

Herbert Tobischek:

## Az üstdob akusztikája

### Újabb vizsgálatok

Dr. Herbert Tobischek zenetudós. A Bécsi Zeneakadémián, egyebek mellett, ütőhangszer-játékot tanult. Essenben él, ahol művészkozve-títéssel foglalkozik.

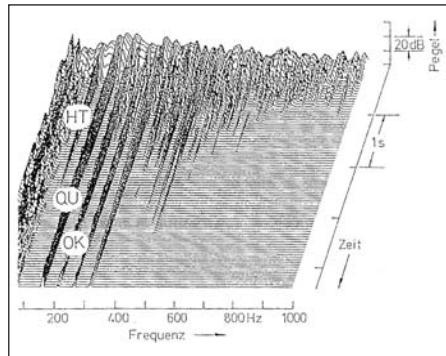
Ennek a cikknek az alapja az az előadás, melyet a szerző 1997. július 27-én, az altenburgi kastélymúzeumban a „Historische Altenburger Kesselpauken” kiállítás megnyitóján mondott el. Az üstdob akusztikájával kapcsolatos kutatások legfontosabb újabb eredményeit adja közre.

Az elmúlt három évtizedben örvendetes módon fejlődött az üstdobhangzás sajátosságainak az új mérőműszerekkel és elemző módszerekkel történő vizsgálata és a hallás útján történő érzékelés tanulmányozása. Ezeket egyrészt az üstdobhangzás lényegére vonatkozó korábbi kutatásaim és szonográfikák igazolják, ugyanakkor azonban ezek több járulékos ismerethez és néhány korábbi megállapítás módosításához is vezetnek. Különösen hálásnak kell lennünk Helmut Fleischer akusztikusnak, aki az utóbbi tíz évben a müncheni Katonai Egyetem Mechanikai Intézetében, főleg a Kolberg cég üstdobjaival, számos vizsgálatot folytatott. Sokminden amiről itt szó lesz, az ő munkáján alapszik.

### Milyen frekvenciák határozzák meg a hangmagasságot?

Az 1. ábra egy ún. vízésés-diagram. Ez mindhárom térdimenziót kihasználva, az időbeli lejátszódás (diagonális tengely), az üstdobütéskor előálló, időben felépülő frekvencia spektrumot (horizontális tengely) valamint az ehhez tartozó hangerő szinteket ábrázolja (a függőleges tengelyen). Ez a diagram csak négy másodpercet fog át, ami ahhoz képest, hogy az üstdobhangzás tíz másodpercig is kicsenghet, nem ad az üstdob spektrumról teljes képet; ugyanez a megállapítás érvényes az 1000 Hz-re korlátozott frekvencia-spektrumra, ami ennél jócskán túlnyúlhat. Egyik korlát sem bír azonban nagy jelentőséggel az üstdobhangzás döntő kritériu-

mainak megítélésében, mert minden, ami lényeges, az már az első másodpercben le-



1. ábra

**Vízésés-diagram: Egy „A” hang hangerő frekvencia-spektruma egy nagy üstdobon [ Fleischer (1991) szerint.]**

játszódik, illetve 500 Hz alatt hangzik.

A diagram mutatja, hogy a dobhangzás folytonos változásoknak van alávetve. Maga az ütés nagyjából és egészében nem harmonikus és egymásba átmenő spektrál-komponenseket eredményez, amelyek a dobütés zöreij részét alkotják. Mintegy fél másodperc után alakul ki egy olyan hangspektrum, amely világosan felismerhető és gyakorlatilag stacionér (állandósult) frekvenciákból áll, amelyeknek persze változó utánzöngésük van. A zajkaraktert meghatározó frekvenciák a bőr olyan rezgési alakzataiból származnak, amelyeknél a bőr vagy, mint egész rezeg, vagy amelyeknél az ún. csomóvonalak koncentrikus köröket alkotnak. (2. ábra: 01, 02 és 12 „módusok”, vagy rezgés alakzatok) Ezek rezgési energiájukat jól tudják kisugározni, és ezért hamar lecsengenek. Különösen erős hangerő-szintet lehet középre ütéssel elérni. A hangjel ilyenkor ugyan erős, de csupán tompa zajnak felel meg, nem meghatározható hangmagassággal.

A membrán elméletből ismert és a dobhangzás szempontjából legfontosabb forgásszimmetrikus rezgési forma az első (2. ábra: 01-es módus), amelynél a dobüst pereme egyetlen csomóvonalat alkot. Ez a szokásos peremközeli ütések esetében

