

Figure 6 – Sample spectrum along with the Fourier function. Bending (B1, B2 and B3) and torsional (T1, T2 and T3) vibration peaks are indicated.

demonstrates how simple tools may be used effectively to provide an interesting, practical introduction to the topic of nondestructive testing of wood.

Literature

1. Bodig, J. 2000. *The process of NDE Research for Wood and Wood Composites*. Proc. 12th Int. Symp. on Nondestructive Testing of Wood, Sopron
2. Divos, F., L. Bejo, L. Gergely, E. Magoss, Z. Salamon. 1999. *A faanyag roncsolásmentes vizsgálata*. [Nondestructive Testing of Wood.] Lecture notes, University of Sopron, Hungary. pp78. (In Hungarian.)
3. Timoshenko, S. 1995. *Vibration Problems in Engineering*. Van Nostrand.

A kettős hangzás előrejelzése és vizsgálata xylofon készítésekor

Taschner Róbert

Predicting and investigating double resonance during xylophone manufacture

Double resonance effect is a problem when manufacturing percussion instruments like xylophone or marimba. Bending and torsional vibrations are both present when hitting a tone bar. When these two vibration frequencies are close to one another, double resonance occurs that significantly deteriorates the quality of the instrument. The author presents a simple method for predicting the likelihood of double resonance in a material of a certain length, and verifies the accuracy of the method through experimental results. The efficiency of the method is also demonstrated by a top quality xylophone manufactured from black locust wood.

Key words: Black Locust, Xylophone, Double resonance

Bevezetés

A sokoldalú, jó akusztikai tulajdonságokkal rendelkező akác eddig méltatlanul mellőzött faanyag volt a hangszerfák között. Térhódítása az ütős dallamhangszer gyártásban várható, hol eddig kizárólag a Hondurasi rózsa (*Dalbergia stevensonii*) és a Padouk (*Pterocarpus darbergioides*) voltak jelen. A NyME Roncsolásmentes Faanyagvizsgáló Laboratóriumában végzett vizsgálatok kimutatták,

hogy az akácot akusztikai tulajdonságai alkalmassá teszik hangszerek, azaz marimba és xilofon készítésére (Wittmann és tsai. 1999).

A Nyugat-Magyarországi Egyetemen már több eredményes kutatás foglalkozott hangszerekkel, azon belül is a marimbával és annak kisebb változatával, a xilofonnal. A mélyreható munka eredményeként, mint minden új, feltáratlan területen végzett kutatás esetében, itt is merültek föl akkor még homályos pontok,

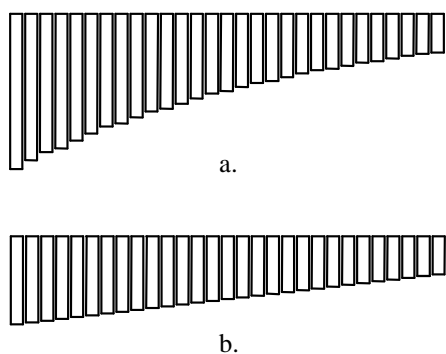
* Taschner Róbert okl. faipari mérnökhallgató, NyME Faipari Mérnöki Kar

megválaszolatlan kérdések, melyek jó alapot adtak Koncertminőségű xilofon készítése c. TDK dolgozatunkhoz, mellyel a 2002-es OTDK műszaki tudományi szekciójában második helyezést értünk el.

A legnagyobb előrelépést hozó témakör a kettőshangzás problémája volt, melyre már a korábbi, hasonló témájú TDK- és diplomadolgozatokban is találtunk utalást. Megfigyeltük, hogy a hanglapok készítése közben egy bizonyos, 1575-4205 Hz-ig terjedő hangtartományban a hanglap megszólaltatásakor két hang szólal meg. Ez a tulajdonság zavaró, kizáró tényezőnek számít a beépítés során.

A kettős hangzás

Egy adott keresztmetszetű hanglap alapanyag esetén, ha kikönnnyítés nélkül szeretnénk behangolni a hanglapokat, akkor a klaviatúra parabolikus alakot venne fel, aránytalanul hosszú mély hangokkal. A méretek csökkentése, a kényelmesebb hangszeres játék, továbbá a hanglapok megfelelő helyen történő és könnyű rögzíthetősége miatt alakult ki a xilofon mai alakja, lineárisan csökkenő hanglap-hosszúságokkal (**1. ábra**). A kívánt hang elérése tömegcsökkentéssel valósul meg, ahol a kikönnnyítés ívének megfelelő kialakításával tudjuk az alaphangot és annak zenei felharmónikusait behangolni (**2. ábra**).



