

## Zárójelentés a „Gyümölcsfák csillapítási tulajdonságai rázáskor” c. kutatási témáról

### Előzmények

A farázás csillapító hatását az eddigi kutatásokban elhanyagolták. A gyümölcsfát ugyanis merev befogásúnak tekintették, és a talaj hatását figyelmen kívül hagyták. Ebben az esetben csak a fatörzs és a lombozat hatása érvényesülhetett. Ezek csillapítása valóban nem jelentős, mivel a fatörzs deformációja lényegesen kisebb, mint a rázási befogóhely kitérése, ezért a fellépő veszteségek nem számottevőek. A lombozat csillapítását korábban csak a légellenállásból számították, amely szintén elenyésző.

### 1. A csillapítás eddigi mérési módszerei

A talaj csillapítását korábban a hagyományos ejtési kísérlettel és a rezgések rögzítésével mérték, amelyre a dinamikus hatás és a rezgések kis amplitúdója jellemző. Ezzel a módszerrel meghatározott logaritmikus dekrementum nem haladta meg a 0,7 és 1,0 közötti értékeket, amely lényegesen kisebb a valós értéknél.

A vázágak és a rajtuk lévő lomb csillapítása a kalapácsos ütőpróba és rezgésmérés segítségével elvégezhető ugyan, de a kapott görbék, ezek időbeli változásai jelentős zavaró körülményeket mutattak. Az ezekből számított logaritmikus dekrementum értéke 0,2 – 0,4 közé tehető, amely szintén kisebb a ténylegesnél. Erre a mérésre is jellemző, hogy a kalapáccsal keltett rezgések amplitúdója kicsi, ezért viszonylag kicsi a csillapítási érték is, amely amplitúdófüggő.

Ezekből arra következtettünk, hogy valós értékekhez csak üzemi viszonyok között végzett kísérletekkel juthatunk. Ezt elősegítették a különböző rázógépeken mért teljesítményadatok is, amelyek jelentős veszteségekre utaltak.

### 2. A talaj csillapító hatása

Termőterületi vizsgálatokon mérések alapján bizonyítottuk, hogy a fatörzs gépi rázásakor a környezetében lévő talaj is rezgőmozgást végez a gyökerek közvetítésével. Alacsony rázásnál jelentős térfogatú, illetve tömegű talaj is rezeg. Két rázógéptípus rezgésgörbéin feltűnő volt, hogy a rázószervezetek kikapcsolása után a forgatós-hajtóműves gépnél a rázó igen rövid időn belül leállt (1./a ábra), ugyanakkor a kétforgótömeges szerkezetnél a leállás több ciklus lefutása után következett be (1./b ábra). Az utóbbi rázó saját tömege, ezáltal a mozgási energiája ugyanis lényegesen nagyobb, ugyanakkor házának tömege energiát nem nyel el. Ezekből a megfigyelésekből arra következtettünk, hogy a rezgőrendszer mozgási energiáját elsősorban a talaj nyeli el, amely nagy energia-felvevő képességgel rendelkezik, és fő forrása az energiaveszteségeknek.

Tipikus kifutási diagrammot mutat a 2. ábra **a** része az alábbi jellemző adatokkal: befogási magasság  $h = 30$  cm, összes redukált tömeg  $m_r = 400$  kg, a fához kapcsolt járulékos tömeg  $m_l = 650$  kg, stacionárius jellemzők a hajtás kikapcsolása előtt: frekvencia  $f = 13,5$  Hz, a rázási pont gyorsulása  $a = 66$  m/s<sup>2</sup>, amplitúdója  $A = 9,17$  mm.

A hajtás kikapcsolása után a rendszer mozgási energiáját elsősorban a talaj emésztette fel, a rázószervezet acél háza, mint járulékos tömeg, energiát nem nyelt el. Amint a 2. ábra **b**

részen látható, a lassulás ideje alatt a frekvencia és kitérés ciklusonként változik, ezért a mozgási energiára (munkára) vonatkozó számításokat ciklusonként kell elvégezni.

