

25. ábra. CH-47 Chinook helikopter jobb oldali, Lycoming T55-GA-714A típusú turboshaft hajtóműve [36]

Varga Béla*

A gázturbinás repülőgép-hajtóművek fejlesztési irányai III. rész

A szerző, tanulmányorozata előző részében – a gázturbinás propulziós rendszerek bemutatása során –, ismertette a turbólégcsavaros (Turboprop) hajtóművek szabadturbinás és egytengelyes hajtómű-elrendezésű típusait, majd a turboshaft hajtóművek első két generációját mutatta be. Ebben a kategóriában először a kis teljesítményű segédhajtóművek készültek el (Auxiliary Power Unit – APU), amelyek feladata a repülőgépek főhajtóműveinek indítása, a fedélzeti elektromos energiaellátó rendszer táplálása, és a légkondicionáló rendszer levegővel történő ellátása. A szerző, sorozatának 3. részében folytatja a hajtóműgenerációk ismertetését, majd a segédhajtóművek tulajdonságait és feladatait elemzi.

A következő generációs szovjet helikopterek erőforrása a TV3-117 hajtóműcsalád. Kialakításában hasonlít a TV2-117A hajtómű szerkezetére, eltekintve a két további kompresszorfokozattól, amelyek nagyobb kompresszor-nyomásviszonyt biztosítanak, valamint a TV3-117 hajtómű tömegárama némileg magasabb. Ezeket a hajtóműveket alkalmazták majdnem az összes – a Mil Mi-8SMT, a Mi-17-es, a Mi-14-es, a Mi-24-es, a Mi-25-ös, a Mi-35-ös, a Mi-28-as, a Kamov Ka-27-es, a Ka-28-as, a Ka-29-es, a Ka-31-es, a Ka-32-es, a Ka-50-es és a Ka-52-es – orosz közepes szállító- és harci helikopterben, bizonyítva megbízhatóságukat. [29] Természetesen a turboshaft hajtóművek a legtöbb gyártó cég számára vonzó terméké váltak, és manapság 10-12

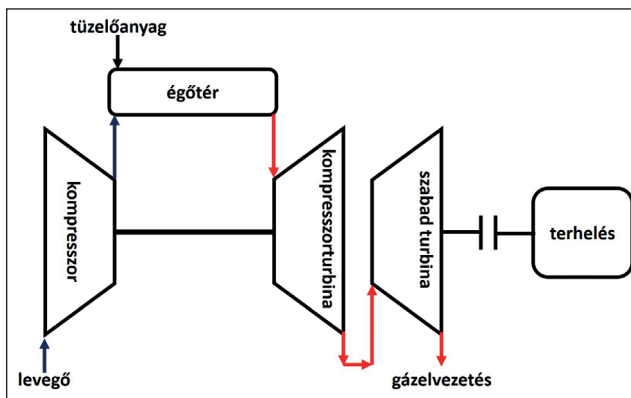
gyártó uralja a piacnak ezt a szegmensét. Típusaiknak, illetve azok modifikációinak száma szinte megszámlálhatatlan.

Az 1960-as évekre kialakult a turboshaft gázturbinák ma is alkalmazott, klasszikus elrendezése (26. ábra), amely leginkább a szabadturbiná alkalmazásában nyilvánult meg. Az úgynevezett gázgenerátor-egység (kompresszor, égőtér, kompresszorturbina) nincs mechanikai kapcsolatban a szabadturbinával, amely lehetővé teszi, hogy a forgószárny fordulatszáma független legyen a gázgenerátor-egység fordulatszámától. Ennek megfelelően a szabadturbiná csak gázdinamikai kapcsolatban van a gázgenerátor-egységgel, vagyis a kompresszorturbinán munkát végző közeg maradék energiája a szabadturbinában hasznosul, biztosítva a szükséges tengelyteljesítményt.

