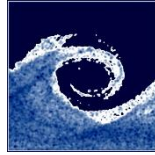


**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM**  
**GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR**  
**ÁRAMLÁSTAN TANSZÉK**



Koaxiális propfan szélessávú zajforrásainak vizsgálata nyálábformálással

Tézisfüzet

Készítette: Tokaji Kristóf, okleveles gépészmérnök

Témavezető: Dr. Horváth Csaba, egyetemi docens

Budapest, 2023

1. Bevezetés .....	3
2. Szakirodalmi áttekintés, célkitűzések .....	3
3. Eredmények .....	6
4. Tézisekhez tartozó publikációk.....	12
5. Hivatkozások .....	13

## 1. BEVEZETÉS

A koaxiális propfan (angolul: Counter-Rotating Open Rotor - CROR) egy kedvező tulajdonságokkal rendelkező repülőgép hajtásra alkalmas hajtómű. A két egymással ellentétes irányba forgó rotornak köszönhetően jóval nagyobb hatásfokkal rendelkezik, mint a manapság elterjedt turbofan hajtóművek. A koaxiális forgógépek alkalmasak egyrotoros forgógépek kiváltására is, amivel hatékonyság növelés, ezáltal kisebb fogyasztás érhető el.

A koaxiális forgógépek széleskörű alkalmazását jelentősen gátolja néhány hátrányos tulajdonság, melyek közül az egyik a magas zajkeltés. A két rotor kölcsönhatása egymással és a rögzítő berendezés egyéb részeivel jelentős zajkibocsátással jár. Kijelenthető, hogy a koaxiális forgógépek, így a koaxiális propfan széleskörű elterjedése előtt az általa keltett zajt csökkenteni kell, amihez elengedhetetlen a zajkeltő mechanizmusok ismerete. A mikrofontömbös mérés technika és a nyalábformálás technológiája lehetőséget biztosít a létrejövő zajforrások erősségének és elhelyezkedésének meghatározására, így elősegítve az akusztikai vizsgálatokat.

A keltett zajforrások két nagy csoportra oszthatók; a keskeny frekvenciasávhoz köthető tonális zajforrásokra és a szélessávú zajforrásokra. Jellemzően a tonális zajforrások nagy amplitúdóval, míg a széles frekvenciatartományban jelen lévő szélessávú zajforrások kisebb amplitúdóval vannak jelen a keltett zajban. A széles megjelenési frekvencia tartomány és a tonális zajkeltés sikeres csökkentéséből adódóan a szélessávú összetevő jelentős alkotója a koaxiális propfan által keltett zajnak. Ebből fakadóan a koaxiális propfan zajkeltésének csökkentésének fontos eleme a szélessávú zajkeltés csökkentése, amihez szükséges megismerni a zajkeltő mechanizmusokat. A kisebb amplitúdóból adódóan szélessávú zajkeltés vizsgálata nem célravezető a tonális összetevő jelenlétében, hanem előnyösebb az elkülönített vizsgálat, amihez jelfeldolgozó módszer alkalmazására van szükség.

## 2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS, CÉLKITŰZÉSEK

A mikrofontömbös mérés technika és a nyalábformálás alkalmazása egy hasznos eszköz a zajkeltés vizsgálatára, ennek ellenére a koaxiális propfan esetén eddig kevesen alkalmazták. Kennedy et al. [1] egy repülőgép testhez erősített koaxiális propfan hajtóművet vizsgáltak nyalábformálással, ahol jól azonosítani tudták a hajtóművet mint zajforrás, azonban a koaxiális propfan zajkeltő tulajdonságait részletesen nem vizsgálták. Horváth et al. [2] cikkükben rámutatnak a koaxiális propfan tonális zajforrások nyalábformálással történő vizsgálatának nehézségeire, majd kutatásának folytatásában [3] részletesebb vizsgálatot végzett a koaxiális propfan által keltett tonális zajforrások elhelyezkedésének tekintetében. A publikációban megjelenik a szélessávú zajforrások elhelyezkedésének vizsgálata is, mely során megnevez néhány szélessávú zajforrásokra jellemző elhelyezkedést. A

nyalábformálással lehetőség nyílik a zajforrások elhelyezkedés alapján történő vizsgálatára, amit a szakmai közösség egyelőre nem használt ki kellően. Jelen kutatás fő célja a nyalábformálás alkalmazása a koaxiális propfan keltette szélessávú zaj vizsgálatára.

