

Kovács Gábor¹

FORGÓSZÁRNYZAJ VIZSGÁLATA REPÜLÉS KÖZBEN²

A repülőgépek, köztük a helikopterek zaja folyamatosan erősödő tendenciát mutat, közel egyenesen arányos a hajtóművek teljesítményének növekedésével. A társadalom eljutott egy olyan küszöb, ahol már szükséges az ártalmas zajszennyezés figyelembevétele. Napjaink polgári és a katonai elvárásai kikényszerítik a technika ez irányú fejlődését. Az akusztikai tesztek döntő többsége szélcsatornában folytak, ahol a kapott eredmények nem mindig tükrözték a valóságot. A NASA repülés közbeni zajvizsgálata igyekszik kiküszöbölni a szélcsatorna mérési hibáit, új utat mutatva a komfortosabb légijárművek építéséhez.

IN-FLIGHT ROTOR NOISE INVESTIGATION

The noise of aircrafts, including the helicopters show a steadily increasing trend, almost directly proportional to the increase of jet engine performance. The society has reached a threshold, where it is necessary to take into account the harmful noise. Today's civil and military expectations force the development of the technique in this direction. The vast majority of acoustic tests are conducted in wind tunnels, where results did not reflect the reality. NASA in-flight acoustic tests try to eliminate those faults from the wind tunnel, to give a new way out of the construction of a more comfortable helicopter.

Vizsgálatokkal is igazolt, hogy a folyamatosan zajnak kitett emberek egészségkárosodást szenvednek. Ha az eltelt idő függvényében vizsgáljuk a hatást, rövidtávon közérzetük romlik, munkaképességük csökken, hosszútávon koncentráció- és alvászavar lép fel, az egyén agresszív és feszült lesz. Intenzitását vizsgálva a zaj kedvezőtlen pszichés hatása igen változó, de a 30–40 dB feletti zajszint terhelésként jelentkezik, melynek következményei: fáradtság, kimerültség, fejfájás, fokozott ingerlékenység formájában jelentkezhetnek. Ezenkívül a vegetatív idegrendszer által irányított élettani funkciók egy részében is zavarok léphetnek fel [1]. Következésképpen – amennyiben ez a hatás munkavégzés közben jelentkezik – megnő a hibázás lehetősége, mely balesetet, katasztrófákat okozhat, így ez, egy pilóta esetében is, könnyen tömegszerencsétlenséghez vezethet. Mindezek miatt is belátható, hogy nagy gondot kell fordítani a zajvédelemre, hiszen az efféle zavaroknak kitett munkavégző, biztonsággal semmilyen tevékenységet nem végezhet.

Katonai területen a zaj más értelmezést is kap. A fent említett hatások természetesen itt is jelentkeznek, hiszen a harceszközök kezelője az ember (pl. a légijármű hajózó személyzete), ennek folyamatos elszenvedője. A tényleges hadműveleti tevékenységnél azonban rendszerint a kitűzött cél elérése az abszolút prioritás, ehhez képest minden más megfontolás – különösen a régebbi konstrukcióknál – benne a környezeti zajszennyezés csökkentése másodlagos kérdésként jelentkezett. A léghárító és gyalogsági fegyverzet megbízhatóságának, találati pontosságának és megsemmisítési hatékonyságának számottevő növekedése azonban meghatározó szemponttá tette a

¹ Honvédtiszt-jelölt, Nemzeti Közszolgálati Egyetem - Hadtudományi és Honvédtisztképző kar, kanonenvogel@freemail.hu

² Lektorálta: Prof. Dr. Óvári Gyula egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu

korszerű helikopterek létrehozásánál a zajcsökkentést, az akusztikai álcázást, mivel egy alig észlelhető repülőeszközt megcélózni, ezáltal megsemmisíteni is jóval nehezebb. Természetesen ennek a helikopter számára az ellenség rejtett megközelítésekor is kedvező hatása van.