sem kerülhető el. Elméletileg ez a membrán-rezgések legmélyebb hangjának felel meg. Ez, mint a dobbőr egyik rezgési formája azonban nincs szoros kapcsolatban a hangmagasságot meghatározó ún. főhanggal. Mélyebb fekvésben ez utóbbi magasabb, magasabb fekvésben pedig alacsonyabb, mint az említett alaprezgési formához tartozó hang. Ennek az a következménye, hogy magasra hangoláskor nem az utóbbi, hanem ennek első gyűrűsrezgésalakzata adja a legmélyebb hangösszetevőt, ami a főhangot elnyomhatja, és nem-hallhatóvá teheti. Ezáltal nem jön létre szép hangzás és a zenei hangmagasság nehezen érzékelhető. Ha azonban a 01-alakzat frekvenciája a főhang frekvenciájához közel esik, akkor még akár lebegés is előállhat. Azoknál a frekvenciáknál, melyek lecsengése hosszabb, a bőr „antimetrikusan” rezeg, azaz a csomóvonalak (amelyek mentén a bőr nyugalomban marad) átlókat alkotnak. (1. 2. ábra. 11-, 21-, 31- és 41-es alakzat) Ezek szinte kizárólag a szokásos peremközeli ütések esetén állnak elő, és nagyobb hangerő-szintet érnek el, mint a velük együtt hangzó forgásszimmetrikus (koncentrikus) rezgések. Középre-ütéssel antimetrikus rezgések alig gerjeszthetők, hiszen ezek csomóvonalai a középponton haladnának át, ahol viszont a bőr nem rezeghetne. Az antimetrikus rezgések állítják elő azokat a frekvenciákat, amelyek az érzékelt hangmagasságért és a dobhangzásminőségéért felelősek: így az ún. főhang, (2. ábra, 11-es alakzat), a teljes felhang-sorban a második, vagyis az alaphang oktávja, mint ahogy a kvint a 21-es módnak, az oktáv pedig a 31-es rezgési módnak felel meg (ugyancsak a 2. ábra szerint). Fleischer vizsgálatai kimutatták, hogy a további felhangoknak nincs szerepe a hangmagasság-érzet kialakításában. Ez többek közt azzal van összefüggésben, hogy az ezeket a hangösszetevőket létrehozó rezgésformák energiájukat annál rosszabbul adják le, minél komplikáltabbak, azaz minél magasabbak. Minél pontosabban követik a hangösszetevők a

2:3:4 intervallumokat, annál szebben szól az üstdob.

Más viszont a helyzet, ha a dob magasra van hangolva. Minél magasabb a hangolás, annál gyorsabban csengenek le a felhangok, mert rezgési energiájuk a bőr nagyobb feszítettsége miatt jobban és gyorsabban leadódik. Másrészt viszont ugyanaz a magasságú hang egyszer egy nagy, egyszer egy kisebb üstdobon lejátszva a kisebbiken hosszabb utánzengésű, mert a kisebb bőrt kevésbé erősen kell megfeszíteni, így hosszabb ideig rezgethet. A kisebb dob így rosszabb kisu-

gázró és ezért a rezgési energiáját lassabban adja le.

Fleischer a lecsengésre vonatkozó vizsgálataiban ezen kívül azt is megállapította, hogy bár az utánzengési idő magasabb hangolásnál rövidebb, a hangmagasság kifejezettsége növekszik a magasabbra hangolástól. A felhangok hosszabb utánzengése tehát nem indikátora a hangmagasság kifejezettségének, mint ahogy azt az ember tulajdonképpen gondolná.

### Miről ismerhető fel az üstdobütés?

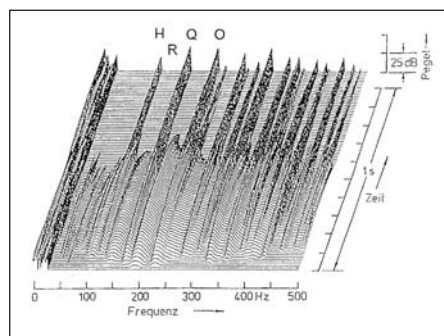
Egy további vízésés-diagram (3. ábra) azt mutatja, hogy az

Mint a Fleischer által végzett sajátrezgés vizsgálatok megmutatták – és ez nem fog egyetlen üstdobost sem meglepni – az ütés vagy az ütő keménysége a sajátrezgés-folyamat lejátszódására és a hangzás spektrális felépülésére befolyást gyakorol. A kemény ütő vagy ütés azt eredményezi, hogy a magasabb hangösszetevők korábban, már 2/100 másodperc után fellépnek és az ütés hangzása fényesebb és élesebb, minthogy ezáltal egy szélesebb, áthatóbb és gyorsabban beálló spektrum állítódik elő. Az ütés helyének megválasztásával az egyes felhangok hangerőszintje befolyásolható; mindenekelőtt az alaphangnál annak kvintje válhat erősebbé.

### Az ütészhang időbeli lefolyása

A spektrál-folyamat lejátszó-dási képe (1. ábra) bemutatja, mint már említettük, hogy az ütési zörej, ami a dobőr nemharmonikus, egymáshoz közeli frekvenciájú gyűrűs rezgések seregéből áll elő, és ezáltal egy adott hangmagasság benyomását először eltarthatja, körülbelül fél másodperc alatt lecseng. Ezután még egy sor lassan lecsengő hangösszetevő marad: az alaphang (1. ábra: HT) egy A-ra hangolt dobnál 110 Hz-nél a kvint (QU) körülbelül 180 Hz-nél, az oktáv (OK)

3. ábra



Egy „A” hang hangerő-frekvencia spektruma egy nagy üstdob esetében. (H=főhang, R-1. gyűrűsmód, Q=kvint, O=oktáv) (Fleischer, 1991)

ún. berezgési folyamat<sup>2</sup>, ami minden zörej vagy zenei hang, így minden hangszer vagy emberi hang felismerésében döntő szerepet játszik, az üstdobnál kb. 1/10 másodpercig tart. Az üstdobok berezgési ideje más hangszerekéhez képest így általában hosszú, a trombitáknál mintegy 2/100 másodperc, a hegedűknél 8/100-12/100 másodperc, fuvolánál 2/10-3/10 másodperc. A diagram megmutatja, hogy az egyes frekvenciák nem egyszerre, hanem időben eltolva jelentkeznek; különösen a 150-250 Hz-ig terjedő frekvenciák nagyon hamar lépnek fel, míg a 100 Hz alatti, illetve a 450 Hz feletti frekvenciák különösen későn jelentkeznek.

