

Csák Attila¹

HELIKOPTEREK NAGY SZENNYEZETTSÉGŰ TERÜLETEN TÖRTÉNŐ ÜZEMELTETÉSÉNEK SPECIÁLIS KIHÍVÁSAI ÉS A NEGATÍV HATÁSOK CSÖKKENTÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI²

A Magyar Honvédség kijelölt helikopter hajózási és repülőműszaki szakemberei a NATO felé tett felajánlások keretében Afganisztánban teljesítenek szolgálatot. Ezen a missziós területen a különböző környezeti hatások miatt az általuk üzemeltetett helikopterek speciális igénybevételnek vannak kitéve, így katonáink olyan tapasztalatokra tehetnek szert, amelyre itthon nem lenne lehetőség. A cikk keretében röviden ismertetem az általuk tapasztalt nehézségek műszaki okait, továbbá az itt felmerülő technikai problémák megoldására az utóbbi évtizedben tett erőfeszítéseket és azok eredményeit.

THE DIFFICULTY OF HELICOPTER MAINTENANCE IN HIGH POLLUTED AREA AND THE METHODS OF REDUCING THE HARMFUL EFFECTS OF THE DESERT ENVIRONMENT

The appointed staff of helicopter pilots and the maintenance crew of the Hungarian Defence Forces serve in Afghanistan. In this operational area the extreme circumstances caused by the desert environment result severe technical problems, that have to be solved by specialists. With this the Hungarian staff can gain special professional experience. In this publication I set forth the difficulties experienced by them; moreover I summarize the achievements in the issue of reducing these harmful effects reached in the last decade.

Különböző technikai eszközök fejlesztésénél az egyik fontos tényező, melyet a szakembereknek feltétlenül ismerni kell az üzemelés várható helye és az ott uralkodó meteorológiai, geológiai viszonyok, legyen szó akár egy egyszerű prészszerzáróról, akár egy nagy bonyolultságú komplett rendszerről, mint például egy atomerőmű. Már a tervezési folyamat elején tudni kell, hogy a „készterméket” milyen hatások érik majd folytatódólagosan tervezett működése során. Különösen igaz ez a gondolatmenet a repülésben, ahol emberéletek múlhatnak azon, ha nem veszik kellően figyelembe a külső hatásokat.

A téma jelentőségének megfelelően számos rövid cikk, tanulmány, tudományos dolgozat született már e tárgyban. Ami mégis aktualitást ad jelen cikkemnek, az egyrészt a Magyar Honvédség afganisztáni szerepvállalása keretében dolgozó Air Mentor Team és Air Advisor Team váltásaiban dolgozó szakemberek személyes tapasztalatai, továbbá a helikopterek, repülőgépek hajtóművei által beszívott szilárd szemcsék káros hatásainak csökkentésére új eljárások alkalmazása vált lehetővé, a technológiai fejlődésnek köszönhetően.

¹ okl. mk. főhadnagy, attilacsak@freemail.hu

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



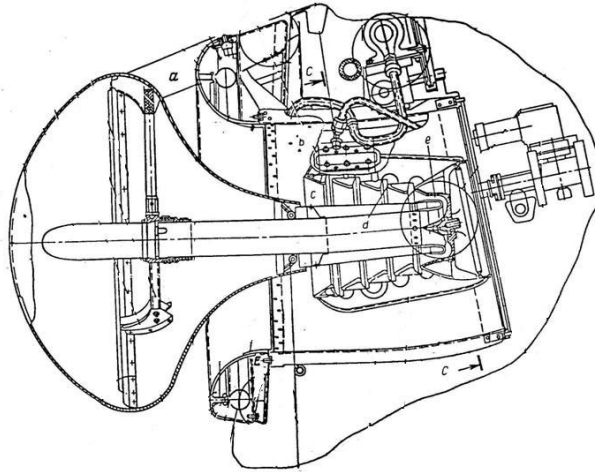
A MISSZIÓK JELENTIK...