A forgószárny, mint zajforrás

Helikoptereknél legjelentősebb zajforrások a működő forgószárny és faroklégsavar, (az általuk létrehozott légnyomáslökötés okán), ezenkívül a hajtó- és közlőművevek. A domináns zaj általában a légsavaroké, mely több összetevőből áll, de közülük rendszerint meghatározó a forgószárnylapátok által indukált örvények közötti kölcsönhatásból kialakuló – a helikopterekre jellemző jellegzetes - hanghatás. Az angol terminológiában ezt *blade-vortex interaction noise*-nak nevezik, melyet szakszerű magyar kifejezés hiányában a továbbiakban BVI-ként használunk. Mivel a lapát által indukált örvények turbolensek, így a forgásból adódóan a következő lapát ebbe az örvényes légtömegbe érkezik, ilyenkor jelentős zajt is ébreszt. A hang iránya szétszórta, bárhol jelentkezik a forgószárny síkjában, de általában az előrehaladó lapátok oldalán keletkezik. Intenzitását befolyásolja a forgószárnylapátok egymással bezárt azimutszöge (a lapátszám!), sebessége és profil-geometriája.

E zajtípus a csökkentése a legfontosabb, a legtöbb kutatás is ennek a megszüntetésére irányul, mivel az akusztikus észlelhetőséget jelentősen növeli, valamint zavarhatja a verbális kommunikációt repülőgépen belül és kívül is bizonyos esetekben. Süllyedésnél és manőverező repülésnél is igen jelentős hanghatások jöhetnek létre, a nagy amplitúdójú, viszonylag alacsony frekvenciájú lapátlengések következtében [2].

Aeroakusztikai vizsgálatok

A szélcsatorna olyan kísérleti berendezés, melyet elsősorban testek körül áramló közeg hatásainak vizsgálatára fejlesztettek ki. Ezek során tanulmányozhatóak az áramlásba helyezett testre ható légerők (felhajtóerő, közegellenállás, illetve a légerők nyomatóka), az áramlásba helyezett test körül kialakult nyomáseloszlás, a határréteg viselkedése, az áramvonalak alakjára, a légáramlás keltette rezgés és zaj. A szélcsatornában számos olyan hatás kiváltható, ami valós környezetben nem. Sajnálatosan ez a pontos akusztika mérésekre nem vonatkozik, ugyanis a csatorna falairól történő hangvisszaverődés kiküszöbölhetetlen és módosítja az eredményeket. Ezenkívül a szélcsatornának jelentős saját zaja is van, amivel számolni kell, ezért megbízható akusztikai mérés szabadtéri vizsgálatokat (is) feltételez.

A levegőben különböző repülési magasságokon végezhető mérés, helikopterek esetében ez jellemzően $H=600\text{--}3000$ méter között történik. Elenyésző azon szélcsatornák száma, ahol a magasság paraméterként állítható. Amennyiben mégis megvalósítható, akkor azt a nyomás változtatásával érik el. Figyelembe kell venni, hogy a nyomásértékek folyamatosan változását a természetben az időjárási körülmények határozzák meg, míg a szélcsatornában a gépezet bemelegedése is okozhatja. A sok változó kiküszöbölésére átszámított paramétereket használnak a mérések során, ilyen például az átszámított Mach-szám, melyet a forgószárny lapátvégi sebességénél alkalmazhatók. Olyan számokkal dolgoznak, melyek állandóak az adott körülmények mellett, mint a sűrűség, a forgószárny kerületi sebessége, és a súrolt felület. Ezekből az érté-

kekből számítható a vonóerő, és az előre mozgató erő. A felmerülő problémák elhátítására vezette be a NASA az IRAP³ programját [4].

