

Koaxiális propfan szélessávú zajforrásainak vizsgálata nyalábformálási módszerekkel, változó frekvenciasávok alkalmazásával

Investigation of counter-rotating open rotor broadband noise using phased array beamforming technology and variable frequency bandwidths

OLGYAY Ábel¹, BSc hallgató, HORVÁTH Csaba², egyetemi adjunktus

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Áramlástan Tanszék,
1111 Budapest Műegyetem rkp. 3, ¹abel.olgyay@gmail.com, ²horvath@ara.bme.hu

Összefoglaló

Egy koaxiális propfan hajtóműmodelljének zajai különböző módon csoportosíthatók. Két főcsoportba sorolhatók a zajforrások az alapján, hogy azok koherensek, vagy inkoherensek. Az inkoherens zajforrások lehetnek mind keskeny- és szélessávú zajok. A jelenlegi cikk a szélessávú inkoherens zajforrásokkal foglalkozik, amelyek tovább kategorizálhatók, de általánosságban elmondható róluk, hogy hatásuk a frekvenciatartományban egy szélesebb sávban érzékelhető, azonban a keskenysávú zajforrásokhoz képest alacsonyabb hangnyomásszinttel rendelkeznek. A dolgozat a különböző frekvenciasávok alkalmazásának hatását vizsgálja.

Kulcsszavak: koaxiális propfan, szélessávú zajforrás, nyalábformálás

Abstract

A propfan rotor model's acoustical noises can be categorized in multiple ways. Two main groups can be created, as the noise can be either coherent or incoherent. The incoherent noises can be tonal, or broadband noises. The current article investigates the broadband incoherent noise sources, which can be further categorized, but generally speaking, they can be investigated in a wider frequency range, but have smaller sound pressure levels than tonal noise sources. The article investigates the effect of varying the frequency bandwidths.

1. BEVEZETÉS

A koaxiális propfanok két egymás mögött elhelyezett, ellentétes irányba forgó lapátsorral ellátott hajtóművek. Szélesebb körű alkalmazásuk az 1970-es években jött komolyabban számításba, amikor az Amerikai Egyesült Államokban beütő olajválság a kor mérnökeket arra kényszerítette, hogy az elterjedt turbofan hajtóművek fogyasztását és a repülőgépek ellenállását csökkentsék [1]. A fogyasztás csökkentésének egyik megoldása a koaxiális propfan hajtóművek használata volt. Ez a technológia a lapátsor előtt és után létrejött nyomáskülönbségből hozza létre a tolóerejét, míg a turbofan hajtóművek a hajtóműbe beszívott levegő egy részét komprimálják, majd a komprimált levegőbe üzemanyagot fecskendeznek, amit el is égetnek, így az üzemanyagban tárolt kötött kémiai energiát fölszabadítják, majd egy turbinán át ezt az energiát kinyerik, és a beszívott levegőt nagyobb sebességgel engedi ki a hajtóműből, így tolva maguk előtt a gépet. A koaxiális propfanok bizonyos körülmények között jobb hatásfokkal állítják elő a gépek tolóerejét a turbofan társukhoz képest, így ugyanazt a tolóerőt kevesebb üzemanyag égetésével érhetjük el. Az alacsonyabb fogyasztás azonban megnövekedett zajjal jár, ami zavarja a repülőterek környezetében élő embereket, és az élővilágot is. A cikk alapjául a NASA Glenn Research Center Low Speed Wind Tunnel-ben mért F31/A31-es lapátokkal ellátott hajtóműmodell szolgált. A modell nem tartalmazott se gázturbinát, se égőteret. A lapátsorokat direktbe hajtották meg

sűrített levegővel hajtott turbinákkal. A hajtóműmodell első lapátsorán 12, míg a hátsón 10 lapát található. A hajtóműmodell és a lapátok forgási iránya a [2] forrásban elérhető. A hajtómű akusztikai zajja mikrofontömbbel lett rögzítve, ahol a tömb a hajtóműtől 1,6 m-re volt elhelyezve egy mérőtérben, amelyet egy kifeszített kevlár anyagdarabbal védtek a szélcsatorna áramlási ingadozásaitól.