A szélessávú zajforrások hatékony vizsgálatához a nagyobb amplitúdójú tonális összetevőt ajánlott eltávolítani az időjelből. A hagyományos egyrotoros forgógépek esetén alkalmazható tonális és szélessávú zaj komponenseket szétválasztó jelfeldolgozó módszerek jelentős része nem alkalmazható a koaxiális propfan keltette zaj esetén. A szakirodalomban megtalálható néhány, a koaxiális forgógépek esetén is használható módszer. Sree által kifejlesztett módszer [4] a hagyományos egyrotoros forgógépeknél is használt átlagolás műveletét alkalmazta. Az időjel fordulatonkénti átlagolásával megkapható az ismétlődő tonális komponens, míg a véletlenszerű szélessávú összetevő kiszűrésre kerül. A módszer hatékonysága jelentősen függ az átlagolt fordulatonkénti időjelek számától. Koaxiális propfan esetén csak a szomszédos fordulatonkénti időjelek átlagolhatók, így a módszer kevésbé hatékony. Sree kutatása során a koaxiális propfan zajkeltését vizsgálta egy mikrofon segítségével. Stephens és Vold [5] a Vold-Kalman szűrést alkalmazta. A módszerrel létrehozható minden tonális komponens időjele egyenként, melyek összegzésével a tonális időjel kapható. A tonális időjel kivonásával a teljes időjelből megkapható a szélessávú időjel. A módszer hátránya, hogy a hatékony működéshez szükséges a fordulatszám időjel. Sree szűrési algoritmusát módosítva Sree és Stephens létrehoztak egy jelfeldolgozó módszert [6], ami alkalmas a koaxiális propfan forgásból eredő tonális zaj összetevőit kiszűrni úgy, hogy közvetlenül egy, a szélessávú összetevővel egyenértékű időjel jön létre. Forgógép zajkeltés vizsgálatakor előfordul, hogy a keltett zajban megjelenik a forgásból eredő tonális komponens, egy nem forgásból eredő tonális komponens és a szélessávú összetevő. Sree és Stephens módszere [6] csak a forgásból eredő tonális komponens kiszűrésére alkalmas. Előfordul, hogy a forgásból eredő tonális komponensen túl jelen van egy másik nem forgásból eredő tonális komponens is, ami létrejöhet a mérőteremben lévő koaxiális propfan összeállításához tartozó berendezés, mérőberendezés, mérés során használt berendezés tonális zajából, vagy a jelfeldolgozás során a rögzített időjelet kompromittáló tonális jel komponensből. Jelen kutatás során feldolgozott adatsorban is jelen van egy nem forgásból eredő tonális komponens, ami a forgáshoz hasonlóan korlátozza a szélessávú összetevő vizsgálatát, így előnyös az időjelből történő kiszűrése. Ebből adódóan a kutatás során olyan jelfeldolgozó módszer létrehozása és alkalmazása a cél, amely alkalmas a forgásból és a nem forgásból eredő tonális komponensek eltávolítására egyaránt. A módszer előnyére válik, ha minél kevesebb bemeneti paraméterre van szüksége (például nem kell fordulatszám időjel), valamint, ha közvetlenül a szélessávú komponens hozza létre. Emellett olyan módszer alkalmazása szükséges, aminek az eredménye feldolgozható nyalábformálással, ami lehetőséget biztosít a szélessávú zajforrások elhelyezkedésének vizsgálatára.