Vizsgálat repülés közben

A NASA kutatásainak részét képezte a kibocsátott BVI zaj vizsgálata és csökkentése azért, hogy a helikopterek és a dönthető légsavarral rendelkező repülőgépek (konvertiplánok) megfeleljenek a polgári környezetvédelmi előírásoknak is. Az IRAP valós alternatívát nyújtott a szélcsatornákkal szemben, hiszen valós körülmények között, zavaró hatások nélkül váltak mérhetővé a zajok. Mikrofonokat helyeztek el a NASA halk, YO-3A típusú akusztikai kutató repülőgépe szárny- és farokvégein. A repülőgép zárt kötelékben repült a vizsgálandó helikopterrel, olyan közel amennyire lehetett, így mérve a BVI zajokat. Később a kapott eredményeket visszaellenőrzésképp összevetették a szélcsatorna tesztek eredményeivel.



1. ábra A program emblémája⁴

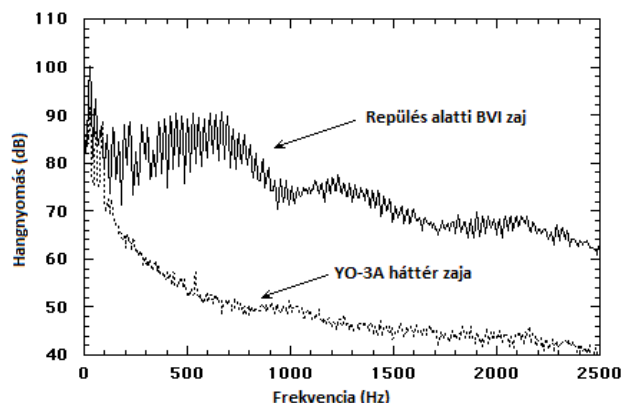
BVI zajok repülés közbeni mérése már az 1970-es években is voltak próbálkozások. A Bell UH-1H "Huey" típusú helikoptere volt a mérendő objektum, melyet egy mikrofonokkal felszerelt OV-1 Mohawk merevszárnyú motoros repülőgép kísért. 1979-ben az OV-1-est leváltották a jóval halkabb üzemű YO-3A-ra, amivel tovább folytatták az UH-1H-S, és az AH-1G Bell Cobra BVI zajának méréseit. A YO-3A a mérés eszköze maradt a további helikopterprogramok idején is (UH-60, YUH-61, YAH-63, vagy az AH-64 Apache). de a közelmúltban a McDonell Douglas MD500D helikoptert is kísérte [3]. IRAP tesztek nem csak helikoptereken hajtottak végre, még a szuperszonikus SR-71 Blackbird nagysebességnél keltett hangrobbanásait is vizsgálták a YO-3A-val, (természetesen nem kötelékben követve!). [6]

A YO-3A (Quiet Star) eredetileg a svájci SGS-2-32 vitorlázógép alapjaira épült. Az 1960-as évekre a Lockheed egy ultra halk repülőgépet álmodott meg a Dél-vietnámi térség fölé, ahol az megfigyeléseket végzett volna. Az X-26B és QT-2 (Quiet Trust) típusok mellett 1968-ra megépített 14 darab YO-3A-t. Az "Y" a prototípus modelleket jelölte, de ez megmaradt végig a repülőgép üzemeltetése során. Az "O" observation, azaz megfigyelőt jelentett. 210 LE Continental V-6 motorja már gyárilag zajcsökkentett működésre készült. Ezért a meghajtás fogaskerekek helyett szíjakkal történt, maximum 800 fordulat/min fordulatszámmal. Rétegelt lemezből készült légsavarjának hat lapátja szélesebbek volt az akkor szokásosnál. Később ezt, háromlapátos légsavarra cserélték. A kipufogógázokat a törzs oldalán vezették el eloszlatva,

³ IRAP - In-Flight Rotorcraft Acoustics Program - Repülés Közbeni Helikopter Akusztikai Program

⁴ Forrás: http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/images/YO-3A_logo.gif

így a zaj- és infravörös kibocsátás is mérséklődött. E módosításokkal a repülőgép zaja alig haladta meg a környezetit, így ideálisnak bizonyult a NASA kutatásaihoz (2–3. ábra) [5]. Ismeretes, ha két hangintenzitás szint között 10 dB-nél nagyobb a különbség, akkor az erősebb hang mintegy elnyomja a gyengébbet, azaz megjelenik az elfedés jelensége [1].



