönöm Dr. Takáts Péter Intézetigazgató úrnak a lehetőséget, és a támogatást, hogy a doktori éveim alatt mellettem állt munkámban.

Köszönöm Németh Péter úrnak a munkához biztosított akác alapanyagot.

Köszönöm Mészáros Istvánnak és Márton Zsoltnak a segítőkész munkát.

Köszönöm Tóth Györgynek, hogy lehetőséget biztosított a Tanműhely használatára.

Végül, de nem utolsó sorban köszönet a családomnak, akik végtelen türelemmel álltak mellettem, és támogattak mindenben, hogy ez a dolgozat létrejöhessen.

1. magassági szinten mért és számított adatok táblázata

P. sz.	Hossz	Szél.	Vast.	Tömeg	Long. frekv.	Hajlító frekv.	Tranzv. Idő	Megj.	Rostir. hangseb	Sűrűség	E	G	E/G	Log. dek.
	[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[Hz]	[Hz]	[ms]		[m/s]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[GPa]	[GPa]		
A <sub>1</sub>	379	19,15	6,4	39,3	5366	-	-	szél	4067	846	14,0	-	-	-
A1	438	18,34	10,0	71,8	4972	-	-	szél	4355	894	17,0	-	-	-
A2	364	19,43	5,0	30,7	5125	-	-	szél	3731	868	12,1	-	-	-
B <sub>2</sub>	454	20,20	18,0	116,6	5680	509,8	-	szél	5157	706	18,8	-	-	-
B <sub>1</sub>	459	19,89	20,7	145,6	5513	461,6	-		5061	770	19,7	-	-	-
B1	468	18,11	20,8	135,4	5277	405,5	-		4939	769	18,8	-	-	26
B2	470	19,26	20,4	143,3	5355	433,8	-		5034	777	19,7	-	-	30
B3	433	-	-	80,6	5580	-	-	szél	4832	-	-	-	-	31
C <sub>3</sub>	542	-	-	110,2	4539	-	-	szél	4920	-	-	-	-	34
C <sub>2</sub>	559	20,40	23,0	199,5	4494	332,1	-		5024	761	19,2	-	-	32
C <sub>1</sub>	606	19,55	23,0	214,6	4155	267,1	-		5036	788	20,0	-	-	30
C1	633	18,41	23,0	219,0	3934	220,4	-		4980	817	20,3	-	-	33
C2	516	19,77	23,0	187,9	4797	360,2	-		4951	801	19,6	-	-	32
C3	535	20,00	23,0	186,2	4569	337,3	-		4889	757	18,1	-	-	26
C4	471	19,90	23,0	149,3	5045	401,9	-	szél	4752	693	15,6	-	-	28
C5	362	-	23,0	45,8	5355	-	-	szél	3877	-	-	-	-	37
D <sub>4</sub>	546	-	-	62,9	4108	-	-	szél	4486	-	-	-	-	42
D <sub>3</sub>	548	20,04	18,7	159,1	4578	334,8	-		5017	775	19,5	-	-	27
D <sub>2</sub>	577	19,50	18,7	162,2	4119	287,0	-		4753	771	17,4	-	-	27
D <sub>1</sub>	579	19,32	18,7	160,2	4072	280,2	-		4715	766	17,0	-	-	28
D1	658	17,10	18,7	174,2	3533	194,0	-		4649	828	17,9	-	-	30
D2	607	17,82	18,7	164,5	3882	228,5	-		4713	813	18,1	-	-	29
D3	693	19,51	18,7	201,4	3495	199,1	-		4844	797	18,7	-	-	32
D4	572	19,71	18,7	163	4173	293,0	-		4774	773	17,6	-	-	27



D5	444	20,11	18,7	135,5	5372	495,5	-		4770	812	18,5	-	-	23
D6	382	-	18,7	55,2	5651	-	-		4317	-	-	-	-	28
E4	370	19,87	24,0	131,3	7172	-	-	szél	5307	744	21,0	-	-	33
E3	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-
E2	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-
E1	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-
E1	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-
E2	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-
E3	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-
E4	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-
E5	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-
E6	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-
F6	526	20,20	19,21	154,2	4606	354,0	-	szél	4846	755	17,7	-	-	-
F5	470	20,38	20,35	153,4	5185	457,8	-		4874	787	18,7	-	-	27
F4	520	20,14	20,34	167,1	5074	413,8	-		5277	784	21,8	-	-	30
F3	564	20,30	20,19	172,4	4547	328,6	-		5129	746	19,6	-	-	-
F2	560	20,55	20,50	171,9	4465	319,9	-		5001	729	18,2	-	-	30
F1	579	20,00	20,30	175,0	3704	249,6	-		4289	744	13,7	-	-	37
F1	554	17,00	20,10	149,0	3774	215,4	-		4182	787	13,8	-	-	38
F2	631	18,83	20,33	186,0	3351	200,6	-		4229	770	13,8	-	-	35
F3	554	19,12	20,13	166,3	4116	286,0	-		4561	780	16,2	-	-	-
F4	598	19,47	20,18	186,3	3991	265,5	-		4773	793	18,1	-	-	23
F5	614	20,01	20,23	195,9	4007	263,3	-		4921	788	19,1	-	-	31
F6	496	20,13	20,30	153,6	4908	403,3	-		4869	758	18,0	-	-	25
G7	538	-	19	56,3	3717	-	-	szél	3999	-	-	-	-	-
G6	609	20,46	19	176,2	4237	288,0	-		5161	744	19,8	-	-	34
G5	502	20,21	19	148,6	5009	404,6	-		5029	771	19,5	-	-	-
G4	469	20,34	19	140,9	5375	461,4	-		5042	777	19,8	-	-	-
G3	500	20,32	19	149,6	4932	409,0	-		4932	775	18,9	-	-	28
G2	484	20,77	19	143	4835	426,4	-		4680	749	16,4	-	-	29

G1	495	20,10	19	138,8	4331	335,8	-	göcs	4288	734	13,5	-	-	-
G1	498	17,00	19	121,2	4204	284,0	-	göcs	4187	753	13,2	-	-	35
G2	529	19,13	19	149,5	3914	281,4	-		4141	778	13,3	-	-	-
G3	563	19,91	19	160,3	4047	292,6	-		4557	753	15,6	-	-	35
G4	522	19,54	19	152,6	4694	353,8	-		4901	787	18,9	-	-	25
G5	525	20,02	19	160,9	4788	366,5	-		5027	806	20,4	-	-	24
G6	541	20,45	19	166,7	4660	353,0	-	szél	5042	793	20,2	-	-	25
H7	575	-	19,59	128,2	4126	-	-	szél	4745	-	-	-	-	27
H6	544	20,09	19,87	169,5	4465	339,5	-		4858	781	18,4	-	-	25
H5	574	20,31	20,29	182,6	4313	331,5	-		4951	772	18,9	-	-	23
H4	555	20,41	20,20	172,7	4392	323,1	-		4875	755	17,9	-	-	28
H3	538	20,30	20,20	162,4	4212	319,0	-		4532	736	15,1	-	-	28
H2	535	20,38	20,05	159,1	4086	311,5	-		4372	728	13,9	-	-	29
H1	283	20,28	20,64	72,8	8166	1089,0	-	BÉL, rep., kor.	4622	615	13,1	-	-	35
H1	587	18,08	19,91	140,2	3260	186,5	-	göcs, rep., kor.	3827	663	9,7	-	-	40
H2	567	19,70	19,72	164,8	<u>3400</u>	242,0	-	göcs, rep., kor.	3856	748	11,1	-	-	-
H3	616	19,79	19,86	186,3	3535	231,1	-		4355	769	14,6	-	-	-
H4	462	20,04	19,81	145,8	5111	447,6	-		4723	795	17,7	-	-	25
H5	622	20,19	20,01	190,8	3931	255,7	-		4890	759	18,2	-	-	25
H6	606	20,42	-	159,7	3713	-	-	szél	4500	-	-	-	-	-
I7	584	-	-	157,4	3743	-	-	szél	4372	-	-	-	-	34
I6	526	20,00	19,90	161,1	4695	361,7	-		4939	770	18,8	-	-	27
I5	507	20,53	19,90	157,7	4918	396,7	-		4987	761	18,9	-	-	24
I4	496	20,38	19,90	153,5	4835	394,8	-		4796	763	17,6	-	-	24
I3	477	20,30	19,90	143,6	4749	405,1	-		4531	745	15,3	-	-	<u>22</u>
I2	451	20,38	19,90	132,9	4898	452,3	-		4418	727	14,2	-	-	-
I1	385	20,44	20,30	109,3	5906	602,9	-		4548	684	14,1	-	-	-

I1	490	18,30	20,00	128,6	4418	332,1	-		4330	717	13,4	-	-	36
I2	469	19,31	19,50	135,2	4544	369,2	-		4262	766	13,9	-	-	-
I3	495	19,71	19,50	148,0	4678	377,5	-		4631	778	16,7	-	-	<u>25</u>
I4	524	20,27	19,50	165,9	4629	361,2	-		4851	801	18,9	-	-	27
I5	518	20,06	19,50	158,3	4648	365,0	-		4815	781	18,1	-	-	21
I6	471	-	19,50	68,8	4294	-	-	szél, rep.	4045	-	-	-	-	-
J7	519	-	-	98,7	4409	-	-	szél	4577	-	-	-	-	30
J6	571	20,28	20,26	178,5	4604	319,1	-		5258	761	21,0	-	-	26
J5	543	20,51	20,17	169,6	4563	347,0	-		4955	755	18,5	-	-	26
J4	582	19,63	19,70	176,6	4307	282,6	-		5013	785	19,7	-	-	-
J3	486	20,11	20,17	150,0	4980	416,8	-		4841	761	17,8	-	-	<u>25</u>
J2	548	19,90	20,51	163,5	4130	297,0	-		4526	731	15,0	-	-	-
J1	515	17,87	20,11	143,1	4187	297,2	-		4313	773	14,4	-	-	32
J1	498	20,06	20,35	145,3	4567	397,4	-		4549	715	14,8	-	--	-
J2	501	20,12	20,48	153,5	4617	388,2	-		4626	744	15,9	-	-	<u>30</u>
J3	507	20,34	20,41	161,8	4890	391,7	-		4958	769	18,9	-	-	-
J4	519	20,36	20,40	164,2	4818	382,3	-		5001	762	19,1	-	-	26
J5	537	20,42	20,41	174,6	4633	357,0	-		4976	780	19,3	-	-	25
K6	521	19,42	20,13	156,5	4734	350,0	-		4933	768	18,7	-	-	-
K5	595	19,37	18,07	167,3	4219	278,9	-		5021	803	20,2	-	-	<u>32</u>
K4	592	18,39	18,08	157,3	4099	275,8	-		4853	799	18,8	-	-	-
K3	481	19,28	17,32	129,4	4940	401,5	-		4752	806	18,2	-	-	<u>29</u>
K2	492	19,19	20,04	146,2	4966	385,9	-		4887	773	18,5	-	-	27
K1	475	18,26	19,63	135,3	5051	394,5	-		4798	795	18,3	-	-	25
K1	559	18,97	17,71	148,6	4220	287,0	-		4718	791	17,6	-	-	27
K2	576	19,41	18,08	159,6	4115	280,7	-		4740	790	17,7	-	-	25
K3	484	19,39	18,21	129,8	5129	409,0	-		4965	760	18,7	-	-	24
K4	549	18,13	17,77	141,4	4397	288,4	-		4828	799	18,6	-	-	-
K5	555	19,30	17,83	145,7	4408	305,4	-	repedt	4893	763	18,3	-	-	25
K6	553	19,50	11,00	94,3	4260	296,0	-	szél	4712	795	17,6	-	-	25

L <sub>6</sub>	519	-	22,40	120,2	4330	-	-	szél	4495	-	-	-	-	29	
L <sub>5</sub>	531	19,37	22,40	184,2	4666	343,4	-		4955	799	19,6	-	-	28	
L <sub>4</sub>	572	18,75	22,40	194,6	4280	289,6	-		4896	810	19,4	-	-	31	
L <sub>3</sub>	565	19,44	22,40	194,3	4438	327,1	-		5015	790	19,9	-	-	27	
L <sub>2</sub>	553	19,20	22,40	170,2	4568	320,6	-		5052	716	18,3	-	-	26	
L <sub>1</sub>	523	18,51	22,40	153,1	4782	343,8	-		5002	706	17,7	-	-	25	
L1	573	18,24	22,40	163,5	4446	288,8	-		5095	698	18,1	-	-	26	
L2	532	19,57	22,40	188,4	4683	349,6	-		4983	808	20,1	-	-	26	
L3	501	19,41	22,40	169,4	4922	287,4	-		4932	778	18,9	-	-	26	
L4	492	18,73	22,40	167,4	4940	399,1	-		4861	811	19,2	-	-	27	
L5	540	-	22,40	158,8	4490	-	-	sz	4849	-	-	-	-	26	
M <sub>5</sub>	528	-	-	147,2	4193	-	-	sz	4428	-	-	-	-	25	
M <sub>4</sub>	481	-	-	135,6	4800	-	-	repedt	4618	-	-	-	-	26	
M <sub>3</sub>	566	-	-	169,8	3948	-	-		4469	-	-	-	-	28	
M <sub>2</sub>	619	-	-	145,9	4601	-	-		5696	-	-	-	-	27	
M <sub>1</sub>	384	-	-	83,5	5971	-	-	repedt	4586	-	-	-	-	-	
M1	522	-	-	143,3	4590	-	-		4792	-	-	-	-	28	
M2	521	-	-	148,8	4305	-	-		4486	-	-	-	-	25	
M3	525	-	-	136,4	-	-	-	sz, repedt		-	-	-	-	-	
N <sub>1</sub>	726	-	-	556	2891	-	-	sz	4198	-	-	-	-	-	
N1	672	-	-	850,9	3643	-	-	sz	4896	-	-	-	-	-	
									Minimum	3731	615	9,7	-	-	21
									Maximum	5696	894	21,8	-	-	42
									Átlag	4726	769	17,5	-	-	28
									Szórás	339	39	2,4	-	-	4
									Mintaszám	132					

2. magassági szinten mért és számított adatok táblázata

P. sz.	Hossz	Szél.	Vast.	Tömeg	Long. frekv.	Hajlító frekv.	Tranzv. Idő	Megj.	Rostir. hangseb	Sűrűség	E	G	E/G	Log. dek.
	[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[Hz]	[Hz]	[ms]		[m/s]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[GPa]	[GPa]		
A <sub>3</sub>	568	21,43	13,00	137,5	4469	-	450,0	szél	5077	869	22,4	1,4	16,1	-
A <sub>2</sub>	633	21,03	20,18	193,9	4085	-	450,0	szél	5172	722	19,3	1,4	13,5	20
A <sub>1</sub>	662	20,43	19,95	187,1	3922	-	480,0	szél	5193	693	18,7	1,3	14,1	20
A1	655	20,68	16,50	149,0	3659	-	522,5	szél	4793	667	15,3	1,1	14,6	37
A2	631	19,65	16,30	141,6	3889	-	495,0	szél	4908	701	16,9	1,1	14,8	30
A3	631	21,17	17,90	129,3	3971	-	532,5	szél	5011	541	13,6	0,8	17,8	22
B <sub>4</sub>	606	21,24	21,83	197,6	4170	255,9	500,0	szél	5054	703	18,0	1,0	17,3	-
B <sub>3</sub>	625	20,64	22,04	216,8	4123	274,9	487,5		5154	763	20,3	1,3	16,1	20
B <sub>2</sub>	615	20,21	22,07	208,7	4272	281,3	482,5		5255	761	21,0	1,2	16,9	18
B <sub>1</sub>	510	19,51	22,27	173,0	5056	384,1	377,5		5157	781	20,8	1,4	14,5	19
B1	608	19,82	22,14	201,6	4330	283,5	472,5		5265	756	20,9	1,3	16,7	18
B2	629	20,73	22,22	215,1	4163	280,6	482,5		5237	742	20,4	1,3	16,1	-
B3	602	20,99	22,19	221,8	4236	293,9	465,0		5100	791	20,6	1,3	15,5	21
B4	613	21,23	22,09	210,7	4193	279,0	485,0	szél	5141	733	19,4	1,2	16,5	-
C <sub>5</sub>	646	21,33	20,61	198,3	3882	-	455,0	szél	5016	698	17,6	1,4	12,4	-
C <sub>4</sub>	652	20,75	20,03	217,4	4006	256,6	520,0		5224	802	21,9	1,3	17,3	18
C <sub>3</sub>	633	20,40	20,55	207,5	4151	268,7	507,5		5255	782	21,6	1,2	17,7	21
C <sub>2</sub>	658	20,16	20,40	217,5	3895	243,8	525,0		5126	804	21,1	1,3	16,7	22
C <sub>1</sub>	628	19,35	20,53	204,3	3661	-	495,0	rep.	4598	819	17,3	1,3	13,1	-
C1	554	20,15	21,80	183,2	4629	336,5	422,5		5129	753	19,8	1,3	15,2	19
C2	576	20,40	22,30	191,3	3654	313,9	447,5		4209	730	12,9	1,2	10,6	-
C3	600	20,62	21,50	198,5	4298	301,7	475,0		5158	746	19,9	1,2	16,6	17
C4	579	21,12	21,30	197,0	4502	330,2	455,0		5213	756	20,6	1,2	16,7	18
C5	597	21,18	22,90	183,4	4355	-	495,0	szél	5200	633	17,1	0,9	18,5	-

D6	671	15,70	-	124,0	3747	-	540,0	szél	5028	-	-	-	-	-
D5	597	21,13	17,30	171,3	4316	305,7	475,0		5153	785	20,8	1,2	16,7	18
D4	572	20,45	16,90	158,5	4609	333,7	450,0		5273	802	22,3	1,3	17,1	18
D3	543	20,53	17,70	151,1	4514	369,0	420,0		4902	766	18,4	1,3	14,3	19
D2	596	20,19	17,50	163,0	4262	284,0	475,0		5080	774	20,0	1,2	16,3	21
D1	549	19,58	17,60	143,5	4335	313,4	450,0		4760	758	17,2	1,1	15,2	23
D1	596	20,24	18,50	156,6	4195	275,6	500,0		5000	702	17,5	1,0	17,5	23
D2	577	20,37	16,80	154,5	4233	295,2	500,0		4885	782	18,7	1,0	17,8	20
D3	581	20,56	17,80	159,1	4324	305,9	527,5		5024	748	18,9	0,9	20,7	17
D4	588	20,96	16,70	159,3	4332	310,4	475,0		5094	774	20,1	1,2	16,9	19
D5	589	21,41	17,90	160,7	4295	309,7	462,5	szél	5060	712	18,2	1,2	15,7	19
E6	609	21,14	20,60	187,9	4309	296,9	487,5	szél	5248	708	19,5	1,1	17,6	23
E5	609	20,90	20,22	195,7	4407	298,7	492,5	göcs	5368	760	21,9	1,2	18,8	19
E4	607	20,73	20,33	195,3	4386	298,8	477,5		5325	763	21,6	1,2	17,5	20
E3	594	20,64	20,76	184,1	4392	302,5	460,0		5218	723	19,7	1,2	16,3	22
E2	519	20,53	21,42	159,3	4933	372,3	392,5		5120	698	18,3	1,2	14,9	24
E1	515	19,92	20,32	155,9	4599	352,4	395,0		4737	748	16,8	1,3	13,1	26
E1	613	19,93	21,12	179,7	4004	254,7	480,0		4909	696	16,8	1,1	14,7	25
E2	545	19,93	20,10	161,7	4581	333,2	417,5		4993	741	18,5	1,3	14,6	23
E3	579	20,62	21,00	182,7	4410	317,0	450,0		5107	729	19,0	1,2	15,7	-
E4	607	20,94	21,10	194,5	4348	297,6	482,5		5278	725	20,2	1,2	17,5	18
E5	638	21,18	20,70	205,6	4135	280,0	507,5		5276	735	20,5	1,2	17,5	22
F6	568	21,22	18,34	178,8	4411	327,8	442,5		5011	809	20,3	1,3	15,2	18
F5	603	20,92	17,65	189,7	4226	297,5	475,0		5097	852	22,1	1,4	16,1	18
F4	536	20,75	17,55	166,7	4724	369,8	410,0		5064	854	21,9	1,5	14,9	18
F3	524	20,64	18,00	157,7	4782	377,5	400,0		5012	810	20,3	1,4	14,6	19
F2	536	20,67	17,70	158,5	4443	351,4	402,5		4763	808	18,3	1,4	12,7	26
F1	476	19,98	17,65	138,0	4461	383,2	360,0	kor.	4247	822	14,8	1,4	10,3	30
F1	530	20,07	17,70	145,3	3823	336,5	412,5	kor., fah.	4052	772	12,7	1,3	9,9	26
F2	480	20,04	18,30	142,7	5042	423,4	370,0		4840	811	19,0	1,4	13,8	24