1. ábra – A kikönnnyítés nélküli xilofon hanglapok hiperbolikus, illetve a mára kialakult klaviatúrája



2. ábra – A hanglap kikönnnyítésével történő hangolás

A kettős hangzást feltételezésünk szerint a hajlító-, ill. torziós rezgések együttes jelenléte, és a hanglapok hosszmeretének csökkentése miatt ezek összecsúsása okozza (Fehér és tsai. 2002). Az említett, kritikus tartományban sokszor hangonként 6-8 hanglap kialakítására volt szükség, mire találtunk egy megfelelőt, melynél méretrevágás és hangolás után nem jelent meg a kettős hangzás. Ezzel jelentősen nőtt a munkaidő, az alapanyag szükséglet, a hulladék mennyisége, vagyis az összköltség.

A vezető professzionális hangszergyártó cégek előtt is ismert ez a probléma. Ők különféle vékony bevágásokkal, a hanglap rezgésének csomóvonalai közötti részen a rostok átlós átvágásával próbálják e nem kívánt jelenséget tompítani, vagy megszüntetni, kisebb-nagyobb sikerrel.

Elgondolásunk szerint, mivel a hangszerkészítés első stádiumában az alapanyag hangterjedési sebesség szerinti osztályozásánál végzünk műszeres méréseket, ki kell fejleszteni egy olyan kiegészítő mérési módszert, mellyel megállapítható, mely anyag alkalmas az említett kritikus tartomány hanglapjainak elkészítésére.

A mérés elve

A kettőshangzás jelenségének az oka a hajlító és torziós rezgések frekvenciájának közel kerülése, a hanglap geometriai méretei miatt. Kiindulásként feltételeztük, hogy a faanyag E/G azaz hajlító és torziós rugalmassági modulusainak arányától erősen függ az adott keresztmetszethez tartozó kritikus hanglaphosszúság (L_{krit}), melynél a kettős hang jelentkezik.

A mérés alapjául szolgáló két összefüggést használtunk fel (Divós és tsai. 1999). Az Euler egyenletből közvetlenül levezethető hajlító rugalmassági modulus:

$$E = \frac{f_{hm}^2}{C_n^2} \cdot \frac{m \cdot L^3}{I}, \quad [1]$$

ahol:

f_{hm} - a hajlító rezgés n -edik módusának frekvenciája,

$$C_n = \left(n + \frac{1}{2}\right)^2 \cdot \frac{\pi}{2}$$

m - a próbatest tömege,

L - a próbatest hossza,

I - a keresztmetszet másodrendű nyomatéka $\left(\frac{a \cdot b^3}{12}\right)$.

A nyíró rugalmassági modulus számításához használt összefüggés:

$$G = \left(\frac{f_m \cdot 2L}{n}\right)^2 \cdot \frac{\rho \cdot I_p}{K_t}, \quad [2]$$

ahol:

f_m - a torziós rezgés n -edik módusának frekvenciája,

I_p - a rúd poláris inerciája $\left(\frac{a \cdot b}{12} \cdot (a^2 + b^2)\right)$

$K_t = a \cdot b^3 \cdot c$,

a, b - a próbatetest szélessége és vastagsága ($a \geq b$)

c - az a/b aránytól függő konstans, téglalap keresztmetszetű rudaknál.

L - a próbatetest hossza,

ρ - a próbatetest sűrűsége,

Mindkét összefüggés esetén $n = 1$, mivel méréseink során csak az alaphang frekvenciáját, vagyis az 1. módust kísértük figyelemmel.