A rezgőrendszer munkája egy ciklus alatt

$$L_l = \pi (m_l + m_r) A^2 \omega^2 = \pi (m_l + m_r) A a \quad (1)$$

ahol  $m_l$  rázószervezet házának tömeg, amely együtt mozog a fával, kg  
 $m_r$  rázási pontra redukált fa és talaj tömege, kg  
 $a$  rázási pont gyorsulása,  $m/s^2$   
 $A$  rázási pont kitérése, m

A csillapítás munkája egy ciklus alatt

$$L_d = \delta m_r A^2 \omega^2 = \delta m_r A a \quad (2)$$

Ismerve a mozgási energia ciklusonkénti változását, a logaritmikus dekrementum a fenti egyenletek egyenlőségéből kiszámítható az egyes ciklusokban:

$$\delta_i = \frac{\pi(m_l + m_r) \cdot \Delta(A \cdot a)_i}{m_r (A \cdot a)_i} \quad (3)$$

ahol  $\Delta(A a)$  az  $(A \cdot a)$  szorzat ciklusonkénti változása.

A (3) egyenlet segítségével a logaritmikus dekrementum számolható a teljes kifutási szakaszra, amelynek eredményeit a 3. ábra szemlélteti. Ezen egy átmeneti zónát lehet megfigyelni, amely alatt a rezgőrendszer a stacionáriusból átmegy az instacionárius állapotba. Ez idő alatt a logaritmikus dekrementum gyorsan nő, majd állandó marad  $\delta = 3,0$  érték körül. Megállapítható, hogy a kezdeti 1,15 érték  $\delta = 3,0$  értékre emelkedése megfelel az  $(m_l + m_r)/m_r = 2,625$  tömegviszonynak. Az ábra az  $A \cdot a$  szorzat – mint kiegészítő változó – értékeit is mutatja. A többi kifutási diagramm feldolgozása hasonló eredményt adott.

### 3. A vázágak és lombozat csillapítása

A vázág és lomb veszteség-meghatározásánál a vázág kalapáccsal való megütésekor tapasztaltuk, hogy az ütés nagyságától függően az eredmények nagy szórást mutattak, ezen kívül a rezgéseképek sem tették sok esetben lehetővé a megbízható kiértékelést. Használtunk nehéz, több kg-os kalapácsot is. A kéregsérülés csökkentése, és az ütés erősségének növelése céljából gumi-lappal is kísérleteztünk, amelynél az ütési energia gumilapon keresztül adódott át a vázágra. A 4. ábrán a különböző ütési módszerekkel nyert rezgéseképek láthatók, amelyekkel nagyon eltérő logaritmikus dekrementum számítható.

Végül a statikus kitérés módszere bizonyult legjobbnak, amely során a vázágot 10-20 mm-rel térítettük ki nyugalmi állapotából, majd hirtelen szabaddá téve, a vázág egyre kisebb amplitúdójú lengéseket végzett. Az ág csillapodását gyorsulásmérővel lehetett meghatározni, és az indulást követő amplitúdók csökkenése alapján kiértékelni. A csillapítás ugyanis nem-lineáris, vagyis a mozgás amplitúdójától is függ. Tapasztalat, hogy kis amplitúdók esetén a csillapítás kisebb. Ez a tendencia a 4. ábrán is nyomon követhető.

Az eredményeket összegezve, a következő állapítható meg. A statikus kitérítés módszerével a kapott logaritmikus dekrementumok zöme a 0,63-0,75 intervallumba esett, középértékben 0,69 adódott (1. táblázat).

1. táblázat. A vázágakon mért logaritmikus dekrementum adatai statikus kitérítés módszerével. A vázágak átmérője 55-85 mm.

Az adatok száma	Maximális érték	Minimális érték	Középérték	Szórás
34	0,84	0,55	0,69	±0,08

A szokásos kalapácsütési módszerrel a logaritmikus dekrementum a 0,2-0,3 mezőbe esett. Nehéz kalapáccsal, és gumilemezen keresztül történő ütéssel az értékek hasonlóak voltak a statikus kitérés módszerével nyert adatokhoz, de nagyobb szórással.