2-3. ábrák YO-3A és zajkibocsátása⁵⁶

A NASA és a US Army⁷ a kutatások érdekében mikrofonokat és adatgyűjtő rendszereket helyezt el a szárnyvégekre és a farokrésze. A 0,5 inch (1,27cm) átmérőjű mikrofonok egy lövedék formájú házban kaptak helyet, melyek porózusak voltak, hogy az akusztikai hullámokat átengedjék. Merev tartókon tűnyúltak a repülőgép szárnyfeszítáján (4. ábra), illetve a függőleges vezérsíkon, hogy a sárkányon keletkező örvények ne eredményezzenek mérési hibákat. [6]



4. ábra Mikrofon elhelyezkedése a szárnyvégeken⁸

Az IRAP teszteknel a YO-3A repült a kötelék élén, míg mögötte szorosan két-három forgószárny átmérő távolságyira a helikopter. Ennek az, az oka, hogy a BVI zajok nagy része a menetirányba terjedt. Azért, hogy a távolság a megengedett és előírt kereteken belül legyen, a helikopter másodpilótája egy kézi lézeres távolságmérővel ellenőrizte azt. Azokon a helikoptereken, melyeken nem voltak a célra alkalmas mérőeszközei, a NASA kifejlesztett egy hordozható adatrögzítő egységet, kiegészítve a mérőrepülőgép rendszerét, amely figyelembe vette a lézeres távmérő által detektált jeleket is. A két adatrögzítőt forgószárny-fordulatonként szinkronizálták [6].

⁵ Forrás: <http://rotorcrafterc.nasa.gov/Research/Programs/Images/YO3A-side.gif>

⁶ Forrás: <http://rotorcrafterc.nasa.gov/Research/Programs/Images/YO-3A-noise.gif>

⁷ Egyesült Államok hadserege

⁸ Forrás: <http://rotorcrafterc.nasa.gov/Research/Programs/Images/YO3A-stbd-mic.gif>

Az IRAP keretein belül 1991-ben kezdődtek meg a repülés közbeni mérések. A program célja a valós repülési körülmények között produkált zajadatok begyűjtése volt, melyeket a szélcsatorna tesztek eredményeivel vetettek össze. A programban eddig négy helikoptert vizsgáltak; 1991–92 között a Sikorsky S-76C-t, 1993-ban az MBB Bo 105-öt, 1993–94-ben a Sikorsky UH-60A-t, majd 1995-ben a dönthető légcaváros Bell XV-15 konvertiplánt [3].

Előnyök, hátrányok

A szélcsatorna tesztek előnye a precizitás, és az ismételhetőség. Hátránya legfőbbképp a zajmérésnél jelentkezik, melyek az eddig megismerteken túl különböző okokból adódhatnak. A legtöbb teszt nem magát a repülőgép törzsét állítja az áramlásba, hanem csak a forgószárnyat vizsgálja egy erre a célra alkalmazott platformon, aminek aerodinamikai tulajdonságai nem azonosak a valós repülőgéptörzsével, így kölcsönhatásuk vizsgálatára sem kerülhet sor. Más akusztikai jellemzőkkel bír a törzs és a forgószárny is ennek hiányában. Ezért lényegi szempont a valós körülmények közötti repülés megvalósítása. Az ilyen tesztek mellett szól az a tény is, hogy realisabb a helikopter kezelése a pilóta részéről repülés közben, tehát olyan konfigurációval repülnek, mely üzembiztos és ésszerű, ezzel szemben a szélcsatorna tesztek szabad kezett adnak a mérnöknek, és így olyan beállításokat tudnak létrehozni, melyek nem adják vissza a valós környezetben történő repülés paramétereit. Rendeltetésükből adódóan fontos, hogy a szélcsatorna tesztjei közel teljes mértékben reprodukálják a valós repülések körülményeit. Előnye a nyitott terű vizsgálatokhoz képest nyilvánvaló, hiszen egy ereszkedő helikoptert nehéz pontosan ugyanúgy kormányozni, mint az előző alkalommal, így a mérések pontossága megkérdőjelezhető. Ellenben a szélcsatorna teszt tökéletesen reprodukálható. A szabadban mért adatokat átlagolni, korrigálni szükséges, hogy összehasonlíthatóak legyenek. Ezt figyelembe véve alkották meg a YO-3A repülőgép mikrofonjai geometriai elrendezését, ami megfelel a szélcsatorna mikrofon elhelyezési előírásoknak [4].

