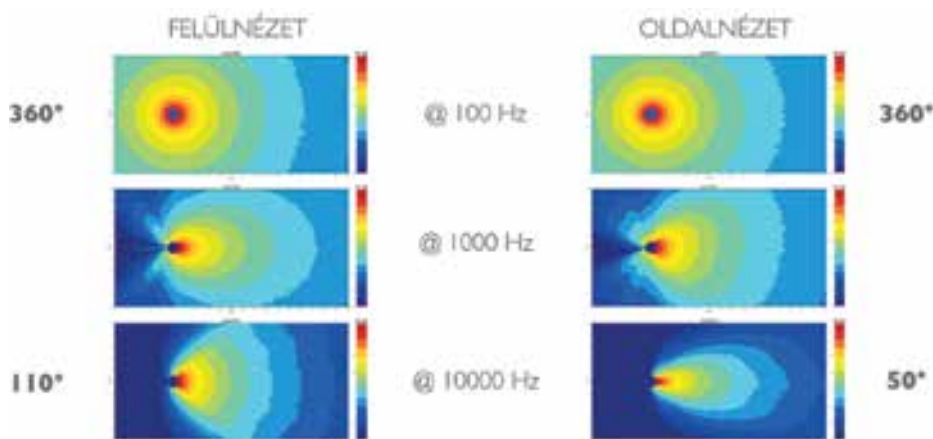


▶ 1. ábra. O = az ideális pontforrás



▶ 2. ábra. Outline GSR (Globe Source Radiator) 90 Hz–9 kHz átvitelrel és NTi Audio DS3 Dodecahedron 50 Hz–10 kHz átvitelrel



▶ 3. ábra. 1 darab Meyer Sound ULTRA-X40 pontforrás-hangsugárzó poláridiagramjai

SCENI-TECH 2019/HANGTECHNIKA

Mire nem jó a line array?¹

Egy miniatűr méretű hangszóró elvileg a teljes hallható frekvenciatartományt képes előállítani korlátlan hangnyomás-szinten. A gyakorlatban a hangszórók mérete nem miniatűr, ráadásul ezekből többet kell egy kabinetbe építenünk, hogy a frekvenciatartományt felosztva azok csak annak bizonyos részeit állítsák elő, amit tetéz, hogy napjaink hangerőigénye azt diktálja, ezekből a kabinetekből is többet építsünk egymás mellé. Vajon a vonalsugárzó csak 15 éve tartó úri hóbort, vagy mindenre alkalmas megoldás? Hogy tisztában legyünk azzal, mire alkalmas a vonalsugárzó, hol érdemes és hol nem érdemes alkalmazni, először is ismernünk kell a hullámfrontformálás alapjait, a rendszerek alkotóelemeit.

Pontforrás

A pontforrás (point source) egy olyan hangsugárzó típus, amelynél a működési frekvencia tartományában előállított hang gömb alakban terjed. Képzeljünk el a forrást úgy, mint egy nagyon kis kiterjedésű pontot egy gömb közepén, és ebből a pontból a gömb felülete felé terjed a hullámfront (1. ábra). Ha több pontot helyezünk egymáshoz közel, az azokhoz tartozó gömbök felülete metszeni fogja egymást (azaz a

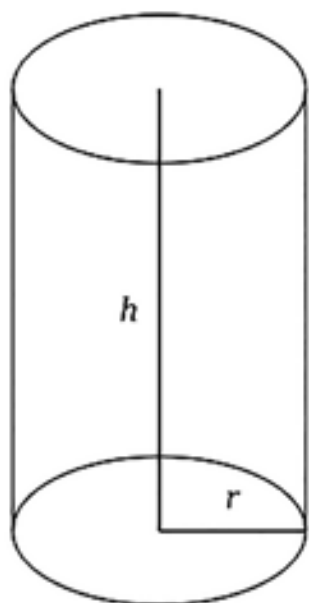
hullámfrontok összeérnek, és a találkozásuknál interferencia alakul ki).

Ezt a tézist közelítve lehet ilyen hangsugárzót gyártani, gyártanak is, elsősorban mérési célokra. Ezek azonban jellemzően egyutas, korlátozott sáv szélességű, „kis” hangerejű eszközök (2. ábra).