A koaxiális propfan szélessávú zajkeltésének vizsgálati nehézségeiből adódóan kevés és hiányos a szakirodalom a mérési eredményekre alapozott szélessávú zajkeltő

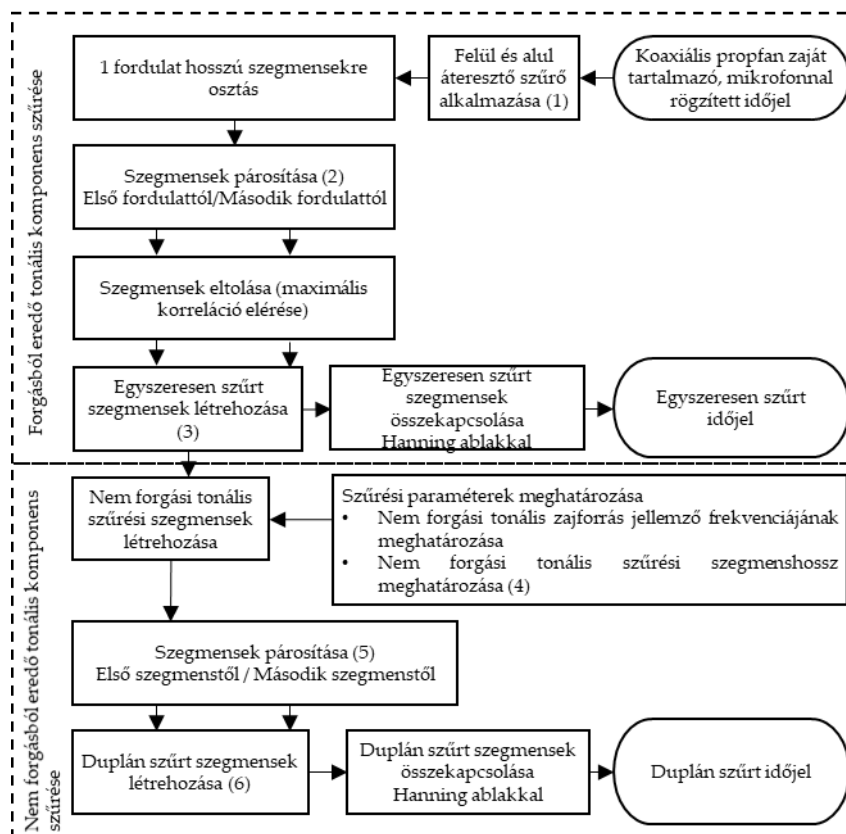
mechanizmusok azonosítása és vizsgálata tekintetében. A legtöbb esetben szimulációs, illetve hagyományos forgógép zajkeltési tulajdonságokra alapozva határoztak meg szélessávú zajforrásokat. Blandeau [7] koaxiális propfan szélessávú zajforrásokat vizsgáló disszertációjában is csak lehetséges zajkeltési mechanizmusokat említ abból az okból fakadóan, hogy valós mérési eredményekkel korlátozottan igazolhatók és azonosíthatók. Stephens, Vold és Sree a koaxiális propfan tonális és szélessávú zaj komponensek szétválasztására irányuló publikációikban [4-6] ugyan létrehozzák a szélessávú spektrumot, azonban nem kötik zajkeltő mechanizmusokhoz és nem azonosítanak különböző szélessávú zajforrásokat. Horváth cikkében [3] rámutat néhány jellemző szélessávú zajforrás elhelyezkedésre, melyet zajkeltő mechanizmushoz köt. A tonális és szélessávú zajforrások együtt történő vizsgálata korlátot szab a szélessávú zajforrások vizsgálatának, így a megállapításai bővíthetők. A jelen kutatás során létrehozott és alkalmazott vizsgálati módszerek elsődleges célja a koaxiális propfan szélessávú zajforrás szakirodalmának bővítése, a mérési eredmények alapján történő szélessávú zajkeltő mechanizmusok azonosítása és a különböző szélessávú zajforrások csoportosítása, rendszerezése. A kutatás során két eset került feldolgozásra a pilonnal ellátott és a pilon nélküli kivitel. A pilon egy áramvonalas rögzítő elem, aminek jelentős hatása van a koaxiális propfan zajkeltésére. A legjelentősebb hatása a tonális zajforrásoknál figyelhető meg azonban befolyásolja a szélessávú zajkeltést is. A részletes hatásvizsgálat hiányzik a szakirodalomból, így nem került azonosításra a pilon szélessávú zajkeltésre gyakorolt hatása. A kutatásom célja ezen hatásvizsgálat pótlása és a pilon hatásának definiálása a koaxiális propfan szélessávú zajkeltésére.

