

HELIKOPTER GÁZTURBINÁS HAJTÓMŰVEK HATÁSFOK NÖVELÉSÉNEK PROBLÉMÁI

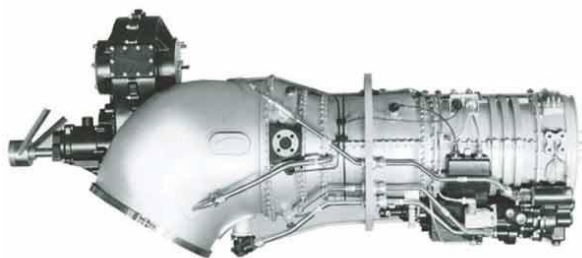
GÁZTURBINÁK MEGJELENÉSE A HELIKOPTEREKBE

Az 50-es évek elején a General Electric egy 3 millió dolláros szerződést kapott az Egyesült Államok kormányától egy új, könnyű és megbízható helikoptereken alkalmazható tengelyteljesítményt szolgáltató gázturbinára kifejlesztésére. A titkos program XT-58 elnevezéssel indult és a végeredmény egy 800 Le (596 kW) tengelyteljesítményű gázturbina lett, amely mindössze 181 kg-ot nyomott.

Továbbfejlesztve ezt a hajtóművet 1957-re a teljesítménye 1050 Le-re (783 kW) növekedett, súlya pedig 114 kg-ra csökkent. Ebben az évben két T58 hajtóművel helyettesítették egy Sikorsky HSS-1F helikopter dugattyús erőforrását és ezzel először emelkedett levegőbe az USA-ban gázturbinás helikopter. Felismerve az új fejlesztés gyakorlati jelentőségét egy sor helikopter gyártó (Sikorsky, Kaman) kezdte el alkalmazni az újonnan kifejlesztett T58 gázturbinát a helikopterekben [3].

Az első szovjet második generációs helikopter 1957-ben jelent meg. Ez a MI-6 nehéz szállító és csapatszállító helikopter volt. Az 50-es évek második felében Mikhail Leontyevich Mil, a Mil tervezőiroda vezetője elhatározta egy forradalmian új helikopter tervezését a közepes szállító kategóriában az akkorra már elavuló MI-4-es helikopterek leváltására.

1958. február 20-án a Szovjetunió Minisztertanácsa magáévá tette ezt a gondolatot és elrendelte egy 1,5-2 tonna hasznos teher szállítására alkalmas helikopter kifejlesztését V-8 típusjelzéssel, amelynek az erőforrását egy darab Ivchenko AI-24V helikopteres alkalmazáshoz igazított turbólégcsavaros hajtómű biztosította. Az egy-hajtóműves V-8 helikopter először 1961. június 24-én emelkedett levegőbe.



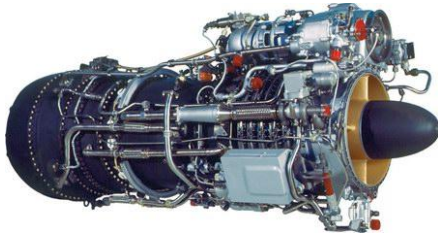
1. ábra. Az XT-58-as, mely kialakításában a mai hajtóműveket idézi.



2. ábra. Az Izotov TV2-117A hajtómű volt az első orosz helikopterbe tervezett hajtómű

Felismerve a hátrányait az AI-24V hajtóműnek, az Izotov Hajtómű-tervező Iroda utasítást kapott, egy, valóban helikopteres alkalmazásra optimalizált hajtómű kifejlesztésére (a TV-2VM és a D-25V hajtóművek, amelyeket a MI-6-os esetben alkalmaztak, eredetileg merevszárnyú repülőgépek számára terveztek). Az Izotov Iroda által tervezett új TV2-117 hajtómű és a VR-8 reduktor 1962 nyarán került leszállításra. A hajtómű felszálló üzemmódon 1500Le (1118kW) teljesítményt produkált, viszonylag jó fajlagos mutatók mellett [3].