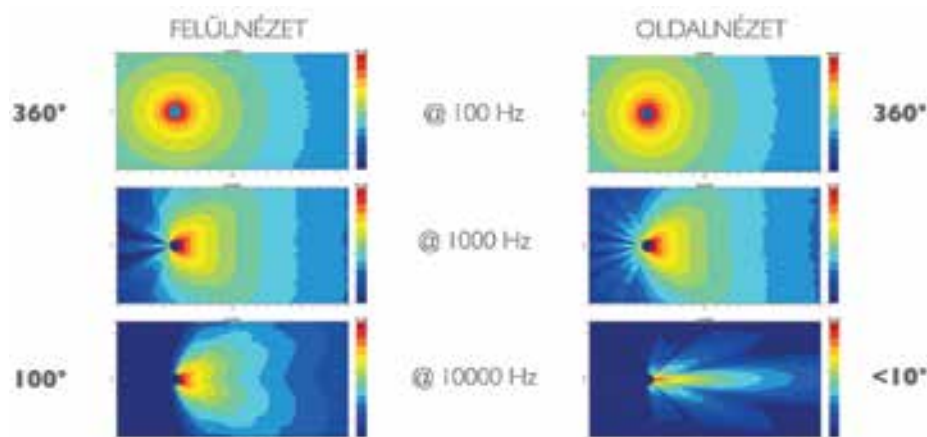
Hangosításkor általában nincs szükségünk minden irányra, lehetőleg egy kitértetett irányba, a nézőtérre szeretnénk sugározni. Viszont a minőség érdekében szélesebb frekvenciatartományra tartunk igényt, kis méret és tömeg

mellét, ezért praktikus a minimum kétutas kialakítás jellemző, csak néhány hangszóró alkalmazásával. Az így kialakított, többutas pontforrásból eredő mélyebb frekvenciákra (a kabinet alakjától függetlenül) a gömb alakú jelterjedés jellemző, azonban a magas frekvenciákra ez már nem igaz, azok terjedése gömbsüveg alakú. Ráadásul egy tölcser segítségével ezt a magas irányítottságot tovább szűkítjük igényeink szerint, egy számunkra kedves, jellemzően aszimmetrikus alakba (ami jobban passzol az adott feladathoz, a lesugározni kívánt terü-

¹ Az előadás a Sceni-Tech 2019. konferencián hangzott el.



► 4. ábra. h = az ideális vonalforrás



► 5. ábra. 1 darab Meyer Sound LINA line array hangszugárzó polárdiagramjai

A fázishelyzettel történő irányítás határai (frekvencia állandó):

Ha a hangszugárzó vonal hossza 1λ , az irányíthatósága 72° ($1\lambda = 3,43\text{ m @ } 100\text{ Hz}$).
 Ha a hangszugárzó vonal hossza 2λ , az irányíthatósága 36° ($2\lambda = 6,86\text{ m @ } 100\text{ Hz}$).
 Ha a hangszugárzó vonal hossza 4λ , az irányíthatósága 18° ($4\lambda = 13,72\text{ m @ } 100\text{ Hz}$).
 Ha a hangszugárzó vonal hossza 8λ , az irányíthatósága 9° ($8\lambda = 27,44\text{ m @ } 100\text{ Hz}$).

A fázishelyzettel történő irányítás határai (irányíthatóság állandó):

Ha a hangszugárzó vonal hossza $3,43\text{ m}$ (1λ), az irányított (72°) legalacsonyabb frekvencia 100 Hz .
 Ha a hangszugárzó vonal hossza $1,71\text{ m}$ (1λ), az irányított (72°) legalacsonyabb frekvencia 200 Hz .
 Ha a hangszugárzó vonal hossza $0,86\text{ m}$ (1λ), az irányított (72°) legalacsonyabb frekvencia 400 Hz .

► 6. ábra. Fázishelyzettel történő irányítás határai

let dimenzióhoz), így a magas hang már csak valamilyen térszögben terjed (lásd 3. ábra). A jól tervezett tölcser (azaz amplitúdóirányító) konstans irányíthatósággal rendelkezik, vagyis a működési tartományába (pl. $700\text{--}20\,000\text{ Hz}$) eső összes frekvenciát azonos térszögben sugározza le.

A mindennapokban használt pontforrás kifejezés a gyakorlatban tehát az előbb tárgyalt kialakítást jelenti, ahol a magas és a mély hangok is alapvetően pontforrásból indulnak ki, de az előbbi alakját igényünk szerint formáltuk.

Vonalforrás

A vonalforrás (line source) elméletben egy olyan hangszugárzó típus, amelynél a működési frekvencia tartományában előállított hang csak hengerpalást alakban terjed. Képzeljük el a forrást úgy, mint egy nagyon kis kiterjedésű vonalat egy henger közepén, és ebből a vonalból a henger felülete felé terjed a hullámfront (4. ábra). Észrevehetjük, hogy ebből a vonalból bármennyit egymás fölé helyezhetünk, az azokhoz tartozó hengerek felülete sosem fogja metszeni egymást (azaz a hullámfrontok nem érnek össze, és ezáltal nem alakul ki interferencia).

A magas hangok ilyen alakú irányítása is megoldható, a hullámfront könnyen beteretelhető hengerpalástcikk alakba, ráadásul a magas hangok nagyobb távolságra juttathatók el, mert

egyre kisebb térrészbe sugárunk azonos hangenergiát. Azonban a mély hangokra (a kabinet alakjától függetlenül) továbbra is a gömb alakú jelterjedés lesz jellemző (lásd 5. ábra). Nekünk viszont, ha nem is egy hengerpalástcikk vagy hengerpalást, de minimum gömböves alakúra formált mély hullámfront lenne az ideális, amire – a mély hangok nagy hullámhossza miatt – hatalmas, hordozhatatlan méretű tölcserre lenne szükség – ez járhatatlan út.