A kísérleti adatokból látható, hogy a lomb vesztesége is viszonylag nagy, és ezért a számítások során nem hanyagolható el. A lomb vesztesége valószínűleg azzal magyarázható, hogy a vékony ágak még nem eléggé fás állagúak, így kevésbé rugalmasak, ezért energiátároló képességük kicsi. A pontosabb okok feltárása még további vizsgálatokat igényel.

#### 4. A rázógépjelenergiafelhasználása

A fő energiaelnyelő a talaj és a lomb. A csillapítás teljesítménye - amely azonos a nettó energiafelvétellel az üresjáratú energiafelvétel nélkül - a (4) egyenlettel számolható az eredő logaritmikus dekrementum (5) segítségével. A csillapítási teljesítmény arányos azzal a tömeggel, amely részt vesz a rezgésben, és egy adott energiaelnyelési képességgel rendelkezik.

$$P_d = \frac{\delta}{\pi} \frac{m_r}{2} A^2 \omega^3 = \frac{\delta}{\pi} P_{th} \quad (4)$$

$\delta = \delta_{eredő}$  logaritmikus dekrementum

Amennyiben az eredő tömeg több, különböző elnyelő-képességű résztömegekből tevődik össze, akkor a veszteségeket résztömegeként kell számbavenni, majd összegezni. Jelen esetben a talaj és lombkorona energiaelnyelésével számolunk, ezért az egyenértékű logaritmikus dekrementum az alábbi módon számolható:

$$\delta = \delta_s m_s / m_r + \delta_c m_c / m_r \quad (5)$$

és

$$m_r = m_s + m_c$$

ahol az  $s$  és  $c$  indexek a talajra, illetve a lombzatra (lombkoronára) vonatkoznak.

A szükséges redukált tömegadatokat az 5. ábrán láthatjuk a rázási magasság függvényében, 180 mm törzsátmérőjű szilvafára vonatkozólag. Ezek után az (5) egyenlet segítségével az eredő logaritmikus dekrementum egyszerűen számolható. A számított és mért értékek összehasonlítását a 2. táblázatban láthatjuk. A legjobb közelítést  $\delta_s = 3,0$  és  $\delta_c =$

0,68 értékek felvételével kaptuk, amelyek teljesen összhangban vannak a mért értékekkel. A befogási magasság széles tartományában a hibák a  $\pm 5,0$  % határon belül vannak.

2. táblázat. A számított és mért logaritmikus dekrementumok összehasonlítása.  
A szilvafa törzsátmérője 180 mm.

Befogási magasság, m	Számított log. dekrementum	Mért log. dekrementum	Hiba <sup>[b]</sup>
0 <sup>[a]</sup>	2,88	2,95	-0,024
0,3	2,61	2,75	-0,051
0,5	2,187	2,20	-0,006
0,7	1,774	1,68	+0,056
0,9	1,26	1,25	+0,008
1,1	1,05	1,05	0,000

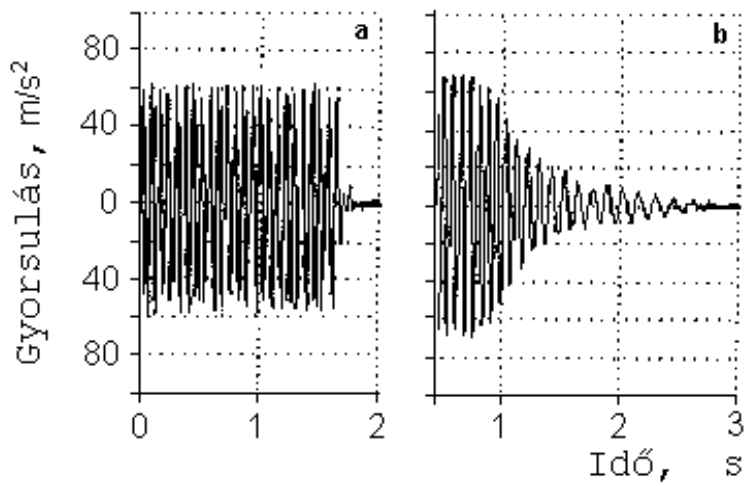
<sup>[a]</sup> extrapolálással.