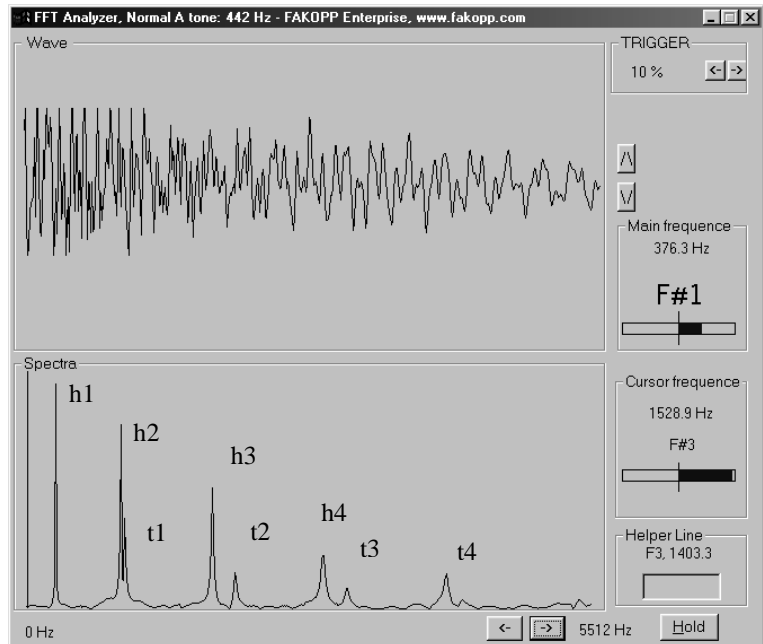
Az említett képletek segítségével kell meghatározni azt a hosszat, melynél a hajlító rezgés n -edik módusának frekvenciája megegyezik a torziós rezgés ugyanezen módusának frekvenciájával ($f_t = f_h$), azaz

$$\frac{1}{L} \sqrt{\frac{G \cdot K_t}{\rho \cdot I_p}} = C_n \sqrt{\frac{E \cdot I}{m \cdot L^3}} \quad [3]$$

Ebből az egyenletből az ismert értékek behelyettesítése után kifejezhetjük a kritikus hosszúságot:

$$L_{krit.} = \sqrt{\frac{0,352}{c} \cdot \left(\frac{E}{G}\right) \cdot (a^2 + b^2)} \quad [4]$$

Feltételezésünk szerint az így megkapott kritikus hanglap-hossz közelében jelentkezik a kettős hangzás.



3. ábra – A hajlító- (h1-h4) és torziós (t1-t4) rezgések képe egy 0,55 m hosszú próbatetest esetén

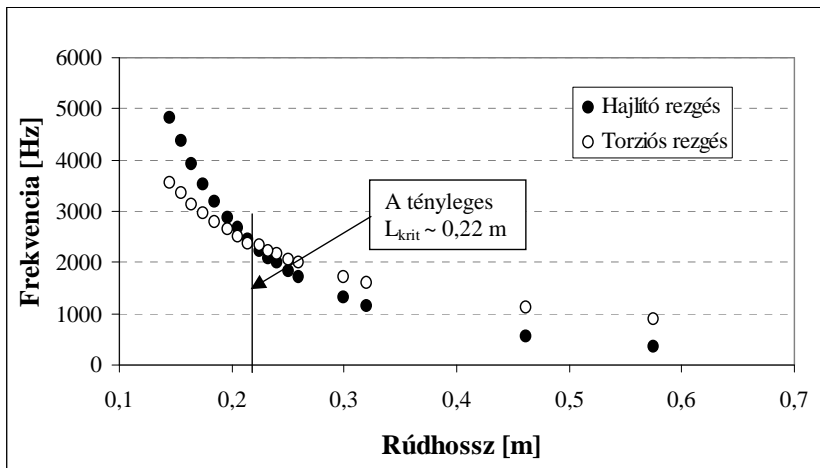
A mérések leírása

Első lépésként kiválasztottunk 22 db, 42 x 22 mm keresztmetszetű, átlagosan 1,2 m hosszúságú akác (*Robinia pseudoacacia*) faanyagot, majd meghatároztuk a sűrűséget.

A rezgések mérésénél a próbatetest két végétől felmért $0,224L$ távolságban elhelyezett rugalmas alátámasztásokat használtunk, ami az első módus gerjesztéséhez optimális. Az alaphangot, azaz a hajlítórezgés 1. módusát úgy gerjesztettük, hogy a próbatestet a maximális amplitúdó helyén, a támaszköz közepén kemény ütővel megkoppintottuk.

A torziós rezgések mérésénél arra kellett törekednünk, hogy minél nagyobb nyomatékot fejtsünk ki, ezért a próbatetest lapját a hossztengetelytől a lehető legmesszebb, továbbá hosszirányban az amplitúdó-maximum helyén, azaz az első módus esetében a próbatetest végén kellett megkoppintanunk. A rezgéseket mikrofon segítségével FFT analízátorba juttatva olvashattuk le a frekvenciát.