F3	605	20,42	17,00	179,9	3924	272,8	480,0			4748	857	19,3	1,4	14,1	23
F4	537	20,98	19,20	166,6	4600	364,4	415,0			4940	770	18,8	1,3	14,5	19
F5	458	20,54	19,70	137,9	5344	487,3	347,5			4895	744	17,8	1,3	13,7	20
G6	541	21,16	19,00	157,5	4862	365,4	415,0			5261	724	20,0	1,2	16,2	17
G5	586	20,86	18,10	172,0	4492	316,3	455,0			5265	777	21,5	1,3	16,6	17
G4	589	20,72	18,30	167,4	4408	306,8	457,5			5193	750	20,2	1,2	16,2	18
G3	578	20,43	18,00	160,5	4392	308,4	445,0			5077	755	19,5	1,3	15,2	20
G2	573	20,58	18,80	156,2	4351	300,5	447,5			4986	705	17,5	1,2	15,1	23
G1	520	20,04	18,80	129,3	4570	345,7	400,0			4753	660	14,9	1,1	13,3	27
G1	477	21,05	17,70	110,5	5164	436,2	420,0	BÉL, rep.		4926	622	15,1	0,8	18,7	30
G2	547	20,79	17,50	146,8	4464	336,2	417,5			4884	738	17,6	1,3	13,8	20
G3	570	20,76	17,80	157,5	4376	315,6	440,0			4989	748	18,6	1,3	14,8	20
G4	571	20,72	16,70	165,3	4422	315,2	442,5			5050	837	21,3	1,4	15,2	19
G5	533	20,90	17,60	153,7	4893	378	412,5			5216	784	21,3	1,3	16,2	18
G6	566	19,70	16,20	140,7	4322	-	467,5	sz, csomó fahiba		4893	779	18,6	1,1	16,3	-
H6	574	21,80	19,50	163,7	4450	-	472,5	szél		5109	671	17,5	1,0	17,6	-
H5	591	20,93	19,50	186,9	4505	321,2	460,0			5325	775	22,0	1,3	17,1	17
H4	566	20,57	19,30	175,8	4678	351,7	430,0			5295	782	21,9	1,4	16,1	18
H3	586	20,56	19,30	179,3	4486	327,6	460,0			5258	771	21,3	1,3	17,0	-
H2	554	20,65	19,50	165,7	4720	356,3	425,0			5230	743	20,3	1,3	16,0	23
H1	579	19,74	19,90	166,5	4258	303,9	450,0			4931	732	17,8	1,2	14,6	-
H1	506	20,23	19,70	146,9	4763	377,6	385,0			4820	728	16,9	1,3	13,4	25
H2	547	20,47	19,50	162,8	4481	339,0	497,5			4902	746	17,9	0,9	19,8	20
H3	492	20,62	19,30	152,6	5156	439,3	367,5			5074	779	20,1	1,4	14,3	19
H4	546	20,79	19,20	171,6	4771	366,8	412,5			5210	787	21,4	1,4	15,4	18
H5	556	20,86	19,40	173,5	4799	371,6	430,0			5336	771	22,0	1,3	17,0	18
H6	565	21,00	19,20	164,1	4603	334,8	450,0	szél		5201	720	19,5	1,1	17,1	19
I5	596	20,81	21,00	203,1	4292	-	472,5			5116	780	20,4	1,2	16,4	18
I4	588	20,43	21,00	199,1	4322	-	455,0			5083	789	20,4	1,3	15,4	20

I3	600	19,46	21,00	190,4	4237	-	440,0		5084	777	20,1	1,5	13,8	22
I2	569	20,04	21,00	182,6	4580	-	445,0		5212	763	20,7	1,3	16,5	21
I1	571	19,47	21,00	179,1	4354	-	440,0		4972	767	19,0	1,3	14,6	24
I1	421	19,84	21,00	129,4	5805	-	305,0		4888	738	17,6	1,4	12,5	23
I2	575	20,13	21,00	187,8	4225	-	435,0		4859	773	18,2	1,4	13,4	24
I3	521	20,17	21,00	169,6	4966	-	402,5		5175	769	20,6	1,3	15,9	20
I4	522	20,62	21,00	176,5	5098	-	400,0		5322	781	22,1	1,3	16,6	17
I5	551	20,77	21,00	180,7	4694	-	435,0		5173	752	20,1	1,2	16,6	18
I6	569	21,02	21,00	180,4	4338	-	457,5		4937	718	17,5	1,1	15,7	19
J4	585	20,67	21,40	184,2	4593	325,9	477,5		5374	712	20,6	1,1	19,2	20
J3	577	20,13	20,26	182,9	4324	299,0	447,5	göcs	4990	777	19,4	1,3	14,9	-
J2	547	19,94	20,28	169,0	4807	354,0	420,0		5259	764	21,1	1,3	16,2	21
J1	572	19,96	20,26	170,3	4646	315,9	450,0		5315	736	20,8	1,2	17,4	21
J1	403	19,13	20,25	117,6	6547	608,9	305,0		5277	753	21,0	1,3	15,8	19
J2	536	20,07	20,50	165,0	4997	376,8	405,0		5357	748	21,5	1,3	16,3	20
J3	583	19,90	19,82	184,3	4587	304,4	452,5		5348	801	22,9	1,3	17,2	21
J4	570	20,32	20,50	183,0	4597	321,8	445,0		5241	771	21,2	1,3	16,7	-
J5	598	20,76	20,60	195,0	4423	303,1	475,0		5290	762	21,3	1,2	17,6	-
K4	577	-	-	55,2	3581	-	565,0	sz, göcs	4132	-	-	-	-	-
K3	593	20,45	19,30	143,8	4226	-	580,0	sz, göcs	5012	614	15,4	0,6	23,9	21
K2	566	20,16	18,26	160,5	4411	318,4	477,5		4993	770	19,2	1,1	17,7	19
K1	596	19,23	19,41	168,6	4330	276,6	477,5		5161	758	20,2	1,2	17,0	18
K1	462	19,10	19,65	135,2	5626	463,3	347,5		5198	780	21,1	1,4	15,2	16
K2	527	20,15	20,16	161,7	5032	386,4	425,0		5304	755	21,2	1,2	18,2	18
K3	570	20,10	18,97	173,5	4575	332,5	457,5		5216	798	21,7	1,2	17,4	18
K4	560	20,46	18,20	164,8	4594	337,6	452,5	sz, göcs	5145	790	20,9	1,2	17,2	17
K5	564	-	-	113,4	4336	-	555,0	szél	4891	-	-	-	-	35
L2	545	-	-	51,5	4628	-	572,5	sz, göcs	5045	-	-	-	-	-
L1	585	19,95	16,70	139,7	4342	-	540,0	szél	5080	717	18,5	0,8	21,9	22



L1	584	20,12	21,54	181,1	4237	291,3	490,0	szél	4949	716	17,5	1,0	17,2	27
L2	600	20,42	21,15	183,9	4194	292,3	492,5	szél	5033	710	18,0	1,1	17,0	18
L3	595	20,88	19,50	153,8	4189	-	515,0	szél	4985	635	15,8	0,9	18,5	23
								Minimum	4052	541	12,7	0,6	9,9	16
								Maximum	5374	869	22,9	1,5	23,9	37
								Átlag	5059	752	19,4	1,2	16,0	21
								Szórás	238	51	2,1	0,2	2,1	4
								Mintaszám	115					

### 3. magassági szinten mért és számított adatok táblázata

P. sz.	Hossz	Szél.	Vast.	Tömeg	Long. frekv.	Hajlító frekv.	Tranzv. Idő	Megj.	Rostir.	Sűrűség	E	G	E/G	Log. dek.	Dinamikus keménység benyomódás átmérők [mm]			
									hangseb	[kg/m <sup>3</sup> ]	[GPa]	[GPa]			felir.	szkr.	[%]	[mm]
	[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[Hz]	[Hz]	[ms]		[m/s]									
A	529,07	14,88	-	30,1	3813	-	602,5		4035	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ax	529,07	19,31	-	40,4	3137	-	550,0		3319	-	-	-	-	-	-	-	-	
B <sub>2</sub>	531,29	19,20	20,44	152,9	5022	385,1	415,0		5336	733	20,9	1,2	17,3	11	5,32	4,34	18,4	4,8
B <sub>1</sub>	530,64	17,71	20,38	146,7	5054	345,8	415,0		5364	766	22,0	1,3	17,5	11	4,03	4,80	19,1	4,4
B1	530,58	19,47	20,42	153,1	5169	374,3	415,0		5485	726	21,8	1,2	18,3	11	5,21	4,16	20,2	4,7
B2	530,45	19,43	20,51	154,4	5023	365,4	417,5		5329	730	20,7	1,2	17,5	11	5,36	5,30	1,1	5,3
B3	530,27	19,56	20,57	148,4	4954	359,4	422,5		5254	696	19,2	1,1	17,4	12	5,90	4,84	18,0	5,4
C <sub>4</sub>	530,81	19,20	20,15	144,9	4877	347,9	427,5	szél	5178	706	18,9	1,1	17,3	14	4,92	4,63	5,9	4,8
C <sub>3</sub>	530,83	19,31	20,41	152,6	5067	364,3	420,0		5379	729	21,1	1,2	18,0	13	4,72	5,00	5,9	4,9
C <sub>2</sub>	530,57	19,22	20,17	153,0	5081	366,1	420,0		5392	744	21,6	1,2	18,1	14	4,51	4,54	0,7	4,5
C <sub>1</sub>	530,75	18,98	20,71	152,2	5019	355,9	410,0		5328	730	20,7	1,2	16,9	14	5,56	4,63	16,7	5,1
C1	531,07	18,95	20,75	151,4	5078	357,9	415,0		5394	725	21,1	1,2	17,7	13	4,84	5,03	3,9	4,9

C2	529,41	19,03	20,40	156,3	5080	360,9	420,0		5379	760	22,0	1,2	18,1	13	4,51	4,79	6,2	4,7
C3	530,36	18,84	20,30	155,4	5012	359,1	407,5		5316	766	21,7	1,3	16,6	13	4,84	4,79	1,0	4,8
C4	530,96	18,87	20,23	152,0	5067	363,2	420,0		5381	750	21,7	1,2	18,0	13	5,45	4,25	22,0	4,9
C5	531,09	19,10	20,53	147,2	5057	361,8	432,5		5371	707	20,4	1,1	19,0	12	5,02	5,06	0,8	5,0
D <sub>5</sub>	530,21	18,95	20,92	147,6	4770	335,4	442,5	szél	5058	702	18,0	1,0	17,7	-	4,98	4,14	16,9	4,6
D <sub>4</sub>	477,7	18,86	20,82	140,0	5626	445,1	377,5		5375	746	21,6	1,2	17,9	13	5,17	4,86	6,0	5,0
D <sub>3</sub>	531,44	18,82	20,90	157,0	4954	356,5	407,5		5266	751	20,8	1,3	16,2	14	4,98	4,95	0,6	5,0
D <sub>2</sub>	531,21	18,89	20,82	155,7	4981	358,3	407,5		5292	745	20,9	1,3	16,4	16	5,09	4,92	3,3	5,0
D <sub>1</sub>	531,61	18,44	21,06	155,7	4899	348,7	402,5		5209	754	20,5	1,3	15,5	16	4,25	4,32	1,6	4,3
D1	483,21	19,02	21,22	142,8	5458	423,0	355,0		5275	732	20,4	1,4	14,9	16	4,68	4,76	1,7	4,7
D2	531,12	18,83	20,78	160,1	4983	357,4	400,0		5293	770	21,6	1,4	15,8	15	5,31	4,92	7,3	5,1
D3	531,41	18,81	20,86	161,2	5071	360,3	410,0		5390	773	22,5	1,3	17,2	15	-	-	-	-
D4	530,88	18,95	20,53	160,1	5083	368,4	425,0		5397	775	22,6	1,2	18,6	14	4,38	4,56	4,1	4,5
D5	530,87	18,64	20,64	155,6	5128	364,5	430,0		5445	762	22,6	1,2	19,4	13	4,12	4,64	12,6	4,4
D6	531,23	19,17	20,67	142,9	5012	343,2	445,0	szél	5325	679	19,3	1,0	19,8	12	5,09	4,66	8,4	4,9
E <sub>5</sub>	531,14	19,20	20,10	153,6	5010	361,2	425,0	szél	5322	749	21,2	1,2	18,0	13	4,64	4,43	4,5	4,5
E <sub>4</sub>	531,04	18,85	19,87	153,9	4950	358,5	422,5		5257	774	21,4	1,2	17,4	13	4,61	4,36	5,4	4,5
E <sub>3</sub>	530,63	18,91	19,84	154,0	4796	363,6	407,5	repedt	5090	774	20,0	1,3	15,2	18	4,46	4,25	4,7	4,4
E <sub>2</sub>	482,63	19,06	19,88	135,5	5397	424,7	360,0		5210	741	20,1	1,3	15,0	18	5,12	4,95	3,3	5,0
E <sub>1</sub>	530,61	18,61	20,22	145,2	4784	341,3	407,5		5077	727	18,7	1,2	15,1	20	4,94	5,63	14,0	5,3
E1	531,55	19,00	20,49	141,2	4812	340,9	407,5		5116	682	17,9	1,2	15,3	19	5,14	5,05	1,8	5,1
E2	530,95	18,78	20,08	147,3	4882	345,1	407,5		5184	736	19,8	1,3	15,8	18	5,04	5,59	10,9	5,3
E3	531,23	18,73	20,00	150,5	4907	349,4	417,5		5213	756	20,6	1,2	16,7	16	4,73	4,51	4,7	4,6
E4	530,78	18,82	19,92	153,4	4995	356,0	415,0		5302	771	21,7	1,3	17,1	14	4,76	4,63	2,7	4,7
E5	531,57	18,95	20,17	152,1	5083	367,8	422,5		5404	749	21,9	1,2	18,4	14	4,94	5,42	9,7	5,2
E6	531,32	19,26	20,32	152,4	5079	372,8	425,0		5397	733	21,3	1,2	18,6	14	5,34	4,42	17,2	4,9

F6	529,98	18,47	20,44	141,5	4680	305,7	437,5	szél	4961	707	17,4	1,0	16,7	14	4,53	3,53	22,1	4,0
F5	530,66	18,86	19,97	156,7	5025	362,0	427,5		5333	784	22,3	1,2	18,4	13	4,43	3,75	15,3	4,1
F4	474,85	19,06	19,44	147,6	5697	465,4	350,0		5410	839	24,6	1,6	15,8	22	4,61	5,03	9,1	4,8
F3	419,79	18,86	19,86	126,0	6188	572,5	352,5		5195	801	21,6	1,1	18,9	12	4,66	4,85	4,1	4,8
F2	457,42	18,77	20,03	121,7	5816	489,8	355,0		5321	708	20,0	1,2	17,0	19	4,67	3,94	15,6	4,3
F1	530,67	18,49	20,51	135,9	4735	339,0	607,5	BÉL	5025	675	17,1	0,5	33,0	20	4,73	5,46	15,4	5,1
F1	530,51	19,12	20,27	140,6	4710	341,9	427,5		4997	684	17,1	1,1	16,1	20	4,37	5,00	14,4	4,7
F2	530,87	19,29	20,06	148,7	4799	351,3	410,0		5095	724	18,8	1,2	15,4	21	4,34	4,19	3,5	4,3
F3	530,99	19,21	19,85	150,5	4880	355,0	415,0		5182	743	20,0	1,2	16,3	18	4,99	4,46	10,6	4,7
F4	531,23	19,26	19,88	153,3	4907	357,5	415,0		5213	754	20,5	1,2	16,5	16	4,32	4,25	1,6	4,3
F5	531,07	18,95	19,93	154,5	5070	367,0	422,5		5385	770	22,3	1,2	18,3	14	4,34	3,79	12,7	4,1
F6	531,01	19,18	20,12	154,6	5079	370,7	420,0		5394	754	22,0	1,2	18,1	13	4,66	4,28	8,2	4,5
F7	531,68	-	20,19	125,5	5081	-	457,5	szél	5403	-	-	-	-	15	5,15	4,98	3,3	5,1
G6	530,92	19,65	21,02	159,4	5011	373,4	422,5	szél	5321	727	20,6	1,2	17,8	16	4,41	4,03	8,6	4,2
G5	529,79	18,44	20,58	158,4	5150	367,7	417,5		5457	788	23,5	1,3	18,4	16	5,11	4,21	17,6	4,7
G4	527,49	18,74	20,12	169,4	5214	369,7	417,5		5501	852	25,8	1,4	18,9	18	5,00	4,17	16,6	4,6
G3	527,76	18,57	20,02	163,8	4720	344,6	422,5	göcs	4982	835	20,7	1,3	15,8	25	4,21	4,19	0,5	4,2
G2	528,56	19,10	20,46	137,3	5079	367,7	472,5	fahiba	5369	665	19,2	0,8	22,9	24	4,59	4,85	5,7	4,7
G1	530,00	19,52	21,26	139,2	5144	339,9	442,5		5453	633	18,8	0,9	20,6	22	5,00	4,74	5,2	4,9
G1	530,49	19,68	20,84	132,4	4910	347,5	447,5		5209	609	16,5	0,9	19,2	26	4,43	4,47	0,9	4,5
G2	529,41	19,65	20,40	145,1	4907	360,8	412,5		5196	684	18,5	1,1	16,3	22	4,55	4,44	2,4	4,5
G3	530,98	19,51	20,46	148,6	4893	358,4	412,5		5196	701	18,9	1,2	16,2	17	4,41	3,90	11,6	4,2
G4	531,09	19,39	20,67	151,1	4965	363,8	412,5		5274	710	19,7	1,2	16,7	15	4,78	4,53	5,2	4,7
G5	531,12	19,27	20,60	152,2	5069	362,1	422,5		5384	722	20,9	1,1	18,3	14	4,89	5,11	4,5	5,0
G6	530,61	19,33	20,67	154,6	5128	371,5	425,0		5442	729	21,6	1,1	18,9	14	4,12	4,75	15,3	4,4
G7	530,66	19,26	20,92	134,0	5152	-	450,0	szél	5468	627	18,7	0,9	21,4	-	4,67	4,15	11,1	4,4

H6	458,41	19,30	20,97	137,1	5770	486,6	352,5		5290	739	20,7	1,3	16,5	14	4,63	4,35	6,0	4,5
H5	438,99	19,04	20,48	133,9	6068	524,7	525,0	szél	5328	782	22,2	0,5	40,4	14	4,94	4,50	8,9	4,7
H4	390,46	19,02	20,28	123,5	6905	718,9	285,0		5392	820	23,8	1,5	15,4	19	4,34	4,63	6,7	4,5
H3	412,80	18,97	20,58	130,6	6572	586,8	312,5		5426	810	23,9	1,4	16,8	20	4,74	3,83	19,2	4,3
H2	419,67	19,03	21,00	122,6	6386	624,8	460,0	rep., szél	5360	731	21,0	0,6	34,4	-	4,45	4,19	5,8	4,3
H1	441,20	19,12	21,45	118,5	5958	504,3	320,0		5257	655	18,1	1,3	14,4	20	4,94	5,07	2,6	5,0
H1	530,11	18,74	21,03	142,0	4895	345,0	407,5		5190	680	18,3	1,2	15,8	20	4,28	4,91	14,7	4,6
H2	530,20	18,55	20,54	141,7	4865	344,0	410,0		5159	701	18,7	1,2	15,8	18	4,73	5,01	5,9	4,9
H3	530,54	19,36	20,31	152,8	4963	360,6	400,0		5266	732	20,3	1,3	15,7	16	4,87	4,19	14,0	4,5
H4	531,48	19,41	20,62	154,3	5056	367,0	417,5		5374	725	21,0	1,2	17,7	17	4,94	4,77	3,4	4,9
H5	531,37	19,31	20,53	154,5	5065	365,2	420,0		5383	733	21,3	1,2	18,0	13	4,82	4,58	5,0	4,7
H6	530,76	19,48	20,84	153,6	5093	372,1	422,5	szél	5406	713	20,8	1,1	18,4	13	5,01	4,85	3,2	4,9
I5	529,16	19,12	20,58	161,8	4892	359,7	417,5		5177	777	20,8	1,3	16,6	15	4,99	4,86	2,6	4,9
I4	403,23	18,99	20,32	122,2	6574	611,9	410,0		5302	785	22,1	0,8	28,9	14	4,94	4,38	11,3	4,7
I3	404,81	18,73	20,54	122,4	6503	607,3	430,0		5265	786	21,8	0,7	31,1	15	4,46	4,56	2,2	4,5
I2	447,34	18,89	20,67	136,8	5902	489,5	482,5		5280	783	21,8	0,7	32,3	17	5,08	4,59	9,6	4,8
I1	530,40	18,91	20,68	154,5	5039	353,1	407,5		5345	745	21,3	1,3	16,8	18	5,16	4,74	8,1	5,0
I1	530,54	18,46	20,85	148,0	5081	351,9	407,5		5391	725	21,1	1,2	17,1	16	4,80	4,89	1,9	4,8
I2	529,87	19,05	20,90	154,4	5069	360,7	407,5		5372	732	21,1	1,2	17,0	15	4,38	4,85	10,7	4,6
I3	530,64	18,67	20,62	152,6	5070	361,8	405,0		5381	747	21,6	1,3	16,8	14	5,11	4,81	5,9	5,0
I4	530,30	19,22	20,54	153,9	5095	361,4	417,5		5404	735	21,5	1,2	18,0	13	4,86	4,14	14,8	4,5
I5	531,11	19,19	20,52	156,6	5082	370,6	425,0		5398	749	21,8	1,2	18,6	12	4,89	4,53	7,4	4,7
I6	530,76	19,47	20,67	138,9	5165	336,0	445,0	szél	5483	650	19,5	0,9	21,0	12	4,84	4,62	4,5	4,7
J5	530,97	18,71	18,43	135,1	5092	361,4	430,0		5407	738	21,6	1,1	19,1	12	3,98	4,75	19,3	4,4
J4	530,43	18,62	18,22	140,3	5078	371,8	422,5		5387	780	22,6	1,2	18,3	13	4,38	5,04	15,1	4,7