A valós repülésnél a teszt körülményeit előre, alaposan meg kell tervezni, ami szélcsatornánál lényegesen egyszerűbb, mivel zárt körülmények között a repülési sebesség, forgószárny kerületi sebesség és teljesítmény egyszerűen állítható, ami repülés közben nehézségekbe ütközhet. IRAP repülések alatt figyelembe kell(ett) venni a YO-3A repülőgép minimális repülési sebességét, ami alatt – átesés miatt – mérések nem végezhetőek. A helikoptereknél nincs ilyen korlát. Néhány forgószárnyas és dönthető légcavárral rendelkező légijármű gyorsabb a YO-3A-nál, így a vizsgálat felső határa is korlátozott volt, bár ettől a limittől ezúttal eltekinthettek, hiszen a kutatási program olyan BVI zajokra fektet hangsúlyt, melyek leszállásnál és kis repülési sebességnél jelentkeznek. Továbbá, mivel a forgószárny vonóerő függőleges összetevője mindig a súlyerővel tart egyensúlyt, ezért repülés közben figyelembe kell venni az üzemanyag tömeg csökkenését, ami csökkenő hajtómű teljesítményt szükséges ugyanazon feladat végrehajtására az idő függvényében. Ez jelentkezik a mérési eredmények folyamatos változásában is. A szélcsatornában ez a körülmény sem létezik [4].

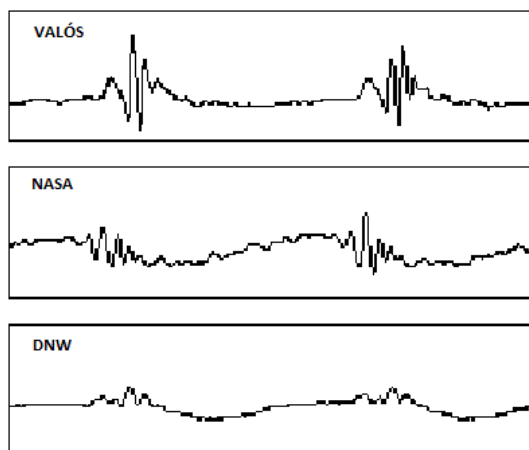
A távolság a mikrofon és a BVI zajok forrása között, kritikus mérési körülmény. Repülés közben a helikopter pilótája szorosan követi az YO-3A-at ügyelve az előírt repülési paraméterek pontos betartására, nem mellékesen a biztonságra. Nagyon előre döntött repülési helyzetnél a helikopter pilótája nem látja a mérőrepülőgépet a pilótafülke felső műszerfal paneljei miatt, így

az ütközésük lehetősége is fennáll. Ez egy újabb mérési korlát. Amennyiben a vizsgálat úgy kívánja, akkor a mikrofonok minimálisan távirányítással is mozgathatóak, csökkentve a baleset lehetőségét. Szélcsatornában a mikrofonok rögzítve vannak, továbbá a forgószárny bedöntésénél nem okoz gondot a geometriai elrendezés, hiszen itt nem történhet baleset. Repülés közben a megtartandó távolság 2–3 forgószárny átmérőnyi, melyet lézeres távolságmérővel ellenőriznek. Ezt, nem feltétlenül sikerül megtartani a pilótának, így akár pár méteres eltérés is lehet a két repülő eszköz között [4].

