

GÁZTURBINÁS HAJTÓMŰVEK JELLEMZŐINEK JAVULÁSA AZ ÁRAMLÁSI FELÜLETEK TISZTÍTÁSAKOR, A JAVULÁS MEGHATÁROZÁSA

Dr. Pásztor Endre
Prof. Emeritus, egyetemi docens
ZMNE Repülő Sárkány-Hajtómű Tanszék

A szerző a sugárhajtómű paramétereinek, a hajtómű áramlási felületei tisztításakor bekövetkező javulását határozta meg. Megállapította, hogy az áramlási felületek tisztítása minden esetben kedvezően javítja a hajtómű jellemzőit. A javulás mértékének megállapítására, a közvetlenül mérhető paraméterekre támaszkodva, kétáramú hajtómű figyelembevételével, számítási eljárást dolgozott ki. Vizsgálatai kimutatták, hogy a hajtómű alapvető jellemzőinek javulása, jól sikerült tisztítás esetén eléri az 1%-ot. Megfontolásokat végzett a nagyjavítási időszakok közötti tisztítások optimális elosztására és számára vonatkozóan, figyelemmel arra, hogy a tisztítás számának növekedésekor már a tisztítás költségei és a repülési idő kieséséből származó veszteség sem elhanyagolható. Vizsgálatai szerint két nagyjavítási időszak között 2-3 tisztítást célszerű végezni.

A HAJTÓMŰVEK ELSZENNYEZŐDÉSÉNEK FOLYAMATA, JELENTŐSÉGE ÉS TISZTÍTÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

A hajtóművek belső áramlási felületeinek durvulása és elszennyeződése következtében a tolóerő csökken, és a tüzelőanyag-fogyasztás növekszik. Az áramlási veszteség növekedéséből adódó kedvezőtlen hatásokat a munkafolyamat maximális hőmérsékletének (tüzelőtér utáni hőmérséklet) növelésével egy ideig még lehet ellensúlyozni a tüzelőtér utáni hőmérséklet megengedett maximális értéke eléréséig. A tüzelőanyag-fogyasztás természetesen ilyenkor már növekszik. Amikor a munkafolyamat maximális hőmérséklete tovább már nem emelhető, az áramlási veszteség további növekedésekor a tolóerő már csökken. Elsősorban a kompresszor belső felülete érzékeny a kvarc-szemcsék (por) okozta koptató hatásra és a szennyeződésre. A szennyeződés jelentősen növekszik abban az esetben, ha a felületekre olajgőzök csapódnak le, pl. a csapágylabirintok tömítő

képessége csökkenésekor. A tisztítás különösen fontos a földön üzemelő gázturbinák esetében. Erre tipikus példa a MOL gázvezetékei mellett üzemelő gáznyomás-fokozó gázturbinás telepek gázturbináinak problémája, ahol az igen gondos levegőszűrés mellett a gázturbinák belső feleletét pontosan előírt technológiával és gyakorisággal tisztítják (mossák). Hasonló a helyzet, bár nem ennyire szigorúan előírt, a szállító repülőgépek hajtóművei belső felületei tisztításakor is.

A tisztítással csak a szennyeződés távolítható el, az áramlási felületek (döntően a lapátok felületei) durvulása nem állítható meg. Ennek következtében a hajtóművek paramétereinek romlása a leggondosabb tisztítás mellett sem akadályozható meg, csupán mérsékelhető. A tisztításkor elsősorban a kompresszor jellemzői (hatásfoka) javulnak, mivel a kompresszor-lapátokra az olajgőzökkel dúsított szennyeződés oldható formában rakódik le. A kompresszor utáni áramlástechnikai részegységekre a szennyeződés kocsz formában ég rá, azt a hajtómű megbontása nélküli tisztítással eltávolítani már nagyon nehéz.

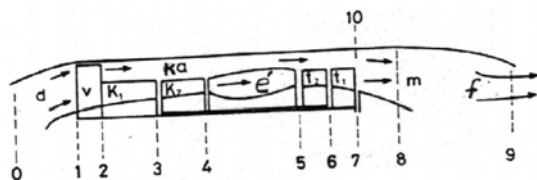
A szétszerelés nélküli tisztításra eddig két, egymástól nem jelentősen különböző tisztítási eljárás alakult ki. A leggyakrabban valamilyen, megfelelő hígítású mosófolyadékot fecskendeznek be a hideg-indítással forgatott gázturbinába. A másik módszer szerint, ugyancsak hideg-indítással, megörölt dióhéjat vagy rizst juttatnak be a kompresszor elé, ilyenkor a kaptató hatás tisztít. A koptatással történő tisztítás hátránya, hogy nehezen szabályozható, a túlzott tisztítás a lapátokra felvitt védőbevonatot is megbonthatja. A mosófolyadékos tisztítás komplikáltabb, de jól szabályozható és eredményessége vizuálisan is jól érzékelhető. A mosófolyadékos tisztítás látványos jelenség. Először erősen barnás-feketés mosóhab áramlik ki a fűvócsövön, majd a hab lassan világosodik és a hab színének stabilizálódása után a mosás befejezettnek tekinthető. A mosást jelentős (kb. negyed-, félóra) szünetekkel többször ismétlik, a szennyeződés fellazulása folyamatának elősegítése, másrészt a hideg-indításkor felmelegedett indítómű lehűtésére [1].