A TV3-117 hajtómű család volt a következő generációs szovjet helikopter hajtómű erőforrás. Kialakításában hasonlít a TV2-117A hajtómű szerkezetére, eltekintve a két további kompresszor fokozattól, ami nagyobb kompresszor nyomásviszonyt biztosít, illetve a TV3-117 hajtómű tömegárama némileg magasabb. Az adatok lentebb az 1. táblázatban. Ezek a hajtóművek alkalmazásra kerültek majdnem az összes orosz közepes szállító és harci helikopterben: Mi-SMT, Mi-17, Mi-14, Mi-24, Mi-25, Mi-35, Mi-28, Ka-27, Ka-28, Ka-29, Ka-31, Ka-32, Ka-50 és Ka-52 bizonyítva megbízhatóságukat [5].



3. ábra. Az Izotov TV3-117 hajtómű a második generációs (szovjet) orosz helikopter hajtómű



4. ábra. Az RTM-322 a helikopter hajtóművek új generációjának képviselője

A helikopter hajtóművek azóta jelentős fejlődésen mentek keresztül. Kompaktabbá váltak, súlyuk csökkent, teljesítmény és hatásfok mutatóik pedig javultak. Az új generációs helikopter hajtóművek képviselője az RTM-322 hajtóműcsalád is, amely a Turbomeca Ltd., a Rolls-Royce és a Turbomeca közös vállalkozásának terméke. A hajtóműcsalád tagjai széles körben kerültek beépítésre különböző katonai és polgári helikopterekbe, így az EH101, NH90, Apache, H-92/S-92, H-60, S-70-es helikopterekbe [7, 8].

Mivel a 60-as évektől ezek a hajtóművek széleskörűen elterjedtek és alapvető szerkezeti struktúrájukban nem is változtak meg jelentősen, elemzésük tanulságos lehet. A kiválasztás szubjektív volt, de figyelembe véve, hogy a két korai helikopter hajtómű az amerikai és a szovjet oldalról nagyjából egy időből származik és teljesítménymutatóik is hasonlóak. A TV3-117 hajtóművel a 70-es évekből, illetve az RTM-322 hajtóművel az ezredfordulóból felölelik ennek a kategóriának a fejlődését. Elemezve és összehasonlítva ezeket a hajtóműveket az elemzés rávilágít az utóbbi 40-50 év eredményeire.

A TERMIKUS VIZSGÁLATHOZ SZÜKSÉGES ADATOK

Ha termikusan elemezni szeretnénk egy gázturbinát, legelőször minden fellelhető adatot össze kell gyűjtenünk róla. A gyártók általában egy, két üzemmódra viszonylag sok adatot megadnak. Azt az

üzemmódot érdemes választanunk, amelyre a legtöbb adat áll rendelkezésre. Ez legtöbbször a felszálló üzemmód. Ilyen adatok lehetnek a kompresszor nyomásviszony, a hajtómű levegőfogyasztása, levegő elvételek, az égőtér utáni hőmérséklet, az üzemanyag-fogyasztás, vagy a fajlagos üzemanyag-fogyasztás, a tengelyteljesítmény. Természetesen minél több adatunk áll rendelkezésre, annál pontosabb lehet az elemzésünk.

Az adatokat két csoportba érdemes besorolnunk az egyik csoportot alkotják azok az adatok, amelyek feltétlenül szükségesek a számítási folyamat elvégzéséhez. A másik csoportba tartozó adatokat csak a számítási folyamat elvégzése után az eredmények ellenőrzésére használjuk.

Adatok	Vizsgált hajtóművek			
	TV2-117A	T58-GE-100	TV3-117	RTM-322-01/9
Kompresszor nyomásviszony	6,6	8,4	9,55	15
Kompresszor tömegáram [kg/s]	6,8	6,35	8,75	5,3
Égőtér utáni hőmérséklet [K]	1123	1145	1243	1460
Fajl. üza. fogyasztás [kg/(kWh)]	0,374	0,368	0,325	0,2702
Tüzelőanyag fűtőértéke [MJ/kg]	42,8	42,8	42,8	42,8
Tengely teljesítmény [kW]	1118	1118	1669	1799

1. táblázat. Összegyűjtött hajtómű adatok [1, 6]

EGYÉB ADATOK (VESZTESÉGEK, HATÁSFOKOK, GÁZJELLEMZŐK)

Természetesen nem csak ezek az adatok szükségesek a termikus elemzéshez, hanem a hajtómű különböző részeihez, gépegységeihez tartozó veszteségek és hatásfokok is. Az előző adatokkal ellentétben ezeket a gyártók sohasem közlik. Így nem is tudhatjuk a korrekt veszteség adatokat, de különböző szakirodalmakból tudhatjuk, hogy az adott korból származó hajtómű körülbelül milyen hatásfokokat produkálhat, ami kiinduló értékeknek megfelel.