220 Hz-nél, a duodecima mintegy 270 Hz-nél és a második oktáv 330 Hz-nél.

A 4 másodpercet átfogó diagramból látható, hogy az alaphang viszonylag gyorsan lecseng, míg a kvint, az oktáv és esetleg a második oktáv még tovább cseng. A többi frekvencia kb. két másodperc után elhal. Kimérték, hogy az alaphang utánzengése a mindenkori hangszereken mélyebb fekvésben 7 másodpercig tart, magasabb fekvésben azonban csupán másfél másodpercig. Ez megintcsak a dobőr mélyebb ill. magasabb megfeszítettségével függ össze, mert a membrán nagyobb feszültségnél nem tud olyan sokáig rezegni. A kvint és az oktáv utánzengése hosszabb az alaphangénál; ezek mélyebb fekvésben 10, magasabb fekvésben 3 másodpercig tartanak. Mindenesetre az egyes felhangok lecsengési időtartamának hatása van a hangmagasság kifejezettségére.

Az eddigi kutatások szerint ez a kifeje-

módus	saját érték	perspektivikus ábrázolás	Chladni-féle rezgéskép
01	2,40		
11	3,83		
21	5,14		
02	5,52		
31	6,38		
12	7,02		
41	7,59		

2. ábra

Az ideális membrán sajátrezgésformái (módusok) (Fleischer 1988)

zetség gyengébbnek látszik, hogyha az alaphang, a kvint és az oktáv lecsengési időtartamai egymástól nagymértékben különböznek.

### A dobőr befolyása az ütőhangok lecsengésére

Az utóbbi években bebizonyosodott, hogy a bőrnek is hatása van a dobhang lecsengési viszonyaira. Így például természetes bőröknél az alaphang, ill. a kvint és az oktáv lecsengési ideje nem olyan hosszú, mint műbőröknél. Ezen túlmenően a természetes bőröknél a kvint és oktáv felhangok befolyása a hangmagasságra kisebb, mint a műbőröknél. Az ilyen mérési eredményekre azonban megfelelő indokok nem ismertek. Nyilván a természetes bőrök a műbőrök előállításának minden fejlődése ellenére még mindig jobb membránok, jobb rugalmassági tulajdonságokkal.

Azáltal, hogy az ütés-zaj zajfrekvenciái fél másodperc alatt eltűnnek és utána már csak többé-kevésbé harmonikus hangok maradnak, a magasság szerint meghatározható ütőhang viszonylag gyorsan előáll. Ez persze csak akkor érvényes, ha az első gyűrűs sajátrezgési forma (az a frekvencia, amelynél a dobőr minden pontja azonos fázisban rezeg és csak a perem képez csomóvonalakat) nem mélyebb az alaphangnál. A dob magasra hangolása esetén ez rendszerint nincs így. Ezért van az, hogy a magasabb dobhangok hangmagassága már nem olyan egyértelműen meghatározható, ha a dob konstrukciójánál nem sikerül az első saját frekvenciáját olyan messzire eltolni, hogy az már tovább ne zavarjon.

A hangmagasság egyértelműsége azonban akkor is elveszik, ha a bőr nagyon inhomogén, ami a rosszul preparált természetes bőröknél gyakrabban fordul elő, mint a műbőröknél. Ezáltal a bőr rezgési formája nem jelentkezhet pregnánsan.

### Hallás általi érzékelés

Az az ideális eset, hogy a zenei hangmagasságot kizárólag az alaphang határozza meg, nem mindig áll elő. Disszertáciomban az akkori ismert kutatási eredményekre hivatkozva arra utaltam, hogy az érzékelt hangmagasságot nem a fizi-

kai spektrum első hangösszetevője, amit mi főhangnak nevezünk, hanem a spektrumban nem jelentkező, egy oktávval mélyebb alaphang határozza meg. Ezt a spektrumban nem jelenlévő és csak esetlegesen érzékelt, a dobhangot meghatározó hangot az akusztikában reziduális, vagy „virtuális hangmagasságnak” nevezük. Több mint harminc évre visszatekintve megállapítható, hogy annakidején ezt a virtuális hangmagasságot tekintették a kottában jelzett hangmagasságnak.

Mai ismereteink szerint azonban ez már nem érvényes. Mint mondtuk, a zenei hangmagasság általában a főhang magassága. Csak különleges esetekben érzékel a hallás olyan hangmagasságot, amelynek a hangspektrumban nincs fizikai megfelelője. A virtuális hangmagasság legalább két felhangból tevődik össze, amelyek rendszerint az alaphang frekvenciájának egész-számú többszörösei és nemcsak fizikailag vannak jelen, hanem érzékelhetőnek is kell lenniük. Az ütődob esetében a főhang ezen érzékelhető összetevői, a kvint, az oktáv és a főhang frekvenciájának két és félszerese. A hallás megszüri, egyszerűbben kifejezve, mondhatnánk kiszűri a közelítőleg harmonikus felhangok közös nevezőjét; ez lesz ennek a felhangsornak az alaphangja, ami azonban a frekvencia-spektrumból valójában hiányzik.