A torziós rezgések mérésekor – főleg hosszú próbatestek esetén – csak úgy tudtunk meggyőződni arról, hogy tényleg torziós rezgést vizsgálunk, hogy megnéztük felhangjainak (felsőbb módusainak) frekvenciáját, ugyanis annak az alaphang egész számú többszörösének kell



4. ábra – A próbatest kritikus hosszának meghatározása

1. táblázat – a rúd hossz hatása a hajlító torziós rezgési frekvenciára; zavaró hatás

L (m)	f_h (Hz)	f_t (Hz)	Különbőség (%)	Zavaró hatás ¹
0,575	370,2	900,1	143,1	-
0,462	575,9	1120	94,5	-
0,320	1170,3	1627,1	39,0	-
0,300	1318,7	1736,3	31,7	-
0,260	1714,1	1996,0	16,4	enyhe zavaró
0,250	1839,6	2075,2	12,8	
0,240	2009,5	2190,0	9,0	
0,233	2104,5	2244,7	6,7	
0,225	2241,5	2337,5	4,3	
0,215	2468,9	2389,9	3,3	nagyon zavaró
0,205	2676,8	2519,3	6,3	
0,196	2898,6	2648,6	9,4	
0,185	3210,0	2808,4	14,3	zavaró
0,175	3542,7	2971,3	19,2	enyhe
0,165	3929,3	3153,7	24,6	enyhe
0,155	4380,1	3359,0	30,4	-
0,145	4846,2	3564,6	36,0	-

¹ Képzett zenészek szubjektív értékelése alapján

lennie. Ez a jelenség jól megfigyelhető a 3. ábrán.

Méréssel meghatároztuk az E/G értékeket az említett 22 darab próbatestnél, majd azokat félbe vágva megismételtük a mérést. A hosszú és félbevágott rudak E/G értékei között nem fedeztünk föl nagymértékű eltérést (max. 7 %). Megfigyelhető volt, hogy azon próbatesteknél, melyek tényezői hosszú állapotban nehezen voltak mérhetőek bél, vagy egyéb fahiba miatt, a rövidítés után a mérés még nehezebbé vált. A mért E/G értékek 9 és 16,3 között ingadoztak, átlaguk 11,83 volt.

A mért E/G adatok alapján az anyagokat három csoportba soroltuk:

- alacsony ($E/G = 9 - 10,4$)
- átlagos ($E/G = 10,5 - 13,0$)
- magas ($E/G = 13,1 - 16,3$).

A kritikus hossz és a kettős hangzás mérése

Az elméleti kritikus hossz ismeretében, a próbatestek fokozatos rövidítésével közelítettük meg a kritikus hossztartományt, és figyeltük a hajlító-, illetve a torziós rezgések viselkedését, frekvenciáik változását. A méréshez egy speciális, PC-alapú hangolóprogramot használtunk. Ahogy csökkentettük a rúd hosszát, úgy a hajlítófrekvencia $1/L^2$, a torziós rezgés frekvenciája pedig $1/L$ arányban nőtt. Az 1. táblázat és a 4. ábra egy ilyen vizsgálat eredményeit mutatja be.

Különböző E/G -jú próbatesteket rövidítve más-más hosszúságnál és frekvenciaértéknél jelent meg a kettőshangzás jelensége. Magas E/G esetén, 0,32 - 0,26 m közé, a közepes tartományban a 0,25 - 0,19 m közé, az alacsony csoportban pedig 0,20 - 0,16 m közé esett a kritikus hossz, és jelent meg a kettőshangzás.

A következőkben egy próbatest torziós gerjesztéskor keletkező rezgéseképének alakulását mutatjuk be a hosszváltozás függvényében a kritikus hossz eléréséig, azaz a kettős hangzás megjelenéséig. A 13,9 E/G arányú próbatesthez tartozó számított kritikus hossz értéke $L_{krit} = 0,2217$ m.

0,55 m hosszúságú próbatest esetén a hajlítórezgés és a torziósrezgés alpmódusa (h_1 és t_1) még elég messze van egymástól ahhoz, hogy ne eredményezzen kettőshangzást (3. ábra). A képen megfigyelhetjük, hogy t_1 közvetlenül a hajlítórezgés második módusa mellett található. Ezt az emberi fül nem érzékeli kettőshangzásnak, mivel a hajlítórezgés a domináns, továbbá a h_1 enyhén magas F#1 hangja és a pontosan két oktávval fölötte elhelyezkedő t_1 akár a pontosan behangolt második felhang is lehetne.