	TV2-117A	T58-GE-100	TV3-117	RTM-322-01/9
Szívócsatorna nyomásvesztés	0,99	0,99	0,955	0,99
Kompresszor izentropikus hatásfok	0,8	0,8	0,785	0,815
Kompresszor politropikus hatásfok	0,845	0,85	0,84	0,87
Égőtér nyomásvesztés	0,98	0,98	0,97	0,965
Égőtér hatásfok	0,97	0,97	0,97	0,98
Kompresszorturbina izentropikus hatásfok	0,89	0,895	0,88	0,9
Kompresszorturbina politropikus hatásfok	0,875	0,88	0,865	0,885
Szabad turbina izentropikus hatásfok	0,89	0,89	0,88	0,9
Szabad turbina politropikus hatásfok	0,88	0,88	0,865	0,885
Gázvezető nyomásvesztés	0,97	0,97	0,97	0,98
Teljesítmény elvétel [kW]	30	30	30	30
Gázgenerátor mechanikai hatásfok	0,99	0,99	0,99	0,99
Szabad turbina mechanikai hatásfok	0,99	0,99	0,99	0,99

2. táblázat. Hatásfokok és veszteségek

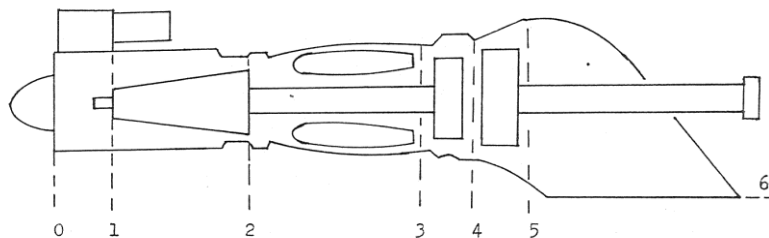
A számítási folyamathoz ismernünk kell még a gázjellemzőket, nevezetesen c_p , κ , és R értékeit, amelyek hőmérséklet függőek. Meghatározásukhoz táblázatokat használhatunk, de egy egyszerű programot szerkesztve még egyszerűbbé válik a meghatározásuk.

AZ ELEMZÉS MENETE

A számítási folyamatnál feltételezzük, hogy a hajtómű $H = 0$ m-en és $V = 0$ km/h repülési sebességen üzemel. A bemenő adatok tehát megfelelnek a Nemzetközi Egyezményes Légkör $H = 0$ m szerinti adatoknak. A számításokat az alapvető termodinamikai összefüggéseket felhasználva végezzük el.

A folyamat leírása:

- A hajtóműbe belépő közeg jellemzői megfelelnek a NEL $H = 0$ m szerinti adatoknak: ($p = 101325$ Pa, $T = 288$ K).
- A szívócsatornában lejátszódó folyamat izotermikus, mérsékelt nyomásvesztéssel (kb. 0,99).
- A kompresszor kilépő keresztmetszetében a nyomást a kompresszor nyomásviszonnyal számíthatjuk. A hőmérséklet a Poisson egyenlettel (valós adiabatikus folyamat) számítható, figyelembe véve a kompresszor izentrópikus hatásfokát.
- Az égőtér kilépési keresztmetszetére a hőmérséklet általában adott. Az égőtérben a folyamat izobár némi nyomásvesztéssel (0,97-0,98).
- A kompresszorturbina utáni paramétereket a kompresszor és a kompresszorturbina munkájának egyenlőségéből határozhatjuk meg, figyelembe véve a segédberendezések meghajtására levett teljesítményeket és a gázgenerátor egység mechanikai hatásfokát.
- A szabadturbina utáni nyomás jó közelítéssel meghatározható abból a feltételből, hogy a gázáram nyomása a kilépő keresztmetszetben a környezeti nyomással lesz egyenlő. Figyelembe véve a gázvezető nyomásvesztései tényezőjét (0,97-0,98) ebből meghatározhatjuk a szabadturbina utáni nyomást. Hőmérsékletet itt is a Poisson egyenlettel, a szabadturbina izentrópikus hatásfokát, figyelembe véve határozhatjuk meg.
- Ahogy a fenti pontban megállapítottuk a kilépő keresztmetszetben a nyomás jó közelítéssel a környezeti nyomásnak felel meg és az állapotváltozás a gázvezetőben izotermikus lesz.