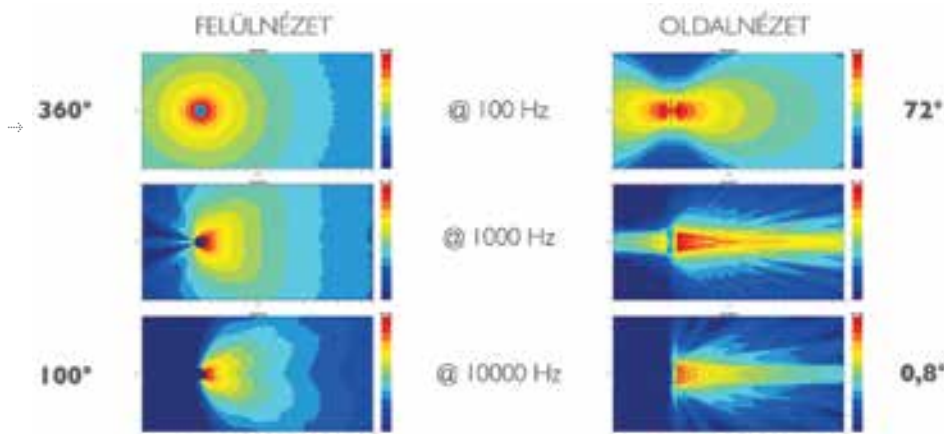
A mindennapokban használt vonalforrás kifejezés a gyakorlatban tehát az imént bemutatott kialakítást takarja, ahol a magas hangok alapvetően vonalforrásból, a mély hangok alapvetően pontforrásból indulnak ki.

Vonalsugárzó

A vonalsugárzó (line array) a hangnyomásszint növelése, a lesugárzott terület alakjának lekövetése és a minden frekvencián irányított lesugárzás érdekében több darab vonalforrásból vagy pontforrásból összeépített rendszer. Ugyanis nem csak vonalforrásokat, hanem pontforrásokat is össze lehet építeni rendszerré, ha a létrejövő interferenciát előnyünkre használjuk fel, azaz úgy tervezzük meg a rendszert, hogy az interferencia erősítő (konstruktív) hatása a számunkra fontos területekre essen, míg a gyengítő (destruktív) hatása számunkra érdektelen területeken éreztesse a hatását. Ezt

a jelenséget hívjuk fázisirányításnak. A fázisirányítás proporcionális (a frekvenciával arányos) irányíthatósággal rendelkezik, azaz a működési tartományába (akár $20\text{--}20\,000\text{ Hz}$) eső összes frekvenciát folyamatosan változó térszögben sugározza le. És hogy mi a működési tartománya? Az a vonal hosszától függ (lásd a 6. ábra táblázatát). Vonalsugárzó irányíthatósága tetszőleges lehet: vertikális, horizontális vagy a kettő között bármilyen szög.

Ha az előbbi példában megismert vonalforrásból 16 darabot összeépítünk egy vertikális orientációjú vonalsugárzóvá, azt tapasztaljuk, hogy az 1 darab vonalforráshoz képest már a közép- és mély frekvenciákat is sikerült irányítanunk (lásd 7. ábra, vedd össze az 5. ábrával), frekvenciától függően különböző mértékben. 16 darab Meyer Sound LINA hossza $3,57\text{ méter}$, ami majdnem egyezik a 100 Hz -es frekvencia hullámhosszával (annak pontosan $1,04$ -szerege), így adódik a közel 72 fokos irányíthatóság 100 Hz -en. Alatta kevésbé irányított, felette fokozottan irányított. Ez a 72 fokos irányíthatóság könnyen elképzelhető a térben: a vonalsugárzó polárdiagramja ilyenkor amerikai fánk alakú, tehát elértük közel azt a lesugárzási alakot, amit szerettünk volna. Miért szeretjük a kontrollált lesugárzást? Mert így egyre mélyebb frekvenciákon tudjuk csökkenteni a színpadra visszajutó hangerejét (aminek eredménye a könnyebb