Ez a folyamat először a belső fül (a „csigában” elhelyezkedő) bázikus idegmembránjain játszódik le, melyen a kvá-

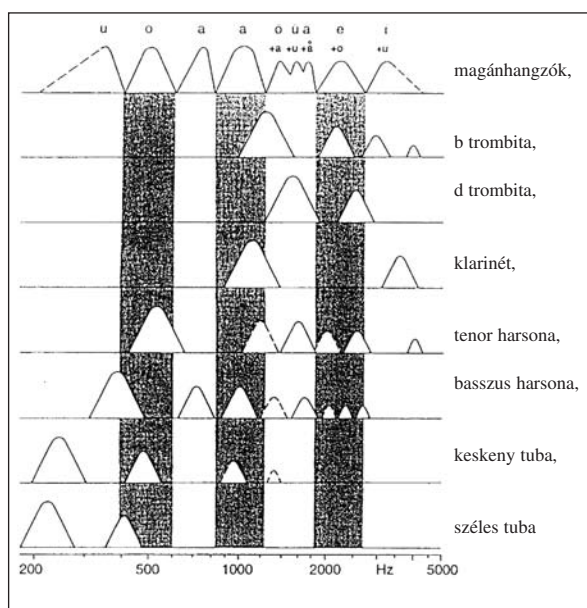
zi-harmonikus hangösszetevők, azaz egy alapfrekvencia egész-számú többszörösei egy komplikált, több amplitúdó csúccsal bíró rezonancia-mintát idéznek elő, melyek azonban időben változatlan tulajdonságokkal rendelkeznek; például a rezonancia-helyek közötti változatlan távolsági viszonyokkal. Ma tudni vélik, hogy a mindkét fül bázikus membránjain feldolgozott információkból a központi idegrendszer felismeri, hogy mindezen ingereknek ugyanolyan a perioditása, és ezekhez egyetlen hangmagasság-érzetet rendel, amelynek frekvenciája, mint például az ütődob alaphangja, a spektrumban egyáltalán nem kell, hogy jelen legyen.<sup>3</sup> A virtuális hangmagasság akkor fejeződik ki leginkább, ha a hangösszetevők frekvencia aránya a 2:3:4 harmonikus intervallumoknak felel meg. Egy ilyen, csak a hallószervben előálló hangmagasság a hallgató számára mégis az ütődobhangzás valóságosan érzékelt jellemzője. E jelenség leginkább magas hangfekvésben körülbelül a nagy oktáv végén volt megfigyelhető.

Mint hogy a virtuális hangmagasság és a főhang spektrál-összetevői egyidejűleg is érzékelhetők, oktávtevesztések állhatnak elő és ez lehetett az oka annak, hogy korábban csak a virtuális hangot tekintették valóságosan és mindig érzékelhető hangmagasságnak.

### Az ütődob specifikus hangzsképe

A virtuális hangmagasságért felelős frekvenciáknak egy spektráltartományra történő behatárolásához hasonló megállapítás érvényes azoknak a frekvenciáknak hallás útján történő feldolgozására is, amelyek egy hangszer jellegzetes zörejeit és hangzását adják, és amelyeket formánsoknak nevezünk. Formánsok azok a frekvenciák, amelyek – többek közt – a hangszer megszólalásakor keletkeznek. Ezek függetlenek az előállított hangmagasságtól és megadják az emberi hangoknak és a hangszereknek összetéveszthetetlen karakterisztikáját, amelyből mi felismerhetjük, hogy milyen hangszer, vagy kinek a hangja, vagy éppen milyen magánhangzó szólal meg.

Mint a 4. ábra is mutatja, meghatározott hangforrások formánsaihoz meghatározott frekvencia-tartomá-



4. ábra

**Különböző rézfúvós hangszerek formáns-fekvéseinek sematikus ábrázolása (Meyer)**

nyok rendelhető hozzá. Az üstdobok formánsai, amelyek egyébként főleg a dob-bőr nem harmonikus sajátrezgéseiből keletkeznek (vö. 2. ábra: 01-, 02- és 12-es mód), valószínűleg 300 Hz és 1500 Hz közé esnek. Egy zörejt, vagy hang felismeréséhez ezért nem szükséges, hogy azokat a frekvenciákat is hallhassuk, amelyek a formáns frekvencia-tartomány alá, vagy fölé esnek; ugyanígy nem szükséges, hogy azokat a frekvenciákat meghalljuk, amelyek azon hangösszetevők tartományán kívülre esnek, amelyek a virtuális hangot állítják elő és így a hangmagasság érzetért felelősek. Ezért lehetséges az, hogy minden ilyen frekvencia, pl. olyan termekben, ahol a hanghullámok a koncertpublikum, a padló- és falborítás, valamint függönyök csillapítása következtében elnyelődhet, anélkül, hogy ez bennünket az egyes hangszereknek, vagy akár azok sajátos hangzásának felismerésében akadályozna.

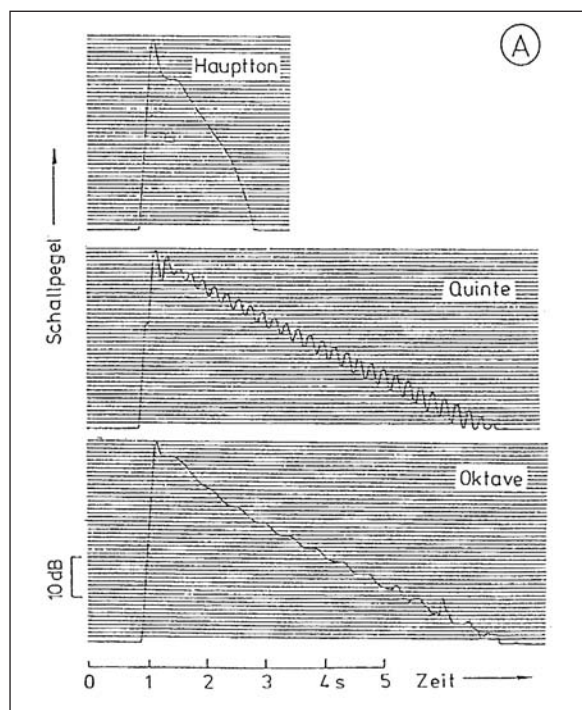
Azt egyébként, hogy nincs szükségünk egy hangzás felismeréséhez az összes frekvenciára, telefonáláskor nap, mint nap átéljük. A távbeszélő átvitel levágja az összes 300 Hz alatti frekvenciát. Mély férfihangok mintegy 100 Hz körül mégis felismerhetők, mert a felismeréshez szükséges meghatározó formánsok az átviteli tartományba esnek, ill. az átvitt frekvenciákból a hallási mechanizmusban kiegészülnek.