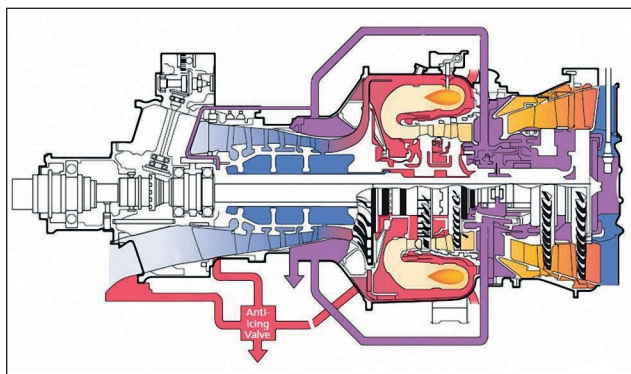
Bár az elv nem változott az 1950-es évek óta, a helikopter-hajtóművek jelentős fejlődésen mentek keresztül. Az elrendezés annyiban módosult, hogy gyakorivá vált a fordított áramú égőtér,¹¹ és a turbinafokozatok egy része bekerült az égőtérház alkotta gyűrűbe. Sok esetben frontkihajtást alkalmaznak úgy, hogy az első fordulatszám-csökkentő fokozat a hajtómű része. Ennek hatására a hajtóművek kompaktabbá váltak, tömegük is csökkent. Fajlagos mutatóik és termikus hatásfokuk a turbina előtti gázhőmérséklet növekedésének hatására annak ellenére javultak, hogy az előző szerkezeti változtatások sokszor inkább negatív hatást gyakoroltak ezekre a mutatókra.

* Alezredes (PhD), egyetemi docens, NKE HHK Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék ORCID: 0000-0003-3454-0825





26. ábra. A turboshaft hajtóművek ma is alkalmazott kialakításának elvi vázlata (A szerző szerkesztése)



27. ábra. A Rolls-Royce Turbomeca RTM322-es hajtómű szerkezeti vázlata [30]

A Rolls-Royce Turbomeca RTM322-es hajtómű hosszmetzeti vázlatán jól láthatók ezek a szerkezeti jellegzeteségek (27. ábra). A kompresszor 3-5 axiális fokozatát egy ugyanazon tengelyre szerelt centrifugál kompresszor fokozat követi. A centrifugál fokozat alkalmazásának oka, hogy képes kiváltani 4-5 axiális fokozatot.

Ez egyrészt csökkenti a hajtómű hosszúságát, másrészt, a centrifugális kompresszoroknak ugyan általában rosszabb a politrópus hatásfoka, mint az axiális kompresszoroknak, de a kis levegőszállítás miatt az utolsó fokozatok alacsony lapátmagassága axiális kompresszor esetén még a centrifugál kompresszornál is rosszabb politrópus

hatásfokot produkálna. A fordított áramú égőtér szintén csökkenti a hajtómű hosszúságát, bár ez némileg növeli az égőtérben bekövetkező nyomásvesztéséget. A turbinalapátok az első fokozatokban hűtöttek, bár a turbina előtti gáz hőmérséklet alacsonyabb, mint általában a többi gáz-turbinakategória esetében. A szabad-turbina-lapátok jellemzően nem, vagy csak minimálisan hűtöttek. A gázvezető rendszer csak a munkát végzett gáz szabadba vezetésére szolgál.

A 28. ábra is egy korszerű helikopterhajtóművet ábrázol, amely az MTU Aero Engines AG terméke, és párosan beépítve az Airbus Helicopters Tiger erőforrását biztosítja.

A fenti hajtóművekhez képest újdonság, hogy itt az első axiális kompresszor-fokozatokat is felcserélték egy centrifugális fokozatra. Ez rövidebb és kompaktabb elrendezést biztosít, csökkenti a pompázás hajlamot, és kis levegőfogyasztás mellett is elfogadható kompresszor- és turbina-hatásfokot eredményez. A 5. táblázat szemlélteti a hajtómű két változatának teljesítmény-, tömeg- és méretadatait.