► 7. ábra. 16 darab Meyer Sound LINA line array hangsugárzó polárdiagramjai

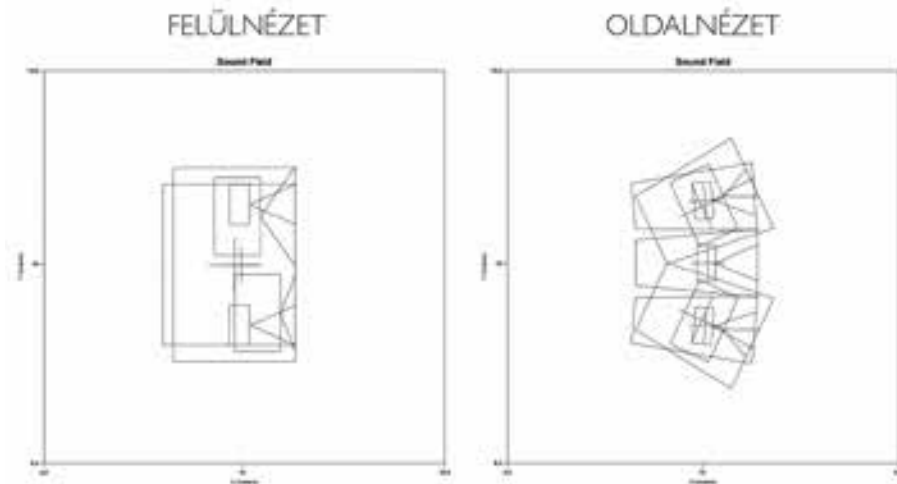
mikroportkezelés, szabadabb monitormix-összeállítás), csökkenteni tudjuk a hangrendszerünk környezetre mért hatását (szabadtéren a környék zavarásának elkerülése), valamint a környezet lesugárzásra mért hatását (belsőben az épületakusztikai jelenségek csökkentése).

Látjuk tehát, hogy a vonalsugárzó hossza kritikus fontosságú a legmélyebb irányítható frekvencia szempontjából: egyre rövidebb vonal egyre magasabb frekvenciától felfelé eredményez csak vonalsugárzást, alatta egyre inkább pontsugárzó tulajdonságú, az átmenet a két jelleg között fokozatmentes. Vonalsugárzó kialakítása során tehát nem a nagy hangerősség miatt van szükség nagy mennyiségű vonalforrásra, hanem a megfelelő jelterjedési alak előállítása okán.

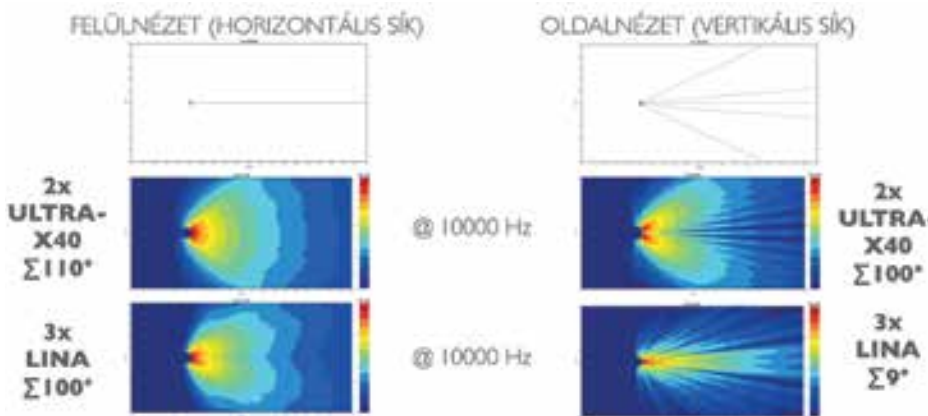
Pontsugárzás vs. vonalsugárzás

A következőben bemutatott példa jól szemlélteti a sugárzási elvek közti átmenetet, ezt a méretet tekinthetjük vízválasztónak is. Kis hangrendszer méretig kvázi mindegy, hogy pont- vagy vonalforrás-alapú hangsugárzókból építkezünk: középfrekvenciáig mindkét rendszer pontsugárzóként fog viselkedni, csak fölötté lesz eltérés a magas hullámformálók eltérő tulajdonságai miatt. A „kis” jelző ez esetben nem az előállított hangnyomásszintre utal, hanem a rendszer fizikai kiterjedésére (méretére).

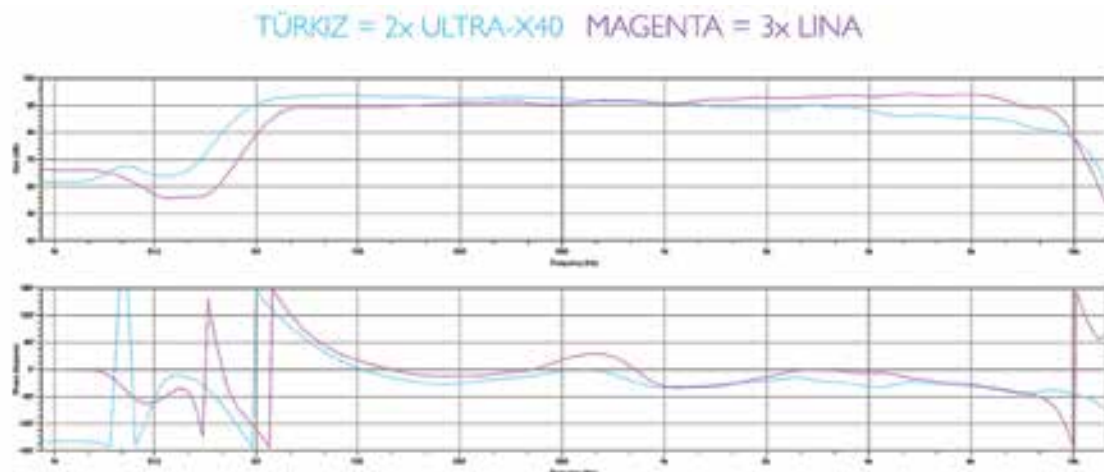
A 8. ábrán egymáson ábrázoltunk egy-egy azonos méretű pontforrás- és vonalforrásrendszert. Az ULTRA-X40 pontforrás ilyen orientációjában is $110^\circ \times 50^\circ$ -os (forgatható tölcserét elforgattuk), ebből két darab látható gyári szereléssel egymás alá rögzítve, a középtengelytől $\pm 25^\circ$ -kal kiforgatva, amely így összesen $110^\circ \times 100^\circ$ nyitásúnak tekinthető. A vonalforrásrendszer esetében három darab $100^\circ \times 10^\circ$ tölcserrel rendelkező LINA látható egymás alá szerelve, a gyári szerelék által maximálisan engedett $\pm 11^\circ$ helyett az egységesebb hullámfront érdekében a közép-