Az Afganisztánban szolgálatot teljesítő magyar hajózó és műszaki állománynak nem csak a háborús viszonyokkal, a hazaitól gyökeresen eltérő kultúrával kell nap, mint nap megküzdniük, hanem a nagy forrósággal, a nagy tengerszint feletti magassággal, illetve a sivatagos környezet miatt a levegő magas portartalmával is. A nagy meleg a hajtóművek teljesítményét, a hegyes vidéken a tengerszint feletti magasság miatt a kis sűrűségű levegő a helikopterek manőverező képességét csökkenti. A nagy mennyiségű homok pedig a légijárművek élettartamát rövidíti meg és ad többletmunkát az üzemeltető állomány számára. [1] A műszaki személyzet tapasztalata alapján az Afganisztánban repülő Mi-24-es típusú helikopterek hajtóműveinek élettartama a kompresszor és turbina lapátok kopása miatt körülbelül három év. Ez a szám akkor igazán sokatmondó, ha tudjuk, hogy a típuson alkalmazott TV3-117 hajtóművek javításközi üzemideje akár a 8 év vagy az 1500 repült óra.

A VÉDELEM MÓDSZEREI

A fent említett tapasztalatok már régóta ismertek a pilóták illetve a mérnökök által, így ennek megfelelően már elterjedt műszaki megoldások léteznek a hajtómű által beszívott poros levegő általa okozott károk csökkentésére. Az egyik kézenfekvő eljárás a munkaközeg minél nagyobb fokú megtisztítása, a szilárd szennyező anyagok lehető legnagyobb mértékű eltávolítása. A legegyszerűbb megoldásnak tűnik a hajtómű elé beépített mechanikus porszűrők alkalmazása. A repülés e területen is különleges követelményeket támaszt. Nem engedhetőek meg az olyan technikai megoldások, mint például a dugattyús motorok esetében használt sűrű szövésű acélháló vagy az olajjal átitatott papírszűrő. Ezen berendezések nagymértékű áramlási veszteségeket okoznak, így gázturbinák esetében nem alkalmazhatóak. Hasonló problémák miatt nem alkalmaznak repülőgép hajtóművekre építve ütközésszerű vagy zsarus leválasztókat, porkamrákat, ciklonokat, rétegszűrőket, nedves porleválasztókat, illetve mágneses térrel működő porleválasztókat sem. [2]

A repülőiparban elterjedt porszűrő berendezések működési elvükben a ciklon típusú szűrőkhöz hasonlítanak a legjobban. A szemcsék eltávolítása az áramlási irány változtatásának elvén történik, tehát a szennyezők a tehetetlenségük miatt fogva nem tudják követni a levegő áramvonalait és a centrifugális erő hatására elkülönülnek. A jelentős különbség azonban az, hogy míg az átlag ciklon szűrőkben a levegő az örvénycsőben számos iránytöréssel megy keresztül, (a nagy szűrési hatékonyság okán) addig ez a helikopter hajtóművek esetében ez nem engedhető meg. A Magyar Honvédség csapatai által is használt Mi-24 illetve Mi-17 típusú helikoptereken üzemelő PZU típusú berendezések is ezen az elven működnek.



1. ábra A TV3-117 típusú hajtóműveken alkalmazott porkiválasztó berendezés a PZU

Hasonló eszközöket találhatunk a világ más nagy repülőgyárai által fejlesztett repülőgépeken is, bár ezeknek a porkiválasztóknak is megvannak a maguk technikai korlátai. Az általuk elérhető hatásfok a teljes szemcseméret tartományban soha sem éri el a 100%-ot, sőt jelentősen elmarad attól. Vagyis elkerülhetetlen, hogy a szennyezés egy része el ne jusson a kompresszor-, illetve a turbina lapátokhoz, azok nagymértékű, rendellenes kopását okozva.

CIRKÓNIUM-DIOXID A JÖVŐ?

Ennek a káros hatásnak a csökkentésére a lapátok bevonattal történő ellátásával kísérleteznek a szakemberek. A kutatások során az Ohio State University mérnökeinek sikerült áttörést elérni a cirkónium-dioxid (a) alkalmazásával. [3]