Beindul a program

Az új mérési eljárás - a hátrányaival együtt is – közelebb jár a valós eredményekhez, mint a szélcsatorna tesztek. Ezek tudatában időrendben először a Sikorsky S-76C típusú helikoptert vizsgálták repülés közben, majd a kapott eredményeket összehasonlították a szélcsatorna tesztek eredményeivel. Ezek döntő többsége igen nagy hasonlóságot mutattak. Ami lényegi eltérés volt, az a nagy sebességű, nagy beállítási szögű repülések akusztikájánál jelentkezett. Ebben az intervallumban jelentősen eltértek a grafikonok, így a szélcsatornás tesztek e része nem vehető figyelembe az eredmények kiértékelésénél, mivel nem tükrözi a valóságot. Lényegében több megállapítás nem történt az első IRAP teszt során, mivel döntően az akusztikai program működiképességének a vizsgálata történt. [7]

A második teszt a Messerschmitt-Bölkow-Blohm Bo 105 típusú helikopteren történt. Ezt a típust számtalanszor vizsgálták már akusztikailag és aerodinamikailag is. Korábban Európában is vizsgálat alá vetették a DNW⁹ szélcsatornában, majd a NASA Ames-i központjában. A DNW teszteket egy a valóditól 60%-kal kisebb méretű forgószárnyal végezték. Sajnálatos módon, a két szélcsatorna, és a valós repülési mérések is más eredményeket mutattak (5. ábra). Az indoklás szerint a trimmelés mikéntje, és a forgószárny forgatását biztosító mechanizmus geometriája és zaja miatt lehetett ez az eltérés, de a más alakú szélcsatorna falat is valószínűsítették lehetséges okként [8].



5. ábra A tesztek összehasonlítása¹⁰

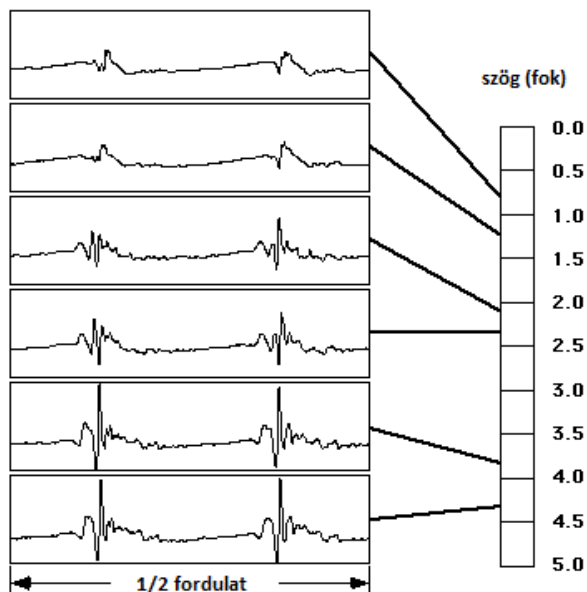
A YO-3A, a helikopterekkel kötélekbe repülve a forgószárny előrehaladó oldalán kissé alatta

⁹ DNW - Deutsch-Niederländischer Windkanal - Német-holland Szélcsatorna

¹⁰ Forrás: http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/IRAP_gifs/BO105-fig4.gif

helyezkedett el, így tökéletes BVI zaj lefedettség adódott. A NASA szélcsatornájában egy valós méretű forgószárnyat építettek, az e célra kifejlesztett meghajtási rendszerrel (RTA-ra¹¹). A mikrofonok típusa és elhelyezése mind a három tesztnél azonos volt (0,5 inches, működési tartomány 5Hz–20kHz) [8].

A 5–6. ábrán látható a mérések eredménye. A grafikonok a forgószárny előrehaladó félfordulatát szemléltetik, mely két lapátot érint. Jól megfigyelhetők a nagy amplitúdójú kiugrások, melyek a BVI zajok. Erősödést figyelhetünk meg, a lapátok beállítási szögének állításakor is. Megállapítható, hogy ennek növelésével nő az amplitúdó, vagyis nő a BVI zajok erőssége [8].