► 8. ábra. Meyer Sound pont- és vonalforrás-hangsugárzókból összeállított, azonos frontfelületű kis rendszerek



► 9. ábra. Meyer Sound pont- és vonalforrásból összeállított kis rendszerek polárdiagramjai



► 10. ábra. Meyer Sound pont- és vonalforrásból összeállított kis rendszer frekvencia- és fázismentes 15 méteren, on axis, processzálás nélkül

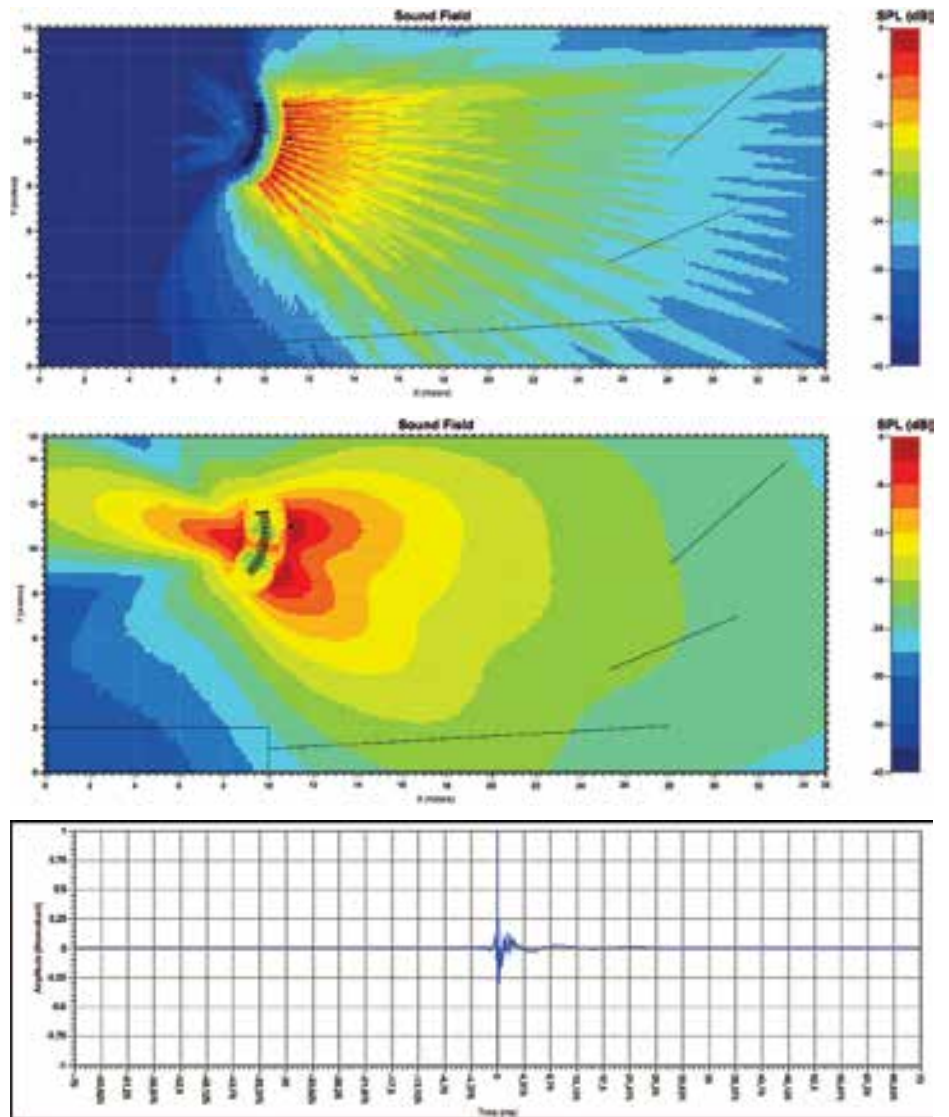


► 11. ábra. Meyer Sound JM-1P sorolható pontforrásból összeállított vonalsugárzó horizontális és vertikális orientációban