### 3. EREDMÉNYEK

Sree és Stephens koaxiális propfan forgásból eredő tonális komponenszt kiszűrő módszerét [6] továbbfejlesztettem egy további, nem forgási tonális komponens kiszűrésére, létrehozva a dupla szűrést. A forgási tonális komponenshez hasonlóan a nem forgási komponens jelenléte sem kívánatos a szélessávú zajforrások vizsgálata során. Meghatároztam a nem forgási komponens szűrési paramétereit, hogy ezáltal hatékonyan kiszűrhető legyen az időjelből. Sree és Stephens módszerében a szűrt jel hossza az eredeti jel hosszának felére csökkent, ami korlátozza a jel feldolgozhatóságát. A dupla szűrésben minimalizáltam a folyamat során fellépő jelvesztést, így az eredményül kapott duplán szűrt időjel alkalmas további jelfeldolgozásra.

#### I. TÉZIS:

A T1.1 ábrán bemutatott dupla szűrés módszer a Sree és Stephens [T1.1] által kifejlesztett, koaxiális propfan forgásból eredő tonális jelkomponensét kiszűrő módszer továbbfejlesztése a forgásból és egy nem forgásból eredő tonális komponens eltávolítására.



T1.1. ábra Dupla szűrés folyamatábrája, sorszámokkal jelölve a további magyarázattal ellátott lépéseket

A dupla szűrés egyes lépéseinek magyarázata:

Forgásból eredő tonális komponens szűrése:

(1) Felül és alul áteresztő szűrő használata a vizsgálni kívánt jelkomponens jellemző frekvenciatartománya szerint.

(2) Szegmensek párosítása

- az első fordulattól indulva egymást követő X és Y szegmenspárok kijelölésével,
- a második fordulattól indulva egymást követő X és Y szegmenspárok kijelölésével,

ahol X a szegmenspárok első és Y a szegmenspárok második egy fordulat hosszú szegmense.

(3) Egyszeresen szűrt szegmensek létrehozása:

$$Z = \frac{X-Y}{\sqrt{2}} \quad (\text{T1.1})$$

ahol Z az egyszeresen szűrt egy fordulat hosszú szegmens.

Nem forgásból eredő tonális komponens szűrése:

(4) A nem forgási tonális szűrési szegmenshossz  $k \cdot t$ , ahol  $k$  a nem forgási szűrési szegmensben megtalálható nem forgási zajforrás periódusok száma és  $t$  (s) a nem forgási zajforrás periódus ideje.  $k$  egész szám, ami a  $1 \leq k \leq \left\lfloor \frac{T/t}{2} \right\rfloor$  tartományba esik, ahol  $T$  (s) egy fordulat ideje és  $\lfloor \cdot \rfloor$  az egészrészt jelöli. A megadott tartományon belül azt a  $k$  értéket kell alkalmazni, amely esetén a kiszűrni kívánt tonális komponens eltűnik az időjelből.  $k$  várható értéke a (T1.2) egyenlet szerint számítható.

$$k_{\text{várható}} = \left\lfloor \frac{T/t}{4} \right\rfloor \quad (\text{T1.2})$$

(5) Szegmensek párosítása

- az első nem forgási szűrési szegmenstől indulva egymást követő x és y szegmenspárok kijelölésével,
- a második nem forgási szűrési szegmenstől indulva egymást követő x és y szegmenspárok kijelölésével,

ahol x a szegmenspárok első és y a szegmenspárok második  $k \cdot t$  hosszúságú szegmense.

(6) Duplán szűrt szegmensek létrehozása:

$$z = \frac{x-y}{\sqrt{2}} \quad (\text{T1.3})$$

ahol z a duplán szűrt  $k \cdot t$  hosszúságú szegmens.