J <sub>3</sub>	529,64	18,60	18,42	144,4	5147	362,9	417,5		5452	796	23,7	1,3	18,4	14	4,67	4,76	1,9	4,7
J <sub>2</sub>	373,50	18,20	18,86	94,2	7300	732,5	397,5		5453	735	21,8	0,7	33,5	13	4,24	4,85	14,4	4,5
J <sub>1</sub>	463,04	18,09	18,59	122,8	5884	466,1	352,5		5449	789	23,4	1,4	17,1	14	4,46	4,81	7,8	4,6
J1	457,58	18,64	18,36	114,9	5900	477,9	340,0		5399	734	21,4	1,3	16,0	16	4,23	4,23	0,0	4,2
J2	529,93	18,88	19,02	146,0	4806	347,8	422,5		5094	767	19,9	1,2	16,4	14	4,59	4,82	5,0	4,7
J3	297,91	18,69	18,03	81,7	9215	1113	315,0		5490	814	24,5	0,7	33,5	15	4,59	4,17	9,2	4,4
J4	529,85	19,07	19,16	145,0	4782	355,0	430,0		5067	749	19,2	1,1	16,8	16	4,14	4,67	12,8	4,4
J5	531,00	19,01	18,63	141,5	4721	346,1	450,0		5014	752	18,9	1,1	18,0	15	4,19	4,04	3,6	4,1
K <sub>5</sub>	529,23	19,12	-	78,30	3704	-		szél	3921	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K <sub>4</sub>	529,92	18,78	19,26	124,1	4665	284,5	447,5	szél	4944	647	15,8	0,9	17,4	18	4,85	4,59	5,4	4,7
K <sub>3</sub>	387,42	18,79	18,21	102,2	6819	642,7	280,0		5284	771	21,5	1,5	14,5	12	4,82	4,82	0,0	4,8
K <sub>2</sub>	530,38	18,40	19,41	140,5	4955	343,5	420,0		5256	742	20,5	1,2	17,2	12	4,12	4,44	7,8	4,3
K <sub>1</sub>	530,49	17,88	19,09	136,4	4908	339,9	425,0		5207	753	20,4	1,2	17,3	12	4,48	5,08	13,4	4,8
K1	474,10	19,00	19,73	128,0	5771	455,8	472,5		5472	720	21,6	0,7	29,6	12	4,24	4,55	7,3	4,4
K2	530,57	18,89	19,48	147,0	5019	357,0	420,0		5326	753	21,4	1,2	17,7	13	4,20	4,67	11,2	4,4
K3	529,78	18,69	19,05	144,8	4879	349,6	425,0		5170	768	20,5	1,2	17,1	15	3,47	4,40	26,8	3,9
K4	530,83	19,21	19,92	144,2	4817	348,9	430,0		5114	710	18,6	1,1	17,1	21	4,42	4,15	6,1	4,3
L <sub>2</sub>	530,44	18,73	19,09	126,3	4650	333,7	445,0		4933	666	16,2	1,0	17,1	12	4,52	4,51	0,2	4,5
L <sub>1</sub>	530,71	18,70	18,26	127,4	4768	328,8	435,0	szél	5061	703	18,0	1,1	17,1	14	4,64	4,49	3,2	4,6
L1	474,23	18,12	18,90	106,0	5223	407,8	395,0	rep.	4954	653	16,0	0,9	16,9	22	4,80	3,87	19,4	4,3
L2	530,27	19,16	19,52	111,7	4278	291,2	477,5	szél, kér.	4537	563	11,6	0,7	16,6	-	4,52	4,45	0,02	4,5
								Min.	3319	563	11,6	0,5	14,4	11	3,47	3,53	0,00	3,94
								Max.	5501	852	25,8	1,6	40,4	26	5,90	5,63	26,8	5,37
								Átlag	5239	736	20,6	1,1	18,7	15	4,7	4,6	8,4	4,7
								Szórás	298	48	2,0	0,2	4,7	3	0,4	0,4	6,2	0,3
								M.sz.	110									

4. magassági szinten mért és számított adatok táblázata

P. sz.	Hossz	Szél.	Vast.	Tömeg	Long. frekv.	Hajlító frekv.	Tranzv. Idő	Megj.	Rostir. hangseb	Sűrűség	E	G	E/G	Log. dek.
	[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[Hz]	[Hz]	[ms]		[m/s]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[GPa]	[GPa]		
A <sub>2</sub>	544	20,63	17,0	144,2	4415	338,3	-	szél	4804	756	17,4	-	-	20
A <sub>1</sub>	550	18,75	15,6	119,6	4170	286,2	-	szél	4587	743	15,6	-	-	21
A <sub>1</sub>	567	-	-	71,8	3884	277,2	-	szél	4404	-	-	-	-	-
B <sub>4</sub>	536	18,00	17,0	124,3	4386	-	-	szél	4702	758	16,8	-	-	26
B <sub>3</sub>	541	21,02	20,0	178,1	4737	363,6	-		5125	783	20,6	-	-	20
B <sub>2</sub>	543	20,93	20,0	181,0	4694	362,3	-		5098	796	20,7	-	-	21
B <sub>1</sub>	556	19,57	20,0	173,3	4485	313,1	-		4987	796	19,8	-	-	22
B <sub>1</sub>	567	20,51	20,0	177,9	3620	309,1	-		4105	765	12,9	-	-	-
B <sub>2</sub>	565	20,89	18,3	155,7	4172	-	-	szél	4714	721	16,0	-	-	-
C <sub>4</sub>	537	21,07	23,0	191,7	4572	370,5	-		4910	737	17,8	-	-	20
C <sub>3</sub>	497	21,01	23,0	181,5	4907	426,8	-		4878	756	18,0	-	-	21
C <sub>2</sub>	444	20,93	23,0	160,7	5503	525,8	-		4887	752	18,0	-	-	-
C <sub>1</sub>	524	21,11	23,0	193,6	4479	382,8	-		4694	761	16,8	-	-	-
C <sub>1</sub>	516	18,34	23,0	172,6	4594	339,1	-		4741	793	17,8	-	-	21
C <sub>2</sub>	550	20,93	23,0	203,8	4422	348,8	-		4864	770	18,2	-	-	20
C <sub>3</sub>	463	20,86	23,0	162,1	5099	474,0	-	szél	4722	730	16,3	-	-	21
D <sub>5</sub>	536	20,77	27,6	238,4	5121	390,3	-		5490	776	23,4	-	-	19
D <sub>4</sub>	425	21,1	28,7	194,8	6433	619,8	-		5468	757	22,6	-	-	21
D <sub>3</sub>	444	20,62	28,7	191,8	6178	563,1	-		5486	730	22,0	-	-	21
D <sub>2</sub>	498	20,65	27,6	203,2	5524	451,5	-		5502	716	21,7	-	-	21
D <sub>1</sub>	495	19,65	27,6	193,3	5385	427,3	-		5331	720	20,5	-	-	23
D <sub>1</sub>	457	19,85	28,7	178,0	5527	-	-	rágás, rep.	5052	684	17,4	-	-	-
D <sub>2</sub>	556	20,53	27,6	209,0	4681	347,3	-		5205	663	18,0	-	-	26

D3	563	20,67	27,6	196,6	4725	352,5	-		5320	612	17,3	-	-	24
D4	538	-	-	150,9	5181	-	-	szél	5575	-	-	-	-	24
E5	377	20,71	14,4	81,7	6225	697,6	-		4694	727	16,0	-	-	23
E4	362	20,60	13,2	77,4	6186	714,3	-		4479	786	15,8	-	-	23
E3	408	20,15	14,4	86,8	5484	546,8	-		4475	733	14,7	-	-	22
E2	335	20,49	13,2	65,9	6497	792,5	-		4353	727	13,8	-	-	25
E1	398	18,90	14,4	79,9	5402	528,3	-		4300	738	13,6	-	-	24
E1	H	H	H	H	H	H	-	H	-	-	-	-	-	-
E2	H	H	H	H	H	H	-	H	-	-	-	-	-	-
E3	423	20,59	14,6	95,9	5245	526,9	-		4437	754	14,8	-	-	21
E4	414	21,04	14,6	92,1	5539	568,5	-		4586	724	15,2	-	-	19
F6	469	21,09	33,8	242,3	5868	520,0	-		5504	725	22,0	-	-	20
F5	420	20,94	33,8	232,8	6467	634,5	-		5432	783	23,1	-	-	22
F4	448	20,83	33,8	247,3	6063	555,3	-		5432	784	23,1	-	-	24
F3	341	20,81	36,0	180,5	7389	881,7	-		5039	707	17,9	-	-	26
F2	299	20,36	36,0	160,7	8125	1090,0	-		4859	733	17,3	-	-	-
F1	H	H	H	H	H	H	-	H	-	-	-	-	-	-
F1	H	H	H	H	H	H	-	H	-	-	-	-	-	-
F2	386	20,56	36,6	231,2	6719	710,7	-		5187	796	21,4	-	-	23
F3	526	20,60	33,8	301,0	4586	370,6	-	fahiba	4824	822	19,1	-	-	34
F4	502	21,06	33,8	284,9	5545	431,2	-		5567	797	24,7	-	-	28
F5	390	20,92	32,4	197,9	6749	702,2	-		5264	749	20,7	-	-	24
G7	533	11,40	24,0	102,6	3710	150,9	-	szél	3955	704	11,0	-	-	-
G6	419	20,89	22,0	147,4	5813	582,8	-		4871	765	18,2	-	-	-
G5	394	20,58	21,0	130,2	6003	633,0	-		4730	765	17,1	-	-	23
G4	339	20,47	21,0	109,6	7068	831,8	-		4792	752	17,3	-	-	26
G3	379	19,76	21,0	116,2	4722	625,0	-		3579	739	9,5	-	-	30
G2	H	H	H	H	H	H	-	H	-	-	-	-	-	-
G1	309	20,22	18,0	78,1	-	908,6	-	BÉL rovarr.	-	694	-	-	-	38
G1	422	20,08	16,0	87,9	5030	493,6	-	rovarrágás	4245	648	11,7	-	-	25

G2	344	20,14	20,0	109,1	6571	752,9	-	rovarrágás	4521	787	16,1	-	-	-
G3	313	20,25	20,0	107,0	7658	978,6	-		4794	844	19,4	-	-	-
G4	245	20,76	22,0	84,2	10289	1654,0	-		5042	752	19,1	-	-	25
G5	255	20,23	22,0	88,7	-	1516,0	-		-	782	-	-	-	21
H7	575	10,00	17,41	55,3	4001	-	-	szél	4601	552	11,7	-	-	-
H6	587	20,75	19,71	186,4	4364	310,4	-		5123	776	20,4	-	-	21
H5	537	20,66	19,82	171,0	4639	357,2	-		4982	778	19,3	-	-	24
H4	413	20,47	20,42	134,2	6073	598,7	-		5016	777	19,6	-	-	-
H3	359	20,28	20,09	109,3	6738	763,0	-		4838	747	17,5	-	-	26
H2	473	20,12	20,43	138,7	4989	386,2	-	rovarrágás	4720	713	15,9	-	-	32
H1	H	H	H	H	H	H	-	H	-	-	-	-	-	-
H1	545	19,90	20,28	152,6	4375	306,9	-	rovarrágás	4769	694	15,8	-	-	28
H2	440	20,09	19,46	143,5	4841	444,4	-	rovarrágás	4260	834	15,1	-	-	-
H3	500	20,11	19,75	162,3	4569	378,1	-	göcs	4569	817	17,1	-	-	22
H4	485	20,66	20,33	164,5	5018	426,2	-		4867	808	19,1	-	-	26
H5	508	20,56	20,67	170,2	4931	401,4	-		5010	788	19,8	-	-	20
I7	561	15,00	19,76	103,9	4060	187,1	-	szél	4555	625	13,0	-	-	-
I6	530	20,75	18,22	148,9	4852	381,4	-		5143	743	19,7	-	-	18
I5	530	20,50	18,39	152,1	4746	370,6	-		5031	761	19,3	-	-	21
I4	367	20,01	17,69	103,7	6710	727,7	-		4925	798	19,4	-	-	23
I3	324	19,85	17,24	85,0	7489	874,4	-	rovarrágás	4853	767	18,1	-	-	23
I2	H	H	H	H	H	H	-	H	-	-	-	-	-	-
I1	H	H	H	H	H	H	-	H	-	-	-	-	-	-
I1	576	18,70	14,00	89,8	2656	-	-	korhadt, rovarrágás	3060	596	5,6	-	-	-
I2	594	20,10	19,46	204,9	3893	260,1	-	fahiba	4625	882	18,9	-	-	47
I3	604	20,22	19,34	187,8	4109	275,9	-		4964	795	19,6	-	-	28
I4	479	20,48	20,50	154,2	5319	453,7	-		5096	767	19,9	-	-	21
I5	412	20,99	19,00	121,2	5983	-	-	szél	4930	738	17,9	-	-	23
J5	584	20,87	19,80	179,0	4479	319,4	-	szél	5231	742	20,3	-	-	20



J <sub>4</sub>	587	20,52	19,69	196,5	4333	306,1	-		5087	829	21,4	-	-	20
J <sub>3</sub>	587	20,44	19,39	195,6	4234	298,6	-		4971	841	20,8	-	-	23
J <sub>2</sub>	600	19,99	19,07	214,5	4046	280,5	-		4855	938	22,1	-	-	-
J <sub>1</sub>	605	17,00	17,80	155,5	3958	192,3	-	szél	4789	849	19,5	-	-	40
J <sub>1</sub>	323	19,00	19,73	90,5	8078	-	-	szél	5218	747	20,4	-	-	-
J <sub>2</sub>	562	21,40	17,70	177,3	4534	345,3	-		5096	833	21,6	-	-	26
J <sub>3</sub>	525	21,30	20,12	162,5	5038	405,1	-		5290	722	20,2	-	-	20
J <sub>4</sub>	410	21,02	21,00	111,3	6618	-	-	szél	5427	615	18,1	-	-	23
K <sub>5</sub>	403	-	-	58,1	5843	-	-	szél	4709	-	-	-	-	-
K <sub>4</sub>	553	20,45	20,42	173,1	4649	353,2	-	szél	5142	750	19,8	-	-	-
K <sub>3</sub>	595	20,40	20,58	197,4	4371	303,4	-		5201	790	21,4	-	-	21
K <sub>2</sub>	569	19,90	20,52	184,8	4489	316,1	-	szél	5108	795	20,8	-	-	18
K <sub>1</sub>	452	-	-	78,1	4665	-	-	szél	4217	-	-	-	-	-
								Minimum	3060	552	6	-	-	18
								Maximum	5575	938	25	-	-	47
								Átlag	4869	754	18	-	-	24
								Szórás	431	61	3	-	-	5
								Mintaszám	95					

### 5. magassági szinten mért és számított adatok táblázata

P. sz.	Hossz	Szél.	Vast.	Tömeg	Long. frekv.	Hajlító frekv.	Tranzv. Idő	Megj.	Rostir. hangseb	Sűrűség	E	G	E/G	Log. dek.
	[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[Hz]	[Hz]	[ms]		[m/s]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[GPa]	[GPa]		
A <sub>1</sub>	478	18,49	-	102,5	5123	-	-	szél	4898	-	-	-	-	24
A <sub>1</sub>	478	17,79	-	107,1	5382	-	-	szél	5145	-	-	-	-	-
A <sub>2</sub>	476	18,45	-	98,9	5144	-	-	szél	4897	-	-	-	-	20
B <sub>2</sub>	478	19,47	-	124,6	5587	443,7	-		5341	-	-	-	-	13
B <sub>1</sub>	477	18,57	18,57	124,1	5697	435,4	-	2 csúcs	5435	754	22,3	-	-	17

B1	477	19,22	19,48	131,7	5544	451,5	-		5289	737	20,6	-	-	13
B2	477	18,89	18,82	133,5	5524	442,1	-		5270	787	21,9	-	-	15
B3	477	18,77	20,06	129,7	5597	439,5	-		5340	722	20,6	-	-	13
B4	477	19,34	-	124,4	5455	-	-	sz, kettősh.	5204	-	-	-	-	14
C <sub>3</sub>	477	18,42	18,12	125,7	5572	441,1	-		5316	790	22,3	-	-	13
C <sub>2</sub>	476	19,02	19,10	129,0	5746	458,4	-		5470	746	22,3	-	-	15
C <sub>1</sub>	479	19,14	17,26	129,0	5410	428,7	-		5183	815	21,9	-	-	14
C1	480	18,89	17,70	128,2	5412	425,9	-		5196	799	21,6	-	-	14
C2	478	18,99	19,16	130,7	5512	436,7	-		5269	751	20,9	-	-	13
C3	479	18,66	18,72	126,8	5888	461,8	-		5641	758	24,1	-	-	15
C4	477	18,89	18,34	129,5	5595	443,3	-		5338	784	22,3	-	-	10
C5	477	19,47	-	123,3	5594	-	-	sz, 2 csúcs	5337	-	-	-	-	15
D <sub>4</sub>	478	19,46	-	146,4	5633	459,2	-		5385	-	-	-	-	12
D <sub>3</sub>	478	18,94	-	147,2	5798	461,4	-		5543	-	-	-	-	12
D <sub>2</sub>	477	19,39	-	148,6	5768	464,0	-		5503	-	-	-	-	15
D <sub>1</sub>	477	18,91	-	148,4	5310	422,6	-		5066	-	-	-	-	17
D1	478	18,65	-	147,3	5139	404,6	-	fahiba	4913	-	-	-	-	16
D2	477	18,75	-	151,0	5395	433,0	-	fahiba	5147	-	-	-	-	16
D3	478	18,98	-	146,3	5684	439,1	-		5434	-	-	-	-	13
D4	477	19,00	-	142,4	5826	453,4	-		5558	-	-	-	-	15
D5	477	19,16	-	142,4	5770	457,3	-		5505	-	-	-	-	13
E <sub>4</sub>	476	19,03	19,06	127,1	5825	48,6	-		5545	736	22,6	-	-	11
E <sub>3</sub>	478	19,25	18,65	125,9	5747	466,4	-		5494	734	22,1	-	-	14
E <sub>2</sub>	478	19,00	18,61	124,9	5538	457,6	-		5294	739	20,7	-	-	17
E <sub>1</sub>	477	18,94	18,97	121,8	5256	412,4	-	fahiba, görbe	5014	711	17,9	-	-	20
E1	476	18,48	19,48	117,9	5067	385,1	-	fahiba, görbe	4824	688	16,0	-	-	20
E2	478	18,51	19,21	119,5	5399	412,3	-		5161	703	18,7	-	-	17
E3	476	19,05	18,81	126,2	5583	451,9	-	2 csúcs	5315	740	20,9	-	-	16
E4	478	19,1	18,62	130,0	5467	443,3	-	2 csúcs	5226	765	20,9	-	-	16