6. ábra Beállítási szög és a BVI zaj erősödése ¹²

Átfogó, a mai napig tartó teszt sorozatot végez/végzett a NASA a Sikorsky UH-60 Black Hawk helikopterén, mely szintén része volt az IRAP-nak. Együttesen vizsgálták a valós, és az arányosan csökkentett méretű modellt. Ezek az IRAP tesztek párhuzamosan folytak a NASA és a US Army kutatásaival, ami az "UH-60 Airloads Project"¹³ név alatt futott. Az IRAP UH-60 tesztjeinél az YO-3A, a helikopter bal oldalán, kissé előre, alacsonyabban helyezkedett el a forgószárny bekötéstől számítva 1,5 forgószárny-átmérőnyire, ami a szokásos távolság fele volt. A megnövelt számú szenzornak köszönhetően, egyidejűleg igen sok adatot nyertek a repülések során. Összesen 6 kötelékrepülés történt. A korábbi DNW szélcsatorna tesztek eredményeit sikerült rekonstruálni, annak ellenére, hogy a DNW-ben 1:5,73 arányú forgószárny modellt használtak [10]. Az eredmények az

¹¹ **RTA - Rotor Test Apparatus** - Forgószárny Tesztelő Berendezés (nem egyenlő az LRТА-val)

¹² Forrás: http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/IRAP_gifs/BO105-fig3.gif

¹³ Az Airloads Project-et az Egyesült Államok Hadserege finanszírozta, és adta a helikoptert hozzá. A cél átfogó, pontosan dokumentált terhelési adatok rögzítése olyan körülmények között, amire a helikopter hosszútávon számíthat, így az üzemeltetőket pontos forgószárny-tulajdonságokkal, az eddig ismert adatok finomításával láthatják el. Igen összetett szenzor-rendszerrel látták el a lapátokat, 221 nyomásérzékelő egy lapáton, és további 21 a lapátvég belépőélén. Vizsgálták a forgószárny strukturális terhelését, a lapátok mozgását, állapotát. Hét hónap alatt 31 repülést végeztek összesen 57 repült órában. A repülési manőverek érintettek minden eshetőséget, repültek vízszintesen és nagy terhelésű fordulókban is. [9]

Airloads Project keretein belül közzétették. 2000 után is további vizsgálatoknak vetették alá az UH-60A forgószárnyát, hiszen a modern katonai deszant-, és szállítókapacitás jeles képviselője napjainkig is ez a típus. A helikopter többek között részt vett a NASA SMART¹⁴ programjában is.

Az XV-15-ös konvertiplán az IRAP program következő, egyben időrendben az utolsó vizsgálati objektuma, mely ugyan nem helikopter, de légsavarjára jellemző a ferde átáramlási üzemmód. Szakértők szerint ez a forma és elrendezés lehet a jövő városi repülőgépeinek is az ideális megtestesítője. Mivel ilyen célokra (is) tervezik, alkalmazásukra sűrűn lakott területek felett kerülhet sor, ezért az akusztikai jellemzői fontosak. Nem csak az IRAP-on belül foglalkoztak a repülőgéppel, hanem a NASA SHCT¹⁵ programban is, ahol a légsavarjait szélcsatornában tesztelték. Ezek a dönthető légsavarok a hagyományoshoz képest sokkal nagyobb terhelés alatt üzemelnek. Üzem módjuknak köszönhetően eltérő akusztikai karakterisztikával rendelkeznek, ha egészében vizsgáljuk a zajkibocsátást a függéstől az egyenes vonalú repülésig. Mivel ez esetben is a BVI zajok mérése és elemzése a fő szempont, ezért az esetek igen nagy hányadában minimális hajtóműgondola bedöntés mellett vizsgálták a légsavart. A szélcsatornában az RTA platformra szerelték fel a légsavar teljes méretű modelljét. Mivel a hajtóműburkolat geometriai formája eltért a valós gondolától, így az akusztikai eredmények sem mutattak valós értékeket, ezért indokolt volt az IRAP programban való részvétel. A teszteket a texasi Bell Helicopter Repülési Teszt Központban hajtották végre. Összesen négy kötelékrepülést végeztek, a BVI zajokat mérésére. A YO-3A a jobb oldali légsavargondola előtt-alatt repült. Azért, hogy mérni lehessen a YO-3A-val, kénytelenek voltak a 90°-os merőleges gondolat megdönteni 80°-ra, és előrehaladó mozgást végezni legalább olyan vízszintes sebességen, ahol a mérőrepülőgép még minimális sebességgel repülhetett. Emellett 200 m/min süllyedéssel csökkent a meghatározott repülési pálya profilja, szimulálva a süllyedő, érkező repülőgépet, ahol a legnagyobb a BVI zajkibocsátás. A szélcsatorna tesztekénél a légsavar vizsgálatánál mérték az áramlási tulajdonságokat, a lapátvégek sebességét, a létrejött forgatónyomatékokat, megfelelő lapát beállítási szög és gondola-dőlésből adódó állásszög mellett [11].