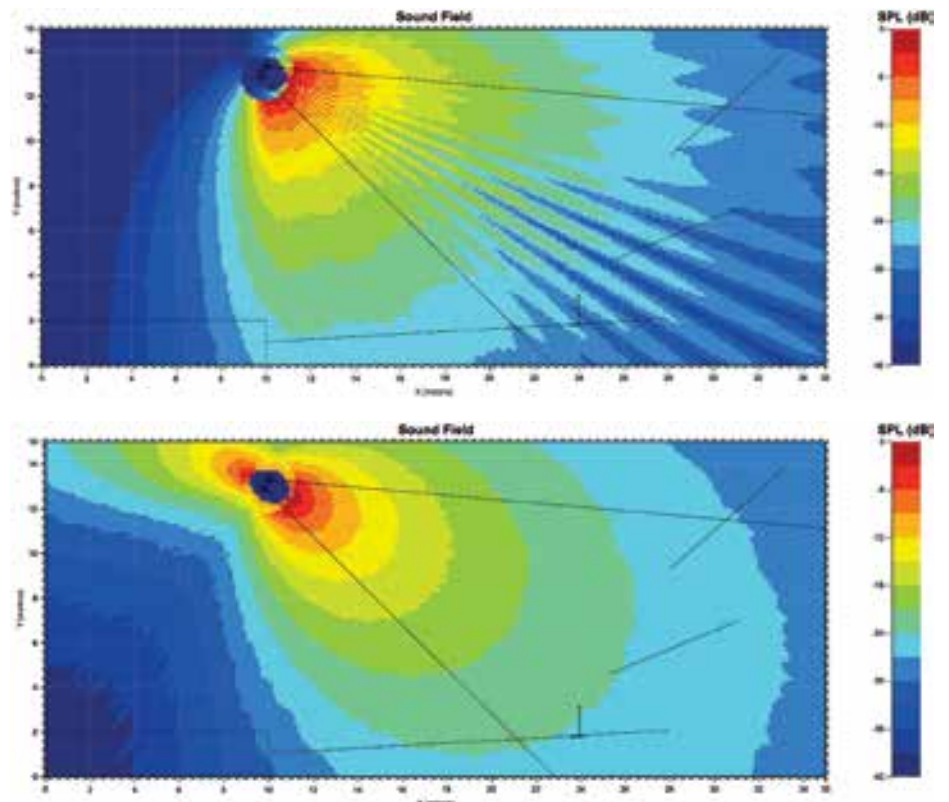
tengelytől csak $\pm 4,5^\circ$ -kal kiforgatva, amely így összesen $100^\circ \times 9^\circ$ nyitásúnak tekinthető.

Horizontálisan tehát identikusan azonos a két rendszer nyitási szöge és jelterjedése minden frekvencián. Vertikálisan a pontforrásrendszer nyitási szöge magas frekvencián jóval nagyobb, mint a vonalforrásé, mivel utóbbi esetén 3 modul nem elegendő mennyiség ahhoz, hogy nagy vertikális nyitást tudjunk előállítani (9. ábra). Jól látható, hogy az eltérő működési módú források összeépítése során máshol jelentkeznek a magas frekvenciák fáziskülönbségéből eredő jelenségek. Pontforrásokból összeállított rendszer esetén a lesugárzott terület szélein megfelelő lesz a jelterjedés, és számunkra előnytelenül a két sugárzó által közösen lefedett, középső területen alakul ki fésűszűrő hatás, míg a vonalsugárzókból összeállított rendszer esetén a lesugárzott terület szélén kívül alakulnak ki fázisproblémák, és számunkra előnyösen a három sugárzó által közösen lefedett területen, közepén alakul ki megfelelő jelterjedés.

Az így összeépített rendszerek ideálisan azonos méretű hangszórófelülettel ($2 \times \text{ULTRA-X40} = 4 \times 8'' + 2 \times 3''$ vs. $3 \times \text{LINA} = 6 \times 6,5'' + 3 \times 3''$) és kabinetméretekkel rendelkeznek, és sem frekvencia-, sem fázismenetben, sem hangnyomásszintben nem jobb vagy rosszabb egyik rendszer a másikinál, amennyiben pontosan a középtengelyben figyeljük meg azokat, vagy



► 12. ábra. Vonalsugárzó rendszer polárdiagramjai 10 kHz-en és 200 Hz-en (Meyer Sound Low Mid Beam Control technológiával), valamint az impulzusválasz a földszinti nézőtér hátsó sorában



► 13. ábra. Pontsugárzó rendszer polárdiagramjai 10 kHz-en és 315 Hz-en

→ olyan pontban, ahol minden frekvencián konstruktív jelösszegzés adódik (10. ábra).