2. A DOLGOZAT BEMUTATÁSA

Az általunk vizsgált koaxiális propfan modellnek jelen cikkben a szélessávú zajforrásaival foglalkozunk. A szélessávú zajforrások vizsgálata az eredeti felvett jelben nehézségeket okoz, mert azokban a frekvenciatartományokban, ahol a keskenysávú zajok dominálnak, nehezebben, vagy egyáltalán nem érzékelhetők a szélessávú zajok. Ahhoz, hogy behatóbban tudjunk a szélessávú zajokat vizsgálni, az eredeti jelből ki kell szűrni a keskenysávú komponenseket. Ezt egy erre a célra kifejlesztett módszerrel érhetjük el, amit Sree et al. [3] egy mikrofonra fejlesztett ki, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Áramlástan Tanszékén pedig Tokaji Kristóf és Horváth Csaba vitte tovább, és nyalábformálásra is alkalmassá tette [4]. A módszer két különböző megfontolásból elvégzett szűréseken alapul. A továbbiakról itt talál információt az olvasó [5]. A szélessávú zajforrásokat négy csoportba sorolhatjuk mind a zajt keltő mechanizmus, mind pedig a zajforrás megjelenésének helye alapján. A zaj keltésének négy oka [2]: a lapát és a tengelyagy találkozásánál létrejövő zajforrás, kilépőél turbulens határreteg okozta zajforrás, turbulens rááramlás a belépőélnek ütközéséből kialakuló zajforrás, szárny végi örvények előidézte zajforrás. A négy megjelenés helye pedig: első lapátsor nyomott oldala, hátsó lapátsor szívott oldala, hátsó lapátsor nyomott oldala, első lapátsor szívott oldala.

Az első lapátsor szívott oldalán nem észleltünk zajforrást se a keskenysávú, se a szélessávú zajok vizsgálata közben. A szélessávú zajforrások családjait és megjelenési helyeit a [6] szakdolgozatban található ábra mutatja be.

3. EREDMÉNYEK

Az eredeti jel feldolgozására egy sáv szélességet határoztunk meg, annak érdekében, hogy az azonos keskenysávú koherens zajforrások ugyanazon a dimenziótlan frekvencián, ezzel együtt ugyan azon sorszámú zajtérképen jelenjenek meg. A zajtérképek nyalábformálással készülnek, és a nyalábformálásból kapott decibel értéket jelenítjük meg egy fotón. A zajtérképekről, és azok létrehozásához szükséges további információt a [7] forrásban talál az olvasó. A szélessávú zajforrások vizsgálatánál azonban a vizsgált jelben már nincs benne a keskenysávú komponens, így fölmerül a kérdés, hogy van-e értelme megtartani az eredeti frekvenciasáv szerinti beosztást. Így elkezdjük vizsgálni a különböző sáv szélességek alkalmazásának lehetőségét. Öt különböző módszert hasonlítottunk jelen cikkben össze: oktávsvávos felbontás, harmadoktávsvávos felbontás, tizenketted-oktávsvávos felbontás, az eredeti keskenysávú felosztás frekvenciasávjának kétszerese, az eredeti keskenysávú felosztás frekvenciasávjának háromszorosa. Az oktávsvávos fő tulajdonsága, hogy a kiértékelendő frekvencia mindig kétszereződik a magasabb frekvenciák felé haladva.

3.1 Oktávsváv alkalmazása

Az oktávsváv alkalmazásával kapott zajtérképek kettős természetűek. A szűrés tulajdonságai, valamint a kiértékelte frekvenciatartomány miatt a 6 darab zajtérképből 3 túl sok hibával terhelt ahhoz, hogy értelmezhető információt szolgáltatson, így összesen 3 zajtérképet kaptunk. A skálázás tulajdonságaiból adódóan a magasabb frekvenciák tartományában egyre nagyobb tartományt ölel föl a kiértékelés. Az 1. ábrán bemutatott három zajtérképen látható zajforrásokról elmondhatjuk azt, hogy elég nagy frekvenciatartományon domináltak ahhoz, hogy ezen a durva felosztású kiértékelésen is kimutathatók legyenek.



1. ábra Oktávsáv alkalmazásából kapott zajtérképek

3.2 Harmadoktávsáv alkalmazása

Harmadoktávsáv alkalmazásával már 11 vizsgálható zajtérképet kaptunk. A magasabb frekvenciákon hasonló módon igaz az, hogy csak a teljes tartományon domináló zajforrások váltak láthatóvá, azonban a finomabb skálabeosztás miatt az alacsonyabb frekvenciákon uralkodó zajforrásokról pontosabb képet kapunk. A felbontás azonban még mindig túl durva ahhoz, hogy a zajforrások változását a frekvencia függvényében behatóbban értelmezzük.

3.3 Tizenketted-oktávsáv alkalmazása

Tizenketted-oktávsáv alkalmazásánál már 42 értékelhető zajtérképet kaptunk. Ezekon a képeken az látható, hogy sokkal több információt nem szolgáltat a harmadoktávós felbontáshoz képest. A felbontás finomításának hatásaként természetesen a zajforrások frekvenciafüggése jobban átláthatóvá vált, azonban magasabb frekvenciákon még mindig nem elég finom ahhoz, hogy komolyabb következtetést tudjunk levonni belőle. Azért, hogy a magasabb frekvenciatartományon is kiértékelhető maradjon a jel, az eredeti, keskenysávú zajforrások összehasonlíthatóságára felhasznált frekvenciasávot növeltük meg a kétszeresére, valamint a háromszorosára. Az eredményekből néhányat a 2. ábrán mutatunk be.