Bizonytalan eredmények

A valós és a szélcsatorna tesztek közel azonos körülmények között zajlottak, az eredmények napjainkban is feldolgozás alatt vannak. Valószínűsíthető, hogy a NASA befejezettnek ítélte az IRAP-ot, hiszen továbblépés az eredmények értékelése ügyében nem történt, a feldolgozás 1996 óta tart. Feltételezhető, hogy a program kutatási eredményeit felhasználták későbbi projektekbe, mint például a S.M.A.R.T. program és az IBC, ahol ismét az UH-60A forgószárnyát vizsgálták.

¹⁴ **SMART** - Smart Material Advanced Rotor Technology - Intelligens Anyagokból álló Fejlett Forgószárny Technológia

¹⁵ **SHCT** - Short Haul Civil Tiltrotor - Rövid Hatótávolságú Polgári Konvertiplán



7. ábra A tesztprogram mérési anyagai¹⁶

Természetesen a repülés közbeni akusztikai méréseknek is vannak hibái, melyeket próbáltak kiküszöbölni. A mai napig nem lehet kijelenteni, hogy valóban sikerült tökéletes méréseket elvégezni, és úgy tűnik nem is törekednek erre a gyártók. Pillanatnyilag, a világviszonylatban jelentkező pénzügyi nehézségek forráselvonást eredményeznek minden területen, ami a kutatásoknál is másodrendűvé degradálhatja a zajcsökkentés kérdését.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. KÓSA Csaba - Munkavédelem, egészségvédelem I., BME, Budapest, 2005.
- [2] Kenneth S. BRENTNER, F. FARASSAT – Modeling aerodynamically generated sound of helicopter rotors, NASA Research Center, e-dokumentum. (2013-02-11)
- [3] <http://rotorcrafterc.nasa.gov/Research/Programs/IRAP.html> (2013-01-16)
- [4] http://rotorcrafterc.nasa.gov/Research/Programs/IRAP/irap_tech.html (2013-01-16)
- [5] <http://www.wmof.com/yo-3a.htm> (2013-01-17)
- [6] http://rotorcrafterc.nasa.gov/Research/Programs/IRAP/yo_3a.html (2013-01-23)
- [7] <http://rotorcrafterc.nasa.gov/Research/Programs/IRAP/IRAP-S76.html> (2013-02-24)
- [8] <http://rotorcrafterc.nasa.gov/Research/Programs/IRAP/IRAP-BO105.html> (2013-02-24)
- [9] http://rotorcrafterc.nasa.gov/Research/Programs/uh_60_test_summary.html (2013-02-24)
- [10] <http://rotorcrafterc.nasa.gov/Research/Programs/IRAP/IRAP-UH60.html> (2013-03-01)
- [11] http://rotorcrafterc.nasa.gov/Research/Programs/IRAP/IRAP_XV-15.html (2013-03-06)

¹⁶ Forrás: <http://rotorcrafterc.nasa.gov/Research/Programs/IRAP.html>, saját szerkesztés