Ha a modellünket gondolatban továbbvizsgáljuk, akkor rájövünk, hogy a pontforrásrendszer minden egyes bővítésével minden két sugárzó által közösen lefedett területen újra és újra előállítjuk a fázishibákat, míg egy vonalforrásrendszert nagyjából tetszőleges új modulál bővíthetünk anélkül, hogy a számunkra fontos területen problémák adódnának.

Itt kell megjegyezni, hogy a piacon elérhető pár „kakukktójás” eszköz, amelyek a fenti vízváltató határán töltik be az űrt. Ilyen a Meyer Sound JM-1P is: ez az alapján véve pontforrás egyik irányában annyira szűk magaslesugárzással rendelkezik, hogy ezáltal több darab is alkalmazható egymás mellett, kevés kompromisszummal építhető belőle egy rövid vonalsugárzó. A JM-1P tehát egy sorolható pontforrás (kicsit több, mint egy pontforrás, kicsit kevesebb, mint egy vonalforrás), ami hangerő és lefedettség tekintetében jó skálázhatóságot biz-

tosít, ráadásul az elhelyezése sem problémás, mivel az így még nem túl hosszú vonalsugárzó vertikális és horizontális elrendezésben is alkalmazható (11. ábra).

A valós életben azonban nem a frontfelület mérete szokott adottság lenni, hanem a lesugárzandó terület alakja. Egy tipikus, nem túl bonyolult nézőteret 90×60 fokos magas irányítottsággal le lehet sugározni. Ezt 1 darab pontforrás vagy több vonalforrásból álló vonalsugárzó képes teljesíteni. Az eredmény ugyanaz magas hangok terén: 90×60 fok. Hol jelentkezik a különbség? Az irányítottságban! Egy ilyen hosszú vonal egészen alacsony frekvenciáktól felfelé irányított, míg egy pontsugárzó legjobb esetben is csak 700 Hz körüli értéktől (ahonnan az amplitúdóirányító, azaz a tölcser elkezd működni – 12. ábra). A hangnyomásszintben! Mind a mély, mind a magas hangszórók számát megsokszoroztuk úgy, hogy az immár vonalsugárzónk továbbra is egy (nagy) hangsugárzóként viselkedik (továbbra is egy irányból érkezik fe-

lénk a hang, egy impulzusválaszunk lesz). Rendszerben, akkor növeljük a pontsugárzóink számát az azonos hangnyomásszint elérése érdekében! Ha egy csoportba rendezzük azokat, akkor a mély hangok irányítottak lesznek, de – ahogy az imént láttuk – magas frekvencián destruktív interferencia alakul ki a nézőterén (13. ábra). Ha eltávolítjuk őket egymástól, akkor a magaslesugárzásunk megfelelő lesz, viszont a mélylesugárzásunk fog destruktív interferenciától szenvedni, továbbá elveszítjük a mélyirányítottságot, és az egy impulzusválasz igényünknek is adunk egy pofont. Ebben az esetben ugyanis már több pontból érkezik felénk a hang, eltérő megérkezési időkkel, így elkenődik a hangkép, romlik az információtartalom (14. ábra).

Mire alkalmas tehát praktikusan a line array?