[T1.1] Sree D. and Stephens D. B., "Improved separation of tone and broadband noise components from open rotor acoustic data." Aerospace, Vol. 3, No. 3, 2016. <https://doi.org/10.3390/aerospace3030029>

Tézishez kapcsolódó publikációk: [P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8]

---

*A dupla szűrés mikrofontömbös adatsorra történő alkalmazása a szélessávú zajforrások elhelyezkedését tartalmazó zajtérképek létrehozása céljából történik. A zajforrások elhelyezkedéséről kapható információ lehetővé teszi az egyes zajkeltő mechanizmusok elkülönített vizsgálatát. A nyalábformálás alkalmazása koaxiális propfan zajkeltésének vizsgálatára kevésbé elterjedt, főleg a szélessávú zajforrások vizsgálatának céljából. A dupla szűrés úgy került kialakításra, hogy a kapott duplán szűrt időjel alkalmas legyen nyalábformálással történő feldolgozásra, így vizsgálhatóvá téve a szélessávú zajforrások elhelyezkedését. A szűrés során az időjel többször felosztásra kerül rövidebb szakaszokra, amelyek egymásból történő kivonásával jön létre a duplán szűrt időjel. A műveletekből adódóan bizonytalan a duplán szűrt zajtérképeken megjelenő zajforrások eredete. A nyalábformálási műveletek és a dupla szűrés lépéseinek elemzésével bebizonyítottam, hogy a duplán szűrt zajtérképek megegyeznek az eredeti szélessávú komponens esetén kapható zajtérképekkel. Ebből fakadóan duplán szűrt zajtérképeken vizsgálható a koaxiális propfan szélessávú zajforrásainak elhelyezkedése a tonális zajforrások jelenléte nélkül.*

## **II. TÉZIS**

**A dupla szűrést végrehajtva egy mikrofontömbös mérési adatsor egyes időjelein létrehozható a duplán szűrt mikrofontömbös adatsor. Az adatsor alkalmas nyalábformálásra, ezáltal létrehozhatók a duplán szűrt zajtérképek. A zajtérképeken a szélessávú zajforrások vizsgálhatók. A duplán szűrt zajtérképek megfelelnek az eredeti szélessávú összetevő esetén kapható zajtérképeknek.**

Tézishez kapcsolódó publikációk: [P1,P2,P3,P5,P6,P8,P9]

---

*A dupla szűrés és a nyalábformálás együttes alkalmazásával lehetővé vált a koaxiális propfan szélessávú zajforrásainak vizsgálata a teljes frekvencia tartományban a tonális zajforrások jelenléte nélkül. A koaxiális propfan duplán szűrt zajtérképeinek átfogó vizsgálatával meghatározható az alkalmazott dinamikus tartományon belül megfigyelhető szélessávú zajforrások elhelyezkedése, így azok szakirodalmi alapokon zajkeltő mechanizmushoz köthetők. Korábban ilyen részletességű szélessávú zajkeltő mechanizmus vizsgálat nem volt lehetséges. Az általam kifejlesztett vizsgálati módszerrel nem csak a legerősebb szélessávú összetevőről kapható információ, hanem az összes dinamikus tartományon belül megjelenő szélessávú zajforrásról. Az egyes zajforrások elhelyezkedésének ismeretében a nyalábformálási szint lokális csúcs értékei alapján önálló spektrum hozható létre zajforrásonként. Az önálló spektrumok vizsgálatával meghatározható az egyes zajforrások jellemző frekvencia tartománya. Ezen felül meghatározható az adott frekvenciához tartozó legerősebb szélessávú zajforrás, valamint a szintén megjelenő gyengébb szélessávú összetevők jelentősége az eredő szélessávú zajkeltés tekintetében. A vizsgálati módszer eredményeként azonosíthatók, csoportosíthatók és rendszerezhetők a koaxiális propfan eltérő szélessávú zajkeltő mechanizmusaiból eredő zajforrások.*