E5	477	18,83	19,41	128,8	5600	451,5	-	2 csúcs	5342	739	21,1	-	-	14
E6	476	19,2	19,80	128,5	5586	445,0	-		5318	710	20,1	-	-	13
F5	478	18,96	18,87	125,6	5373	418,6	-	szél	5137	734	19,4	-	-	21
F4	477	19,20	18,09	131,9	5571	440,0	-		5315	796	22,5	-	-	13
F3	477	19,24	17,86	131,5	5471	441,0	-		5219	802	21,9	-	-	14
F2	476	19,22	17,58	126,6	5316	431,6	-		5061	787	20,2	-	-	15
F1	475	19,41	17,54	118,8	5080	421,0	-		4826	735	17,1	-	-	20
F1	476	-	-	103,4	4961	-	-	BÉL, fahib	4723	-	-	-	-	-
F2	480	18,54	18,13	123,3	5211	405,8	-	görbe	5003	764	19,1	-	-	-
F3	478	19,19	17,29	125,0	5011	405,8	-		4791	788	18,1	-	-	18
F4	478	18,95	17,53	129,0	5242	418,7	-		5011	812	20,4	-	-	16
F5	477	18,97	17,90	134,9	5556	444,8	-		5300	833	23,4	-	-	15
F6	478	19,00	18,65	135,7	5498	442,9	-		5256	801	22,1	-	-	13
G5	480	19,61	21,49	142,9	5673	477,9	-		5446	706	21,0	-	-	12
G4	479	19,03	21,84	139,2	5814	468,7	-		5570	699	21,7	-	-	13
G3	480	19,18	22,12	138,6	5767	462,6	-		5536	681	20,9	-	-	15
G2	479	19,02	22,13	134,8	5631	460,2	-		5394	669	19,5	-	-	18
G1	479	19,57	21,33	125,2	5297	419,1	-	fahiba	5075	626	16,1	-	-	21
G1	477	19,04	22,45	129,2	5880	434,1	-		5610	634	19,9	-	-	24
G2	478	19,36	21,21	132,7	5482	444,5	-		5241	676	18,6	-	-	20
G3	480	19,11	21,92	137,2	5555	444,7	-		5333	682	19,4	-	-	17
G4	479	19,31	21,56	144,3	5700	449,9	-		5461	724	21,6	-	-	15
G5	479	19,08	21,58	144,1	5817	459,2	-		5573	731	22,7	-	-	13
G6	478	19,34	21,2	137,2	5770	451,3	-	kér.	5516	700	21,3	-	-	14
H5	478	18,39	18,36	116,8	5368	401,3	-	k	5132	724	19,1	-	-	17
H4	477	18,94	18,46	125,8	5747	457,7	-		5483	754	22,7	-	-	13
H3	477	19,21	18,91	129,5	5584	458,1	-		5327	747	21,2	-	-	13
H2	478	19,38	19,22	129,4	5457	456,9	-	fahiba	5217	727	19,8	-	-	15
H1	477	19,04	19,72	123,6	5285	410,3	-	fahiba	5042	690	17,5	-	-	18
H1	478	17,92	19,08	109,0	5371	401,7	-		5135	667	17,6	-	-	17

H2	476	18,79	19,16	117,5	5484	422,8	-		5221	686	18,7	-	-	17
H3	477	18,91	19,04	124,5	5558	433,3	-		5302	725	20,4	-	-	14
H4	476	18,73	17,97	125,2	5530	443,1	-		5265	781	21,7	-	-	15
H5	477	19,14	13,66	97,8	5584	450,5	-	vékony	5327	784	22,3	-	-	13
H6	478	18,19	19,09	128,7	5586	431,2	-		5340	775	22,1	-	-	12
I6	477	18,72	18,18	87,2	5285	299,1	-	görbe, szél	5042	537	13,7	-	-	15
I5	474	19,18	18,67	121,9	5785	466,4	-	görbe	5484	718	21,6	-	-	12
I4	478	19,14	18,61	128,4	5628	454,7	-	görbe	5380	754	21,8	-	-	14
I3	478	19,05	18,56	126,9	5574	443,6	-	görbe	5329	751	21,3	-	-	14
I2	478	18,12	18,48	119,9	5553	413,4	-	2 csúcs	5309	749	21,1	-	-	13
I1	477	18,75	-	113,3	5886	-	-	befürészelt	5615	-	-	-	-	17
I1	476	18,75	-	117,9	5631	-	-	görbe	5361	-	-	-	-	14
I2	478	18,37	-	122,9	5881	-	-	görbe	5622	-	-	-	-	-
I3	482	18,78	-	125,8	5747	-	-	2 cs.	5540	-	-	-	-	-
I4	478	18,95	-	127,1	5826	-	-	befürészelt	5570	-	-	-	-	12
J4	477	19,45	-	118,2	5399	434,2	-		5151	-	-	-	-	17
J3	477	19,01	18,32	127,1	5498	441,5	-		5245	765	21,0	-	-	13
J2	477	18,98	18,74	127,1	5628	447,7	-		5369	749	21,6	-	-	13
J1	477	18,07	17,89	119,3	5576	413,1	-	2 csúcs	5320	774	21,9	-	-	-
J1	476	18,73	18,74	118,6	5574	440,8	-		5306	710	20,0	-	-	12
J2	446	18,95	17,45	111	5803	497,5	-		5176	753	20,2	-	-	13
J3	478	17,76	-	97,9	5571	411,7	-	szél	5326	-	-	-	-	13
J4	478	48,96	-	405	5540	435,2	-	szél	5296	-	-	-	-	16
J5	477	48,59	-	83,4	5267	409,6	-	szél	5025	-	-	-	-	19
								Minimum	4723	537	13,7	-	-	10
								Maximum	5641	833	24,1	-	-	24
								Átlag	5284	737	20,6	-	-	15
								Szórás	208	51	1,9	-	-	3
								Mintaszám	88					

6. magassági szinten mért és számított adatok táblázata

P. sz.	Hossz	Szél.	Vast.	Tömeg	Long. frekv.	Hajlító frekv.	Tranzv. Idő	Megj.	Rostir. hangseb	Sűrűség	E	G	E/G	Log. dek.
	[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[Hz]	[Hz]	[ms]		[m/s]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[GPa]	[GPa]		
A1	460,00	-	-	-	5127	-	560,0		4717	-	-	-	-	-
A	486,00				5404				5253	-	-	-	-	-
B <sub>2</sub>	531,88	19,18	19,87	142,8	5085	376,2	430,0	szél	5409	704	20,6	1,1	19,0	-
B <sub>1</sub>	531,77	18,89	19,93	144,5	5131	366,4	425,0	szél	5457	722	21,5	1,1	18,9	16
B1	531,37	19,51	20,15	146,3	5224	381,3	425,0	szél	5552	700	21,6	1,1	19,6	-
B2	531,48	19,05	19,88	133,2	4879	359,1	452,5	szél	5186	662	17,8	0,9	19,4	-
C <sub>3</sub>	531,29	19,27	21,10	162,1	4996	365,5	415,0		5309	750	21,1	1,2	17,1	16
C <sub>2</sub>	531,39	19,72	21,22	161,1	5053	367,8	412,5		5370	724	20,9	1,2	17,3	17
C <sub>1</sub>	530,55	19,02	21,28	162,0	5049	364,4	407,5		5357	754	21,7	1,3	16,8	17
C1	530,78	19,34	21,45	164,3	5013	366,0	407,5		5322	746	21,1	1,3	16,6	17
C2	531,12	19,56	21,34	166,1	5019	370,5	407,5		5331	749	21,3	1,3	16,7	15
C3	531,34	19,65	21,51	166,4	5052	373,4	405,0		5369	741	21,4	1,3	16,7	14
C4	530,68	19,45	21,30	145,9	5076	-	432,5	kéreg	5387	664	19,3	1,0	19,2	-
D <sub>4</sub>	531,61	19,52	20,58	161,3	5085	368,8	425,0		5406	755	22,1	1,2	18,6	16
D <sub>3</sub>	530,91	19,62	20,44	159,2	5011	374,8	420,0		5321	748	21,2	1,2	17,6	20
D <sub>2</sub>	530,78	19,27	20,71	162,7	4955	360,0	415,0		5260	768	21,3	1,3	16,8	19
D <sub>1</sub>	531,34	19,15	20,88	152,4	4877	353,5	410,0		5183	717	19,3	1,2	15,9	20
D1	532,14	19,33	21,09	159,3	4770	348,7	410,0		5077	734	18,9	1,2	15,2	20
D2	531,71	19,57	20,71	164,0	4883	355,6	415,0		5193	761	20,5	1,3	16,3	-
D3	532,03	19,98	20,85	166,3	4995	371,0	417,5		5315	750	21,2	1,2	17,3	17
D4	531,89	19,90	20,70	163,9	5011	374,4	425,0		5331	748	21,3	1,2	18,1	16
E <sub>5</sub>	531,60	19,36	20,89	156,1	4983	359,1	432,5		5298	726	20,4	1,1	18,5	18
E <sub>4</sub>	531,31	19,82	20,98	164,4	4137	379,1	425,0		4396	744	14,4	1,2	12,3	18
E <sub>3</sub>	530,97	19,74	20,94	166,6	4980	367,8	425,0		5288	759	21,2	1,2	17,8	21
E <sub>2</sub>	532,03	19,91	21,19	162,1	4733	353,4	420,0		5036	722	18,3	1,2	15,7	23

E1	532,06	19,59	21,39	145,3	4624	333,1	420,0		4920	652	15,8	1,1	15,0	24
E1	531,19	18,88	21,86	154,3	4635	332,0	415,0		4924	704	17,1	1,2	14,7	26
E2	531,79	19,72	21,23	168,9	4798	359,1	430,0		5103	759	19,8	1,2	16,9	25
E3	531,94	19,75	21,18	170,8	4868	369,3	415,0		5179	768	20,6	1,3	16,2	18
E4	531,78	19,81	21,44	172,2	5013	376,3	420,0		5332	762	21,7	1,2	17,6	15
E5	531,73	19,18	21,77	168,7	5014	367,2	420,0		5332	760	21,6	1,2	17,7	15
F6	531,66	20,13	4,70	36,3	4857	-		sz, k	5165	722	19,2	-	-	-
F5	531,28	19,93	20,32	159,8	4939	369,5	420,0		5248	743	20,5	1,2	17,1	-
F4	531,55	19,84	20,09	160,0	4972	377,7	422,5		5286	755	21,1	1,2	17,6	18
F3	531,10	19,88	20,12	158,8	4781	371,1	422,5		5078	748	19,3	1,2	16,2	-
F2	531,58	19,92	20,03	149,1	4552	345,5	425,0		4840	703	16,5	1,1	14,9	20
F1	531,36	20,15	20,19	136,6	4255	317,2	457,5	fahiba, BÉL	4522	632	12,9	0,9	15,1	29
F1	530,73	19,77	19,96	149,6	4570	333,1	457,5	fahiba	4851	714	16,8	1,0	17,4	37
F2	530,19	19,85	20,02	165,6	4647	351,8	415,0	fahiba	4928	786	19,1	1,3	14,8	38
F3	531,72	19,88	20,13	164,0	4734	358,2	420,0		5034	771	19,5	1,2	15,7	19
F4	532,05	19,90	20,20	165,0	5006	377,0	417,5		5327	771	21,9	1,3	17,4	15
F5	531,93	19,74	20,53	168,7	4964	378,8	417,5		5281	783	21,8	1,3	17,1	14
G6	530,77	20,50	10,04	57,8	3862	-		sz, k	4100	529	8,9	-	-	-
G5	531,72	20,17	21,02	168,5	5064	382	422,5		5385	747	21,7	1,2	18,2	15
G4	531,11	19,71	20,82	168,1	5083	386,4	430,0		5399	771	22,5	1,2	19,0	17
G3	531,86	20,05	20,85	168,1	4958	378,1	427,5		5274	756	21,0	1,2	17,9	18
G2	531,93	20,09	21,04	162,6	4782	364,3	427,5		5087	723	18,7	1,1	16,6	17
G1	531,21	19,77	21,24	153,6	4552	340,1	427,5		4836	689	16,1	1,1	15,1	23
G1	530,34	19,29	21,41	158,2	4720	354,7	582,5	fahiba	5006	722	18,1	0,6	30,1	25
G2	531,63	19,86	21,14	168,7	4730	351,9	425,0		5029	756	19,1	1,2	16,1	19
G3	531,49	19,71	21,18	172,8	4712	352	420,0		5009	779	19,5	1,3	15,6	18
G4	531,56	19,60	21,13	173,8	4876	362,5	415,0		5184	789	21,2	1,3	16,3	17
G5	531,27	19,97	21,43	177,7	4871	366,1	417,5		5176	782	20,9	1,3	16,5	15
G6	531,70	21,23	11,75	85,5	4345	340,6	467,5	sz, k	4620	645	13,8	0,8	16,4	25
H5	531,44	20,35	21,03	159,0	4946	371,2	430,0	sz	5257	699	19,3	1,1	18,0	17
H4	531,92	20,45	20,76	170,4	5018	382,8	420,0		5338	755	21,5	1,2	17,7	-

H3	531,6	20,52	20,77	171,1	4907	376,4	415,0		5217	755	20,6	1,2	16,5	-	
H2	531,76	20,35	20,88	169,5	4891	374,2	410,0		5202	750	20,3	1,3	16,0	-	
H1	531,67	20,12	21,56	169,4	4630	350,6	410,0		4923	735	17,8	1,2	14,3	19	
H1	531,23	19,91	21,21	168,2	4652	355,6	412,5		4943	750	18,3	1,2	14,7	18	
H2	531,73	20,25	21,34	171,7	4751	368,7	407,5		5052	747	19,1	1,3	14,9	17	
H3	531,52	20,50	21,11	176,7	4786	369,8	417,5		5088	768	19,9	1,3	15,9	-	
H4	531,05	20,34	21,31	178,1	4892	371,1	412,5		5196	774	20,9	1,3	16,2	17	
H5	531,55	20,53	20,93	158,0	4479	297,6	452,5	sz, k	4762	692	15,7	1,0	16,4	28	
I4	531,98	20,53	20,22	165,4	4985	386,5	422,5		5304	749	21,1	1,2	17,7	-	
I3	530,30	20,39	20,22	165,5	5066	392,9	420,0		5373	757	21,9	1,2	18,0	-	
I2	531,70	20,38	20,45	165,5	5008	375,9	412,5		5326	747	21,2	1,2	17,0	-	
I1	531,68	19,80	20,39	159,6	4983	368,4	410,0		5299	744	20,9	1,3	16,6	16	
I1	531,26	18,01	20,13	154,1	4820	339,4	415,0		5121	800	21,0	1,3	15,9	17	
I2	530,93	19,32	20,39	155,4	4888	354,9	415,0		5190	743	20,0	1,2	16,4	-	
I3	530,48	20,35	20,78	161,8	4858	373,8	427,5		5154	721	19,2	1,1	17,2	15	
I4	531,44	20,19	20,73	148,8	4625	355,7	445,0	sz, k	4916	669	16,2	1,0	16,9	17	
J3	531,64	20,42	20,94	170,2	4968	379,8	412,5		5282	749	20,9	1,2	16,7	16	
J2	531,53	20,39	21,07	170,7	5030	386,9	415,0		5347	748	21,4	1,2	17,3	15	
J1	531,10	20,15	20,80	171,4	5055	376,4	410,0		5369	770	22,2	1,3	17,1	15	
J1	531,39	18,26	20,79	158,7	4780	334,7	412,5		5080	787	20,3	1,3	15,5	16	
J2	530,39	19,15	20,38	143,5	4348	280,8	467,5	sz, k	4612	693	14,7	0,9	16,5	26	
K1	530,74	11,31	-	103,6	3857	171,6	470,0	sz, k	4094	-	-	-	-	30	
K2	531,14	11,33	-	110,8	4190	178,5	447,5	sz, k	4451	-	-	-	-	25	
K3	531,36	11,52	-	84,0	4269	176,5	480,0	sz, k	4537	-	-	-	-	28	
K4	531,11	11,09	-	103,3	4136	173,6	447,5	sz, k	4393	-	-	-	-	33	
									Minimum	4094	529	8,9	0,6	12,3	14
									Maximum	5552	800	22,5	1,3	30,1	38
									Átlag	5104	736	19,6	1,2	16,9	20
									Szórás	305	43	2,5	0,1	2,0	5
									Mintaszám	81					

7. magassági szinten mért és számított adatok táblázata

P. sz.	Hossz	Szél.	Vast.	Tömeg	Long. frekv.	Hajlító frekv.	Tranzv. Idő	Megj.	Rostir. hangseb	Sűrűség	E	G	E/G	Log. dek.
	[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[Hz]	[Hz]	[ms]		[m/s]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[GPa]	[GPa]		
A <sub>4</sub>	528	19,65	19,10	140,1	5128	372,9	422,5		5415	707	20,7	1,1	18,7	13
A <sub>3</sub>	527	19,41	19,76	145,0	5166	380,2	430,0		5445	717	21,3	1,1	19,6	15
A <sub>2</sub>	527	19,57	19,13	142,3	5170	381,3	430,0		5449	721	21,4	1,1	19,7	13
A <sub>1</sub>	527	18,37	19,05	142,2	5133	362,3	430,0		5410	771	22,6	1,2	19,4	14
A1	527	19,38	19,03	143,9	5141	374,8	440,0		5419	740	21,7	1,1	20,4	15
A2	527	19,33	19,29	145,6	4770	353,4	435,0		5028	741	18,7	1,1	17,1	16
B <sub>4</sub>	527	19,00	17,78	158,7	4573	342,1	415,0		4820	891	20,7	1,4	14,3	15
B <sub>3</sub>	527	19,40	17,73	154,2	4608	349,7	407,5		4857	851	20,1	1,4	14,0	15
B <sub>2</sub>	527	19,34	17,85	154,5	4649	350,6	420,0		4900	849	20,4	1,3	15,2	15
B <sub>1</sub>	522	18,79	18,14	150,3	4642	341,8	415,0		4846	845	19,8	1,3	14,8	16
B1	526	19,26	18,73	158,8	4521	329,2	417,5		4756	837	18,9	1,3	14,2	18
B2	353	19,43	20,82	102,1	7806	802,3	362,5		5511	715	21,7	0,7	31,9	15
B3	419	19,23	20,87	119,9	6376	577	327,5		5343	713	20,4	1,2	17,3	14
B4	418	18,92	20,08	106,3	6123	574,4	325,0	k, sz	5119	669	17,5	1,1	15,7	19
C <sub>5</sub>	410	19,51	20,87	124,2	6285	596	307,5		5154	744	19,8	1,3	14,8	14
C <sub>4</sub>	550	19,25	20,76	169,1	4468	325,8	445,0		4915	769	18,6	1,2	15,7	17
C <sub>3</sub>	581	19,26	20,81	173,6	4287	295,5	462,5		4981	745	18,5	1,2	15,7	17
C <sub>2</sub>	541	19,30	21,05	158,7	4640	344,1	422,5		5020	722	18,2	1,2	15,3	17
C <sub>1</sub>	505	18,74	21,32	143,0	5146	397,8	407,5		5197	709	19,1	1,1	17,5	19
C1	525	19,00	20,80	147,7	4123	295,3	492,5		4329	712	13,3	0,8	16,4	30
C2	548	19,73	21,10	166,4	3639	2497	500,0	fahiba	3988	729	11,6	0,9	13,2	33
C3	357	19,23	20,24	112,6	7298	783,6	375,0		5211	810	22,0	0,7	29,8	15
C4	418	19,49	20,35	129,2	6400	593	420,0		5350	779	22,3	0,8	28,8	12
D <sub>5</sub>	528	19,58	20,13	160,8	4898	362,5	417,5		5172	773	20,7	1,2	16,6	13
D <sub>4</sub>	462	19,36	19,82	141,6	5545	473,9	355,0		5124	799	21,0	1,4	15,4	14