A TERMIKUS-ÁRAMLÁSI JELLEMZŐK JAVULÁSÁNAK FOLYAMATA A VIZSGÁLT TÍPUSÚ HAJTÓMŰ TISZTÍTÁSA FOLYAMÁN

E tanulmány az NK-8-2U jelű, kétáramú repülőgép sugárhajtómű tisztításával foglalkozik és a szerző erre a típusra dolgozott ki a javulás meghatározására számítási eljárást. Azért választotta ezt a típust vizsgálódása tárgyául, mert erre a

*GÁZTURBINÁS HAJTÓMŰVEK BELSŐ ÁRAMLÁSI
FELÜLETEINEK TISZTÍTÁSA*

típusra rendelkezett legtöbb adattal a tisztításra vonatkozóan is, és erre merült fel igény a javulást számítási eljárással meghatározni [2].



1. ábra
A hajtómű jelölési rendszere

A vizsgált hajtómű tisztításakor (vázlata és az alkalmazott jelölések az 1. ábrán) csökken az áramlási ellenállás, elsősorban ott, ahol még levegő és nem forró gáz (égéstermék) áramlik. Ennek következtében javul a ventilátor (V), a kisnyomású (K₁) és kisebb mértékben a nagynyomású (K₂) kompresszor hatásfoka, valamelyest csökken a diffúzor (d) és a külső áramkör (K_a) nyomásvesztése is. Az eddigi vizsgálatok szerint elsősorban a ventilátor és a kisnyomású kompresszor hatásfoka javulásának van jelentősége, a továbbiakban csak ezek hatását vesszük figyelembe. A kisnyomású kompresszor és a vele együttforgó ventilátor teljesítményfelvétele hatásfokaik javulása következtében csökken, így a kisnyomású turbina (t₁) még változatlan teljesítmény-leadása következtében a kisnyomású tengely n₁ fordulatszáma növekszik, ennek következtében nő a nagynyomású tengely n₂ fordulatszáma is.

A tisztítás után megnövekedett n₂ fordulatszámot, a tüzelőtér utáni T₅ hőmérséklet csökkentésével, az eredeti n₂ értékre kell visszazabályozni. A T₅ hőmérséklet csökkenése a tüzelőanyag-fogyasztás csökkenését és a hajtómű gazdaságossága növekedését eredményezi. A T₅ csökkenése a t₁ turbina után mért T₇ hőmérséklet csökkenésén keresztül érzékelhető.

Az üzembentartó a tisztítástól a turbinák körüli hőmérsékletek nem elhanyagolható csökkenésén kívül a tolóerő növekedését és az üzemanyag-fogyasztás csökkenését várja. Eddigi irodalmi [3] és saját eredményeink szerint e két jellemző változása még igen eredményes tisztítás esetén is 1%-on belül mozog, így ezen változásokat közvetlen méréssel megállapítani nem lehet. Ezért a szerző a javulás megállapítására számítási eljárást dolgozott ki, melyet az alábbiakban vázlatosan ismertet.

SZÁMÍTÁSI ELJÁRÁS A TISZTÍTÁS UTÁNI TOLÓERŐ NÖVEKEDÉS ÉS A TÜZELŐANYAG-FOGYASZTÁS CSÖKKENÉSÉNEK MEGHATÁROZÁSÁRA

ALAPELVEK, ALAPADATOK

A számítási eljárást azon alapgondolatra felépítve dolgoztuk ki, hogy a javulás a ventilátor és a kisnyomású kompresszor hatásfok növekedése következtében jön létre. Ezen alapgondolatnak megfelelően a számítási eljárás két főrésze osztható. Először a mérhető jellemzők változásából meghatározzuk a ventilátor és a kisnyomású kompresszor hatásfok javulását, majd a hatásfokok javulása segítségével a tisztítás utáni hajtómű paramétereit. Tanulmányunkban elsősorban a számítás első részével foglalkozunk, mivel a számítás második része már ismertebb elemekből épül fel. A számítás végrehajtásához szükségünk van a hajtómű matematikai modelljére a vizsgált üzemállapotban. Ez szolgáltatja azt a bázisállapotot, melynek termikus-áramlási jellemzői megegyeznek a hajtómű tisztítás előtti jellemzőivel. A matematikai modellt eddigi munkásságunk [2] eredményei segítségével hoztuk létre. A modell legfontosabb termikus-áramlási jellemzői felszálló (start) üzemállapotban (jelölések az 1. ábra szerint):