### III. TÉZIS

A koaxiális propfan duplán szűrt zajtérképein egymástól függetlenül vizsgálhatók a különböző elhelyezkedéssel rendelkező szélessávú zajforrások. A különböző frekvenciasávokhoz tartozó zajtérképek együttes vizsgálatával

- azonosíthatók az alkalmazott dinamikus tartományon belül megjelenő szélessávú zajforrások elhelyezkedése,
- létrehozhatók az egyes szélessávú zajforrások egyedülálló nyalábformálási szint spektrumai,
- meghatározható az egyes szélessávú zajforrások
  - jellemző frekvenciatartománya,
  - többi szélessávú zajforráshoz való viszonya,
  - eredő szélessávú zajkeltésben játszott szerepe.

Tézishez kapcsolódó publikációk: [P1,P2,P3,P9]

---

*A duplán szűrt zajtérképek és az egyes szélessávú zajforrásokhoz tartozó egyedi spektrumok felhasználásával lehetővé vált a különféle összeállítások (például pilonnal ellátott és pilon nélküli), vagy különféle működési paraméterek (például fordulatszám) koaxiális propfan szélessávú zajkeltésére gyakorolt hatásának vizsgálata. Mérési adatok felhasználásával eddig nagy kihívásnak számított az eredő szélessávú zajkeltésre gyakorolt hatásvizsgálat is, de az egyes zajforrásokra gyakorolt egyedi hatásvizsgálat nehezen volt kivitelezhető. Az általam kifejlesztett vizsgálati módszerrel meghatározható a koaxiális propfan adott jellemzőjének hatása minden egyes, a zajtérképeken megjelenő szélessávú zajforrásra vonatkozóan.*

### IV. TÉZIS

Különböző tulajdonságokkal rendelkező koaxiális propfanok duplán szűrt zajtérképeinek és egyedülálló szélessávú zajforrás spektrumainak felhasználásával elvégezhető az adott tulajdonság hatásvizsgálata az egyes szélessávú zajforrások

- jelenlétére,
- jellemző frekvenciatartományára,
- többi szélessávú zajforráshoz való viszonyára,
- eredő szélessávú zajkeltésben játszott szerepére vonatkozóan.

Tézishez kapcsolódó publikációk: [P3,P9]

---

*A kifejlesztett dupla szűrés és vizsgálati módszer alkalmazásával megvizsgáltam egy koaxiális propfan esetén megfigyelhető szélessávú zajforrásokat, valamint kimutattam a pilon telepítésének hatását is a szélessávú zajkeltésre. Megállapítottam, hogy egy adott elhelyezkedésű zajforrás milyen jellemző frekvencián jelenik meg, valamint milyen frekvencia tartományban bizonyul a legerősebb szélessávú zajforrásnak. Megállapítottam, hogy milyen új szélessávú zajkeltő mechanizmusok jelennek meg a pilon telepítésének hatására, valamint hogy milyen változások lépnek fel a pilon nélkül is megjelenő szélessávú zajforrások tekintetében. Az azonosított zajforrások rendszerezésével és csoportosításával megalapoztam egy koaxiális propfan szélessávú zajkeltésére vonatkozó referencia adatbázist. Az adatbázisban szerepelnek a zajtérképeken megjelenő szélessávú zajforrások jellemző elhelyezkedésére, frekvencia tartományára és domináns frekvencia tartományára vonatkozó információk. Az adatbázis iránymutatást ad a koaxiális propfan szélessávú zajforrásainak rendszerezési és csoportosítási módjára. Az adatbázis további esetekkel történő bővítésével egy hiánypótló koaxiális propfan szélessávú zajkeltésére vonatkozó tudásbázis hozható létre, ami referenciaként szolgálhat a koaxiális propfan szélessávú zajkeltét szimulációval vagy matematikai modellel vizsgáló kutatások számára, valamint hasznos eszközzé válhat a zajcsökkentési törekvések számára.*