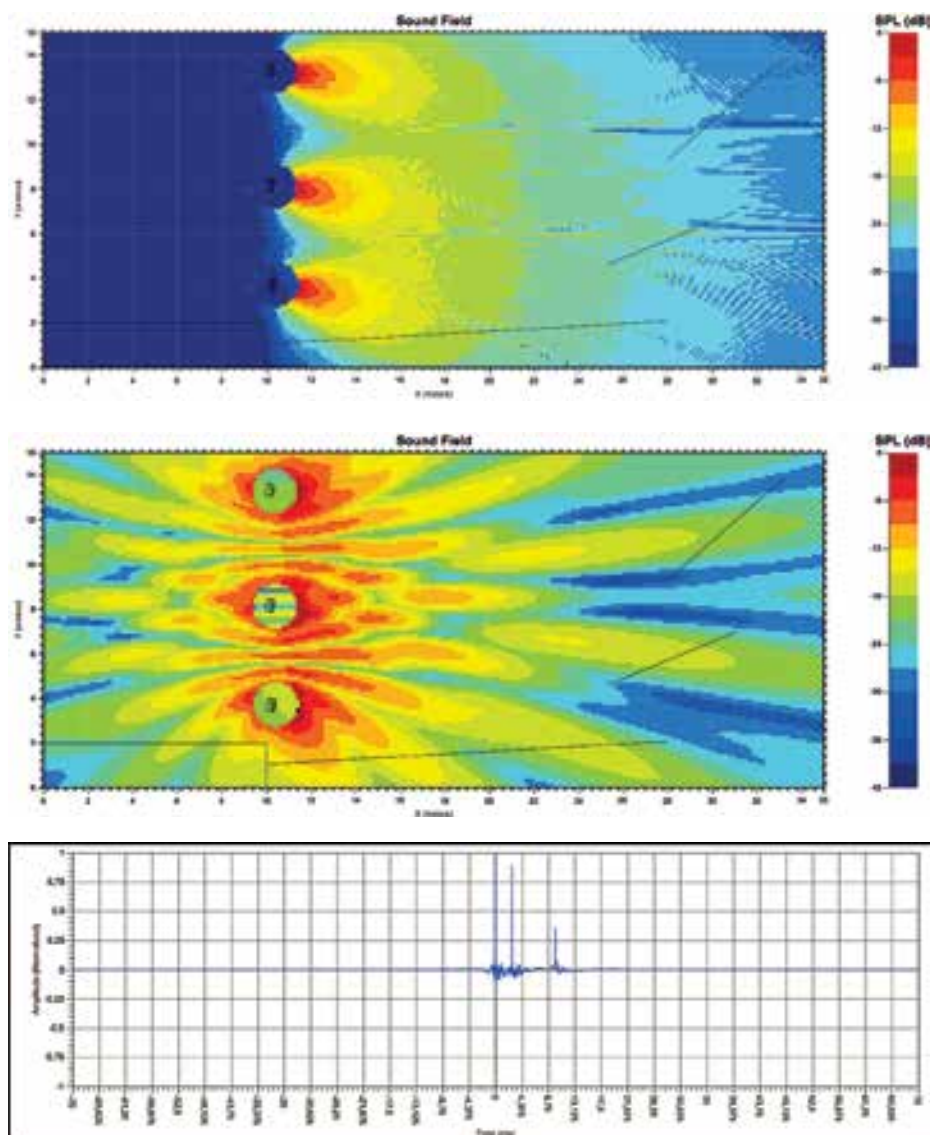
- Magas hangnyomásszintet igénylő alkalmazáshoz (fő hangrendszer ismérve)
- Kis mennyiségű, de nagyméretű hangforrást igénylő alkalmazáshoz (fő hangrendszer ismérve, egy irányból érkező, jó tranziens átvitel)
- Kontrollált teljes frekvenciatartományt igénylő alkalmazáshoz (a kontroll bármikor jól jön)
- Nagy távolságra (>15 m) történő jeltovábbításhoz (nagy mennyiségű, kis térszögbe irányított magas driver immár fókuszált mély és középtartománnyal)
- Sok pénz elköltésére (valamit valamiért...)

És mire alkalmatlan?

- Alapjából az előzőek ellentettjére, pár kivétellel...
- Alacsony hangnyomásszintet igénylő alkalmazásra (a hangosat bármikor lehet halkítani, de a halkat nem lehet hangosítani)
- Nagy mennyiségű, de kisméretű hangforrást igénylő alkalmazásra (effekt hangrendszer, monitor hangrendszer ismérve, amilyen felhasználásban a hangsugárzóként eltérő tartalom miatt nem értelmezhető az egyidejű impulzusválasz igénye, így erre tökéletesen alkalmas a pontforrás)
- Nem kontrollált teljes frekvenciatartományt igénylő alkalmazásra (ritka igény, de mivel vonalsugárzónál mindenképpen létrejön a kontroll, ezért ha erre valóban szükség van, csak a pontforrás felel meg)
- Kis távolságra (<15 m) történő jeltovábbításra (kis mennyiségű, nagy térszögbe irányított magas driver nem fókuszált mély és középtartománnyal)
- Kevés pénz elköltésére

Melyiket használjuk?

Bármelyiket, ha az adott feladatra az a megfelelő megoldás...



► 14. ábra. Vonalsugárzó rendszer polárdiagramjai 10 kHz-en és 315 Hz-en, valamint az impulzusválaszok a földszinti nézőtér hátsó sorában

RÉDEI BÁLINT
Chromasound

KÜLFÖLDI HÍREK

Előadás közben leszakadt a mennyezet

a londoni Picadelly Theatre-ben – többen megsérültek

A színház telve volt, amikor november 6-án a londoni Picadelly színházban Arthur Miller *Az ügynök halála* című darabjának előadása ment. A nézők előbb gyenge vízcsöpögés hangját hallották, amely egyre erősödött, holott Londonban aznap éppen nem esett az eső. Majd nagy robajjal az előadás közben az erkélyen

ülő nézők felett leszakadt a színház mennyezetének egy darabja. Több mint 1000 embert evakuáltak, négy embert kórházba szállítottak, öt főt a helyszínen láttak el könnyebb sérülésekkel. Egyesek megjegyezték, hogy az épület egy része kívülről fel volt állványozva.

„Vizsgáljuk a helyzetet és a kár mértékét, és amint lehetséges, tájékoztatni fogjuk a közönséget a jövőbeli előadásokról,” mondta az Ambassador Theatre Group képviselője. A másnapi előadásokat mindenesetre még akkor este lemondták.

WWW.DAILYMAIL.CO/NEWS/



Speciális
technológiai
képzések.



chromacampus.hu