D3	304	19,35	19,71	88,1	8706	-	312,5	2 csúcs	5293	760	21,3	0,7	29,4	-
D2	295	19,26	19,52	85,1	8781	-	315,0	3 csúcs	5181	767	20,6	0,7	30,4	-
D1	437	19,21	19,86	108,2	4874	511,5	465,0	fahiba	4260	649	11,8	0,6	20,5	25
D1	437	19,12	19,93	105,1	6083	526,2	340,0		5317	631	17,8	1,0	17,0	23
D2	520	19,22	19,65	140,7	5163	354,3	425,0		5370	716	20,7	1,1	19,2	18
D3	585	19,08	19,70	165,1	3740	266,8	502,5	fahiba	4376	751	14,4	1,0	14,1	49
D4	402	19,09	19,70	115,4	6696	638,8	415,0		5384	763	22,1	0,7	30,7	15
D5	409	18,89	19,78	115	6482	596,8	420,0		5302	753	21,2	0,7	29,5	14
E5	569	15,60	22,66	112,2	4217	310,0	582,5	k, sz	4799	558	12,8	0,5	24,1	34
E4	517	18,98	22,77	156,4	5236	381,5	415,0		5414	700	20,5	1,1	18,8	14
E3	474	19,17	21,53	149,3	5478	450,4	362,5		5193	763	20,6	1,3	15,7	16
E2	408	18,71	20,05	108,3	6179	573,2	320,0		5042	708	18,0	1,2	15,5	20
E1	365	19,45	20,24	94,1	6354	711,6	407,5	fahiba	4638	655	14,1	0,5	26,7	25
E1	428	20,57	15,00	74,3	4880	478,6	500,0	BÉL, kor.,	4177	563	9,8	0,4	23,7	32
E2	460	19,44	22,00	118,9	5076	199,2	472,5	korh., göcs	4670	604	13,2	0,6	22,9	28
E3	540	19,29	22,45	170,2	4145	189,3	470,0	fahiba	4477	728	14,6	1,0	15,1	29
E4	376	19,44	20,12	117,5	6310	669,5	390,0		4745	799	18,0	0,7	24,1	14
E5	423	19,24	20,28	131,7	6042	547,6	330,0		5112	798	20,8	1,3	15,8	15
E6	563	19,50	22,58	171,9	4630	318,8	475,0	k, sz	5213	693	18,8	1,0	19,3	19
F4	450	19,01	21,90	139,1	5931	491,6	355,0		5338	742	21,2	1,2	17,6	14
F3	369	19,32	22,03	115,5	7427	763,3	387,5		5481	735	22,1	0,7	33,0	15
F2	400	19,45	21,83	120,4	6637	640,5	310,0		5310	709	20,0	1,2	16,8	16
F1	369	18,92	21,98	101,6	7129	736,1	400,0		5261	662	18,3	0,6	32,4	19
F1	368	19,37	21,87	93,3	7139	706,9	440,0	fahiba	5254	598	16,5	0,4	39,3	26
F2	357	19,90	21,63	96,2	7662	814,3	367,0		5471	626	18,7	0,6	31,5	22
F3	418	19,63	21,25	118,9	6361	593,8	315,0	fahiba	5318	682	19,3	1,2	16,0	22
F4	415	19,66	21,01	122,9	6395	590,4	320,0	fahiba	5308	717	20,2	1,2	16,6	21
F5	542	19,42	19,09	158,4	4516	333,4	430,0		4895	788	18,9	1,3	15,0	17
F6	607	19,5	19,32	164,4	4263	269,8	542,5	k, sz,	5175	719	19,3	0,9	21,3	15
G3	438	19,25	20,07	132,5	5929	530,9	325,0		5194	783	21,1	1,4	14,8	14

G2	444	19,01	20,51	137,3	5734	491,3	330,0		5092	793	20,6	1,4	14,2	14	
G1	443	18,54	21,03	136,0	5662	477,2	310,0		5017	787	19,8	1,6	12,2	16	
G1	443	18,44	21,19	134,9	5678	477,8	330,0		5031	779	19,7	1,4	14,0	21	
G2	478	19,44	21,15	147,3	5406	429,1	367,5		5168	749	20,0	1,3	15,7	16	
G3	455	19,70	20,48	145,5	5634	483,7	347,5		5127	793	20,8	1,4	15,2	16	
G4	492	19,63	20,66	160,8	5237	421,8	390,0		5153	806	21,4	1,3	16,6	15	
G5	509	19,31	21,12	164,0	5130	404,4	407,5		5222	790	21,5	1,2	17,4	16	
H3	526	18,72	16,00	120,1	4367	256,0	432,5		4594	762	16,1	1,1	14,2	23	
H2	528	18,50	19,78	138,4	4880	346,4	430,0		5153	716	19,0	1,1	17,5	13	
H1	525	19,27	19,38	147,8	5216	384,0	425,0		5477	754	22,6	1,2	19,6	16	
H1	527	19,02	19,15	149,1	5014	366,0	425,0		5285	777	21,7	1,2	18,1	14	
H2	527	18,97	19,25	151,1	4978	360,0	417,5		5247	785	21,6	1,3	17,2	13	
H3	527	19,08	19,15	149,7	4896	360,6	422,5		5160	777	20,7	1,2	17,0	13	
H4	563	18,80	18,60	140,3	4640	302,3	490,0	k, sz	5225	713	19,5	0,9	20,6	23	
I2	528	-	-	80,1	4265	-	492,5	k, sz	4504	-	-	-	-	-	
I1	528	19,36	19,50	148,3	4796	341,9	437,5	k, sz	5065	744	19,1	1,1	17,5	18	
I1	600	19,13	19,16	171,2	4192	269,8	500,0	k, sz	5030	778	19,7	1,1	17,5	15	
I2	591	19,36	19,32	165,5	4383	284,8	497,5	k, sz	5181	749	20,1	1,1	18,9	16	
I3	585	19,19	15,05	118,3	4812	308,7	472,5	k, sz	5630	700	22,2	1,1	20,6	23	
									Minimum	3988	558	9,8	0,4	12,2	12
									Maximum	5630	891	22,6	1,6	39,3	49
									Átlag	5082	739	19,2	1,1	19,5	18
									Szórás	338	64	2,8	0,3	5,9	6
									Mintaszám	74					

8. magassági szinten mért és számított adatok táblázata

P. sz.	Hossz	Szél.	Vast.	Tömeg	Long. frekv.	Hajlító frekv.	Tranzv. Idő	Megj.	Rostir. hangseb	Sűrűség	E	G	E/G	Log. dek.
	[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[Hz]	[Hz]	[ms]		[m/s]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[GPa]	[GPa]		
A <sub>3</sub>	501,96	19,29	23,00	147,5	5407	400,2	-		5428	662	19,5	-	-	17
A <sub>2</sub>	501,96	18,98	19,4	136,1	5137	398,8	-		5157	736	19,6	-	-	-
A <sub>1</sub>	501,07	19,18	19,42	131,0	5166	397,9	-		5177	702	18,8	-	-	14
A1	427,02	17,97	18,07	98,6	5831	499,0	-		4980	711	17,6	-	-	-
B <sub>4</sub>	501,73	19,17	16,95	132,7	5067	387,5	-		5085	814	21,0	-	-	15
B <sub>3</sub>	500,83	19,18	16,82	132,1	5135	401,7	-		5144	818	21,6	-	-	16
B <sub>2</sub>	502,11	19,02	16,84	132,3	5166	395,1	-		5188	823	22,1	-	-	16
B <sub>1</sub>	502,12	18,98	16,83	128,4	5272	387,8	-		5294	801	22,4	-	-	17
B1	500,13	18,77	16,90	125,4	5380	395,3	-		5381	790	22,9	-	-	17
B2	501,78	19,14	16,91	124,8	5150	399,1	-		5168	768	20,5	-	-	16
C <sub>5</sub>	443,50	19,29	16,88	109,5	5887	523,7	-		5222	758	20,7	-	-	15
C <sub>4</sub>	501,55	18,77	16,57	126,0	5011	379,1	-		5027	808	20,4	-	-	17
C <sub>3</sub>	501,77	19,16	16,47	124,4	5140	402,0	-		5158	786	20,9	-	-	20
C <sub>2</sub>	502,30	18,95	16,35	123,4	5143	392,4	-		5167	793	21,2	-	-	19
C <sub>1</sub>	500,09	18,99	16,81	116,7	5145	395,7	-		5146	731	19,4	-	-	20
C1	501,51	18,73	15,80	115,3	5251	398,8	-		5267	777	21,6	-	-	21
C2	501,35	18,78	15,58	115,3	5156	387,8	-		5170	786	21,0	-	-	18
C3	501,62	19,01	15,34	115,3	5279	401,7	-		5296	788	22,1	-	-	19
C4	461,14	19,15	15,08	96,3	5772	375,4	-		5323	723	20,5	-	-	17
D <sub>5</sub>	359,15	19,00	19,48	102,4	7540	776,8	-		5416	770	22,6	-	-	15
D <sub>4</sub>	410,26	19,07	19,47	117,7	6536	597,3	-		5363	773	22,2	-	-	18
D <sub>3</sub>	356,03	19,28	19,59	102,5	7251	772,0	-		5163	762	20,3	-	-	19
D <sub>2</sub>	501,45	19,21	19,87	139,8	4558	331,9	-	fahib.	4571	730	15,3	-	-	29
D <sub>1</sub>	501,67	19,05	20,13	137,7	4751	358,9	-	fahib.	4767	716	16,3	-	-	28
D1	502,11	19,15	19,86	139,9	4816	361,8	-		4836	733	17,1	-	-	26

D2	501,81	19,25	19,75	147,1	5077	382,4	-		5095	771	20,0	-	-	22
D3	502,42	19,27	19,68	150,0	5170	397,8	-		5195	787	21,2	-	-	22
D4	501,57	18,87	19,70	149,1	5400	400,4	-		5417	800	23,5	-	-	-
E6	436,24	17,90	20,79	122,2	5307	496,4	-	kéreg,	4630	753	16,1	-	-	22
E5	466,11	19,37	20,83	143,1	5539	458,2	-		5164	761	20,3	-	-	14
E4	418,62	19,21	20,49	130,7	6291	577,9	-		5267	793	22,0	-	-	16
E3	400,33	19,37	20,48	124,9	6217	601,9	-		4978	786	19,5	-	-	19
E2	361,33	19,28	20,65	105,4	6880	714,1	-		4972	733	18,1	-	-	24
E1	501,53	19,27	21,21	117,0	3970	306,9	-	BÉL, fahib.	3982	571	9,1	-	-	38
E1	502,41	19,74	21,10	127,9	3790	293,1	-	fahib.	3808	611	8,9	-	-	34
E2	501,86	19,54	20,93	152,9	4959	382,3	-		4977	745	18,5	-	-	23
E3	502,53	18,72	21,17	159,9	5057	380,1	-		5083	803	20,7	-	-	19
E4	502,73	19,40	21,21	161,2	5064	385,2	-		5092	779	20,2	-	-	16
E5	502,22	18,80	20,97	135,7	5397	445,3	-		5421	685	20,1	-	-	17
F5	501,66	19,17	20,79	160,3	4976	379,9	-		4993	802	20,0	-	-	16
F4	409,90	19,30	20,68	125,2	6299	588,1	-		5164	765	20,4	-	-	15
F3	502,15	19,42	20,61	161,1	4528	359,0	-	fahib.	4547	802	16,6	-	-	26
F2	368,96	19,43	20,87	115,0	6716	706,0	-		4956	769	18,9	-	-	20
F1	377,40	19,15	21,04	105,3	7122	706,7	-	fahib.	5376	692	20,0	-	-	28
F1	501,80	19,39	20,94	118,8	2857	218,2	-	fahib.	2867	583	4,8	-	-	50
F2	500,98	19,33	20,68	152,0	4873	365,7	-		4883	759	18,1	-	-	25
F3	501,71	18,81	20,74	159,1	5128	384,0	-		5146	813	21,5	-	-	18
F4	501,87	18,77	20,86	155,1	5271	387,4	-		5291	789	22,1	-	-	16
F5	502,27	19,49	20,95	141,6	5162	384,8	-	szíj., kéreg	5185	690	18,6	-	-	19
G5	501,68	18,74	20,89	152,6	4960	373,5	-		4977	777	19,2	-	-	16
G4	428,20	18,94	20,88	131,8	6001	538,2	-		5139	778	20,6	-	-	15
G3	425,93	19,25	21,02	132,8	5973	543,4	-		5088	771	19,9	-	-	15
G2	598,05	19,38	21,09	132,9	4116	271,2	-		4923	544	13,2	-	-	18
G1	597,85	19,02	21,20	172,8	3457	229,6	-	fahib.	4134	717	12,2	-	-	33
G1	383,23	18,88	21,27	112,5	6800	664,8	-		5212	731	19,9	-	-	20

G2	400,74	18,46	21,28	116,5	6298	583,1	-		5048	740	18,9	-	-	16
G3	598,29	21,08	18,35	183,9	4191	265,3	-		5015	795	20,0	-	-	15
G4	501,60	19,13	21,14	155,7	5079	389,0	-		5095	768	19,9	-	-	15
G5	501,61	19,55	20,55	119,9	4480	290,0	-	szíj., kér.,	4494	595	12,0	-	-	31
H5	502,78	18,92	20,44	130,8	4731	373,6	-		4757	673	15,2	-	-	27
H4	502,44	18,94	20,34	154,6	4963	345,7	-		4987	799	19,9	-	-	16
H3	418,13	19,06	20,01	128,3	6200	559,8	-		5185	805	21,6	-	-	14
H2	502,15	19,23	20,32	156,7	4954	384,0	-		4975	799	19,8	-	-	17
H1	502,06	19,15	20,26	155,1	4879	374,5	-		4899	796	19,1	-	-	18
H1	378,45	18,85	20,02	108,3	6974	684,8	-		5279	758	21,1	-	-	16
H2	501,31	18,15	20,30	141,7	5068	392,4	-		5081	767	19,8	-	-	33
H3	501,65	19,01	20,34	152,0	4850	371,2	-		4866	784	18,6	-	-	15
I4	502,20	19,06	18,88	133,6	4905	372,6	-	szíjács, kéreg	4927	739	17,9	-	-	17
I3	502,11	18,75	19,24	145,2	4983	376,2	-		5004	802	20,1	-	-	-
I2	502,42	18,79	19,36	147,5	5015	380,0	-		5039	807	20,5	-	-	19
I1	502,44	18,54	19,00	144,5	4801	362,5	-		4824	816	19,0	-	-	18
I1	421,72	18,46	19,42	115,0	6309	555,3	-		5321	761	21,5	-	-	16
I2	410,71	18,63	19,37	113,1	6293	566,6	-	szíjács, kéreg	5169	763	20,4	-	-	15
J3	502,16	18,92	14,32	98,0	4806	358,9	-	szíjács, kéreg	4827	720	16,8	-	-	22
J2	502,45	18,93	14,48	110,1	4897	372,2	-		4921	799	19,4	-	-	17
J1	501,68	18,15	14,97	110,0	4752	347,6	-		4768	807	18,3	-	-	18
J1	480,77	18,62	15,21	110,0	5239	408,8	-		5038	808	20,5	-	-	18
								Minimum	2867	544	4,8	-	-	14
								Maximum	5428	823	23,5	-	-	50
								Átlag	5005	755	19,1	-	-	20
								Szórás	386	59	3,2	-	-	6
								Mintaszám	77					

9. magassági szinten mért és számított adatok táblázata

P. sz.	Hossz	Szél.	Vast.	Tömeg	Long. frekv.	Hajlító frekv.	Tranzv. Idő	Megj.	Rostir. hangseb	Sűrűség	E	G	E/G	Log. dek.	Dinamikus keménység benyomódás átmérők [mm]			
															felir.	szkr.	[%]	[mm]
A <sub>1</sub>	541	-	-	75,4	3927	-	510,0	sz	4249	-	-	-	-	28	-	-	-	-
A1	446	-	-	76,0	5192	-	440,0	sz	4631	-	-	-	-	36	-	-	-	-
B <sub>2</sub>	531	-	-	159,6	4613	-	432,5	sz	4899	-	-	-	-	-	4,88	4,73	3,1	4,8
B <sub>1</sub>	563	20,77	19,95	191,2	4579	338,2	452,5		5156	820	21,8	1,3	17,1	21	5,03	4,94	1,8	5,0
B1	598	19,38	19,87	197,1	4094	270,6	480,0		4896	856	20,5	1,3	15,4	21	4,34	4,19	3,5	4,3
B2	554	20,49	20,13	185,2	3675	257,3	440,0	göcs	4072	810	13,4	1,3	10,4	32	4,82	4,66	3,3	4,7
B3	529	-	-	164,8	4293	-	447,5	göcs,rep.	4542	-	-	-	-	28	4,24	3,74	11,8	4,0
C <sub>3</sub>	440	-	-	135,0	5883	-	347,5	sz	5177	-	-	-	-	-	5,45	4,59	15,8	5,0
C <sub>2</sub>	470	21,15	21,08	153,6	5569	469,1	380,0		5235	733	20,1	1,1	17,8	-	4,6	4,29	6,7	4,4
C <sub>1</sub>	511	19,13	21,52	160,5	4893	360,7	407,5		5001	763	19,1	1,2	15,8	22	3,67	4,78		4,2
C1	530	19,78	20,50	170,0	4879	351,5	420,0		5172	791	21,2	1,3	16,7	25	3,35	4,88		4,1
C2	428	20,85	20,50	147,6	4414	362,7	335,0	göcs	3778	807	11,5	1,3	8,7	53	4,84	4,92	1,7	4,9
C3	502	19,89	20,50	166,8	4145	357,2	385,0	göcs	4162	815	14,1	1,4	10,1	30	4,66	5,27	13,1	5,0
C4	501	21,04	20,50	163,7	5206	413,2	402,5	göcs, sz	5216	758	20,6	1,2	17,5	22	4,22	4,23	0,2	4,2
D <sub>4</sub>	475	-	-	121,8	5036	-	402,5	sz	4784	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D <sub>3</sub>	484	20,88	20,63	161,1	5350	457,7	375,0		5179	773	20,7	1,3	16,0	18	4,02	4,66	15,9	4,3
D <sub>2</sub>	408	20,65	20,27	133,6	6074	608,9	310,0		4956	782	19,2	1,4	14,1	18	4,53	4,15	8,4	4,3
D <sub>1</sub>	373	20,24	20,28	117,6	6372	698,2	390,0		4754	768	17,4	0,7	24,6	-	4,49	4,73	5,3	4,6
D1	424	18,82	20,00	132,8	5627	517,0	447,0	göcs	4772	832	18,9	0,8	25,2	-	4,25	5,2	22,4	4,7
D2	524	20,74	20,79	173,1	4064	315,6	427,5	göcs	4259	766	13,9	1,2	12,0	<u>35</u>	4,68	5,24	12,0	5,0

D3	526	20,62	20,40	168,6	4672	365,4	425,0		4915	762	18,4	1,2	15,7	26	4,22	3,78	10,4	4,0
D4	545	20,53	20,00	178,6	4746	353,0	430,0		5173	798	21,4	1,3	16,6	23	4,61	4,49	2,6	4,6
E4	557	20,86	19,00	180,6	4471	328,8	440,0		4981	818	20,3	1,3	15,4	19	3,8	5,44		4,6
E3	545	20,58	19,00	179,6	4467	347,8	432,5		4869	843	20,0	1,3	14,9	19	4,86	5,14	5,8	5,0
E2	461	20,73	19,00	146,2	5241	468,8	357,5		4832	805	18,8	1,3	14,0	20	4,74	4,23	10,8	4,5
E1	360	20,52	19,00	102,2	6832	774,7	372,5		4919	728	17,6	0,7	25,8	27	5,53	4,87	11,9	5,2
E1	415	20,39	19,00	105,2	4910	-	342,5	BÉL, g., rep.	4075	654	10,9	1,0	11,2	-	4,81	5,31	10,4	5,1
E2	524	20,61	19,00	157,3	4523	356,5	415,0	göcs	4740	767	17,2	1,2	14,0	28	4,37	4,22	3,4	4,3
E3	469	20,35	19,00	139,5	5419	455,8	365,0		5083	769	19,9	1,3	15,6	25	5,25	5	4,8	5,1
E4	470	20,66	19,00	145,7	5760	479,3	360,0		5414	790	23,2	1,4	17,1	27	4,69	4,46	4,9	4,6
E5	517	20,75	19,00	161,5	4758	396,5	415,0	sz	4920	792	19,2	1,2	15,5	23	5,13	5,04	1,8	5,1
F4	525	20,76	20,50	180,7	4783	375,8	410,0		5022	809	20,4	1,3	15,3	23	4,74	4,27	9,9	4,5
F3	513	20,78	20,50	178,1	4782	384,2	397,5		4906	815	19,6	1,4	14,4	22	4,8	4,71	1,9	4,8
F2	516	20,51	20,50	175,3	4522	356,2	407,5	göcs	4667	808	17,6	1,3	13,5	24	4,58	4,19	8,5	4,4
F1	501	20,58	20,50	155,2	4204	343,8	392,5	korhadt, göcs	4212	734	13,0	1,2	10,8	37	4,28	3,87	9,6	4,1
F1	363	19,92	20,50	98,0	6142	651,2	457,5	korhadt, göcs	4459	661	13,1	0,4	31,4	33	4,74	5,38	13,5	5,1
F2	361	20,48	20,50	113,5	6676	728,6	392,5	göcs	4820	749	17,4	0,6	27,3	29	4,47	4,74	6,0	4,6
F3	447	20,50	20,50	146,2	5694	506,8	337,5	göcs	5090	778	20,2	1,4	14,7	27	5,13	4,83	5,8	5,0
F4	435	20,23	20,50	142,9	5684	516,9	332,5	sz	4945	792	19,4	1,4	14,2	24	5,28	5,41	2,5	5,3
F5	430	20,52	20,50	143,3	5754	550,3	337,5	sz	4948	792	19,4	1,3	15,0	20	4,09	4,28	4,6	4,2
G4	510	20,55	18,11	162,5	4750	375,6	405,0		4845	856	20,1	1,4	14,7	21	4,34	4,72	8,8	4,5
G3	317	20,28	20,18	101,8	7740	974,3	327,5		4907	785	18,9	0,7	25,5	17	4,69	4,05	13,6	4,4
G2	275	20,25	20,35	86,0	8552	1239	300,0	göcs	4704	759	16,8	0,6	26,2	24	4,53	5,27	16,3	4,9
G1	505	19,56	20,76	155,5	4305	318,6	407,5		4348	758	14,3	1,2	12,2	35	4,54	5	10,1	4,8