Összegezve a napjainkban alkalmazott turboshaft hajtóművek jellemzőit, általában a következő hajtóműadatokkal találkozhatunk:

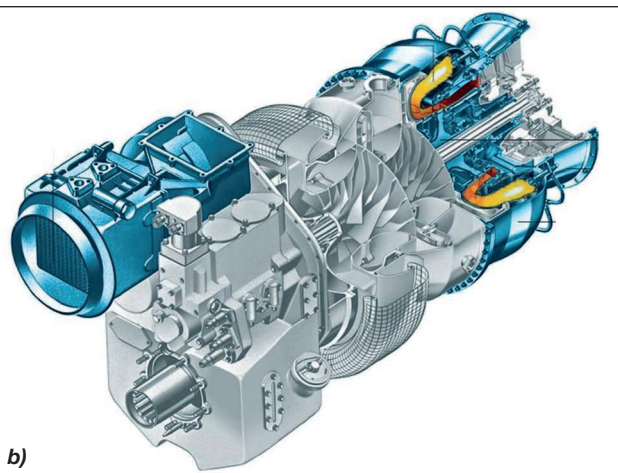
- tengelyteljesítmény: 200–3700 kW;
- kompresszor-nyomásviszony: 7–16;
- levegőfogyasztás: 2–15 kg/s;
- turbina előtti gáz hőmérséklet: 1100–1500 K;
- termikus hatásfok: 20–35%;
- fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás: 0,25–0,43 kg/kWh;
- hajtóműtömeg: 80–400 kg.

KISÉGÍTŐ HAJTÓMŰVEK (AUXILIARY POWER UNIT – APU)

A segédenergia-egységek olyan kis méretű gázturbinák (turboshaftok), amelyek a tolóerő képzéshez közvetlenül nem járulnak hozzá, mivel alapvető feladatuk a különböző fedélzeti rendszerek (elektromos, pneumatikus, hidraulikus) energiaellátása. Biztosítják például a hajtóművek indítását, ellátják levegővel az ECS-t¹³, vészhelyzet esetén elektromos táplálást biztosítanak a fülke berendezései számára. (29. ábra)

- Gázgenerátor-egység, amely a szükséges tengelyteljesítményt biztosítja. Tüzelőanyaggal történő ellátása a repülőgép tüzelőanyag-rendszeréből történik.
- A munkakompresszort a gázgenerátor tengelyére rögzítették, amely a szükséges levegőt biztosítja a repülőgép ECS-rendszere számára, amíg a működő hajtó-

28. ábra. Az MTR390 típusú hajtómű az Airbus Helicopters Tiger erőforrása és metszeti képe [31]

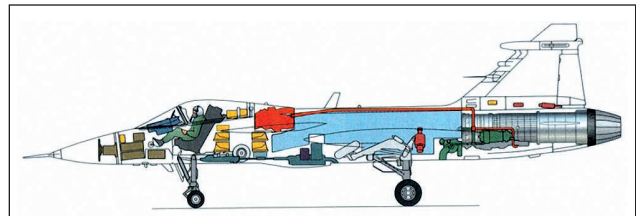


5. táblázat. Az MTR390-es hajtóműváltozatok legfontosabb adatai (beépítés előtt, NEL¹² H = 0 m) [31]

Jellemző paraméterek	MTR390-2C	MTR390E
Felszálló-teljesítmény [kW]	958	1094
Vészteljesítmény (30s) [kW]	1160	1322
Maximális folyamatos teljesítmény [kW]	873	1000
Fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás (felszálló) [kg/kWh]	0,284	<0,299
Fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás (max. foly.) [kg/kWh]	0,280	<0,293
Levegőfogyasztás (felszálló) [kg/s]	3,2	3,6
Kompresszor-nyomásviszony (felszálló)	13	14
Szabadturbina tengelyfordulatszám [1/perc]	8320	8320
Hosszúság [mm]	1078	1078
Szélesség [mm]	442	442
Magasság [mm]	682	682
Tömeg [kg]	169	<179