5. ábra. A hajtómű vizsgált keresztmetszetei

		TV2-117A	T58-GE-100	TV3-117	RTM-322-01/9
0	Szívócsatorna előtti hőmérséklet (T_0) [K]	288	288	288	288
	Szívócsatorna előtti nyomás (p_0) [Pa]	101325	101325	101325	101325
1	Kompresszor előtti hőmérséklet (T_1) [K]	288	288	288	288
	Kompresszor előtti nyomás (p_1) [Pa]	100312	100312	96259	100312
2	Égőtér előtti hőmérséklet (T_2) [K]	542	583	613	702
	Égőtér előtti nyomás (p_2) [Pa]	662058	842619	919271	1604988
3	Kompresszorturbina előtti hőm. (T_3) [K]	1123	1145	1243	1460
	kompresszorturbina előtti nyom. (p_3) [Pa]	648816	825766	891693	1548814
4	Szabadturbina előtti hőmérséklet (T_4) [K]	900	884	962	1111
	Szabadturbina előtti nyomás (p_4) [Pa]	231186	249485	260993	413140
5	Gázvezető előtti hőmérséklet (T_5) [K]	753	727	788	823
	Gázvezető előtti nyomás (p_5) [Pa]	103372	103372	103372	102853
6	Kilépő keresztmetszet hőm. (T_6) [K]	753	727	788	823
	Kilépő keresztmetszet nyomása (p_6) [Pa]	101325	101325	101325	101325

3. táblázat. Hőmérsékletek és nyomások a különböző keresztmetszetekben.

A 3. táblázatban összegyűjtöttem a különböző keresztmetszetek számított hőmérsékleti és nyomás adatait. A táblázat előtti vázlatos hajtómű rajz (5. ábra.) segítséget nyújt abban, hogy a hőmérsékleti és nyomásadatokat hozzá lehessen kötni a hajtómű megadott pontjaihoz.

Ezek az adatok túl, ami még talán fontosabb, általános képet kaphatunk a hajtóműről, részegységeinek hatásfokairól, veszteségeiről, vagyis, hogy mennyire jó az a hajtómű. Hogyan történik ez? Ahogyan a hatásfokok és veszteségek fejezetben említettem, első közelítésben a hatásfokokat, veszteségeket műszaki tapasztalatainkra, esetleg valamilyen szakirodalomra hagyatkozva vehetjük fel. Az első fordulóban a legkritikább eset, hogy a számítási eredményeink tökéletesen simuljanak az ellenőrzésre félretett adatokkal. Ennek megfelelően a hatásfok és veszteségi adatokat addig kell igazítani, ameddig a számításunk az elvárt hibahatáron belülre nem kerül (3-5%). Ebben az esetben már elfogadhatjuk számításaink eredményeit és az ekkor alkalmazott hatásfok és veszteség adatok már jól tükrözik a hajtómű általános képét. A 2. táblázatba már ezek a végleges hatásfok és veszteségi adatok kerültek be.

