

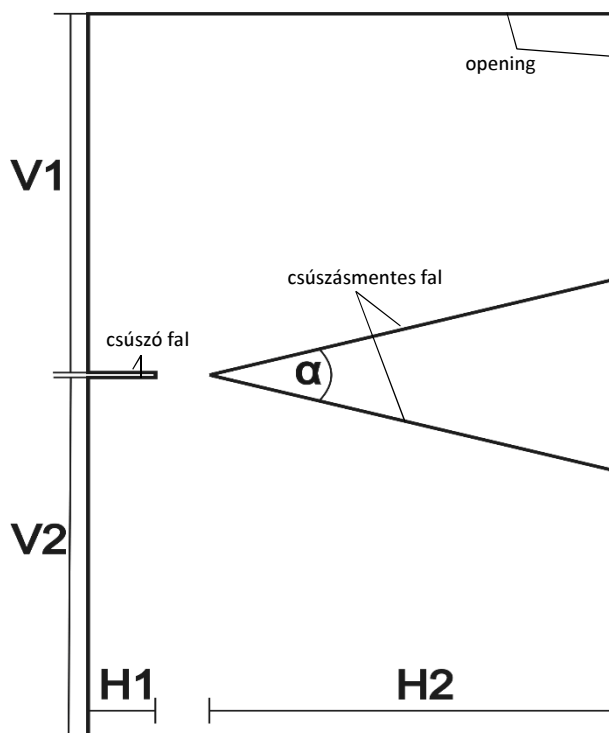
Válasz Házi Gábor bírálatára

Köszönöm bírálónak a dolgozat gondos áttanulmányozását, a dicsérő megjegyzéseket és az építő kritikát.

Ami a nyelvezetet illeti, igyekeztem tőlem telhetően jól fogalmazni; nyilván egy ilyen terjedelmű műbe becsúsznak hibák és pontatlan megfogalmazások. Ezeket természetesen sajnálom.

A továbbiakban a konkrét észrevételekre reagálok.

1. A kísérletekben volt egy-egy plexi fal az ék két oldalán, de olyan távolságban az áramlástól, hogy azt nem befolyásolhatta. Célja az volt, hogy a laborban előforduló véletlen fuvalatokat kivédje. Így a kísérletek tartományát nyugodtan tekinthetjük nyitottnak. A számítások véges tartományban készültek és peremfeltételeik a következők voltak: a szilárd falakon csúszásmentes („no slip”) fal, kivéve a fúvóka oldalfalait, ahol csúszó („free slip”) fal, a tartomány felső, alsó és hátsó határán



1. ábra. Peremfeltételek és a számítási tartomány méretei. Számértékeket a szövegben közlök.

„opening” peremfeltétel. Ez utóbbi azt jelenti, hogy állandó nyomás van előírva, és a tartomány határán a sebesség mindkét irányú lehet; ki- és beáramlás is lehetséges. A tartomány elülső határán (V1 és V2) alacsony sebességű, a határra merőleges bemenő sebesség-peremfeltételt írtunk elő. A sebesség nagysága a fúvókából kiáramló közeg átlagsebességének 1%-a. Erre azért volt szükség, mert amikor ott is „openinget” írtunk elő, megtörtént, hogy nagyméretű örvények „megrekedtek” a sarkokban. Ez a nagyon kis sebesség elegendő volt ahhoz, hogy az örvényeket „kifújja” a tartományból, ugyanakkor fizikailag reálisan rekonstruálja a szabadsugár által generált „magával ragadó” (=entrainment) mozgást. A kis sebesség nem befolyásolja az élhang egyéb viselkedését, frekvenciatulajdonságait, módushatárokat. A fúvókából parabolikus vagy egyenletes eloszlással sebesség peremfeltételt írtunk elő. Végül a papír síkjával párhuzamosan alul

és felül szimmetria peremfeltétel határolja a kétdimenziós tartományt.

Megjegyzem még, hogy az irodalomban sokszor előfordulnak vízzel végzett kísérletek, amik értelemszerűen zárt tartományt jelentenek. A tapasztalat azt mutatja, hogy ennek sincs befolyása az élhang viselkedésére a nyitott tartományhoz képest, ha a fal kellően távol van. Ez azt is mutatja, amire a disszertációban is utaltam, hogy a visszacsatolás az éktől a szabadsugár kezdetéhez nagy valószínűséggel nem akusztikai jellegű.

A tartomány optimális nagyságának és a háló optimális méretének meghatározására történtek vizsgálatok és a disszertáció szimulációit mind ezzel a tartománnyal és hálómérettel futtattuk. Az 1. ábra jelöléseit használva: $V1 = V2 = H2 = 75 \text{ mm}$, $\alpha = 30^\circ$, $H1 = 12,5 \text{ mm}$. A háló 36300 elemből állt.