G1	471	20,18	20,59	145,3	5167	429,3	362,5		4867	742	17,6	1,3	14,0	24	4,44	5	12,6	4,7
G2	472	20,21	20,43	150,5	5209	449,3	347,5	göcs	4917	772	18,7	1,4	13,0	23	4,6	4,99	8,5	4,8
G3	562	20,24	20,12	180,8	4190	310,1	460,0	göcs	4710	790	17,5	1,2	14,8	23	4,15	5,38		4,8
G4	407	20,22	20,53	135,2	6116	581,4	317,5	sz	4978	800	19,8	1,3	15,0	24	4,89	4,85	0,8	4,9
G5	525	-	-	148,0	4535	-	432,5	sz	4762	-	-	-	-	-	4,87	5,41	11,1	5,1
H <sub>3</sub>	331	-	-	84,6	6852	-	370,0	göcs	4536	-	-	-	-	25	-	-	-	-
H <sub>2</sub>	531	20,17	19,97	166,4	4092	319,8	430,0		4346	778	14,7	1,2	12,3	28	5,05	4,74	6,1	4,9
H <sub>1</sub>	500	19,63	19,80	157,5	4662	345,2	412,5		4662	810	17,6	1,2	14,7	19	4,26	5,22	22,5	4,7
H1	480	19,47	19,43	142,4	5122	409,1	375,0		4917	784	19,0	1,3	14,7	22	4,4	4,65	5,7	4,5
H2	514	20,04	19,68	153,9	4971	399,0	392,5		5110	759	19,8	1,3	15,1	21	4,54	4,93	8,6	4,7
H3	530	20,35	20,47	174,5	4767	369,8	415,0		5053	790	20,2	1,3	15,6	23	4,72	4,43	6,1	4,6
H4	566	-	-	176,5	4340	-	457,5	sz	4913	-	-	-	-	-	5,1	5,1	0,0	5,1
I <sub>2</sub>	550	-	-	176,0	4308	-	460,0	sz	4739	-	-	-	-	25	3,84	4,05	5,5	3,9
I <sub>1</sub>	550	20,53	20,54	175,4	4464	326,7	442,5		4910	756	18,2	1,2	15,5	28	4,28	4,8	12,1	4,5
I1	455	19,71	20,49	143,6	5467	471,9	347,5		4975	781	19,3	1,3	14,4	21	4,33	4,73	9,2	4,5
I2	513	20,26	20,65	166,3	4797	379,6	407,5	sz	4922	775	18,8	1,2	15,2	24	3,41	4,8		4,1
I3	469	-	-	136,7	5484	-	370,0	sz	5144	-	-	-	-	19	4,65	4,2	9,7	4,4
								Min.	3778	654	10,9	0,4	8,7	17	3,35	3,74	0,00	3,95
								Max.	5414	856	23,2	1,4	31,4	53	5,53	5,44	22,5	5,35
								Átlag	4806	781	18,2	1,2	16,1	25	4,6	4,7	8,1	4,6
								Szórás	329	39	2,7	0,2	4,7	6	0,4	0,4	5,2	0,3
								M.sz.	61									



10. magassági szinten mért és számított adatok táblázata

P. sz.	Hossz	Szél.	Vast.	Tömeg	Long. frekv.	Hajlító frekv.	Tranzv. Idő	Megj.	Rostir. hangseb	Sűrűség	E	G	E/G	Log. dek.
	[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[Hz]	[Hz]	[ms]		[m/s]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[GPa]	[GPa]		
A <sub>2</sub>	441	20,00	15,10	73,1	5722	-	-	szél	5047	549	14,0	-	-	30
A <sub>1</sub>	638	19,78	24,75	182,9	3882	-	-	szél	4953	586	14,4	-	-	29
A <sub>1</sub>	525	20,32	20,03	168,5	4734	357,9	-		4971	789	19,5	-	-	19
A <sub>2</sub>	328	20,19	20,12	113,1	6999	827,6	-		4591	849	17,9	-	-	24
B <sub>4</sub>	509	20,10	17,72	123,6	4709	-	-	szél	4794	682	15,7	-	-	26
B <sub>3</sub>	595	19,93	20,10	173,7	4027	275,2	-	szél	4792	729	16,7	-	-	-
B <sub>2</sub>	581	19,96	20,50	183,3	4303	395,7	-		5000	771	19,3	-	-	19
B <sub>1</sub>	559	19,67	20,24	185,5	4347	307,5	-		4860	834	19,7	-	-	21
B <sub>1</sub>	561	19,74	20,19	195,7	4058	274,7	-		4553	875	18,1	-	-	30
B <sub>2</sub>	591	19,75	20,18	204,2	3427	205,9	-	göcs, fahiba	4051	867	14,2	-	-	41
B <sub>3</sub>	337	20,32	20,54	112,8	7431	840,8	-	szél	5008	802	20,1	-	-	22
C <sub>5</sub>	594	20,28	21,21	180,6	4039	-	-	szél	4798	707	16,3	-	-	-
C <sub>4</sub>	565	20,03	21,10	195,8	4372	314,7	-		4940	820	20,0	-	-	19
C <sub>3</sub>	598	19,86	21,08	203,2	4058	273,9	-		4853	812	19,1	-	-	21
C <sub>2</sub>	539	19,80	21,33	181,8	4400	327,9	-		4743	799	18,0	-	-	23
C <sub>1</sub>	616	19,11	21,54	206,2	3887	241,1	-	repedés	4789	813	18,6	-	-	25
C <sub>1</sub>	487	19,44	21,20	171,3	4215	312,8	-		4105	853	14,4	-	-	40
C <sub>2</sub>	341	20,38	21,81	119,8	7306	841,2	-		4983	790	19,6	-	-	21
C <sub>3</sub>	324	19,76	21,71	114,8	7084	810,4	-		4590	826	17,4	-	-	27
C <sub>4</sub>	252	20,26	20,93	89,4	8235	-	-	göcs	4150	837	14,4	-	-	25
D <sub>5</sub>	595	20,34	18,36	196,0	4099	280,5	-		4878	882	21,0	-	-	19
D <sub>4</sub>	555	20,20	18,00	185,2	4260	317,2	-		4729	918	20,5	-	-	19
D <sub>3</sub>	586	20,19	18,06	192,3	3985	277,6	-		4670	900	19,6	-	-	23
D <sub>2</sub>	587	20,23	18,46	183,0	3832	270,6	-		4499	835	16,9	-	-	26
D <sub>1</sub>	384	19,94	17,66	110,5	5645	571,4	-		4335	817	15,4	-	-	28

D1	449	18,32	17,72	121,0	3638	269,8	-	fahiba	3267	830	8,9	-	-	50
D2	271	19,91	21,67	81,5	7114	1068,0	-	göcs	3856	697	10,4	-	-	54
D3	317	19,99	20,32	109,6	7050	917,8	-	göcs	4470	851	17,0	-	-	29
E5	613	20,14	21,52	202,5	4233	271,9	-		5190	762	20,5	-	-	20
E4	578	20,00	21,54	194,2	4442	305,4	-		5135	780	20,6	-	-	23
E3	571	19,85	21,59	190,1	4204	288,5	-		4801	777	17,9	-	-	24
E2	415	19,99	21,75	110,6	4920	461,0	-		4084	613	10,2	-	-	40
E1	386	19,60	19,60	98,8	4304	422,5	-		3323	666	7,4	-	-	40
E1	551	19,01	22,41	159,9	3509	240,0	-		3867	681	10,2	-	-	54
E2	550	19,68	18,70	179,3	2692	182,8	-	göcs	2961	886	7,8	-	-	60
E3	314	20,15	22,44	126,9	7442	960,1	-		4674	894	19,5	-	-	26
F5	628	19,03	19,20	160,8	3629	-	-	szél	4558	701	14,6	-	-	24
F4	612	20,17	17,20	171,2	4140	268,9	-		5067	806	20,7	-	-	19
F3	603	19,10	16,50	161,2	4004	249,4	-		4829	848	19,8	-	-	29
F2	567	20,12	17,20	140,7	3742	259,5	-		4243	717	12,9	-	-	50
F1	297	19,69	15,38	71,8	8354	801,8	-	BÉL	4962	798	19,7	-	-	42
F1	351	19,48	20,40	116,0	6674	740,1	-		4685	832	18,3	-	-	29
F2	316	20,56	18,40	109,5	7604	970,2	-		4806	916	21,2	-	-	21
F3	351	21,25	19,40	129,8	5854	714,8	-	göcs	4110	897	15,1	-	-	29
G4	571	20,23	19,87	156,4	4280	-	-	szél	4888	681	16,3	-	-	25
G3	577	19,47	20,06	175,8	4330	287,7	-		4997	780	19,5	-	-	23
G2	579	20,06	19,91	183,8	4169	280,6	-		4828	795	18,5	-	-	27
G1	581	19,24	19,61	171,8	4022	273,9	-		4674	784	17,1	-	-	31
G1	470	19,10	19,80	143,5	5194	421,1	-		4882	807	19,2	-	-	24
G2	350	20,88	19,69	120,0	7108	843,9	-		4976	834	20,6	-	-	20
G3	333	21,14	20,43	116,6	7150	904,3	-	szél	4762	811	18,4	-	-	22
H3	585	19,89	19,85	179,4	4236	288,7	-	szél	4956	777	19,1	-	-	-
H2	528	19,96	20,13	165,2	4736	355,8	-		5001	779	19,5	-	-	22
H1	579	19,42	19,95	175,5	4368	287,9	-		5058	782	20,0	-	-	21
H1	481	18,16	20,27	142,5	5267	400,0	-		5067	805	20,7	-	-	22

H2	569	21,40	20,12	192,5	4067	297,9	-		4628	786	16,8	-	-	25
H3	266	21,30	20,23	95,1	8775	1348,0	-		4668	830	18,1	-	-	25
								Minimum	2961	549	7,4	-	-	19
								Maximum	5190	918	21,2	-	-	60
								Átlag	4631	792	17,1	-	-	28
								Szórás	472	79	3,5	-	-	10
								Mintaszám	57					

### 11. magassági szinten mért és számított adatok táblázata

P. sz.	Hossz	Szél.	Vast.	Tömeg	Long. frekv.	Hajlító frekv.	Tranzv. Idő	Megj.	Rostir. hangseb	Sűrűség	E	G	E/G	Log. dek.
	[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[Hz]	[Hz]	[ms]		[m/s]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[GPa]	[GPa]		
A <sub>1</sub>	530,28	20,19	20,42	147,8	4715	379,6	442,5	2 csúcs, sz	5001	676	16,9	1,0	17,3	-
A1	531,85	19,16	20,10	139,3	4759	372,2	445,0	2 csúcs, sz	5062	680	17,4	1,0	17,9	-
A2	531,63	17,64	18,27	121,5	4487	301,0	455,0	2 csúcs, sz	4771	709	16,1	1,0	16,6	-
B <sub>3</sub>	531,01	19,71	20,87	170,6	5008	372,2	417,5		5319	781	22,1	1,3	17,4	18
B <sub>2</sub>	531,36	19,94	20,72	172,3	4050	372,0	415,0	2 csúcs	4304	785	14,5	1,3	11,2	14
B <sub>1</sub>	531,26	19,71	20,74	168,4	4886	359,4	417,5		5191	775	20,9	1,3	16,6	15
B1	530,96	19,10	20,84	160,7	4791	346,2	417,5		5088	760	19,7	1,2	15,9	16
B2	531,40	19,88	20,64	173,8	4992	371,8	412,5		5305	797	22,4	1,3	16,9	15
C <sub>3</sub>	531,11	19,57	20,85	170,8	5048	373,3	420,0		5362	788	22,7	1,3	17,9	16
C <sub>2</sub>	530,75	19,70	20,92	171,4	5121	377,5	407,5		5436	784	23,2	1,3	17,3	16
C <sub>1</sub>	530,98	19,68	21,11	162,8	4897	355,9	412,5		5200	738	20,0	1,2	16,2	17
C1	531,14	19,02	21,10	168,7	4852	358,2	415,0		5154	791	21,0	1,3	16,1	18
C2	531,18	19,81	20,91	180,7	4925	367,3	405,0		5232	821	22,5	1,4	15,8	-
C3	531,18	19,96	20,99	179,6	4967	369,4	417,5		5277	807	22,5	1,3	17,1	-
D <sub>5</sub>	440,37	21,24	8,72	59,2	5728	-	390,0	sz	5045	726	18,5	0,9	19,9	-
D <sub>4</sub>	530,63	19,63	20,90	176,9	5050	373,0	422,5		5359	813	23,3	1,3	18,1	14

D3	530,71	19,96	20,83	174,7	4967	370,0	415,0		5272	792	22,0	1,3	16,9	17
D2	531,30	19,80	21,32	162,5	4285	361,1	407,5		4553	725	15,0	1,2	12,1	19
D1	531,20	19,58	20,97	160,3	4892	353,0	410,0		5197	735	19,9	1,2	16,0	18
D1	531,94	19,89	20,82	173,9	4869	360,8	422,5		5180	789	21,2	1,3	16,8	17
D2	531,64	20,00	20,94	178,4	4850	363,0	417,5		5157	801	21,3	1,3	16,3	16
D3	531,41	19,87	21,05	180,7	4901	368,6	420,0		5209	813	22,1	1,3	16,9	14
D4/1	437,62	9,81	7,43	24,7	5155	-		sz	4512	774	15,8	-	-	-
D4/2	437,42	8,34	5,86	16,3	4968	-		sz	4346	762	14,4	-	-	-
E4	529,86	20,14	20,82	177,9	5145	393,9	422,5	göcs	5452	801	23,8	1,3	18,8	15
E3	529,15	20,12	20,60	176,2	4966	381,4	427,5	fahib., 2 cs.	5256	803	22,2	1,2	17,9	-
E2	530,86	20,39	21,20	168,0	4967	364,7	427,5	fahiba, k	5274	732	20,4	1,1	18,0	24
E1	530,86	20,33	20,80	158,1	4966	373,9	605,0	BÉL, k	5273	704	19,6	0,5	36,0	20
E1	531,41	19,76	20,76	168,8	4893	366,3	415,0		5200	774	20,9	1,3	16,4	18
E2	531,49	19,92	20,94	172,3	4881	369,4	417,5		5188	777	20,9	1,3	16,5	16
E3	531,22	19,72	21,12	169,1	4875	357,6	425,0		5179	764	20,5	1,2	17,1	17
F4	530,65	19,95	20,52	171,4	4950	369,0	422,5		5253	789	21,8	1,3	17,4	15
F3	530,18	19,83	20,54	173,0	5065	371,0	422,5		5371	801	23,1	1,3	18,2	-
F2	530,54	19,78	20,64	170,5	5087	377,5	415,0		5398	787	22,9	1,3	17,7	19
F1	530,85	19,97	20,88	160,8	4954	361,6	422,5		5260	726	20,1	1,2	17,4	18
F1	531,50	19,12	20,69	165,6	4866	357,8	422,5		5173	788	21,1	1,3	16,8	16
F2	531,50	19,97	20,6	172,4	4969	372,1	415,0		5282	788	22,0	1,3	16,9	15
F3	531,57	20,13	20,65	169,0	4781	352,4	432,5	2 csúcs	5083	765	19,8	1,2	17,0	17
G3	530,71	19,55	19,20	160,0	4948	366,0	430,0		5252	803	22,2	1,2	18,0	14
G2	529,90	19,37	18,86	157,5	5000	375,7	442,5	fahiba	5299	814	22,8	1,2	19,5	-
G1	530,40	18,92	19,56	157,3	5168	353,5	425,0		5482	801	24,1	1,3	19,2	15
G1	530,72	19,25	19,76	158,2	4975	366,0	422,5		5281	784	21,9	1,2	17,6	23
G2	531,40	19,63	19,37	157,8	4902	366,6	430,0	2 csúcs	5210	781	21,2	1,2	17,7	-
G3	531,04	20,09	18,80	149,7	4337	316,1		sz, 2 csúcs	4606	746	15,8	-	-	-
H2	530,20	19,60	17,66	133,0	4575	335,2	455,0	sz	4851	725	17,1	1,0	17,3	21
H1	530,49	18,92	17,62	136,3	4648	332,3	450,0	sz	4931	771	18,7	1,1	17,4	16

H1	530,19	19,45	18,11	145,3	4651	339,8	447,5	sz	4932	778	18,9	1,1	17,3	16
H2	531,01	19,97	17,74	127,5	4133	305,9		sz, k	4389	678	13,1	-	-	21
								Minimum	4304	676	13,1	0,5	11,2	14
								Maximum	5482	821	24,1	1,4	36,0	24
								Átlag	5113	769	20,2	1,2	17,5	17
								Szórás	293	38	2,8	0,1	3,2	2
								Mintaszám	48					

### 12. magassági szinten mért és számított adatok táblázata

P. sz.	Hossz	Szél.	Vast.	Tömeg	Long. frekv.	Hajlító frekv.	Tranzv. Idő	Megj.	Rostir. hangseb	Sűrűség	E	G	E/G	Log. dek.
	[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[Hz]	[Hz]	[ms]		[m/s]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[GPa]	[GPa]		
A <sub>1</sub>	526	-	-	48,7	-	-	-	sz, k	-	-	-	-	-	-
A1	530	19,27	15,07	103,6	-	312	-	sz, k	-	673	-	-	-	21
A2	527	19,28	13,45	86,8	-	309,5	-	sz, k	-	635	-	-	-	20
A3	531	20,40	-	34,4	-	-	-	sz, k	-	-	-	-	-	-
B <sub>2</sub>	527	18,71	18,94	150,7	-	322,3	-		-	807	-	-	-	17
B <sub>1</sub>	527	18,56	19,97	150,7	-	345,8	-	sz	-	772	-	-	-	17
B1	527	19,04	19,96	154,7	-	353,6	-		-	772	-	-	-	14
B2	525	18,89	19,79	154,4	-	365,6	-		-	787	-	-	-	15
B3	526	18,06	19,82	142,2	-	336,3	-	sz	-	755	-	-	-	19
C <sub>3</sub>	530	19,01	18,30	149,3	4806	345,8	-	sz	5094	810	21,0	-	-	14
C <sub>2</sub>	528	18,90	-	163,0	4887	352	-	2 csúcs	5161	-	-	-	-	14
C <sub>1</sub>	525	19,20	19,97	160,9	5060	364,7	-		5313	799	22,6	-	-	15
C1	528	18,69	20,10	156,5	5016	356,3	-		5297	789	22,1	-	-	15
C2	527	18,75	19,88	159,2	-	366	-		-	810	-	-	-	16
C3	527	19,04	19,88	160,0	-	365,6	-		-	802	-	-	-	15
C4	528	19,19	-	150,7	-	339,4	-	szél	-	-	-	-	-	16