Fajlagos hasznos munka maximumának meghatározása valós körfolyamat esetén

Első lépésként felírjuk a termikus (gázturbinás) körfolyamat fajlagos hasznos munkáját kifejező összefüggést, (1) egyenlet, ami nem más mint az expanziós és kompressziós munka különbsége. Ez egy olyan függvény lesz, ahol a hőmérséklet határok és a folyamat veszteségeinek rögzítése mellett a fajlagos hasznos munka a kompresszor nyomásviszony függvénye. Itt a veszteségeket az előző termikus körfolyamat számítás alapján meghatározott értékeknek megfelelően vehetjük fel.

$$w_h(\pi) = c_{pg} T_3 \left(1 - \frac{1}{(\sigma\pi)^{\frac{\kappa_g - 1}{\kappa_g} \cdot \eta_{poh}}} \right) - \frac{c_{pl} T_1}{\eta_m} \left(\pi^{\frac{\kappa_l - 1}{\kappa_l} \cdot \frac{1}{\eta_{pok}}} - 1 \right) \quad (1)$$

Hogy meghatározzuk a maximális fajlagos hasznos munka értékét a kompresszor nyomásviszony függvényében, egyszerű függvényvizsgálati módszereket kell alkalmazni, nevezetesen a függvény első deriváltját kell egyenlővé tenni zérussal, majd a kapott egyenletet megoldva megkapjuk a maximális fajlagos hasznos munkához tartozó kompresszor nyomásviszonyt, lásd az (2) egyenletet. Ebben kiemelt szerepe van a veszteségek helyes meghatározásának, amit már korábban megtettünk a vizsgált hajtóművek termikus elemzése közben.

$$w_h(\pi) \text{ maximuma} : [w_h(\pi)]' = 0 \quad (2)$$

Kifejezve a maximális fajlagos hasznos munkához tartozó nyomásviszonyt a (3) egyenletet kapjuk:

$$\pi_{w_{h \max}} = \left(\frac{\eta_m \cdot \eta_{polt} \cdot \eta_{polk} \cdot T_3}{\sigma \frac{\kappa_g}{\kappa_g - 1} \eta_{polt}} \cdot \frac{T_1}{\frac{1}{\frac{\kappa_g - 1}{\kappa_g} \eta_{polt} + \frac{\kappa_l - 1}{\kappa_l} \frac{1}{\eta_{polk}}}} \right) \quad (3)$$

ahol:

$w_h(\pi)$: a hajtómű által termelt fajlagos hasznos munka;

π : kompresszor nyomásviszony;

$\pi_{wh \max}$: a nyomásviszony, ahol a hajtómű fajlagos hasznos munkája maximális;

κ_l, κ_g : az adiabatikus kitevő a kompressziós és expanziós folyamatra;

c_{pl}, c_{pg} : izobár fajhő a kompressziós és expanziós folyamatra;

T_3, T_1 : hőmérséklet a szívócsatorna előtt, illetve az égőtér kilépő keresztmetszetében;

σ : a teljes hajtóműre vett nyomásveszteségi tényező (szívócsatorna, égőtér, gázelvezető);

η_{polk}, η_{polt} : a kompressziós és expanziós folyamat politropikus hatásfoka;

η_m : mechanikai hatásfok és a segédberendezések által elvett teljesítmény figyelembevétele.

A TERMİKUS HATÁSFOK MAXIMUMÁNAK MEGHATÁROZÁSA VALÓS KÖRFOLYAMAT ESETÉN

A folyamat termikus hatásfokát a hasznos munka és a bevitt hő hányadosaként definiálhatjuk. A hasznos munka összefüggését már az előző fejezetben használtuk, (1) egyenlet. Az ott megbeszéltek szerint a folyamat veszteségeinek és a hőmérséklet határok rögzítése mellett ez a kompresszor nyomásviszony függvénye. Igyekeznünk kell, hogy a nevezőben a bevitt hő értékét is a kompresszor nyomásviszonyának függvényében fejezzük ki az adott hőmérséklet határok között, illetve veszteségek mellett.

$$\eta_t = \frac{w_h(\pi)}{q_b(\pi)} = \frac{c_{pg}T_3 \left(1 - \frac{1}{(\sigma\pi)^{\frac{\kappa_g-1}{\kappa_g} \cdot \eta_{polk}}} \right) - \frac{c_{pl}T_1}{\eta_m} \left(\pi^{\frac{\kappa_l-1}{\kappa_l} \cdot \frac{1}{\eta_{polk}}} - 1 \right)}{\frac{c_{pg}}{\eta_\epsilon} \left(T_3 - T_1 \cdot \pi^{\frac{\kappa_l-1}{\kappa_l} \cdot \frac{1}{\eta_{polk}}} \right)} \quad (4)$$