2. ábra Tizenketted-oktávsáv alkalmazásából kapott néhány zajtérkép

3.4 Az eredeti keskenysávú felosztás frekvenciasávjának kétszerese

A cél az volt, hogy a sáv szélességet addig növeljük, amíg a szélessávú zajforrások hatása jobban érzékelhetővé válik, de a zajforrások frekvencia szerinti változása is jól elkülöníthető marad. Ennek a felosztásnak hatására a magasabb frekvenciákon zajosabb zajtérképeket kaptunk, mint az oktávsávós felosztásokon, hiszen kisebb frekvenciatartományt dolgoztunk föl, így a melléknyalábok nem átlagolódtak olyan mértékben ki, mint a fentebb leírtaknál. Ezzel a sávfelosztással 344 értelmezhető zajtérképet kaptunk. Az alacsonyabb frekvenciák zajtérképeinél közel 100 zajtérképen nincs szignifikáns változás, ami arra engedett következtetni, hogy a sáv szélességet tovább növelhetjük.

3.5 Az eredeti keskenysávú felosztás frekvenciasávjának háromszorososa

Ennek a frekvenciasáv alkalmazásával már csak 224 jó zajtérképet kell figyelembe vennünk. A szélesebb frekvenciasáv alkalmazásával a magasabb frekvenciákon is jól átlátható, kevésbé zajos zajtérképeket kaptunk. Alacsonyabb frekvenciákon még mindig nincs számottevő változás, azonban a kiértékelendő tartomány további növelése a frekvencia szerinti változások megfigyelhetőségének rovására menne. A 3. ábrán látható néhány ezen frekvenciasáv alkalmazásából kapott zajtérkép.



3. ábra *Eredeti frekvenciasáv háromszorosának alkalmazásából kapott néhány zajtérkép*

4. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KITEKINTÉS

A koaxiális propfanokkal kapcsolatos kutatások szerteágazóak. Jelen cikkünkben egy hajtóműmodell szélessávú zajforrásainak vizsgálatára, a kiértékelendő frekvenciatartomány változtatásának hatását mutattuk be. Az oktávsváv használata kettős természetű zajtérképeket produkált. A zajforrások frekvencia szerinti változásáról csöpnyei információt szolgáltat, azonban egy átfogó képet ad a nagyobb frekvenciatartományon uralkodó zajforrásokról. Az oktávsváv finomításával pontosabb képeket kapunk a zajforrások változásáról, azonban magasabb frekvenciákon még mindig nem elég pontos a behatóbb vizsgálathoz. Az eredeti keskenysávú zajforrások összehasonlíthatóságára megalkotott felosztást használtuk ez után, és a kiértékelendő tartományt az eredeti tartomány két-, háromszorosára növeltük. Ezzel a szélessávú hatások jobban átláthatóvá váltak. Lehetne még dinamikus frekvenciasávot alkalmazni, ami a változás mértékében változtatná a kiértékelendő frekvenciatartomány szélességét, ez azonban a megismételhetőséget, és a lehetséges összehasonlíthatóságot veszélyeztetné.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást támogatta a NKFI K 119943 szerződése, a Bolyai János Magyar Akadémiai Kutatási Ösztöndíj, az ÚNKP-19-4 Új Nemzeti Kiválóság Program, BME FIKP-VÍZ, TUDFO/51757/2019-ITM. Területi Kiválósági Program(TKP). Az előadó részvételét az OGÉT 2020 konferencián az NTP-HHTDK-19-0068 azonosítójú, "A hazai Tudományos Diákköri műhelyek és rendezvények támogatása" pályázat és az NFKI K 129023 szerződés támogatta.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] M. D. Bowles, "Apollo" of Aeroacoustics: NASA's Aircraft Energy Efficiency Program 1973-1987., NASA Headquarters, Washington, D.C., USA: 113-140, 2010.
- [2] C. Horváth, Investigation of Counter-Rotating Open Rotors Using Phased Array Beamforming Technology, Budapest: Budapest University of Technology and Economics, Hungary, 2015.
- [3] D. Sree, A novel signal processing technique for separating tonal and broadband noise components from counter-rotating open-rotor acoustic data, International Journal of Aeroacoustics, 2013.
- [4] C. H. Kristóf Tokaji, Extracting and understanding the less dominant broadband noise sources of counter-rotating open rotors, Netherlands: 25th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 2019.
- [5] C. H. Kristóf Tokaji, Combining signal pre-processing methods with beamforming for broadband turbomachinery applications, Berlin, Germany: 7th Berlin Beamforming Conference, 2018.
- [6] O. Ábel, Koaxiális propfan vizsgálata nyalábformálási módszerekkel változó rááramlási szög mellett, Budapest: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2019.
- [7] C. Horváth, Introduction to Beamforming for Noise Source Localization, BME előadás jegyzet.