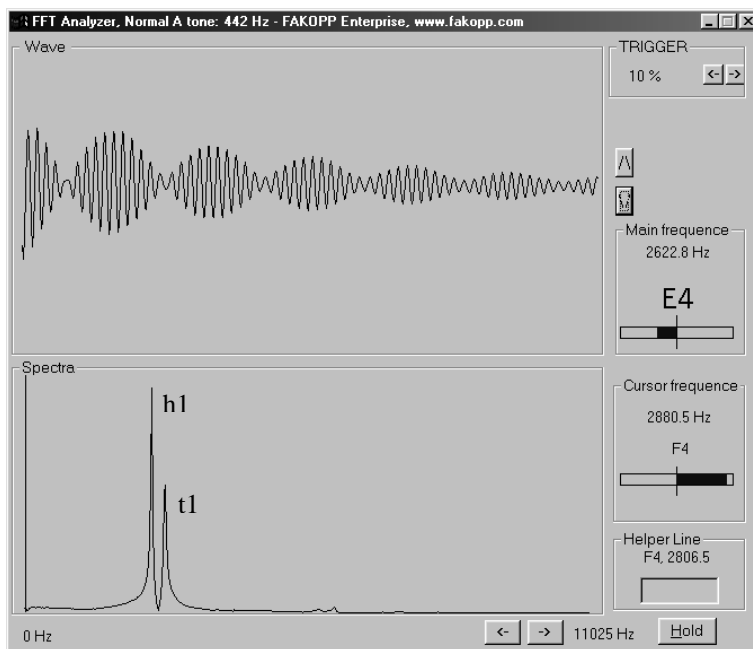
Tovább rövidítve a próbatestet 0,22 m hosszúságúra, elértük a számítással megkapott

L_{krit} értéket, de a valóságban $t1$ még mindig nem érte el a hajlítórezgés frekvenciáját (5. ábra). Itt a rezgéseket már úgy gerjesztettük, hogy csak az alapmódusok szólaljanak meg. A két frekvencia-érték már olyannyira közel került egymáshoz, hogy már a zenéhez nem értő laikusnak is feltűnik a hanglap hamissága. Mint a képen láthatjuk a $h1$ alapmódus 2622,8 Hz-es picit alacsony E4 hangon szólal meg, míg a torziós rezgés első módusa 2880,5 Hz-en rezgő F4-en. Ez az enyhén magas kisszekund hangköz már a laikus füleknek is zavaró. Ebben az esetben már nem kell külön gerjeszteni a hajlító és torziós rezgéseket. Ilyen kicsi frekvenciakülönbségnél a próbatestet tetszőleges helyen megkoppintva mindkét rezgéstípus gerjed.

A méréssel kapott L_{krit} érték 0,22 - 0,21 m közötti intervallumba került, mely a számított $L_{krit} = 0,2217$ értéktől csak kis mértékben tér el. Megfigyeltük, hogy az emberi fület leginkább zavaró kettőshangzáshoz tartozó mért érték és a számított kritikus hossz közötti eltérés átlagosan 10 % alatt van, mely eltérést a fa inhomogenitásának tudhatjuk be. A mérések alapján kiderült, hogy a kettőshangzás jelensége zeneileg akkor zavaró, ha a hajlító- ill. torziós rezgések frekvenciái közötti különbség kisebb, mint 25 %.

Összefoglalás

A kutatásaink után elkészített hangszer demonstrálta, hogy az akác maximálisan megállja a helyét a hangszerfák között (6. ábra). Ezzel egy új, magasabb dimenzióba lép az akác faanyag megítélése, hisz eddig viszonylag szűk felhasználási területtel rendelkezett (Molnár 1988, 1992). Kutatásainkkal elértük a kitűzött célt, hiszen a xilofon hangszer hanglapjainak G3-C5-ig terjedő kritikus tartományára bizonyítottan sikerült egy olyan módszert kifejlesztenünk, melyben előzetes mérések segítségével – az E/G arány meghatározásával – megadható, mely faanyag alkalmas az említett tartomány hanglapjainak elkészítéséhez, hogy elkerüljük a kettőshangzás problémáját. Ezzel komoly lépést tettünk a professzionális hangszerkészítés irányába.