Követve a fajlagos hasznos munka meghatározásánál alkalmazott függvényvizsgálati módszert, keressük a fenti (4) függvény maximumát, alkalmazva a deriválási módszernek megfelelő (5) egyenletet.

$$\eta_t(\pi) \text{ maximuma : } [\eta_t(\pi)]' = 0 \quad (5)$$

Elvégezve a deriválást és a szükséges egyenletrendezést a (6) egyenlettel jelzett végeredményt kapjuk:

$$0 = \left(\frac{c_{pl}T_1^2}{\eta_m} \cdot a + c_{pg}T_1T_3 \cdot a - \frac{c_{pl}T_1T_3}{\eta_m} \right) \cdot \pi^{a+b} - \left(\frac{c_{pg}T_3T_1}{\sigma^b} \cdot b + \frac{c_{pg}T_1T_3}{\sigma^b} a \right) \cdot \pi^a + \frac{c_{pg}T_3^2}{\sigma^b} \cdot b \quad (6)$$

ahol:

$$a = \frac{\kappa_l - 1}{\kappa_l} \cdot \frac{1}{\eta_{polk}}$$

$$b = \frac{\kappa_g - 1}{\kappa_g} \cdot \eta_{polk}$$

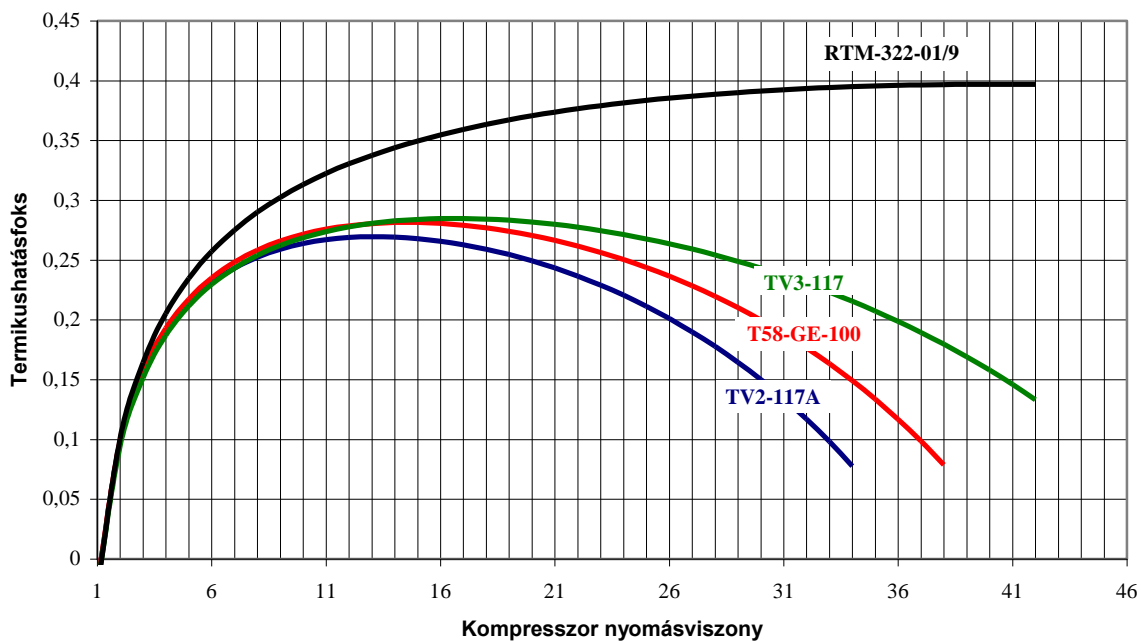
η_t : a körfolyamat valós termikus hatásfoka;

q_b : a körfolyamat során a folyamatba bevitt hő;