2. Az aszimmetriát többféleképpen létre lehet hozni. A két legkézenfekvőbb megoldás az ék párhuzamos eltolása úgy, hogy az ék és a szabadsugár szimmetriatengelye ne essen egybe, valamint az ék elforgatása úgy, hogy az ék és a szabadsugár szimmetriatengelye szöget zárjon be egymással. Mindkét technika ismert az orgonaépítők előtt, és mindkét technikának ugyanaz a hatása: a szabadsugár lengése aszimmetrikussá válik, több időt tölt az egyik oldalon, mint a másikon. Tettünk erre vonatkozó numerikus kísérleteket, de kizárólag az áramlástan oldalról és az eredményeket nem publikáltuk. Az eredmény a várakozással összhangban az, hogy az ék helyzetével a felharmonikusok arányát lehet változtatni. Az orgonasípok esetében ez a kezdeti tranziens harmonikus összetételét befolyásolja. A tapasztalat a többi szimulációban ugyanis az volt, hogy az akusztikai nyomásjel harmonikus összetétele megegyezett az áramlástan szimulációból kapott jel harmonikus összetételével.

Az aszimmetriának a dipólus hangforrás helyére gyakorolt hatását nem vizsgáltam. A hangforrás helyének meghatározása az alapesetben is közelítéseken és feltételezéseken alapul (a hangforrás nem is tökéletes dipólus, csak közelítőleg – lásd Vaik et al.: Aeroacoustics of the Edge Tone: 2D-3D Coupling Between CFD and CAA, ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA (ISSN: 1610-1928) 99: pp. 245-259. (2013)). Ha a disszertációban közölt I.2.19. egyenlettel számolok, igazán csak az erő támadáspontjáról fogalmazhatok meg állítást. A bíráló kérdésének megfelelően három szimulációt készítettem $Re = 350$ és egyenletes sebességprofil esetére, szimmetrikus elrendezésre, valamint 0,25 és 0,4 mm párhuzamos ékeltolás konfigurációjára. (A fúvóka szélessége 1 mm.) Az eredmény az, hogy az erő támadáspontja gyakorlatilag változatlan maradt.

3. A bíráló által javasolt ábra valóban érdekes, de más kérdésre ad választ, mint a disszertációban szereplő I.3.13 ábra. A disszertáció ábrájából le lehet vezetni a fázissebességet, míg a kereszt-teljesítménysűrűség spektrumból és a koherenciából nem. Ugyanakkor a disszertáció feltételezi, hogy az üreg kezdetén domináns frekvencia az üreg végére is az marad. Ezt a feltételezést ellenőrzöm a bíráló által javasolt mennyiségekkel.

Az ellenőrzést két sebességre végzem el. Az egyik sebesség ($M = 0,08$, M a Mach szám) megfelel a disszertáció ábrájának. Ez a sebesség a szabályos tartományban van, ahol a Rossiter frekvencia a domináns. A másik sebesség ($M = 0,11$) nagyobb és az elnyomott tartományban van. Mindkét esetben három ábrát készítettem. A keresztirányú sebesség amplitúdóspektrumát az üreg elején és végén, és a két helyre vett kereszt-spektrumot lineáris és logaritmikus skálán. A koherenciát nem közlöm, mert az mindkét esetben a frekvenciától függetlenül 1 volt.

A teljeség kedvéért álljanak itt a képletek:

Kereszt-teljesítménysűrűség spektrum (Cross Power Spectral Density):