### Üstdob fortissimóban = diszkó hangerő

Akusztikusok mérései szerint, a legmagasabb hangteljesítmények *ff* üstdobütések 110 dB körüliek; ez olyan értéket jelent, amiről zajkutatók megállapították, hogy ez olyan diszkó lármának felel meg, amely tartósan halláskárosodáshoz vezethet. A legalacsonyabb még lejátszható *pp* hangteljesítmény-szint mélyfekvésben 67 dB, magasabb fekvésekben 70 dB körüli; mélyebbre hangolt dobon tehát halkabban lehet játszani, mert ennél a kevésbé kifesztített dob-bőr energia-leadási képessége alacsonyabb. A legerősebb hangteljesítményű részfrekvenciák mintegy 100 és 250 Hz közé esnek; ez azonban a hangszer nagyságától, hangoltságától, ütéstől – erősebb, vagy lágyabb ütés – és nyilván az ütő típusától függ.

Szonár diagrammok megtekintésekor a hangnyomás időbeli lefutásának egy olyan különlegességét vehetjük észre,

amely a két bemutatott vízés diagramban nem jelentkezik és valószínűleg hangszer-, vagy bőr-függő; itt főként az utolsó ütés után mind a dinamika-görbében, mind pedig a spektrál-felbontásban felismerhető lebegésekről van szó. A lebegések a hangnyomás olyan ritmikus ingadozásai, amelyek általában két egymáshoz közeli frekvenciájú és hangerő-szintű hang esetén állnak elő. Ezeket a lebegéseket a hallás, mint a hangerő időbeli fluk-



5. ábra

Az A hang három legfontosabb részhangjának lecsengési görbéi; lebegések a kvintnél (Fleischer, 1991)

tuációját érzékeli mindaddig, míg a két hang frekvencia-távolsága 10 Hz-nél kisebb. Hallásunk az üstdob hangerejének érzékelésekor a lebegések maximális értékei szerint orientálódnak.

10 Hz-nél magasabb frekvencia-távolságnál a fül e lebegéseket már nem időbeli fluktuációnak érzi, hanem mint egy 3 dB-nyi hangerő-szint növekedésnek. De itt is létezik egy újabb korlátozás. Ez az érzékelt hangerő-szint növekedés csak akkor áll elő, ha a két előállító frekvencia egy meghatározott frekvenciasávon belül helyezkedik el. Ez a hallás fiziológiájával, speciálisan a belső fül bázikus membránjainak a tulajdonságával függ össze, hogy ezekhez meghatározott tartományok bizonyos frekvenciái vannak hozzárendelve. 500 Hz alatt, azaz az üstdob hangspektrumának legfontosabb

tartományában az a frekvencia-sáv szélesség, amelyen belül a lebegést és a szintemelkedést okozó hangösszetevőknek kell lenniük 100 Hz; ez 500 Hz-en felül egy nagytercnek felel meg. Ezen általánosan érvényes magyarázatoknak némileg ellentmondó olyan mérési eredmények is léteznek, amelyekhez Fleischer jutott. (5. ábra) ő az üstdobhangzás szempontjából legfontosabb három hangösszetevőnek az analízise során csak a kvintnél talált (mintegy 6 Hz-es) le-

begést. Ezek létrejöttét ő az ún. „spinning modes” (forgó rezgési formák) megjelenésével magyarázza, amelyeket már a templomi harangoknál is ismerünk. Ennek oka a bőr inhomogenitásában és főként a bőrfelület inhomogén megfeszített ségi viszonyaiban keresendő.

### Mi a fontosabb, az üst, vagy a bőr?

Akusztikai szempontból az üstdobok két részből állnak: a bőrből és az üstből. Megállapítást nyert, hogy az üstdob hangja főként felfelé sugárzódik és az üst, az ún. hangüreg nem játszik lényeges szerepet a hangsugárzásban. Az akusztikusok ezért az üstöt „passzív”, míg a bőrt „aktív” résznek tekintik.

A bőr egy membrán, és ahhoz, hogy rezegessen, bizonyos feszültségre van szükség. Annak, hogy a bőr milyen rugalmas, a hang-előállításban csupán má-

sodlagos szerepe van, de nem így a hangminőségben. A bőr az ütés következtében transzverzális (bőrfelületre merőleges) rezgésekbe jön, melyek azonban nem felelnek meg egy ún. ideális membránéinak, mint-hogy a bőr nem tudja visszahatás nélkül a környező levegőt rezgésbe hozni. Azáltal, hogy a bőr a hangot nemcsak előállítja, hanem azt az őt körülvevő médiumnak, a levegőnek is átadja, miközben a levegőt, aminek ellenállását le kell küzdenie, mozgásba (hangot tovább vívó rezgésekbe) hozza, a bőr úgy mond nehezebbé, illetve az ideális membránéhoz képest mozgási szabadságában korlátozottá válik. Még nagyobb a befolyása az üstbe zárt levegőnek a bőr rezgésére. Ez rezgéscsillapítóként hat és főleg az első forgásszimmetrikus rezgési formát (2. ábra: 01-es módus).