A hajtóművek gazdaságos üzeméhez elengedhetetlen a minél magasabb hőmérsékleten lezajló égési folyamat. A kezdeti hajtómű típusokon a turbina belépő keresztmetszetén jelentkező hőmérséklet (T_3^*) értéke 1000 C° körül alakult, míg egy mai korszerű hajtómű azonos jellemzője 1400 C° is lehet. Ehhez az egyéb más konstrukciós megoldások (pl. szekunder levegő leválasztása hűtésre) mellett a lapátok anyagának vékony hőálló és hőszigetelő kémiai réteggel történő ellátása vagy maga a lapát speciális anyagból történő gyártása (kerámia lapátok) szükséges. Az ilyen eljárással készített turbina fokozatokban a beszívott homok a magas hőmérséklet hatására megolvad, s mintegy forró üveg bejut a pórusokba, pedig azok szükségesek ahhoz, hogy a bevonat a lapát hőtágulásból fakadó méretváltozásait kövesse. A káros hatás abban érvényesül, hogy az így jelenlévő üveg a hajtómű leállításánál kihűl és merevvé, rideggé válik. Így az üvegréteg megakadályozza, hogy a lapát eredeti bevonata - az előre kiszámolt módon - együtt táguljon, zsugorodjon a lapát magjának anyagával. Végül a kerámia bevonat sérül, megnő a lapát hőterhelése, ezzel pedig csökken a várható élettartama.

Erre a problémára kínál megoldást a Nitin Padture professzor és csapata által kidolgozott eljárás. A Julie Drexler-rel és Andrew Gledwill-lel az egyetem PhD hallgatóival végzett kísérletek során három különböző mintát kemencében hevítettek a korszerű hajtóművek égésterében uralkodó hőmérsékletre. A kontroll (hagyományos felépítésű) lapát mellett az egyik kísérleti darab bevonata cirkóniát (ZrO_2) és korundot, míg a másik egy gadolínium-cirkonát alapú anyagot tartalmazott.

A teszt értékelése során vizsgálták a lapátok keresztmetszetét. Kiderült, hogy a hagyományos lapát bevonatának pórusain keresztül az olvadt szennyeződés elérte a lapát anyagát, míg a másik két esetben erre nem került sor. A cirkónia-korund kombinációnál anortit jött létre, míg a gadolínium-cirkonát esetében apatit réteg alakult ki. Ez a kémiai reakció akadályozza meg, hogy az olvadt homok eltömje a pórusokat, így megmarad a védő bevonat rugalmassága. Továbbá az új eljárás előnye, hogy a Pature és csapata által előállított felületi réteg az üzemidő során nem kopik, hanem beépíti magába a szennyezést jelentő homok szemcséket. Azon a hőfokon, amelyen a homok megolvad, a cirkónia és ezzel a beágyazott alumínium és titán olvadása is bekövetkezik, amely fémek beépülnek az üvegbe és stabil kristállyá alakulnak. Így az „üveg” egy új kerámia bevonatot képez az eredeti helyett és ez a folyamat ciklikusan ismétlődik, ezáltal folyamatosan megújítva a védőréteget. Az eljárás nagy előnye, hogy alkalmazásával tovább növelhető a T_3 hőmérséklet, vagyis tovább nő a hatásfok. [4][5]

Ez utóbbi tulajdonság, vagyis a bevonat megújulása a gyakorlati alkalmazás szempontjából rendkívül nagy haszonnal jár. Azonban nem szabad elfelejteni, hogy a műszaki területen mindenre megoldást kínál, minden körülmények között tökéletesen működő eljárások nem léteznek. Minden technikai megoldásnak, megvannak a maga korlátai. Jelen esetben ez azt jelenti, hogy szilárdsági illetve áramlástan okok miatt a cirkónium-dioxid bevonat vastagsága nem növelhető korlátlanul, így az elnyelhető homokszemcsék mennyisége is korlátozott. Tehát továbbra is szükség van porszűrők alkalmazására.

A NUMERIKUS ÁRAMLÁSTAN, MINT MEGELŐZÉS

A számítástechnika fejlődésével új lehetőségek nyíltak meg az fizikai folyamatok, így például különböző áramlástan problémák modellezésére is. A korábban használt, a megmaradási elveken alapuló számítási eljárások számos gyakorlati problémára nem adtak megfelelő eredményt, mivel a külső hatásokat nem tudták megfelelően leírni. A valóságot jobban közelítő úgynevezett Navier-Stokes megmaradási egyenletek (amelyek a folytonos áramlási jelenségeket a külső hatásoktól függetlenül képesek leírni) megoldására a nagy számítási kapacitású processzorok megjelenése előtt nem nyílt mód, mivel a Navier-Stokes-egyenletrendszer nemlineáris, másodrendű, hibrid típusú, melynek nem létezik zárt alakban megoldása.[2] Ezek részletes kifejtése meghaladja jelen cikkem terjedelmét, nem is célom ezek ismertetése, sokkal inkább az ilyen egyenleteket használó, kereskedelmi forgalomban kapható szoftverek által elérhető eredmények illetve gyakorlati felhasználásuk bemutatása.