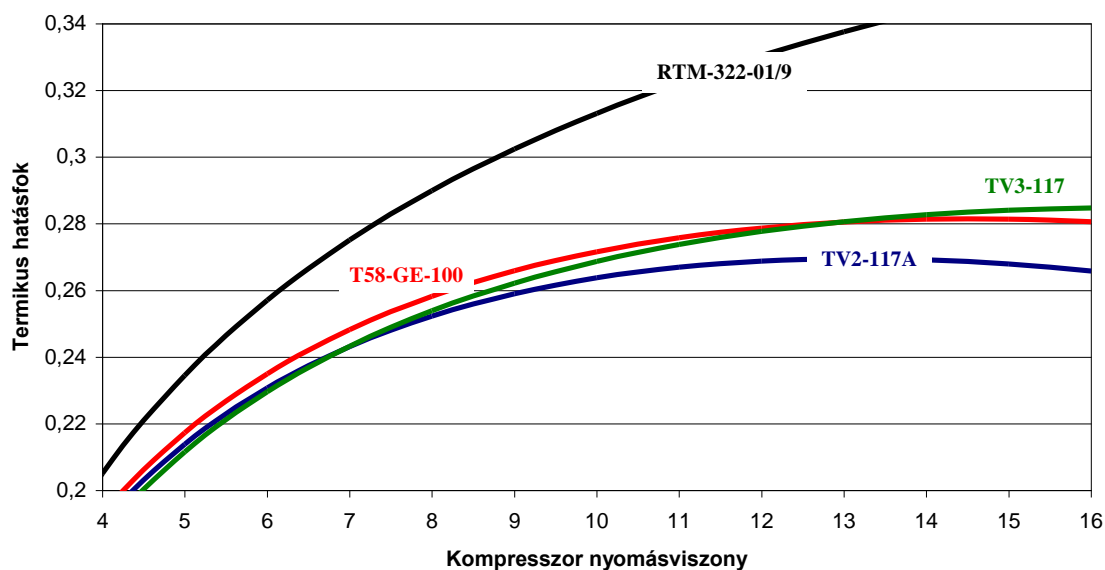
η_ϵ : égőtér hatásfok.

Sajnos a (6) egyenletnek nincs algebrai megoldása, de grafikus megoldást keresve megkaphatjuk az adott körfolyamat maximális termikus hatásfokához tartozó nyomásviszonyt.

Az 6. ábra mutatja a valós termikus hatásfok változását a nyomásviszony függvényében a vizsgált négy tengelyteljesítményt szolgáltató hajtóműre. A görbék maximumaihoz tartozó nyomásviszony értékek értelemszerűen megegyeznek a (6) egyenlet grafikus megoldása által meghatározott kompresszor nyomásviszonnyal.



6. ábra. Valós termikus hatásfok a nyomásviszony függvényében a vizsgált négy tengelyteljesítményt szolgáltató helikopter hajtóműre



7. ábra. A 6. ábra hatásfok görbéi alacsony nyomásviszony tartományban

	TV2-117A		T58-GE-100		TV3-117		RTM-322-01/9	
	π	η_t	π	η_t	π	η_t	π	η_t
Maximális fajl. hasznos munka	6,74	0,241	7,2	0,25	8	0,256	12,6	0,335
Maximális tengelyteljesítmény	6,6	0,238	8,4	0,262	9,55	0,268	16	0,355
Maximum termikus hatásfok	12,8	0,265	14,5	0,28	16,7	0,288	39,7	0,395

4. táblázat. Kompresszor nyomásviszonyok legjellemzőbb értékei és a hozzá tartozó hatásfokok

A 4. táblázatban összefoglaltam a hajtómű körfolyamatához tartozó jellegzetes nyomásviszonyokat és az ezekhez tartozó hatásfok értékeket. Figyelembe véve a körfolyamat számítások eredményeit, valamint a 7. diagram és az annak megfelelő 4. táblázat adatait, a következő következtetéseket vontam le.

ÖSSZEFOGLALÁS

Elemelve a fenti helikopter hajtóműveket jól látszik, hogy mint a repülés többi területe is, jelentős fejlődésen mentek keresztül. A megnövekedett kompresszor nyomásviszony, turbina belépő keresztmetszet hőmérséklet, a hajtómű részegység hatásfokok, a FADEC (az RTM-322 esetében) jelentősen javította ezeknek a hajtóműveknek a teljesítményét, hatásfokát. Mindezzel együtt elmondható, hogy sokkal kevésbé, mint ezt tapasztalhatjuk más gázturbinás hajtómű kategóriákban.