## **V. TÉZIS**

**A T5.1 táblázatban látható geometriai, üzemeltetési, összeállítási és telepítési jellemzőkkel rendelkező pilon nélküli és pilonnal ellátott koaxiális propfan T5.1 táblázatban látható mérési, jelfeldolgozási és nyalábformálási paraméterek mellett történő vizsgálatával létrejött az alapja a T5.2 táblázatban látható rendszerezett referencia adatbázisnak, ami tartalmazza a vizsgált koaxiális propfanok jellemző szélessávú zajforrásait. A pilon telepítésének hatására domináns lapátvégi zajforrás jelenik meg a hátsó rotor lapátjainak nyomott oldalán, nem domináns kilépő él zajforrás jelenik meg az első rotor lapátjainak szívott oldalán, erősödik és domináns zajforrássá válik a lapáttó zajforrás a hátsó rotor lapátjainak nyomott oldalán.**

## T5.1 táblázat A vizsgált koaxiális propfanok tulajdonságai és a vizsgálati paramétere

Összeállítás	Pilon nélküli	Pilonnal ellátott (rotorok előtt)
Lapát típus	Historical baseline F31/A31	Historical baseline F31/A31
Első rotor lapát szám	12	12
Hátsó rotor lapátszám	10	10
Első rotor átmérő (m)	0,652	0,652
Hátsó rotor átmérő (m)	0,630	0,630
Első rotor lapátszög (°)	33,5	33,5
Hátsó rotor lapátszög (°)	35,7	35,7
Fordulatszám (ford/min)	5716	5753
Áramlás Mach száma (-)	0,2	0,2
Rááramlás szöge (°)	0	0
Hőmérséklet (°C)	28,38	32,1
Mikrofontömb	OptiNav Array48	OptiNav Array48
Mikrofontömb és vizsgálati sík távolság (m)	1,6	1,6
Mintavételezési frekvencia (Hz)	96000	96000
Forgási szegmens hossz (s)	0.01050	0.01043
Nem forgási tonális zajforrás jellemző frekvenciája (Hz)	3129	3149
Nem forgási szegmens hossz (s)	0.00224	0.00254
Nyalábformálási algoritmus	FDBF	FDBF
CSM főátló kezelés	Törlés	Törlés
Fourier transzformációs ablak mérete (adatpont)	4096	4096
Fourier transzformációs ablak átfedés	50%	50%
Frekvencia felbontás (Hz)	250	250
Dinamikus tartomány méret (dB)	5	5

## T5.2 táblázat Azonosított szélessávú zajforrások és jellemzőik

Elhelyezkedés egy lapáton belül	Első rotor (E) vagy hátsó rotor (H)	Lapátok nyomott (Ny) vagy szívott oldala (Sz)	Jellemző frekvenciatartomány (Hz)		Legerősebb zajforrás frekvencia tartomány (Hz)	
			Pilon nélküli	Pilonnal ellátott	Pilon nélküli	Pilonnal ellátott
Lapáttő	H	Sz	1500-9000	1500-9000	1500-8000	1500-7000
Lapáttő	H	Ny	1500-2500; 5000-6500	1500-2500; 5000-6500	5750-6500	1500-2250; 5750-6500
Kilépő él	E	Sz	-	4500-10000	-	-
Kilépő él	E	Ny	6500-15000	6500-15000	7500-15000	9500-15000
Belépő él	H	Sz	7000-15000	7000-15000	-	-
Belépő él	H	Ny	7000-15000	7000-15000	-	-
Lapátvég	H	Ny	-	7000-15000	-	7000-10000

Tézishez kapcsolódó publikációk: [P1,P3,P10]