29. ábra. Napjainkban az Airbus A380 típuson alkalmazott PW 980A APU a legerősebb 1,3 MW teljesítményű segédhajtómű [32]



30. ábra. Az APU (zöld színnel jelölve) és az ECS (narancs-sárgával jelölve) elhelyezése egy korszerű harci repülőgépen [33]

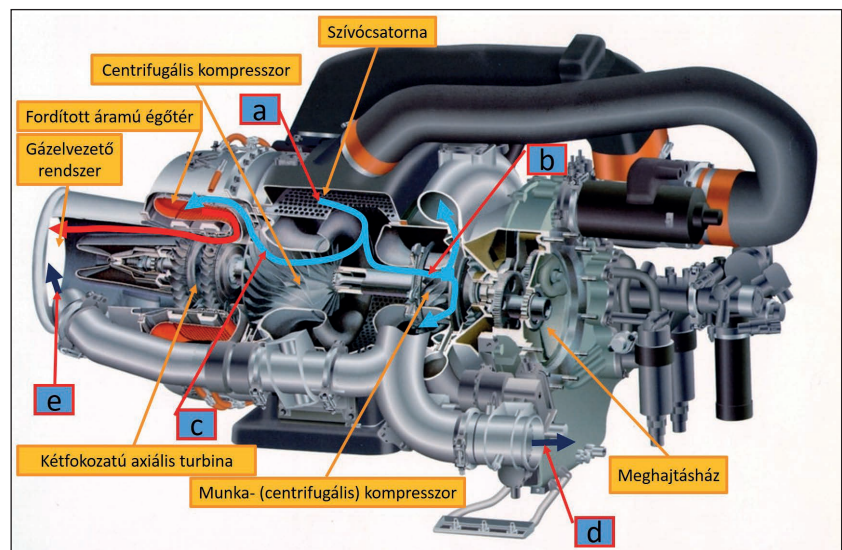
a repülőgép-hajtómű (többhajtóműves elrendezésnél az első) indító légturbinája számára, valamint ellátja levegővel a repülőgép fülke- és utastérűtésére és -hűtésére is használt ECS-t. Valójában így függetleníti a repülőgépet a földi kiszolgáló berendezésektől, lehetővé téve az önálló indítást, valamint szükségtelenné teszi a hajtómű beindítását

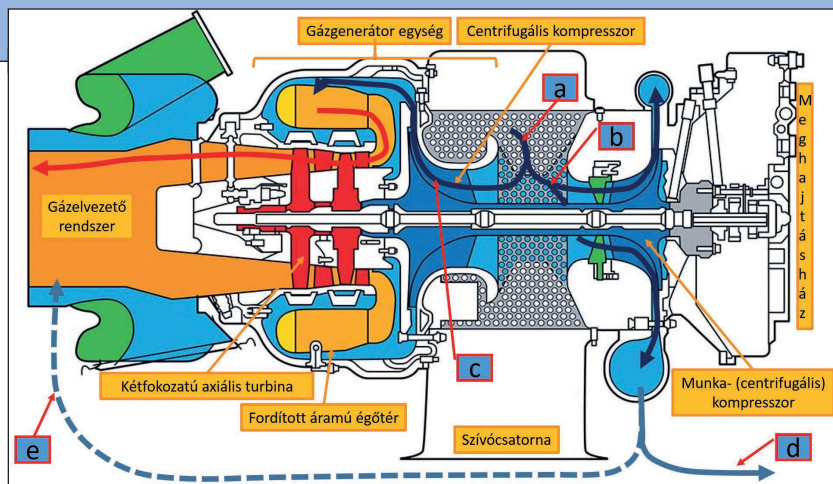
művek megcsapolása nem lehetséges. A munkakompresszorba belépő levegő mennyiségét előperditő lapátkoszorú szabályozza, egy pompázsgátló szelep pedig a kompresszor stabil működését teszi lehetővé. Előfordul, hogy munkakompresszor helyett az APU gázgenerátor kompresszorától vezetnek el levegőt a különböző felhasználási helyekre.