5. ábra – A hajlító- és torziós rezgések rezgésképe egy 0,22 m hosszú próbatest esetén



6. ábra – Az elkészített négy oktávus koncert minőségű xilofon

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom tanáromnak, Dr. Divós Ferencnek, a Roncsolásmentes Faanyagvizsgáló Laboratórium vezetőjének segítségéért és támogatásáért, továbbá Honfi Ferencnek, a Cs-Fa Kft. ügyvezető igazgatójának és Keszelve Jenő főmérnöknek, a további kutatásaimhoz biztosított alapanyag támogatásért.

Irodalomjegyzék

1. Divós F., Bejő L., Gergely L., Magoss E., Salamon Z. 1999. *Roncsolásmentes faanyagvizsgálat*. Jegyzet, Soproni Egyetem.
2. Fehér Cs., Horváth M., Taschner R., 2002 *Koncertminőségű xilofon készítése*, TDK-dolgozat, NyME Sopron.
3. Molnár S., 1988 *Az akácfa ipari felhasználása*, Műszaki Kiadó, Budapest
4. Molnár S., 1992 *The range, characteristics and industrial utilization of Black Locust*, Sopron
5. Wittmann Gy., Divós F., Bejő L., 1999 *Robinia as Construction Material and Xylophone Bars*, Journal of the Institute of Wood Science 15(2):82-86.

Modellek a faiparban keletkező hulladékok kezelésére és hasznosítására. II. rész

Németh Gábor, Varga Mihály ✧

Models for the handling and utilisation of waste material generated in the wood industries. Part 2

This article series presents a systematic approach to waste and secondary raw material handling in wood science. The authors identified five key waste sources, and created waste handling models for each of them, based on the evaluation of industrial operations. The preceding article presented models for wood waste, surface treatment and packaging waste handling and recycling. The present instalment introduces models for handling motor vehicle-related and other waste types, and concludes the series.

Key words: Waste, Secondary raw materials, Waste management

Bevezetés

Megelőző cikkünkben bemutattuk azokat a problémákat, amelyek a hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII. törvény és a hozzá kapcsolódó rendeletek hatására a faiparban felmerültek. Ezek a problémák szükségessé teszik a hulladékgazdálkodás komplex problémakörének rendszerszemléletű vizsgálatát. Ennek megfelelően az alábbi hulladékfajták kezelési és hasznosítási modelljeit dolgoztuk ki:

- faalapú hulladékok (másodnyersanyagok),
- felületkezelő anyagok, védőszerek, ragasztók, tömítők és felhasználásuk során keletkező hulladékok,
- csomagolási hulladékok,
- gépek, járművek üzemeltetése és karbantartása során keletkező hulladékok,
- egyéb hulladékok.

Cikksorozatunk első részében a fentiek közül az első három anyagféleségre kidolgozott modelleket ismertettük. A második részben a további hulladéktípusok modelljeit tárgyaljuk.

Gépek, járművek üzemeltetése és karbantartása során keletkező hulladékok

Ezen a területen legnagyobb mennyiségben hulladékolajok („fáradt olajok”) és ezekkel szennyezett hulladékok keletkeznek. Az olaj megvásárlását és felhasználását követően célszerű az (önmagukban is veszélyes hulladékot képező) kiürült göngyölegekbe visszatölteni a hulladék olajat, hisz így, amennyiben a forgalmazó nyilatkozik erről, úgy a fáradt olajjal együtt a göngyöleget is elszállítja. A gépek szerkezeteiben található olajos szűrők szintén az olajjal szennyezett csomagolási hulladékok részét képezik, és mint ilyenek a veszélyes hulladékok közé sorolandók. A gépek üzemanyagainak kezelésénél az eljárás azonos a fent leírtakkal.

A gépek karbantartása során az esetleges tömítetlenségek miatt lecsepegő olaj is jelentkezik, melynek felítására – a faiparban – fűrészpor használható. A fűrészpor azonban olajtartalma miatt veszélyes hulladékká alakul. A hulladékolajok és az olajjal szennyezett hulladékok kezelésének modelljét az **1. ábra** szemlélteti.

✧ Németh Gábor doktorandusz hallgató, Dr. habil. Varga Mihály CSc. egy. docens, NyME Faipari Gépészeti Intézet