<sup>[b]</sup> (számított log. dekrementum – mért log. dekrementum) / mért logaritmikus dekrementum.

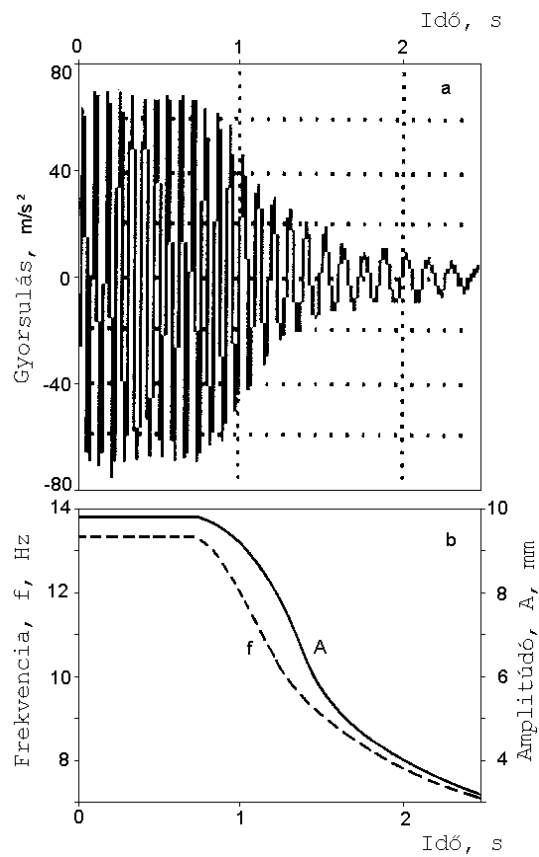
Az eredmények ismeretében megállapítható, hogy a törzsrázók energiafogyasztása nagy, különösen alacsony rázási magasságnál. Ennek oka a jelentős térfogatú talaj rezgése, amely nagy energia-elnyelési képességgel rendelkezik. A lombkorona energiaelnyelése szintén nagyobb, mint ahogy azt korábban gondolták. Az eredményekből az is világosan látszik, hogy az energia csökkentésének legegyszerűbb módja a rázási magasság növelése. A rázógépek egy része ugyanakkor konstrukciós okok miatt nem teszi lehetővé magasabb befogási hely beállítását.

## 5. Javaslatok az eredmények hasznosítására

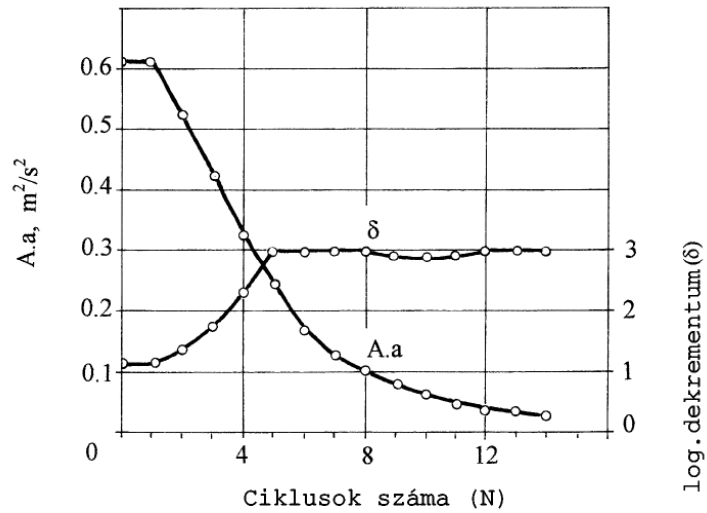
1. Új vizsgálati módszert dolgoztunk ki a talaj tényleges energia-elnyelési képességének meghatározására.
2. Új vizsgálati módszer a vágások és rajta a lomb csillapításának meghatározására.
3. Új módszert állítottunk fel a farázógépek teljesítményigényének kiszámítására a csillapítás alapján.  
Alapadatok szolgáltatása a szilvafatörzs és -lomb tömegére vonatkozóan a törzsátmérő függvényében (6. ábra). A szilvafa reakciónyomatéka a törzsátmérő függvényében (7. ábra).
4. Az eredmények alapján a célszerű rázási hely a fatörzs lehető legmagasabb pontján, legalább 1 m a talajfelszín felett. Erre a már meglévő törzsrázógépek jelentős része nem alkalmas.