- A meghajtáshoz biztosítja az olajhűtésű generátor, valamint az APU saját segédberendezéseinek meghajtását is, továbbá a saját indítómotor is ezen keresztül adja át a szükséges nyomatékot az indításkor, amelynek táplálása a repülőgép akkumulátorairól történik (így a kis méret miatt nincs jelentős áramfelvétel).

A kisegítő hajtómű munkakompresszora szolgál sűrített levegő forrásként

31. ábra. A Honeywell 131-9 típusú APU metszete (A szerző szerkesztése a [34] alapján)





32. ábra. Az APU és a kapcsolódó rendszerek sematikus vázlata (A szerző szerkesztése [35] alapján)

miközben az utasok érkezését várják, ezzel megtakarítva a tüzelőanyagot és a hajtómű-üzemidőt, továbbá a karbantartási költséget.

A kisegítő hajtóművek alap feladata a katonai repülőgépeken is hasonló (30. ábra).

A legtöbb esetben az APU-t felszállás előtt leállítják, és csak akkor indítják újra, amikor a repülőgép a leszállást követően már elhagyta a futópályát. Egyhajtóműves elrendezés esetén létezik arra is példa, hogy az automatikus rendszer csak a felszállás után kapcsolja ki a kisegítő hajtóművet. Ennek az az oka, hogy kiküszöböljék azt a tolóerőcsökkenést, amelyet az ECS ellátása okoz, hiszen általában az a hajtóműkompresszor megcsapolásával történik. Szükség esetén – vészhelyzeti elektromos áramforrásként – az APU a levegőben is újraindítható.

Az APU működését a 31. ábra, és annak egy lehetséges elvi vázlatát a 32. ábra szemlélteti. A két kompresszorhoz a levegő az „a”-val jelölt perforált dobon keresztül jut be.

A 31. ábrán látható, ahogyan a levegő egyrészt a „c” jelű oldalon végighalad a gázgenerátor-egységen (kompresszor, égőtér, turbina, gázvezető rendszer) és az égéstermék kijut a szabadba. A „b” jelű oldalon a levegő bejut a munkakompresszorba, és az eszköz által termelt sűrített levegő a „d” csatornában jelenik meg. A levegő onnan jut a fogyasztási helyekre, pl. – a hajtómű indításakor – az indító légturbina táplálására. Ez a levegő táplálja a repülőgép ECS-rendszerét a hajtómű álló helyzetében, illetve a hajtómű által meghajtott generátorok meghibásodása esetén, a szintén légturbinával meghajtott vészhelyzeti generátor. A hajtómű normál működése esetén az ECS-rendszer ellátása a hajtómű kompresszorától elvezetett levegővel történik, és egy hűtési periódus után az APU kikapcsolásra kerül, miközben a munkakompresszor által termelt levegő terhelésmentesen az „e” csatornán keresztül távozik a gázvezető rendszerbe.

Az APU az indítás után a névleges fordulatszámmal működik, amely közelítőleg 100%-os fordulatszámot jelent, függetlenül az elektromos és pneumatikus terheléstől. Ehhez a tüzelőanyag-szabályozó rendszer automatikusan beállítja a szükséges tüzelőanyag-mennyiséget. Például a repülőgép hajtóművének indításakor a szabályzó egység elegendő extra tüzelőanyagot adagol a terhelésnövekedés ellensúlyozására, az állandó fordulatszám fenntartására. Az állandó fordulatszám előnye, hogy a legtöbb repülőgépen állandó frekvenciájú generátorokat alkalmaznak, és az állandó, 100%-on működő APU-k esetén így nem igényelnek állandó fordulatszámú meghajtóegységet (Constant Speed Drive Unit CSD) az állandó frekvencia fenntartásához.