A bőr azon legalsó részhangok frekvenciáit sugározza ki a legerősebben, amelyek a gyűrűs-módusnak és az első radiális módusoknak (2. ábra: 01-, 11-, 21- és 31-es módusok) felelnek meg. Ez is magyarázza e hangoknak a spektrumban játszott jelentős szerepét. Természetes bőrok a hangmagasságot emellett jobban fejezik ki, mint a műbőrök. Minél magasabb egy részhang, annál gyengébben sugározza ki a bőr.

Az üst tehát az üstdob passzív része. Anyaga és formája csak annyiban bír jelentőséggel, hogy ezeknek kell biztosítaniuk az üst hajlító merevségét azért, hogy lehetőség szerint az üstnek kevés saját rezgése álljon elő. Az üstnek ugyanakkor meghatározó része van a hangzásban; alig játszik szerepet a hangteljesítményben, mert ez szinte kizárólag a bőrtől függ. Minthogy az üst sohasem teljesen merev, maga is rezeg valamennyire. Részaránya azonban a kisugárzott hangteljesítményben a bőréhez képest – éppen az üstdobra leginkább jellemző 100-1500 Hz-es frekvencia-tartományban – jelentéktelen 1%. Annak megakadályozására, hogy az üst önálló akusztikai életet kezdjen élni, beépített állapotban nagy üstdobnál 440 Hz-nél, ill. kis üstdobnál 650 Hz-nél alacsonyabb saját-frekvenciái nem lehetnek.

Az üst fontos feladata az is, hogy akusztikusan és hidrodinamikusan elválassza a bőr feletti levegőt a bőr alatti, az üstben lévő levegőtől. Ennek az elválasztásnak két lényeges hatása van. Ezáltal egyrészt megnövekszik a felfelé sugárzott hanghullámok teljesítménye, mivel a kibocsátott hang által a bőr fölötti levegő úgy jön mozgásba, hogy ez a membrán tömegét mintegy megnöveli, ez pedig a mélyebb hang-összetevőkre nagyobb hatással van, mint a magasabbakra. A másik hatás pedig abban áll, hogy a dobőr saját frekvenciáinak alakulása módosul.

Itt a dobba zárt levegőtömeg döntő szerepet játszik, viszont – a korábbi elképzelésekkel ellentétben – a hangnyílásnak („hanglyuknak”) nincs jelentősége. Az első gyűrűs módusban (01-es módus), amikor az egész bőr egyszerre mozog fel és le, az üstbe zárt levegőben olyan nyomásingadozások jönnek létre, amelyek az üst térfogatától függően nagyobbak vagy kisebbek és ezáltal a forgásszimmetrikus rezgéseket (01, 02, 12) többé-kevésbé csillapítják. Az olyan radiális rezgési formák esetén (11, 21, 31 és 41), amelyek a hangmagasságot meghatározó, legfontosabb felhangokat állítják elő, mind a „pumpáló”, mind a „szívó” hatás egyszerre jelentkezik, így a belső nyomás-

Nagy üstdob			
Hang	oktávok optimális térfogat	kvintek optimális térfogat	01-es hang, nem hallható
E	» 85 – » 160 l	» 103 – » 150 l	. - .
A	» 88 – » 150 l	» 92 – » 160 l	. - .
c	» 93 – » 160 l	» 128 – » 150 l	<> 160 l
Kis üstdob			
Hang	oktávok optimális térfogat	kvintek optimális térfogat	01-es hang, nem hallható
d	43 – 53 l vagy » 100 l	50 – » 100 l	< » 100 l .
f	50 – 63 l vagy » 100 l	53 – » 100 l	< » 80 l
a	60 – 70 l vagy » 100 l	75 – » 100 l	< » 60 l

6. ábra

**Üstdobok térfogata, amelyknél az oktáv és kvint intervallumok közelítőleg az egzakt intervallumokkal esnek egybe, ill., amelyknél a 0-1-es hang nem esik megengedhetetlenül messze, a főhang frekvenciája alá. (Fleischer, 1992)**

ingadozások se jelentkeznek. Az első gyűrűs módusban tapasztalható nyomás-ingadozások gyorsasága miatt az úgynevezett hanglyuk – akár ne is legyen – semmiféle nyomáskiegyenlítést nem tud végezni, így a dobüstöt lezártnak tekinthetjük.

Az üstbe zárt levegő így a forgásszimmetrikus rezgéseknél, az első rezgési formában, rugóként hat, ami a bőr merevségét annál jobban növeli, minél kisebb ez a levegőmennyiség, ugyanakkor a zeneileg fontos felhangokat keltő egyéb radiális rezgések kialakulását nem befolyásolja. Ennek azért van nagy jelentősége, mert ezáltal az első gyűrűs módusokhoz tartozó spektrálhangok kiemelődnek úgy, hogy ezek – a legmagasabb hangokat kivéve – a főhang spektrálhangjánál magasabban helyezkednek el, így érzékelésük hallás útján nem lehetséges.