Korábban már a Budapesti Műszaki- és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója szakdolgozatában vizsgálta a fentebb már bemutatott PZU típusú porkiválasztó berendezés működésének hatékonyságát a numerikus áramlástan (CFD, Computational Fluid Dynamics) módszerével. [2] Vizsgálataihoz egy szabadon megvásárolható programot, a FLUENT-et alkalmazta. A szakdolgozat eredményeként nemcsak a jelenleg üzemelő Mi-24 típusú helikopterek hajtóműveinek porkiválasztóit elemezte a portalanítási fok, illetve a hajtómű előtti nyomásesés szempontjából, hanem nagyobb hatékonyságú alternatívákat is keresett. Az eredeti geometria és annak módosításával megvalósított változatok mellett vizsgált az eredetitől jelentősen eltérő megoldásokat is, mint például NACA-profil vagy a Cranfield University szakemberei által kifejlesztett profil alkalmazását. Ez utóbbiak eredményeitől azonban jelen esetben eltekintek, hiszen azt kívánom

a bemutatni, hogy a numerikus áramlástan módszerével az olyan apró geometria változtatások hatása is vizsgálható, amely hagyományos úton, szélcsatornában végzett kísérletekkel rendkívül nehézkes és pontatlan eredményt adna.

Az alábbi táblázatok tartalmazzák a számítási eredményeket az A, B illetve C-vel jelölt különböző változatokra. Az „A” variáns jelöli a gyári beállítású berendezést. A „B”-vel jelölt módosítás esetében a PZU porleválasztó gyűrűinek beállítási szöge 5°-kal meg lett növelve, míg az utolsó „C” verziónál ugyanez az érték az eredetinel 5°-kal kisebb. A gyűrűk modellezett formája és elhelyezkedése, az áramlási csatorna geometriája és a légáram minden paramétere a vizsgálatok során változatlan volt. A számítások során a porkiválasztó berendezés minőségének megállapításához vizsgálták a portalanítási fokot (b), a torlóponyi nyomásesést (c), illetve az ebből eredeztethető dimenziótlan nyomásveszteségi tényezőt (d), ω -t.

Az alábbi táblázatban látható, hogy a porszűrő berendezés a teljes szemcsemennyiségnek mekkora hányadát képes eltávolítani a porszemcsék átmérőjének függvényében. Nagyon kisméretű szemcsék esetében ($d < 10^{-5}$ [m]) nem látható számottevő különbség a hatékonyságban, azonban e méret felett mindkét módosított berendezés nagyobb mértékben képes az idegen anyagok eltávolítására. A $d > 10^{-4}$ [m] mérettartományban és felette a három módosítás eredményessége közötti különbség elmosódik.

<i>Szemcseméret</i>	<i>Portalanítási fok (%)</i>		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
10^{-6} [m]	10	10	10
5×10^{-6} [m]	25	25	25
10^{-5} [m]	54	56	52
$2,5 \times 10^{-5}$ [m]	100	100	100
5×10^{-5} [m]	85	99	92
8×10^{-5} [m]	92	98	95
10^{-4} [m]	88	84	92

1. táblázat A vizsgált változatok portalanítási foka szemcseméret függvényében. A táblázatban szereplő adatok diagramból kerültek leolvasásra. A leolvasási pontatlanság miatt az értékek eltérhetnek a program által számítottól, azonban a variánsok közötti különbséget és azok mértékét megfelelő pontossággal jellemzik.

Azonban mit sem ér a nagyobb szűrési hatékonyság, ha a porkiválasztó berendezésen létrejött nyomásveszteség akkora, hogy az a hajtómű teljesítményének túlzott mértékű csökkenését idézi elő. Ezt a szempontot is figyelembe véve három variáns közül a „B”, vagyis az 5°-kal növelt beállítási szögű bizonyul a legkedvezőbbnek, mivel ennek a nyomásveszteségi tényezője a legalacsonyabb, míg az elérhető portalanítási fokot tekintve a legszélesebb szemcseméret tartományban nyújtja a legjobb hatásfokot.