A maximális terhelés közben történő üzemben a turbina előtti gázhőmérséklet maximális értéken belüli tartását terhelésszabályozó pneumatikus szelep biztosítja. Ezért, ha az APU turbina előtti hőmérséklete elér egy kritikus

szintet, a pneumatikus terhelés automatikusan csökken a túlmelegedés megelőzése érdekében. Az APU károsodásának elkerülése érdekében a legtöbb gyártó az APU leállítása előtt meghatározza a hűtési időt, amely terhelésmentes működést jelent, hogy a gázhőmérséklet (Exhaust Gas Temperature – EGT) stabilizálódjon. A tipikus hűtési periódus három perc, amely képes minimalizálni a hőszokk lehetséges előfordulását, amit egy erősen megterhelt, forró APU hirtelen leállása okozhatna.

Összegezve a napjainkban alkalmazott turboshaft APU-k jellemzőit, a kö-

vetkező adatokkal találkozhatunk:

- tengelyteljesítmény: 400–1000 kW;
- kompresszor-nyomásviszony: 3–5;
- levegőfogyasztás: 0,5–3,5 kg/s;
- turbina előtti gázhőmérséklet: 1100 K;
- fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás: 0,4–0,5 kg/kWh;
- hajtóműtömeg: 50–250 kg;
- termikus hatásfok: ~20–25%.

(Folytatjuk)

HIVATKOZT IRODALOM

- [29] Tuboshaft Engine TV3-117 <http://motorsich.com.ua/TV3-117VM> (Letöltve: 2022.11.26.);
- [30] Forrás: http://www.rolls-royce.com/Images/RTM322_tcm92-6703.pdf http://www.rolls-royce.com/Images/RTM322_tcm92-6703.pdf, (Letöltve: 2013.3.15.);
- [31] Források: <https://defense-militaire.over-blog.com/2021/03/combien-coute-la-revision/reparation-avec-essai-du-moteur-mtr-390-2c-equipant-l-helicoptere-tigre.html>, <https://www.mtu.de/engines/military-aircraft-engines/helicopters/mtr390/> (Letöltve: 2022.11.26.);
- [32] PW 980A APU <https://www.tumblr.com/a380flightdeck/97459671420/pratt-whitney-canada-pwc-pw-980a-apu-pratt>, (Letöltve: 2022.11.26.);
- [33] Forrás: <https://htka.hu/wp-content/uploads/2008/04/Gripen-Systems.jpg> (Letöltve: 2022.11.25.);
- [34] A Honeywell 131-9 APU metszete, <https://trends.aeroexpo.online/fr/project-72364.html> (Letöltve: 2022.11.25.);
- [35] Forrás: <https://www.flyingmag.com/how-an-auxiliary-power-unit-works/> (Letöltve: 2022.11.25.);
- [36] Forrás: Mr.Z-man, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lycoming_T55-GA-712.jpg (Letöltve: 2023.2.3.)

JEGYZETEK

- 11 Fordított áramú égőtér: az égőtérben az áramlás a hajtómű fő áramlási irányához képest fordított.
- 12 NEL: Nemzetközi Egyezményes Légkör (ICAO Egyezményes Légkör): az ICAO Manual of the ICAO Standard.
- 13 ECS: Environmental Control System (környezet-szabályozó rendszer) amely magába foglalhatja a légkondicionáló és a fűtélutápláló rendszert, a processzorok hűtését, a túlnyomásos tüzelőanyag-tartályok táplálását, katonai repülőgépek esetén a radar hűtését, az oxigéngenerátor (OBOG – On-Board Oxygen Generator), és a G-ruha táplálását.