Már maga az üst léte is úgy hat, hogy az összetevő részfrekvenciák, amelyek üst nélkül meglehetősen harmóniatlanok lennének, és rendszerint szűkösön jelentkeznek, az üst és a bőr által megmozgatott levegőmennyiség folytán közelítőleg harmonikusá válnak. Ez pedig a hang tisztasága és a hangmagasság szempontjából döntő jelentőségű. Az üst ezen kívül a magasabb hangsugárzás csillapításával megőrizheti a lecsengési időket, pl. a főhangnál 50%-kal, az első módus a nemkívánatos felhangjainak lecsengését – amelyek egyébként három másodpercig is zenghetnek – oly rövid időre csökkentik, hogy ezek nem zavarják a szép hang felépülését.

A kutatási eredmények következménye, hogy a dobüst nagyságát úgy kell megválasztani, hogy egyrészt a zeneileg legfontosabb felhangok, főhang, kvint, oktáv,

duodecima (11-, 21-, 31- és 41-es módus) lehetőség szerint pontos intervallumokba essenek, úgy, hogy az első gyűrűs módus nemkívánatos hangösszetevői a fül számára elfedve maradjanak. Így a felhangok érzékelésének mértékadó pszichoakusztikai hatásai érvényesülhetnek. Ezek a szempontok – a bőrtátról függően – minél kisebb üsttérfogattal érhetőek el (v.ö. 6. ábra)

### Pszichoakusztikai szempontok

A már említett pszichoakusztikai szempontok figyelembe veszik, hogy mi nem úgy hallunk, mint ahogy a hangfrekvenciák és intervallumok magukat mérni hagyják. Egy részhang jelenléte még nem jelenti azt, hogy mi azt érzékeljük, és az hangérzetünkhöz hozzájárul.

Akusztikusok ismerik az eltakarási effektust, ami az ún. együttállási-küszöbvel függ össze. Már akkor is, ha egyéb hang nem hallatszik, hangokat a mi 20-20000 Hz-ig terjedő hallástartományunkban csak egy bizonyos hangerő-szint fölött vagyunk képesek érzékelni. Ez a határ a nyugalmi küszöb. Ha mármint egyéb hangok, csengések vagy zörejek is föllépnek, akkor ezek más hangokat bizonyos kereteken belül képesek eltakarni; e hangok frekvenciákkal ugyancsak együttállási hangerő-szinteket határoznak meg; mélyebb frekvenciák magasabb frekvenciákat jobban fednek el, mint az egyenlő távolságban elhelyezkedő és ugyanolyan hangerejű mélyebbeket; minél magasabb a szint, annál erősebb lesz az eltakarási effektus.

Ez az eltakarási hatás azonban egy hang részfrekvenciái között is felléphet. Egy A

hangmagasságú dobhang 7. ábrán bemutatott hangerő-frekvencia spektruma e hatást jól érzékelteti. Minden olyan spektrálösszetevő, amely a sraffozott tartományokon belül fekszik, el van takarva és nem hallható. Közvetlenül az ütés után először a hangmagasság érzékeléséhez leginkább szükséges hangösszetevők hallhatók, melyek az üstdobra nézve karakterisztikus formáns-tartományokhoz rendelhetők. A további időbeli lefolyás során az egyes rész-

hangok hangerőszintje lecsökken és ezáltal az együtthallási küszöb is. A kvint és az oktáv frekvenciái 420 Hz körül végig megmaradnak.

Figyelemre méltó, hogy a főhang szintje az első két másodperc után oly hamar lecsökken, hogy a főhang azután már többé nem hallható. Ugyanakkor a nyugalmi hallásküszöb úgy hat, hogy az egészen mély zavaró részfrekvenciák, amelyek részben már az infrahang (16 Hz alatt) tartományba esnek, egyáltalán nem lesznek hallhatók.

### A legnagyobb hangszer-hangerő

Végezetül néhány megjegyzés az üstdob hangjának terjedéséről. Mint már láttuk, az üstdob hangja majdnem kizárólag a bőr által sugárzódik ki. Ennek az a következménye, hogy a hangterjedés illeszkedik a bőr rezgésformáihoz. A bőr forgásszimmetrikus rezgése, ami az első gyűrűs módushoz tartozik, és amelynél a bőr, mint egész rezeg fel és le, egy olyan, közelítőleg irányítatlan gömbhullám-mezőt létesít, amelyben a hang minden irányban közel egyenlőképpen sugárzódik. A radiális rezgési formák (11-, 21-, 31- és 41-es módus) hangjainál, amelyek a hangmagasság érzetéhez leginkább szükséges összetevőket adják – az egyes rezgési formák csomóvonalainak megfelelően – 10-20 dB beszakításokat észlelhetünk, ami a hangnyomás egyharmadának-egy-tizedének felel meg. A rezgések kiemelkedéseinél szintmaximumok keletkeznek ellentétes előjellel – az egyidejűleg föl és lefelé mozgó bőrnek megfelelően.

Az üstdob-hang kisugárzásának iránya egyébként nem bír nagy jelentőség-

gel: a mély hangok terjedését akadályok alig befolyásolják. Hang, amelynek hullámhossza nagyobb, mint egy akadály mérete, az akadály által terjedésében szinte egyáltalán nem befolyásolható; az akadálnál azonban erősen elhajlik. Egy mély üstdobhang 74 Hz körül 4.7 m. hullámhosszal, kb. 5 méter széles és magas akadályt igényelne ahhoz, hogy terjedését egyáltalán befolyásolhassuk; és még a legmagasabb dobhangok 260 Hz körül is 1.3 m átmérőjű akadályt igényelnek ahhoz, hogy a terjedésben egyáltalán változás legyen észlelhető. Itt a falak reflexióját még egyáltalán nem is vettük figyelembe.