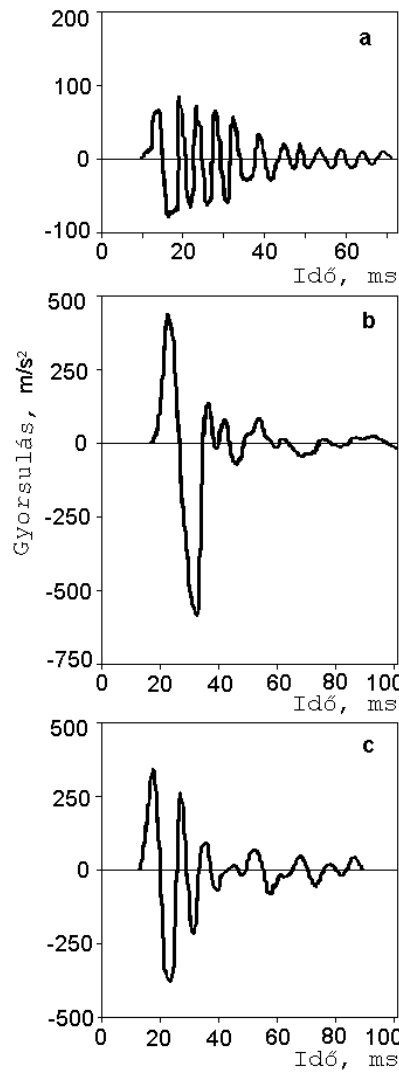
1. ábra. Két különböző rázó gép kifizési diagramja  
**a** – forgattyús-hajtóműves, **b** - kétfogótömeges



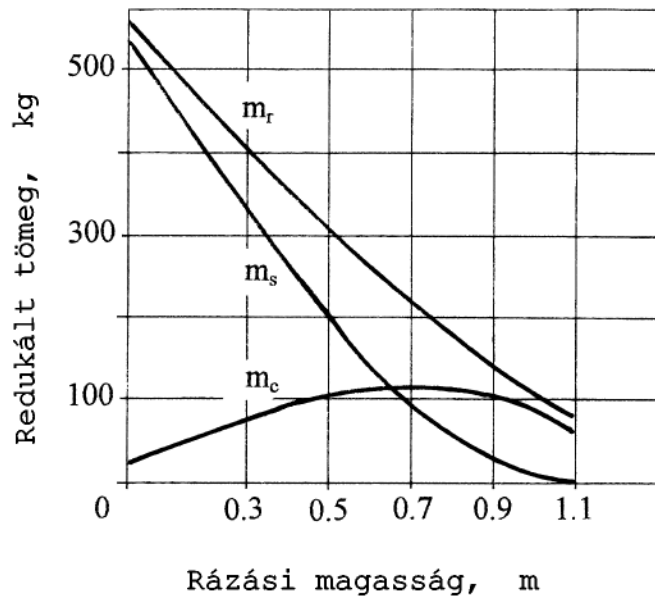
2. ábra. Kifizési szakasz csillapított rezgés gyorsulási görbéi  
**a** – rázó gép-talaj rendszer lassulása,  
**b** - frekvencia és amplitúdó változása az idő függvényében