Ennek a legfontosabb oka, hogy egy átlagos tengelyteljesítményt szolgáltató gázturbina 500-2500 kW tengelyteljesítményt szolgáltat 5-15 kg/s levegőszállítás mellett. Az alkalmazott kompresszor kicsi, kis lapátmagasságokat eredményezve, különösen a hátsó fokozatokban (esetleg utolsó centrifugál fokozattal). Ez a tény jelentősen csökkenti a kompresszor politropikus hatásfokát [2]. Mivel a nyomásviszony növelése tovább csökkentené a politropikus hatásfokot, ezeknek a kompresszoroknak a nyomásviszonya nem haladja meg a ~15-ös értéket. A viszonylag alacsony nyomásviszony és kompresszor politropikus hatásfok miatt az elérhető termikus hatásfok általában nem több mint 35%, míg a nagyobb méretű gázturbinák (a tömegáram 50kg/s felett) a termikus hatásfok általában magasabb, mint 40%.

Nagyon erős összefüggés van a kompresszor politropikus hatásfoka és a hajtómű termikus hatásfoka között. Felhasználva az (1) és (4) egyenleteket 1% kompresszor politropikus hatásfok csökkenés a fajlagos hasznos munkát 3%-al, a termikus hatásfokot 0,5%-al csökkenti.

Elemelve a négy hajtóművet részegység hatásfokaik szempontjából, jól látható, hogy a TV3-117 nyújtja a legrosszabb teljesítményt. Valószínűsíthetően ez a szívócsatorna porkiválasztó miatti jelentős nyomásvesztés, illetve még szignifikánsabban a gyenge kompresszor politropikus hatásfok miatt van, amely gyengébb a jóval korosabb TV2-117A hajtómű kompresszor hatásfokánál is. Miért? A TV3-117 hajtómű a TV2-117A hajtóműhöz képest további két fokozattal rendelkezik nagyon rövid hátsó fokozat lapátokkal, ami a kompresszor politropikus hatásfok további romlásához vezetett.

A T58-GE-100 ilyen szempontból leelőzi mindkét volt szovjet vetélytársát, míg az RTM-322-01/9, nem meglepetésre koránál fogva is, kiemelkedően veri az előzőekben felsorolt hajtóműveket.

Figyelembe véve a termikus hatásfokokat a sorrend egy kicsit más, mivel itt már szerepe van a kompresszor nyomásviszonynak, illetve a turbina előtti gázhőmérsékletnek is. A tervezett maximális tengelyteljesítmény biztosító üzemmódokon a hatásfok értékek a 4. táblázatból leolvashatók.

A négy hajtóműből három tervezett munkapontja (maximális tengelyteljesítmény) a maximális fajlagos hasznos munkát biztosító és a maximális termikus hatásfokot adó nyomásviszonyok közé lett

illetve. A TV2-117A hajtóműnél ehhez a ponthoz tartozó nyomásviszony egy kicsivel alacsonyabb, mint a maximális fajlagos hasznos munkát biztosító nyomásviszony.

A jobb hajtómű részegység hatásfokok, a magasabb nyomásviszony és turbina előtti gázhőmérséklet az új generációs RTM-322-01/9 hajtómű esetében mutatja a legjobb általános képet, ami jelentős hatásfok növekedést, ezzel fajlagos üzemanyag fogyasztás csökkenést eredményezett összehasonlítva a korai helikopter hajtóművekkel.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] VARGA, B. A TV2-117A hajtómű termikus matematikai modellje, Diploma munka, Budapesti Műszaki Egyetem, 1990. p. 14-24.
- [2] Dr. PÁSZTOR, E. Szállító repülőgépek gázturbinás hajtóművei nyomásviszonya növelésének termikus problémái, 2007, Repüléstudományi Közlemények, p. 36-45.
- [3] <http://www.geae.com/engines/military/t58/index.html>
- [4] <http://www.mi-helicopter.ru/eng/getarticle.php?id=275>
- [5] http://www.vkms.ru/production_en.shtml
- [6] <http://www.aircraftenginedesign.com/TableB1.html>
- [7] http://www.rolls-royce.com/defence_aerospace/downloads/helicopters/rtm322.pdf
- [8] http://www.turbomeca.com/public/turbomeca_v2/html/en/produits/sous_famille_home.php?sfid=509&mid=615