D3	527	18,92	19,22	150,7	4960	350,1	-		5228	786	21,5	-	-	11
D2	527	19,14	18,98	157,8	4894	351,5	-		5158	824	21,9	-	-	14
D1	528	18,85	18,89	150,7	4755	344,6	-		5021	802	20,2	-	-	14
D1	528	19,20	19,14	143,6	4969	358,1	-		5247	740	20,4	-	-	16
D2	526	19,10	-	147,0	4955	369,7	-		5213	-	-	-	-	19
D3	527	19,17	19,02	152,0	5140	379,1	-		5418	791	23,2	-	-	15
D4	526	19,25	19,33	154,9	-	368	-		-	791	-	-	-	9
E3	528	18,98	19,40	160,5	4866	354,1	-		5138	826	21,8	-	-	12
E2	525	19,12	20,02	159,2	4824	348,3	-		5065	792	20,3	-	-	19
E1	527	19,04	18,81	152,6	4803	353,1	-		5062	809	20,7	-	-	15
E1	528	19,38	18,60	148,1	4048	331,8	-	k	4275	778	14,2	-	-	30
E2	526	19,32	-	158,2	4963	357,2	-	fahiba	5221	-	-	-	-	28
E3	525	19,10	18,59	156,3	5385	363,7	-		5654	838	26,8	-	-	20
E4	527	19,24	19,04	155,4	4976	354,5	-		5245	805	22,1	-	-	12
G3	527	18,78	18,26	140,3	4569	310,0	-	sz, fahiba	4816	776	18,0	-	-	18
G2	527	18,92	19,32	151,2	5018	352,2	-		5289	785	22,0	-	-	12
G1	530	18,89	-	151,7	4900	341,4	-	2 csúcs	5194	-	-	-	-	16
G1	528	19,11	18,76	147,0	4955	351,8	-		5232	777	21,3	-	-	16
G2	526	18,38	17,57	139,3	4893	343,0	-		5147	820	21,7	-	-	17
G3	526	20,09	19,04	153,4	4715	334,3	-	sz	4960	762	18,8	-	-	17
H3	528	-	-	53,9	3903	-	-	sz, k	4122	-	-	-	-	-
H2	529	18,90	18,24	147,3	4872	335,8	-		5155	808	21,5	-	-	17
H1	526	18,94	19,01	144,7	4893	345,4	-		5147	764	20,2	-	-	15
H1	528	18,99	18,42	142,1	4853	352,6	-		5125	769	20,2	-	-	15
H2	528	18,79	17,71	144,5	4892	354,9	-		5166	822	21,9	-	-	15
H3	528	19,13	18,11	144,2	4811	329,2	-		5080	788	20,3	-	-	17
H4	528	-	-	62,5	4735	-	-	sz, k	5000	-	-	-	-	-
I1	527	18,86	11,50	88,6	4470	-	-	sz, k	4711	775	17,2	-	-	25
I2	528	16,35	18,70	110,2	4911	279,5	-	sz, k	5186	683	18,4	-	-	22
I3	526	18,37	16,50	115,9	4891	329,0	-	sz, k	5145	727	19,2	-	-	23

Minimum	4122	635	14,2	-	-	9
Maximum	5654	838	26,8	-	-	30
Átlag	5100	780	20,7	-	-	17
Szórás	284	43	2,3	-	-	4
Mintaszám	46					

### 13. magassági szinten mért és számított adatok táblázata

P. sz.	Hossz	Szél.	Vast.	Tömeg	Long. frekv.	Hajlító frekv.	Tranzv. Idő	Megj.	Rostir. hangseb	Sűrűség	E	G	E/G	Log. dek.
	[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[Hz]	[Hz]	[ms]		[m/s]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[GPa]	[GPa]		
A <sub>2</sub>	501	-	-	34,3	4953	-	652,5	sz	4963	-	-	-	-	-
A <sub>1</sub>	560	-	-	46,9	4154	-	305,0	sz	4652	-	-	-	-	-
A <sub>1</sub>	572	-	-	56,0	3750	-	540,0	sz	4290	-	-	-	-	-
B <sub>4</sub>	512	15,25	18,00	116,7	4395	245,2	430,0	sz	4500	830	16,8	1,2	14,2	26
B <sub>3</sub>	497	15,25	20,73	131,2	5337	297,5	395,0		5305	835	23,5	1,3	17,7	22
B <sub>2</sub>	450	15,50	20,72	115,8	4772	369,2	352,5		4295	801	14,8	1,3	11,3	22
B <sub>1</sub>	489	14,96	21,04	123,3	4891	301,9	382,5		4783	801	18,3	1,3	13,9	22
B <sub>1</sub>	487	15,42	20,84	125,7	4923	311,1	372,5		4795	803	18,5	1,4	13,4	22
B <sub>2</sub>	435	15,55	18,00	104,8	5292	-	350,0	sz	4604	861	18,2	1,3	13,6	25
C <sub>5</sub>	464	15,46	20,00	116,2	5245	342,6	370,0		4867	810	19,2	1,3	15,0	22
C <sub>4</sub>	442	15,38	20,00	117,0	5684	395,9	342,5		5025	861	21,7	1,4	15,1	21
C <sub>3</sub>	478	15,44	20,00	122,6	5198	338,4	370,0		4969	831	20,5	1,4	14,7	23
C <sub>2</sub>	483	15,37	20,00	124,0	5220	328,1	377,5		5043	835	21,2	1,4	15,5	25
C <sub>1</sub>	422	15,07	20,00	107,7	6090	429,3	320,0		5140	847	22,4	1,5	15,1	23
C <sub>1</sub>	419	15,32	20,00	109,1	4714	281,1	410,0		3950	850	13,3	0,9	14,9	25
C <sub>2</sub>	434	15,21	-	119,6	5580	378,4	335,0		4843	-	-	-	-	29
C <sub>3</sub>	435	-	20,00	108,1	5288	-	362,5	sz	4601	-	-	-	-	40
D <sub>5</sub>	487	13,00	20,50	96,7	4854	277,2	485,0	sz	4728	745	16,7	0,8	22,1	29

D4	505	20,14	20,50	171,3	5042	396,9	395,0		5092	822	21,3	1,3	15,8	21
D3	496	20,14	20,50	167,3	4932	399,5	477,5		4893	817	19,6	0,9	22,1	24
D2	401	20,08	20,50	139,3	6202	618,2	400,0		4974	844	20,9	0,9	24,5	22
D1	368	19,47	20,50	119,4	6701	689,0	427,5	repedt	4932	813	19,8	0,6	32,7	34
D1	400	19,48	20,50	138,9	6128	586,3	402,5		4902	870	20,9	0,9	24,2	29
D2	412	20,15	20,50	143,8	3259	-	337,5	korh, göcs	2685	845	6,1	1,3	4,8	-
E5	491	18,00	19,80	116,9	4831	328,3	450,0		4744	668	15,0	0,8	18,8	30
E4	531	19,72	19,80	174,5	4609	347,5	427,5		4895	842	20,2	1,3	15,5	18
E3	500	19,98	19,80	168,4	4896	393,0	392,5		4896	851	20,4	1,4	14,7	24
E2	450	19,05	19,80	143,4	5451	449,0	345,0	repedt, göcs	4906	845	20,3	1,4	14,1	29
E1	382	19,40	19,80	111,7	5026	-	397,5	BÉL, kor., r	3840	761	11,2	0,7	15,9	-
E1	272	19,18	19,80	88,0	9227	1241,0	297,5		5019	852	21,5	0,7	29,9	30
E2	344	19,19	19,80	116,0	7063	780,2	355,0		4859	887	21,0	0,8	25,0	27
F5	480	-	18,30	39,1	4622	-		sz	4437	-	-	-	-	-
F4	522	-	18,30	127,4	4499	-	445,0	sz	4697	-	-	-	-	24
F3	538	19,79	18,30	161,7	4657	349,0	432,5		5011	830	20,8	1,3	16,2	22
F2	470	19,13	18,30	138,8	5317	440,0	360,0		4998	844	21,1	1,4	14,6	23
F1	381	19,43	18,30	106,5	6388	-	302,5	repedt	4868	786	18,6	1,3	14,8	-
F1	389	18,47	18,30	112,6	6158	573,5	410,0	repedt	4791	856	19,7	0,8	25,4	31
F2	380	19,02	-	122,4	6174	628,9	410,0	göcs	4692	-	-	-	-	-
G3	450	-	19,50	90,6	4969	-	410,0	sz	4472	-	-	-	-	-
G2	498	19,22	19,50	157,6	4749	374,4	402,5		4730	844	18,9	1,3	14,5	20
G1	453	19,82	19,50	147,0	5484	477,2	350,0		4969	840	20,7	1,4	14,7	-
G1	411	18,97	19,50	127,0	5669	512,3	332,5		4660	835	18,1	1,3	14,1	23
G2	445	-	19,50	109,1	4709	-	407,5	sz	4191	-	-	-	-	-
								Minimum	2685	668	6,1	0,6	4,8	18
								Maximum	5305	887	23,5	1,5	32,7	40
								Átlag	4709	826	18,8	1,2	17,2	25
								Szórás	437	41	3,5	0,3	5,6	5
								Mintaszám	43					



14. magassági szinten mért és számított adatok táblázata

P. sz.	Hossz	Szél.	Vast.	Tömeg	Long. frekv.	Hajlító frekv.	Tranzv. Idő	Megj.	Rostir. hangseb	Sűrűség	E	G	E/G	Log. dek.
	[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[Hz]	[Hz]	[ms]		[m/s]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[GPa]	[GPa]		
A <sub>3</sub>	263	14,68	15,23	48,9	9279	1020,0	-	szél	4881	832	19,8	-	-	21
A <sub>2</sub>	339	14,80	15,24	65,1	7494	641,2	-		5081	851	22,0	-	-	18
A <sub>1</sub>	356	13,22	14,92	58,0	6765	511,0	-		4817	826	19,2	-	-	20
A1	473	13,54	15,00	70,0	5566	-	-	szél	5265	729	20,2	-	-	29
A2	278	14,74	14,60	46,4	8450	-	-	szél	4698	776	17,1	-	-	-
B <sub>4</sub>	288	14,81	15,24	53,0	8422	849,5	-	csumó	4851	815	19,2	-	-	24
B <sub>3</sub>	480	14,76	15,42	91,5	5116	317,0	-		4911	838	20,2	-	-	19
B <sub>2</sub>	473	14,26	15,66	88,1	5410	324,9	-		5118	834	21,8	-	-	20
B <sub>1</sub>	477	14,26	15,56	83,7	5220	311,2	-		4980	791	19,6	-	-	25
B1	475	14,26	15,62	85,1	5470	313,2	-		5197	804	21,7	-	-	20
B2	417	14,28	14,98	71,6	5745	392,0	-		4791	803	18,4	-	-	20
B3	313	15,17	15,44	57,8	7935	754,4	-	szél	4967	788	19,5	-	-	20
C <sub>4</sub>	479	14,74	14,95	91,9	5201	319,1	-		4983	871	21,6	-	-	18
C <sub>3</sub>	480	14,83	14,58	92,6	5120	326,9	-		4915	892	21,6	-	-	-
C <sub>2</sub>	479	14,71	14,46	86,8	5144	313,1	-		4928	852	20,7	-	-	18
C <sub>1</sub>	477	14,06	14,44	84,0	5115	305,6	-		4880	867	20,7	-	-	31
C1	478	14,86	14,26	90,4	5242	321,8	-		5011	892	22,4	-	-	21
C2	479	14,44	14,18	88,1	5049	327,6	-		4837	898	21,0	-	-	23
C3	479	14,33	14,44	89,7	5346	331,0	-		5121	905	23,7	-	-	-
D <sub>4</sub>	479	15,01	15,34	91,2	5160	326,6	-		4943	827	20,2	-	-	-
D <sub>3</sub>	478	14,90	15,48	88,7	5054	312,7	-		4832	805	18,8	-	-	20
D <sub>2</sub>	479	14,99	15,93	87,0	5000	311,1	-		4790	761	17,5	-	-	-
D <sub>1</sub>	477	14,25	15,07	79,0	4923	293,7	-	repedt, kor.	4697	771	17,0	-	-	28
D1	478	14,04	14,44	84,8	5183	296,2	-	göcs	4955	875	21,5	-	-	24
D2	479	14,04	14,91	88,3	5144	311,3	-		4928	881	21,4	-	-	21

D3	478	14,70	15,11	90,7	5180	327,9	-		4952	854	20,9	-	-	17
D4	478	15,06	14,85	88,7	5089	321,0	-	szél	4865	830	19,6	-	-	21
F <sub>3</sub>	478	14,66	13,93	84,4	5415	331,5	-		5177	865	23,2	-	-	18
F <sub>2</sub>	478	14,74	14,09	88,4	5136	323,8	-	göcs	4910	890	21,5	-	-	21
F <sub>1</sub>	478	14,45	14,31	87,8	5312	328,3	-	göcs	5078	888	22,9	-	-	24
F1	478	14,28	13,28	80,6	5056	313,5	-	BÉL	4834	889	20,8	-	-	21
F2	479	14,74	13,29	80,9	5167	316,2	-		4950	862	21,1	-	-	18
F3	478	14,74	14,78	87,4	5270	323	-		5038	839	21,3	-	-	20
G <sub>3</sub>	478	14,63	13,08	71,5	5066	-	-		4843	782	18,3	-	-	-
G <sub>2</sub>	479	14,8	13,52	82,2	5214	332,9	-		4995	858	21,4	-	-	-
G <sub>1</sub>	479	14,37	13,50	81,6	5197	323,9	-		4979	878	21,8	-	-	23
G1	479	14,21	14,67	82,5	5333	318,7	-		5109	826	21,6	-	-	22
G2	480	14,87	14,03	83,6	5215	325,4	-		5006	835	20,9	-	-	21
G3	479	14,57	14,08	77,2	5150	300,3	-	szél	4934	786	19,1	-	-	19
G4	475	-	-	46,4	3117	-	-	szél	2961	-	-	-	-	25
								Minimum	2961	729	17,0	-	-	17
								Maximum	5265	905	23,7	-	-	31
								Átlag	4900	838	20,5	-	-	22
								Szórás	339	44	1,6	-	-	3
								Mintaszám	40					

15. magassági szinten mért és számított adatok táblázata

P. sz.	Hossz	Szél.	Vast.	Tömeg	Long. frekv.	Hajlító frekv.	Tranzv. Idő	Megj.	Rostir. hangseb	Sűrűség	E	G	E/G	Log. dek.
	[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[Hz]	[Hz]	[ms]		[m/s]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[GPa]	[GPa]		
A <sub>1</sub>	501,84	14,82	12,98	60,4	3728	215,4	555,0	szíj., kéreg	3742	626	8,8	0,5	17,1	57
A1	500,30	14,35	12,66	61,1	3669	200,8	570,0	szíj., kéreg	3671	672	9,1	0,5	17,4	60
B <sub>2</sub>	501,16	14,59	15,37	88,5	4757	283,8	462,5	szíj., kéreg	4768	787	17,9	0,9	19,3	39
B <sub>1</sub>	501,64	14,91	15,33	99,3	4892	296,4	460,0		4908	866	20,9	1,0	20,2	25
B1	501,18	14,85	15,36	101,7	4876	285,3	445,0		4888	890	21,3	1,1	18,7	22
B2	500,94	15,04	15,25	100,3	4799	315,6	467,5		4808	873	20,2	1,0	20,0	44

B3	500,76	14,52	13,74	85,4	4151	282,8	415,0	szíj., kéreg	4157	855	14,8	1,3	11,8	61
C3	502,08	14,93	15,76	79,8	5008	257,5	505,0	szíj., kéreg	5029	675	17,1	0,7	25,5	49
C2	502,13	15,21	15,82	102,1	4764	283,6	450,0		4784	845	19,3	1,1	18,3	22
C1	501,91	14,85	15,98	99,4	4711	270,1	462,5		4729	835	18,7	1,0	18,9	29
C1	501,45	14,55	16,19	100,6	4552	276,5	472,5	BÉL	4565	852	17,7	1,0	18,4	34
C2	502,22	15,41	15,76	101,4	4739	284,8	455,0		4760	831	18,8	1,0	18,5	27
C3	421,78	15,22	15,65	85,7	5763	412,9	360,0		4861	853	20,2	1,2	17,1	-
C4	500,54	13,96	14,97	79,7	4052	205,7	485,0	szíj., kéreg	4056	762	12,5	0,8	15,4	70
D3	501,34	15,28	15,70	93,6	4754	274,6	470,0		4767	778	17,7	0,9	19,9	23
D2	500,92	15,06	15,37	102,5	4394	278,4	457,5		4402	884	17,1	1,1	16,1	44
D1	500,55	15,13	15,44	99,0	4136	268,9	455,0	fahiba	4141	847	14,5	1,0	14,1	40
D1	500,99	15,17	15,65	96,7	4253	242,2	475,0	BÉL, fahiba	4261	813	14,8	0,9	16,3	39
D2	502,03	15,33	15,43	98,3	4801	294,6	465,0		4820	828	19,2	1,0	19,8	29
D3	502,58	15,01	15,67	99,2	4804	290,4	447,5		4829	839	19,6	1,1	18,4	19
D4	501,60	15,23	15,35	84,5	4280	241,9	477,5		4294	721	13,3	0,8	16,6	26
E2	430,14	14,05	14,63	79,0	4904	346,5	407,5		4219	894	15,9	1,0	15,9	19
E1	499,91	14,78	14,16	93,4	3214	193,7	490,0		3213	893	9,2	0,9	9,9	48
E1	501,50	15,15	14,84	96,2	4143	245,9	472,5		4155	853	14,7	1,0	15,3	36
E2	502,11	14,84	15,02	95,5	4630	272,8	450,0		4650	853	18,4	1,1	17,3	29
E3	501,76	14,67	14,81	94,3	4870	282,8	442,5		4887	865	20,7	1,1	18,5	-
E4	501,05	14,20	14,19	67,5	3526	-	517,5	szíj., kéreg	3533	669	8,3	0,6	13,3	-
F2	327,56	14,52	17,11	66,8	7307	646,1	275,0	szíj., kéreg	4787	821	18,8	1,2	16,0	23
F1	320,86	14,80	17,64	69,8	7409	680,2	242,5		4755	833	18,8	1,5	12,8	24
F1	501,80	14,71	16,69	108,8	4118	233,5	432,5	fahiba	4133	883	15,1	1,2	12,6	37
F2	403,70	14,67	16,25	84,5	5999	439,1	330,0		4844	878	20,6	1,3	15,6	20
F3	418,20	14,75	16,17	-	5498	384,0	362,5	szíj., kéreg	4599	-	-	-	-	24
								Minimum	3213	626	8,3	0,5	9,88	19
								Maximum	5029	894	21,3	1,5	25,48	70
								Átlag	4469	818	16,6	1,0	16,94	35
								Szórás	459	73	3,8	0,2	3,04	14
								Mintaszám	32					