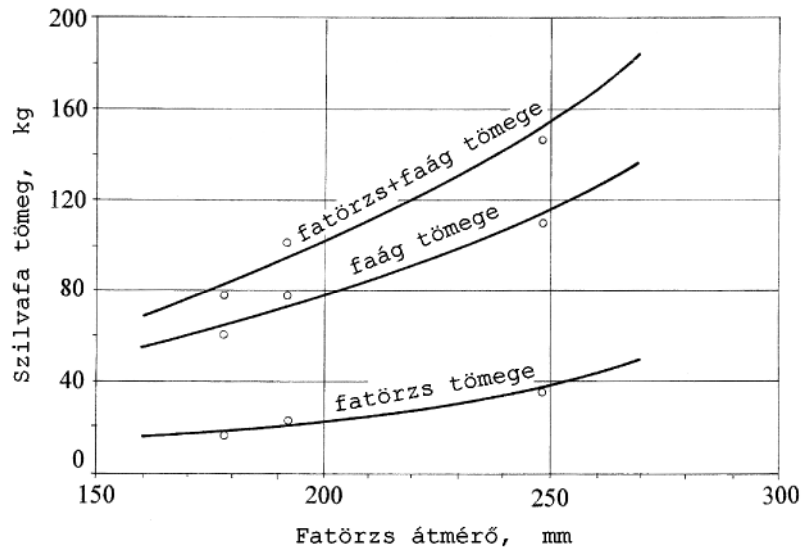
3. ábra. A log. dekrementum változása



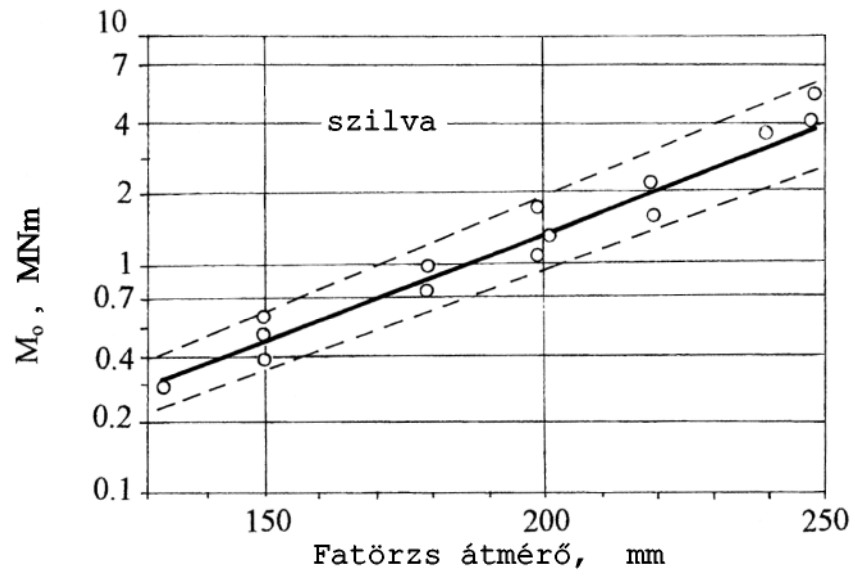
4. ábra. Különböző rezgéscsillapítási görbék  
**a** – könnyű kalapácsütés  $\varnothing 250$  mm fatörzsön, talaj közelében,  
**b** - erős kalapácsütés  $\varnothing 250$  mm fatörzsön, talaj közelében,  
**c** - erős kalapácsütés  $\varnothing 70$  mm vázágon, csillapító anyagon keresztül.



5. ábra. A redukált tömeg változása a rázómagasság szerint  $m_c$  – lomb tömege,  $m_s$  talajtömeg,  $m_r$  össztömeg



6. ábra. A fatörzs és a lomb tömegének változása a törzsátmérő szerint



7. ábra. A szilvafa reakciónyomatéka a törzsátmérő függvényében