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<i>Torlóponyi Nyomásesés (Pa)</i>	2067	2027	2468
ω	0.5618	0.5509	0.6636

2. táblázat A torlóponyi nyomásesés, illetve a nyomásveszteségi tényező mértéke a vizsgált változatok esetében.



KONKLÚZIÓ

A fentiek alapján kijelenthető, hogy a modern számítógépes tervezési módszerekkel nagyobb pontosságot érhetünk el. Így a fejlesztésre fordított idő és költség jelentősen csökkenthető, de nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy minden számított eredményt gyakorlati vizsgálatokkal is bizonyítani kell. Ha emellett figyelembe vesszük, hogy az anyagtudományi kutatások laboratóriumban elért vívmányai a gyakorlatban is beváltják a hozzájuk fűzött reményeket akkor kijelenthető, hogy számottevően növelhető a sivatagi körülmények között üzemelő repülőeszközök hajtóműveinek élettartama. Ezzel pedig jelentős költségeket takaríthatnak meg a repülőeszközök üzemeltetői.

MAGYARÁZAT

- A cirkónium négy vegyértékű kémiai elem; jele:Zr; atomsúly: 90 g. [6] Egyik vegyülete a cirkónium-dioxid (ZrO_2). Előállításához ásványait cirkónhomokot vagy cirkónföldet használnak. Nagyon magas, mintegy $2700\text{ }^\circ\text{C}$ -os olvadásponttal rendelkezik. A hőmérséklet változása során fázis átalakulások mennek végbe az anyagszerkezetében, amely repedéseket eredményez. Emiatt önmagában nem alkalmazzák, viszont adalékokkal kiváló tulajdonságú kerámiák gyárthatóak belőle. [7]
- Portalanítási fok: Az eltávolított és a közeg által eredetileg tartalmazott összes szemcsemennyiség aránya százalékban.
- Torlóponyi nyomásesés: A hajtóműre felszerelt porkiválasztó berendezés csökkenti a hajtómű teljesítményét, mivel a rajta keresztül szívott levegő torlóponyi nyomása – és ezzel a hajtóműben lezajló kompresszió végnyomása - alacsonyabb, mint a környezetből közvetlenül szívott levegőé lenne.
- Nyomásvesztési tényező (ω): A torlóponyi veszteséget jellemző dimenziótlanított mennyiség. Képlete:

$$\omega = \frac{P_{in0} - P_{out0}}{\frac{1}{2} \rho v_{in}^2},$$

ahol p_{in0} és p_{out0} a torlóponyi nyomások a ki- és belépő peremen; a ρ a közeg sűrűsége; a v_{in}^2 pedig a sebesség felület elemből kifelé mutató, normál irányú összetevője.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] KOLLER József ezredes: Szállító és harci helikopter erők missziós felajánlásainak jelenlegi helyzete, a légi kiképzéstámogató csoport (AIR MENTOR TEAM) végrehajtott misszióinak gyakorlati tapasztalatai. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2011
- [2] MÓRO CZ László Gyula: A Mi-24-es helikopter porkiválasztó berendezésének vizsgálata. Budapesti Műszaki- és Gazdaságtudományi Egyetem, Szakdolgozat, Budapest, 2004
- [3] Julie M. DREXLER, Andrew D. GLEDHILL and Nitin P. PADTURE: Jet Engine Coatings for Resisting Volcanic Ash Damage, (8 APR 2011) DOI: 10.1002/adma.201004783
- [4] RITZINGER György: Mérnökbázis, e-dok, url: <http://www.mernokbazis.hu/cikkek/birjak-a-forrosagot> (2013. március 11.)
- [5] RITZINGER György: Mérnökbázis, e-dok, url: <http://www.mernokbazis.hu/cikkek/hogyan-v%C3%A9dhetj%C3%BCK-meg-a-rep%C3%BCI%C5%91g%C3%A9p-hajt%C3%B3m%C5%B1veket-avulk%C3%A1ni-hamut%C3%B3I> (2013. március 11.)
- [6] Cirkónium szócikk, Kislexikon, e-dok, url: www.kislexikon.hu, (2013. március 11.)
- [7] FLED RICH Gellért: Cirkónium-dioxid kerámiák esztergálása. PhD értekezés, Szent István Egyetem, 2011