#### 4. TÉZISEKHEZ TARTOZÓ PUBLIKÁCIÓK

- [P1] Tokaji, K., Soós Bálint, Horváth, Cs.: Beamforming method for extracting the broadband noise sources of counter-rotating open rotors, *AIAA Journal*, vol. 58, no 7, 2020. <https://doi.org/10.2514/1.J058934>
- [P2] Tokaji, K., Soós Bálint, Horváth, Cs., "Extracting and understanding the less dominant broadband noise sources of counter-rotating open rotors," 25th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (2019)
- [P3] Tokaji, K., Horváth Cs., "Effect of a pylon on the broadband noise sources of counter-rotating turbomachinery." *International Journal of Aeroacoustics*, vol. 20, no. 8, 2021, pp. 979-1002. <https://doi.org/10.1177/1475472X211055178>
- [P4] Tokaji K., Horváth Cs., "Method for isolating the tonal components of counter-rotating turbomachinery phased array microphone data for beamforming." 48th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, INTER-NOISE 2019, (2019)
- [P5] Tokaji, K., Soós Bálint, Horváth, Cs., "Koaxiális forgógép keskenysávú zaj vizsgálatára alkalmas módszer fejlesztése." *Tavaszi Szél 2020 Konferenciakötet*, Budapest, 2020.10.16, pp. 781-793.
- [P6] Tokaji, K., Soós Bálint, Horváth, Cs., "Koaxiális forgógép zajvizsgálati módszereinek továbbfejlesztése és alkalmazása mérési eredményekre." *Tavaszi Szél Konferencia 2021 Tanulmánykötet II.*, pp 167-180
- [P7] Tokaji, K., Horváth, Cs., "Combining signal pre-processing methods with beamforming for broadband turbomachinery applications." 7th Berlin Beamforming Conference (BeBeC), (2018) <http://www.bebec.eu/Downloads/BeBeC2018/Papers/BeBeC-2018-D28.pdf>
- [P8] Tokaji, K., Soós Bálint, Horváth, Cs., "Koaxiális forgógép szélessávú zaj vizsgálatára alkalmas módszer fejlesztése." *Tavaszi Szél 2020 Konferenciakötet*, Budapest, 2020.10.16, pp.672-684.
- [P9] Fenyvesi, B., Tokaji, K. and Horváth, Cs., "Investigation of a Pylons Effect on the Character of Counter-Rotating Open Rotor Noise using Beamforming Technology" *Acta Acoustica United with Acoustica*, vol. 105, no. 1, pp. 56-65, 2019, doi:10.3813/AAA.919287
- [P10] Tokaji, K., Fenyvesi B., Kocsis B., Horváth, Cs.: "Investigation of the noise sources of a pylon." *Proceedings of Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF'18)*, CFD.HU Kft., 4-7. Sept. 2018 Budapest, Paper CMFF18-011

## 5. HIVATKOZÁSOK

- [1] Kennedy, J., Eret, P., Bennett, G., Sopranzetti, F., Chiariotti, P., Castellini, P., Finez, A., Picard, C., "The Application of Advanced Beamforming Techniques for the Noise Characterization of Installed Counter Rotating Open Rotors," 19th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, AIAA 2013-2093. May 2013, <https://doi.org/10.2514/6.2013-2093>
- [2] Horváth, Cs., Envia, E. and Podboy G. G., "Limitations of Phased Array Beamforming in Open Rotor Noise Source Imaging," AIAA Journal, vol. 52, no. 8, 2014, pp. 1810-1817. <https://doi.org/10.2514/6.2013-2098>
- [3] Horváth, Cs., "Beamforming Investigation of Dominant Counter-Rotating Open Rotor Tonal and Broadband Noise Sources," AIAA Journal, vol. 53, no. 6, 2015, pp. 1602-1611., <https://doi.org/10.2514/1.J053465>
- [4] Sree, D., "A novel signal processing technique for separating tonal and broadband noise components from counter-rotating open-rotor acoustic data." International Journal of Aeroacoustics, Vol. 12, No. 1-2, 2013, pp. 169-188. <https://doi.org/10.1260/1475-472X.12.1-2.169>
- [5] Stephens, D. B., Vold, H., "Order tracking signal processing for open rotor acoustics," Journal of Sound and Vibration, Vol. 333, No. 16, 2014. Pp. 3818-3830. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsv.2014.04.005>
- [6] Sree D. and Stephens D. B., "Improved separation of tone and broadband noise components from open rotor acoustic data." Aerospace, Vol. 3, No. 3, 2016. <https://doi.org/10.3390/aerospace3030029>
- [7] Blandeau, V. "Aerodynamic broadband noise from contra-rotating open rotors." Doctoral dissertation, University of Southampton, 2011.