Az a jelenség, hogy az üstdob hangja akadályokkal alig csökkenthető, amellet, hogy a legnagyobb hangerejű a zenekari hangszerek között, azt is eredményezi, hogy az üstdob-ütést különösen jól érzékeljük. A hangelhajlás akusztikai tulajdonságából egyébként a HI-FI ipar is hasznot húz. Speciális basszus hangszórókat ugyanis akárhol szerelhetünk fel a teremben, hangjuk mindenütt hallható, irányuk pedig meghatározhatatlan lesz.

### Megjegyzések

<sup>1</sup> Azt a módot, ahogy valami, mint pl. egy membrán jelentő bőr rezeg, a fizikában módusnak is nevezik (lat. modus = valaminek a „hogyanja és mikéntje”). A dobbor egyes módusaihoz tartozó részhangok kísérletileg ugyan egyenként is gerjeszthetők, a gyakorlatban azonban a bőrre mért ütés után az összes hangösszetevő frekvenciái együttesen jelentkeznek.

<sup>2</sup> Berezgési folyamatnak külső erővel gerjesztett rezgések (pl. húr, levegőoszlop vagy membrán esetében) a gerjesztés kezdetétől az időben többé-kevésbé változatlan rezgésállapot kialakulásáig terjedő folyamat lejátszódását értjük. A berezgési folyamat időtartamát berezgési időnek nevezzük. Ebben a hangforrástól függően változó időtartamban a hangzás-spektrum lényegesen változik, és a hangforrást jellemzi.

<sup>3</sup> A reziduális hang is érzékelhető, ha az egyes részhangokat a két fülnek felosztva kínáljuk fel.

### Irodalom

Helmut Fleischer: Die Pauke. Mechanischer Schwinger und akustischer Strahler, Forschungsbericht 01/1988 aus dem Institut für Mechanik, Universität der Bundeswehr München

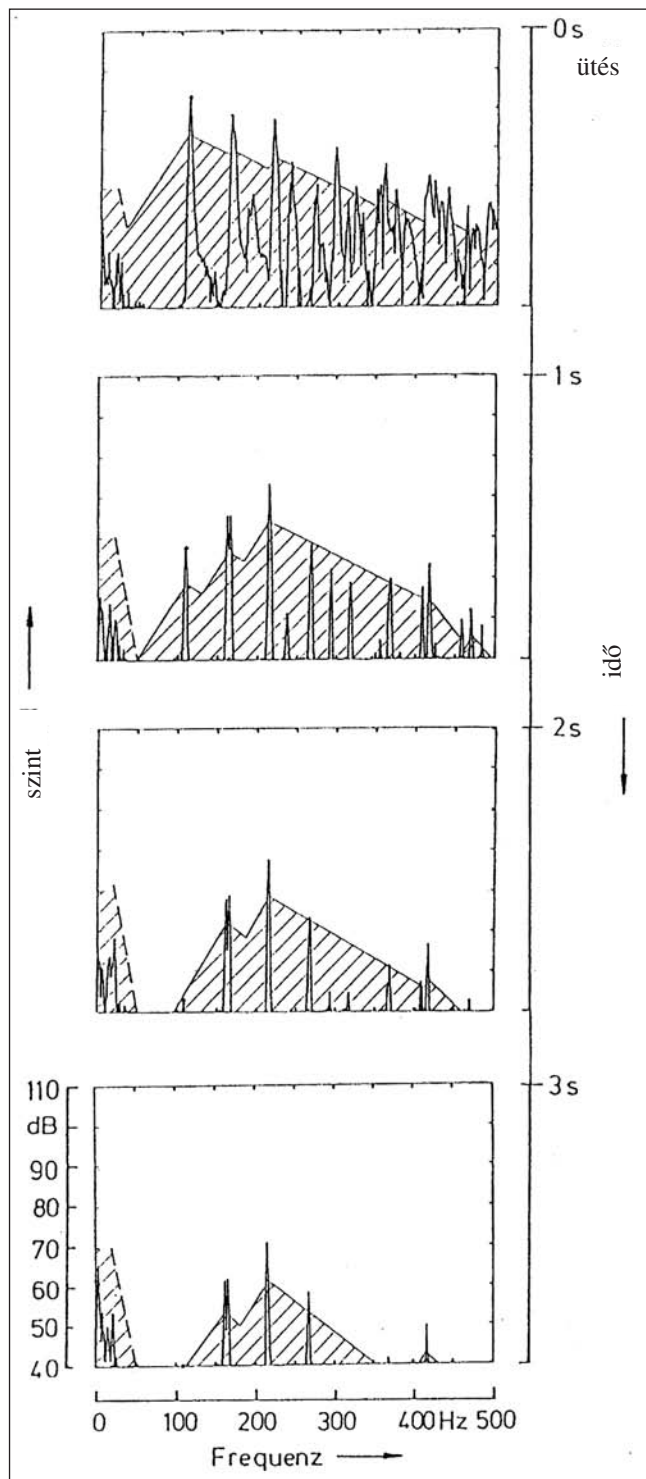
Helmut Fleischer: Akustische Untersuchungen an Orchesterpauken, Forschungsbericht 02/1991, a.a.O.

Helmut Fleischer: Zur Rolle des Kessels bei Pauken, Forschungsbericht 01/1992, a.a.O.

Helmut Fleischer: Zur Tonhöhe von Paukenklängen, Forschungsbericht 02/1994, a.a.O.

Jürgen Meyer: Akustik und musikalische Aufführungspraxis, Frankfurt/Main 1995

Juan G. Roederer: Physikalische und psychoakustische Grundlagen, Berlin 1977



7. ábra