P.sz.	3a	3b	vált.	P.sz.	3a	3b	vált.	P.sz.	3a	3b	vált.
	[mm]	[mm]	[%]		[mm]	[mm]	[%]		[mm]	[mm]	[%]
A	530,80	529,07	3,27	F <sub>6</sub>	530,45	529,98	0,89	I <sub>5</sub>	529,97	529,16	1,53
Ax	529,64	529,07	1,08	F <sub>5</sub>	530,95	530,66	0,55	I <sub>4</sub>	402,97	403,23	0,00
B <sub>2</sub>	531,20	531,29	0,00	F <sub>4</sub>	476,42	474,85	3,31	I <sub>3</sub>	404,93	404,81	0,30
B <sub>1</sub>	530,86	530,64	0,41	F <sub>3</sub>	421,42	419,79	3,88	I <sub>2</sub>	448,11	447,34	1,72
B1	530,73	530,58	0,28	F <sub>2</sub>	458,48	457,42	2,32	I <sub>1</sub>	531,02	530,40	1,17
B2	530,72	530,45	0,51	F <sub>1</sub>	531,39	530,67	1,36	I1	530,55	530,54	0,02
B3	530,17	530,27	0,00	F1	530,93	530,51	0,79	I2	530,67	529,87	1,51
C <sub>4</sub>	530,89	530,81	0,15	F2	530,42	530,87	0,00	I3	530,70	530,64	0,11
C <sub>3</sub>	530,68	530,83	0,00	F3	530,78	530,99	0,00	I4	530,38	530,30	0,15
C <sub>2</sub>	530,82	530,57	0,47	F4	530,80	531,23	0,00	I5	530,62	531,11	0,00
C <sub>1</sub>	530,76	530,75	0,02	F5	530,75	531,07	0,00	I6	530,47	530,76	0,00
C1	530,95	531,07	0,00	F6	530,62	531,01	0,00	J <sub>5</sub>	531,08	530,97	0,21
C2	530,04	529,41	1,19	F7	531,50	531,68	0,00	J <sub>4</sub>	530,50	530,43	0,13
C3	530,27	530,36	0,00	G <sub>6</sub>	531,05	530,92	0,24	J <sub>3</sub>	530,54	529,64	1,70
C4	530,63	530,96	0,00	G <sub>5</sub>	530,48	529,79	1,30	J <sub>2</sub>	373,62	373,50	0,32
C5	530,92	531,09	0,00	G <sub>4</sub>	530,05	527,49	4,85	J <sub>1</sub>	462,47	463,04	0,00
D <sub>5</sub>	530,71	530,21	0,94	G <sub>3</sub>	530,20	527,76	4,62	J1	457,39	457,58	0,00
D <sub>4</sub>	477,45	477,70	0,00	G <sub>2</sub>	530,48	528,56	3,63	J2	530,81	529,93	1,66
D <sub>3</sub>	531,28	531,44	0,00	G <sub>1</sub>	530,86	530,00	1,62	J3	297,80	297,91	0,00
D <sub>2</sub>	530,93	531,21	0,00	G1	531,27	530,49	1,47	J4	530,55	529,85	1,32
D <sub>1</sub>	530,88	531,61	0,00	G2	529,22	529,41	0,00	J5	530,71	531,00	0,00
D1	483,09	483,21	0,00	G3	530,50	530,98	0,00	K <sub>5</sub>	530,92	529,23	3,19
D2	530,78	531,12	0,00	G4	530,89	531,09	0,00	K <sub>4</sub>	530,38	529,92	0,87
D3	531,06	531,41	0,00	G5	531,00	531,12	0,00	K <sub>3</sub>	387,16	387,42	0,00
D4	530,53	530,88	0,00	G6	530,66	530,61	0,09	K <sub>2</sub>	530,82	530,38	0,83
D5	530,89	530,87	0,04	G7	530,74	530,66	0,15	K <sub>1</sub>	530,77	530,49	0,53
D6	531,34	531,23	0,21	H <sub>6</sub>	458,97	458,41	1,22	K1	473,88	474,10	0,00
E <sub>5</sub>	530,83	531,14	0,00	H <sub>5</sub>	439,56	438,99	1,30	K2	530,74	530,57	0,32
E <sub>4</sub>	530,91	531,04	0,00	H <sub>4</sub>	391,14	390,46	1,74	K3	529,77	529,78	0,00
E <sub>3</sub>	531,25	530,63	1,17	H <sub>3</sub>	413,65	412,80	2,06	K4	531,11	530,83	0,53
E <sub>2</sub>	482,57	482,63	0,00	H <sub>2</sub>	420,30	419,67	1,50	L <sub>2</sub>	530,47	530,44	0,06
E <sub>1</sub>	530,52	530,61	0,00	H <sub>1</sub>	441,40	441,20	0,45	L <sub>1</sub>	530,72	530,71	0,02
E1	531,27	531,55	0,00	H1	530,46	530,11	0,66	L1	474,27	474,23	0,08
E2	530,86	530,95	0,00	H2	531,02	530,20	1,55	L2	530,62	530,27	0,66
E3	530,72	531,23	0,00	H3	530,57	530,54	0,06	Minimum		0,00	
E4	530,28	530,78	0,00	H4	530,55	531,48	0,00	Maximum		4,85	
E5	531,32	531,57	0,00	H5	531,08	531,37	0,00	Átlag		0,64	
E6	531,01	531,32	0,00	H6	530,41	530,76	0,00	Szórás		1,03	
<b>3. magassági szinten mért és számított zsuorodási adatok táblázata</b>								Mintaszám		110	

P.sz.	6a	6b	vált.	P.sz.	6a	6b	vált.	P.sz.	6a	6b	vált.
	[mm]	[mm]	[%]		[mm]	[mm]	[%]		[mm]	[mm]	[%]
B <sub>2</sub>	531,92	531,88	0,08	E4	532,03	531,78	0,47	H1	531,5	531,23	0,51
B <sub>1</sub>	532,20	531,77	0,81	E5	531,66	531,73	0,00	H2	531,84	531,73	0,21
B1	531,57	531,37	0,38	F <sub>5</sub>	531,47	531,28	0,36	H3	531,65	531,52	0,24
B2	532,10	531,48	1,17	F <sub>4</sub>	531,54	531,55	0,00	H4	531,24	531,05	0,36
C <sub>3</sub>	531,69	531,29	0,75	F <sub>3</sub>	531,40	531,10	0,56	H5	531,67	531,55	0,23
C <sub>2</sub>	531,80	531,39	0,77	F <sub>2</sub>	531,51	531,58	0,00	I <sub>4</sub>	532,08	531,98	0,19
C <sub>1</sub>	530,99	530,55	0,83	F <sub>1</sub>	532,05	531,36	1,30	I <sub>3</sub>	530,09	530,30	0,00
C1	531,07	530,78	0,55	F1	531,91	530,73	2,22	I <sub>2</sub>	531,65	531,70	0,00
C2	531,01	531,12	0,00	F2	531,59	530,19	2,64	I <sub>1</sub>	531,62	531,68	0,00
C3	531,38	531,34	0,08	F3	531,89	531,72	0,32	I1	531,33	531,26	0,13
C4	531,59	530,68	1,71	F4	531,98	532,05	0,00	I2	531,86	530,93	1,75
D <sub>4</sub>	531,98	531,61	0,70	F5	531,94	531,93	0,02	I3	530,75	530,48	0,51
D <sub>3</sub>	531,45	530,91	1,02	G <sub>5</sub>	531,81	531,72	0,17	I4	531,82	531,44	0,72
D <sub>2</sub>	531,56	530,78	1,47	G <sub>4</sub>	531,89	531,11	1,47	J <sub>3</sub>	531,52	531,64	0,00
D <sub>1</sub>	531,74	531,34	0,75	G <sub>3</sub>	531,89	531,86	0,06	J <sub>2</sub>	531,51	531,53	0,00
D1	531,90	532,14	0,00	G <sub>2</sub>	531,89	531,93	0,00	J <sub>1</sub>	531,15	531,10	0,09
D2	531,84	531,71	0,24	G <sub>1</sub>	531,49	531,21	0,53	J1	531,48	531,39	0,17
D3	531,93	532,03	0,00	G1	531,69	530,34	2,55	J2	531,16	530,39	1,45
D4	532,05	531,89	0,30	G2	531,77	531,63	0,26	K1	530,57	530,74	0,00
E <sub>5</sub>	531,88	531,60	0,53	G3	531,55	531,49	0,11	K2	531,38	531,14	0,45
E <sub>4</sub>	531,46	531,31	0,28	G4	531,84	531,56	0,53	K3	531,11	531,36	0,00
E <sub>3</sub>	531,60	530,97	1,19	G5	531,41	531,27	0,26	K4	530,88	531,11	0,00
E <sub>2</sub>	532,28	532,03	0,47	H <sub>5</sub>	531,66	531,44	0,41	Minimum		0,00	
E <sub>1</sub>	531,97	532,06	0,00	H <sub>4</sub>	531,83	531,92	0,00	Maximum		2,64	
E1	531,76	531,19	1,07	H <sub>3</sub>	531,76	531,6	0,30	Átlag		0,49	
E2	532,25	531,79	0,87	H <sub>2</sub>	531,7	531,76	0,00	Szórás		0,61	
E3	531,51	531,94	0,00	H <sub>1</sub>	531,61	531,67	0,00	Mintaszám		76	

6. magassági szinten mért és számított zsgorodási adatok táblázata

P.sz.	8a	8b	vált.	P.sz.	8a	8b	vált.	P.sz.	8a	8b	vált.
	[mm]	[mm]	[%]		[mm]	[mm]	[%]		[mm]	[mm]	[%]
A <sub>2</sub>	502,15	501,96	0,38	E <sub>6</sub>	436,12	436,24	0,00	G1	383,84	383,23	1,59
A <sub>1</sub>	501,05	501,07	0,00	E <sub>5</sub>	466,24	466,11	0,28	G2	400,88	400,74	0,35
A1	427,19	427,02	0,40	E <sub>4</sub>	418,75	418,62	0,31	G3	598,70	598,29	0,69
B <sub>4</sub>	502,32	501,73	1,18	E <sub>3</sub>	400,56	400,33	0,57	G4	502,15	501,60	1,10
B <sub>3</sub>	501,29	500,83	0,92	E <sub>2</sub>	362,09	361,33	2,10	G5	501,98	501,61	0,74
B <sub>2</sub>	502,55	502,11	0,88	E <sub>1</sub>	502,62	501,53	2,17	H <sub>4</sub>	502,68	502,44	0,48
B <sub>1</sub>	502,82	502,12	1,39	E1	502,76	502,41	0,70	H <sub>3</sub>	418,13	418,13	0,00
B1	500,85	500,13	1,44	E2	502,61	501,86	1,49	H <sub>2</sub>	502,21	502,15	0,12
B2	502,39	501,78	1,22	E3	502,48	502,53	0,00	H <sub>1</sub>	502,50	502,06	0,88
C <sub>5</sub>	443,69	443,50	0,43	E4	502,54	502,73	0,00	H1	378,62	378,45	0,45
C <sub>4</sub>	502,15	501,55	1,20	E5	502,53	502,22	0,62	H2	502,05	501,31	1,48
C <sub>3</sub>	502,42	501,77	1,30	F <sub>5</sub>	501,91	501,66	0,50	H3	502,26	501,65	1,22
C <sub>2</sub>	502,54	502,30	0,48	F <sub>4</sub>	410,13	409,90	0,56	I <sub>4</sub>	502,40	502,20	0,40
C <sub>1</sub>	500,62	500,09	1,06	F <sub>3</sub>	502,15	301,33	0,00	I <sub>3</sub>	501,94	502,11	0,00
C1	501,96	501,51	0,90	F <sub>2</sub>	369,09	368,96	0,35	I <sub>2</sub>	502,52	502,42	0,20
C2	501,90	501,35	1,10	F <sub>1</sub>	377,85	377,40	1,19	I <sub>1</sub>	502,62	502,44	0,36
C3	502,71	501,62	2,17	F1	502,51	501,80	1,41	I1	421,84	421,72	0,28
C4	460,82	461,14	0,00	F2	501,91	500,98	1,86	I2	410,54	410,71	0,00
D <sub>5</sub>	359,28	359,15	0,36	F3	502,06	501,71	0,70	J <sub>3</sub>	502,32	502,16	0,32
D <sub>4</sub>	410,72	410,26	1,12	F4	501,81	501,87	0,00	J <sub>2</sub>	502,67	502,45	0,44
D <sub>3</sub>	356,20	356,03	0,48	F5	502,54	502,27	0,54	J <sub>1</sub>	501,80	501,68	0,24
D <sub>2</sub>	502,21	501,45	1,52	G <sub>5</sub>	502,23	501,68	1,10	J1	480,61	480,77	0,00
D <sub>1</sub>	501,82	501,67	0,30	G <sub>4</sub>	428,33	428,20	0,30	Minimum		0,00	
D1	502,42	502,11	0,62	G <sub>3</sub>	426,07	425,93	0,33	Maximum		2,17	
D2	502,38	501,81	1,14	G <sub>2</sub>	598,29	598,05	0,40	Átlag		0,69	
D3	502,26	502,42	0,00	G <sub>1</sub>	598,37	597,85	0,87	Szórás		0,57	
D4	501,82	501,57	0,50							Mintaszám	75

8. magassági szinten mért és számított zsugorodási adatok táblázata

P.sz.	11a	11b	vált.	P.sz.	11a	11b	vált.	P.sz.	11a	11b	vált.
	[mm]	[mm]	[%]		[mm]	[mm]	[%]		[mm]	[mm]	[%]
B <sub>3</sub>	531,30	531,01	0,55	D1	531,47	531,94	0,00	F2	531,52	531,50	0,04
B <sub>2</sub>	531,30	531,36	0,00	D2	531,55	531,64	0,00	F3	531,32	531,57	0,00
B <sub>1</sub>	531,68	531,26	0,79	D3	531,46	531,41	0,00	G <sub>3</sub>	531,48	530,71	1,45
B1	531,30	530,96	0,64	E <sub>4</sub>	531,55	529,86	3,19	G <sub>2</sub>	531,10	529,90	2,26
B2	531,29	531,40	0,00	E <sub>3</sub>	531,23	529,15	3,93	G <sub>1</sub>	531,31	530,40	1,72
C <sub>3</sub>	531,42	531,11	0,58	E <sub>2</sub>	531,68	530,86	1,54	G1	531,05	530,72	0,62
C <sub>2</sub>	531,55	530,75	1,51	E <sub>1</sub>	531,37	530,86	0,96	G2	531,28	531,40	0,00
C <sub>1</sub>	531,51	530,98	1,00	E1	531,17	531,41	0,00	H <sub>2</sub>	531,35	531,04	0,58
C1	531,43	531,14	0,55	E2	531,48	531,49	0,00	H <sub>1</sub>	531,45	530,20	2,36
C2	531,41	531,18	0,43	E3	531,56	531,22	0,64	H1	530,82	530,49	0,62
C3	531,49	531,18	0,58	F <sub>4</sub>	531,36	530,65	1,34	Minimum		0,00	
D <sub>4</sub>	531,29	530,63	1,24	F <sub>3</sub>	531,78	530,18	3,02	Maximum		3,93	
D <sub>3</sub>	531,55	530,71	1,58	F <sub>2</sub>	531,26	530,54	1,36	Átlag		0,91	
D <sub>2</sub>	531,67	531,30	0,70	F <sub>1</sub>	531,16	530,85	0,58	Szórás		1,08	
D <sub>1</sub>	531,24	531,20	0,08	F1	531,42	531,50	0,00	Mintaszám		40	

11. magassági szinten mért és számított zsugorodási adatok táblázata

P.sz.	15a	15b	vált.	P.sz.	15a	15b	vált.	P.sz.	15a	15b	vált.
	[mm]	[mm]	[%]		[mm]	[mm]	[%]		[mm]	[mm]	[%]
A <sub>1</sub>	502,60	501,84	1,51	C3	422,03	421,78	0,59	E2	502,24	502,11	0,26
A1	501,37	500,30	2,14	C4	501,01	500,54	0,94	E3	501,74	501,76	0,00
B <sub>2</sub>	501,35	501,16	0,38	D <sub>3</sub>	501,63	501,34	0,58	E4	501,46	501,05	0,82
B <sub>1</sub>	502,28	501,64	1,28	D <sub>2</sub>	501,92	500,92	2,00	F <sub>2</sub>	327,54	327,56	0,00
B1	501,93	501,18	1,50	D <sub>1</sub>	501,41	500,55	1,72	F <sub>1</sub>	320,76	320,86	0,00
B2	502,12	500,94	2,36	D1	502,23	500,99	2,48	F1	501,99	501,80	0,38
B3	502,15	500,76	2,78	D2	502,53	502,03	1,00	F2	403,46	403,70	0,00
C <sub>3</sub>	502,06	502,08	0,00	D3	502,70	502,58	0,24	F3	418,24	418,20	0,10
C <sub>2</sub>	502,19	502,13	0,12	D4	502,01	501,60	0,82	Minimum		0,00	
C <sub>1</sub>	502,24	501,91	0,66	E <sub>2</sub>	431,65	430,14	3,51	Maximum		4,44	
C1	502,25	501,45	1,60	E <sub>1</sub>	502,13	499,91	4,44	Átlag		1,13	
C2	502,62	502,22	0,79	E1	502,08	501,50	1,16	Szórás		1,10	
								Mintaszám		32	

15. magassági szinten mért és számított zsugorodási adatok táblázata

P.sz.	G		P.sz.	G	
	Közvetlen időmérés	Torziós rezgés frekvenciájának mérése		Közvetlen időmérés	Torziós rezgés frekvenciájának mérése
	[GPa]	[GPa]		[GPa]	[GPa]
1	1,46	1,36	32	1,51	1,68
2	1,72	1,59	33	1,43	1,43
3	1,28	1,47	34	1,89	1,94
4	1,50	1,43	35	1,47	1,40
5	1,94	1,99	36	1,73	1,65
6	1,70	1,68	37	1,51	1,55
7	1,55	1,46	38	1,31	1,53
8	1,81	1,96	39	1,45	1,61
9	1,31	1,30	40	1,65	1,68
10	1,61	1,71	41	1,47	1,66
11	1,71	1,56	42	1,46	1,70
12	1,64	1,65	43	1,60	1,58
13	1,38	1,56	44	1,51	1,67
14	1,50	1,53	45	1,41	1,59
15	1,61	1,77	46	1,85	1,90
16	1,73	1,68	47	1,35	1,33
17	1,50	1,57	48	1,49	1,65
18	1,37	1,52	49	1,66	1,50
19	1,47	1,60	50	1,74	1,88
20	1,35	1,33	51	1,20	1,35
21	1,64	1,77	52	1,32	1,54
22	1,43	1,47	53	1,74	1,54
23	1,34	1,39	54	1,67	1,55
24	1,34	1,49	55	1,82	1,59
25	1,69	1,61	56	1,70	1,45
26	1,68	1,84	57	1,55	1,79
27	1,43	1,62	58	1,49	1,28
28	1,72	1,83	Min.	1,94	1,99
29	1,49	1,66	Max.	1,28	1,30
30	1,83	1,98	Átlag	1,56	1,61
31	1,56	1,56	Szórás	0,17	0,18
			Mintasz.	58	

## G mérések összehasonlítása akác próbatesteken



	P.sz.	Távolság	Idő	Sebesség		P.sz.	Távolság	Idő	Sebesség
		[mm]	[□m]	[m/s]			[mm]	[□m]	[m/s]
É-D	16	100	57	1754	K-Ny	16	98	54	1815
	15	117	57	2053		15	124	67	1851
	14	149	82	1817		14	161	91	1769
	13	172	105	1638		13	170	105	1619
	12	173	105	1648		12	190	122	1557
	11	197	130	1515		11	186	110	1691
	10	203	135	1504		10	201	141	1426
	9	242	138	1754		9	248	140	1771
	8	230	154	1494		8	233	145	1607
	7	251	164	1530		7	272	181	1503
	6	253	157	1611		6	267	174	1534
	5	252	158	1595		5	274	180	1522
	4	218	128	1703		4	295	183	1612
	3	276	183	1508		3	297	201	1478
	2	278	170	1635		2	307	210	1462
	1	305	210	1452		1	333	223	1493
	0	378	238	1588		0	382	258	1481
	Min			1452		Min			1426
	Max			2053		Max			1851
	Átlag			1635		Átlag			1599
	Szórás			149		Szórás			134
	Mintaszám			17		Mintaszám			17
Ny-D	16	70	42	1667	K-D	16	70	34	2059
	15	85	39	2179		15	81	38	2132
	14	115	55	2091		14	105	54	1944
	13	125	62	2016		13	126	69	1826
	12	126	69	1826		12	120	62	1935
	11	133	75	1773		11	145	78	1859
	10	137	81	1691		10	145	79	1835
	9	173	99	1747		9	196	106	1849
	8	165	96	1719		8	168	91	1846
	7	155	91	1703		7	178	99	1798
	6	170	98	1735		6	196	118	1661
	5	180	104	1731		5	200	117	1709
	4	217	139	1561		4	217	136	1596
	3	195	108	1806		3	206	123	1675
	2	190	114	1667		2	220	128	1719
	1	218	134	1627		1	235	148	1588
	0	240	158	1519		0	220	138	1594
	Min			1519		Min			1588
	Max			2179		Max			2132
	Átlag			1768		Átlag			1802
	Szórás			177		Szórás			159
	Mintaszám			17		Mintaszám			17

## Sugárirányú sebességmérések

Mérési pontok (cm)	A hang terjedési ideje a mellmagassági mintában (□s)			A hang terjedési ideje a tőközeli mintában (□s)		
	A	B	C	D	E	F
1	64	64	64	91	91	91
2	68	68	70	89	90	88
4	70	70	70	86	85	85
6	70	71	70	85	83	84
8	70	71	70	83	79	83
10	70	71	69	82	77	82
12	70	71	69	80	77	80
14	69	71	68	78	76	80
16	67	70	66	78	74	78
18	67	68	66	77	74	79
20	66	67	66	77	73	79
22	66	67	66	77	74	78
24	66	67	66	76	73	78
26	66	66	66	73	72	77
28	67	66	66	72	72	77
30		66	65	72		76
32				73		77
18						76
19						76

**Hang terjedési idők a juvenilis - érettségi arány meghatározásához**