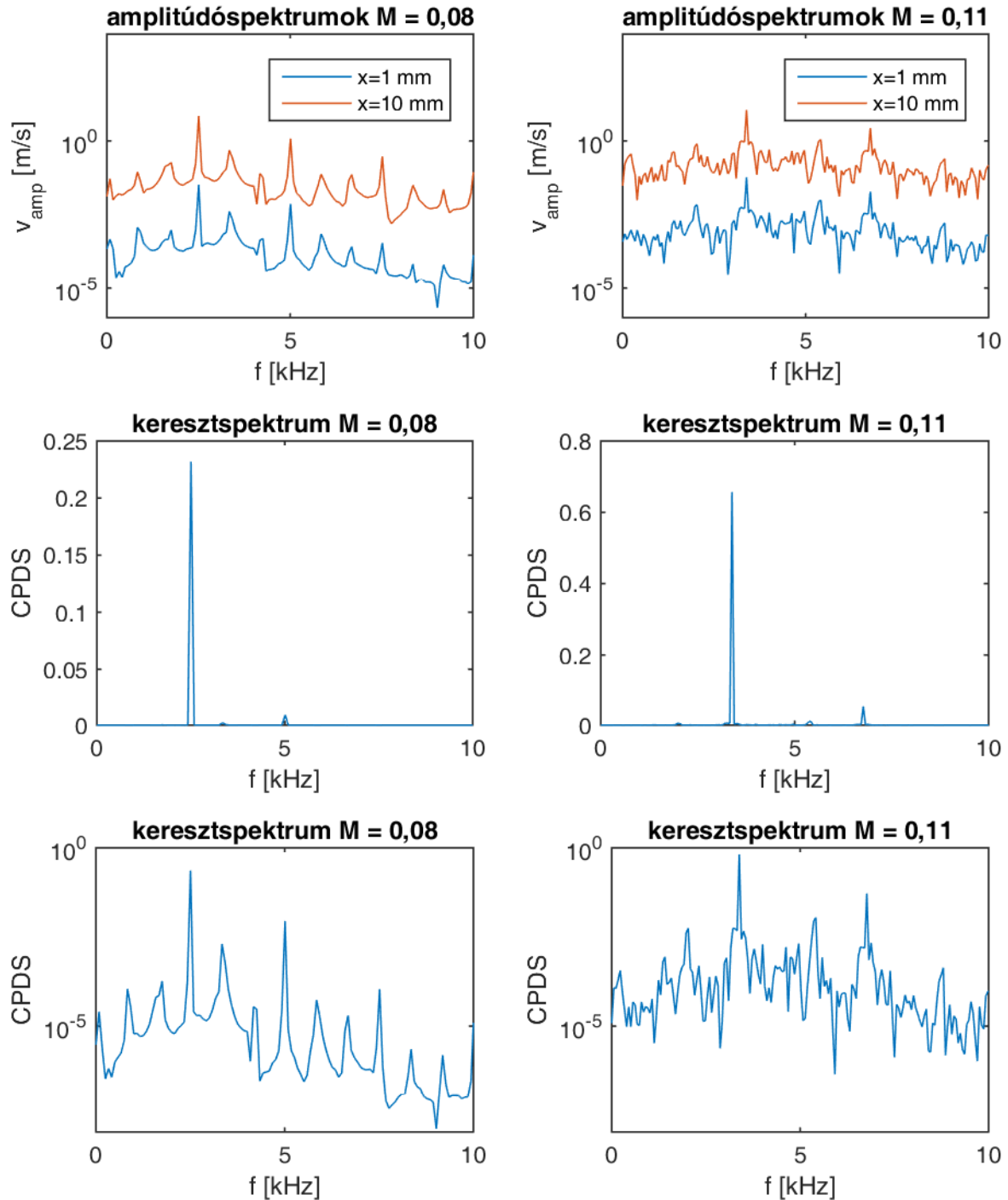
$$CPSD_{xy}(\omega) = X(\omega)\bar{Y}(\omega)$$

Ahol $X(\omega)$, $Y(\omega)$ a két jel Fourier transzformáltja, $\bar{Y}(\omega)$ pedig az $Y(\omega)$ spektrum komplex konjugáltja.

Koherencia:

$$K(\omega) = \frac{|CPSD_{xy}(\omega)|^2}{CPSD_{xx}(\omega) CPSD_{yy}(\omega)}$$

ahol $CPSD_{xx}$ és $CPSD_{yy}$ az egyes jelek teljesítményspektrumai. (A „C” betű csak a jelölés konzisztenciája miatt maradt ott, egyébként nincs jelentősége.)



2. ábra. Amplitúdóspektrumok és keresztspektrumok az üreg elején és végén mért keresztirányú sebességekből számítva. A második és a harmadik sorban ugyanazok az ábrák szerepelnek lineáris illetve féllogaritmikus skálán

Már az amplitúdóspektrumokból is a jel frekvenciatartalmának nagyfokú hasonlóságát lehet megállapítani. Az alacsonyabb sebességnél csak a Rossiter frekvencia és annak felharmonikusai vannak jelen, a magasabb sebességnél más frekvenciák is. Az üreg elején és végén az amplitúdókban nagyon nagy különbség van. A kereszt-teljesítménysűrűség spektrumok lineáris ábrázolásban gyakorlatilag csak a két legmagasabb csúcsot jelenítik meg, míg logaritmikus ábrázolásban nagyszámú

releváns csúcsot. Összefoglalásként azt lehet mondani, hogy a jel frekvenciataralma nem változik az üreg fölött való elhaladással, de az amplitúdó minden frekvencián jelentősen nő.

4. A bírálónak teljesen igaza van. Az újonnan kifejlesztett örvénydetektálási kritériumunknak kerestünk olyan alkalmazást, amelyen előnyeit demonstrálni tudjuk, és erre találtuk meg az abban az időben amúgy is intenzíven vizsgált üreghangot, sőt részben az üreghang kapcsán felmerült áramlástanai problémák motiválták az új kritérium kifejlesztését. Könnyen lehet, hogy ez az esettanulmány nem volt a legalkalmasabb az új módszer előnyeinek kidomborítására és köszönöm a tippet a homogén lecsengő turbulenciával kapcsolatban.

Az aneurizmakutatással kapcsolatos pozitív és bátorító megjegyzéseket köszönöm.

Budapest, 2016. április 14.

Dr. Paál György