— Nyomásveszteségi tényezők:

$$\sigma_d = \frac{p_1}{p_0} = 0,995; \quad \sigma_\epsilon = \frac{p_5}{p_4} = 0,97; \quad \sigma_{ka} = \frac{p_7}{p_2} = 0,99; \quad \sigma_m = \frac{p_8}{p_7} = 0,99$$

— Hatásfokok:

$$\eta_\epsilon = 0,975; \quad \eta_{izv} = 0,86; \quad \eta_{izk_1} = 0,855; \quad \eta_{izk_2} = 0,845;$$

$$\eta_{izt_2} = 0,86; \quad \eta_{izt_1} = 0,865; \quad \eta_{izf} = 0,95$$

— Kétáramúsági fok:

$$m = \frac{m_{ka}}{m_{k1}} = 1$$

Az 1. ábrán látható kitüntetett metszetek lefékezett jellemzői:

*GÁZTURBINÁS HAJTÓMŰVEK BELSŐ ÁRAMLÁSI
FELÜLETEINEK TISZTÍTÁSA*

$$p_0 = 0,104 \text{ MPa}; T_0 = 288 \text{ K}; \pi_v = \frac{p_2}{p_1} = 2,0515; \pi_{k1} = \frac{p_3}{p_2} = 1,7548$$

$$\pi_{k2} = \frac{p_4}{p_3} = 3; T_5 = 1274,85 \text{ K}; T_7 = 903 \text{ K}; T_8 = 649,501 \text{ K};$$

$$p_7 = 0,2054 \text{ MPa}; p_8 = 0,2034 \text{ MPa}; p_9 = p_0 = 0,104 \text{ MPa}.$$

Tolóerő: 103,714 kN; Levegőfogyasztás: $m_{ka} = m_{k1} = 108,816 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$;

Teljes tüzelőanyag-fogyasztás: $6292,52 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$

A MÉRÉSI EREDMÉNYEK PONTOSÍTÁSA

A tényleges számítás megkezdése előtt a tisztítás előtti és utáni mért adatokat pontosan azonos környezeti állapotra kell vonatkoztatni, mert egy esetleges, a tisztítás alatti jelentősebb környezeti állapotváltozás nagyobb eltérést okozhat a hajtómű jellemzőiben, mint maga a tisztítás. Az azonos állapotra történő átszámítást a gépkönyv idevonatkozó utasítása [4] alapján végeztük el.

Az 1. számú táblázatban azonos környezeti állapotra vonatkoztatva ($p_0=0,104$ MPa; $T_0=288$ K), példaképpen látható egy kiválasztott hajtómű tisztítás előtti és utáni mért jellemzői.

1. számú táblázat

	n ₁	n ₂	T ₇
Tisztítás előtt	96,5%	98,2%	890 K
Tisztítás után	96,6%	98,0%	883 K

A mérési eredmények pontosításának második alapkövetelménye az, hogy az n₂ fordulatszám pontosan azonos legyen tisztítás előtt és után. E feltétel nem teljesülése esetén e szabályozási pontatlanságból (n₂ tisztítás előtt ≠ n₂ tisztítás után) szintén nagyobb változás jöhet létre, mint a hajtómű tisztításából. A hajtómű fékpadi jelleggörbéi felhasználásával korrekciós összefüggéseket hoztunk létre, hogy a hajtómű tisztítás előtti és utáni üzemállapota pontosan azonos n₂ fordulatszám mellett legyen összehasonlítható.

A start teljesítménye érvényes korrekciós összefüggések:

$$t_{7kor} = t_{7mért} - (n_{2mért} - 95,5) 13,333 \quad (1)$$

$$n_{1kor} = n_{1mért} - (n_{2mért} - 95,5) 1,6 \quad (2)$$

Az összefüggésekben a hőmérsékleteket C⁰-ban, a fordulatszámokat %-ban kell behelyettesíteni. A 95,5 értékű konstans, a start üzemállapotban az n₂ fordulatszám előírt %-os értéke.

A 2. számú táblázatban az 1. számú táblázat korrigált értékei láthatók. (A „kor” indexet elhagytuk, mivel a továbbiakban csak a korrigált értékekkel számolunk).

2. számú táblázat

	n_1	n_2	T_7
Tisztítás előtt	92,18%	95,5%	854 K
Tisztítás után	92,6%	95,5%	849 K

A SZÁMÍTÁSI MÓDSZER ISMERTETÉSE

Figyelembe véve, hogy a nagynyomású tengely fordulatszáma nem változott, $n_2 = n_2^*$ (a továbbiakban a tisztítás utáni jellemzőket csillag értékkel jelöljük), ezért igen jó közelítéssel $\pi_{k2} = \pi_{k2}^*$.

A kisnyomású tengely n_1 fordulatszáma a 2. számú táblázat adatai szerint megnőtt, így $\pi_{v^*} > \pi_v$ és $\pi_{k1^*} > \pi_{k1}$.

Az Euler impulzus-nyomatéki egyenletből igen jó közelítéssel:

$$\frac{\Delta T^*}{\Delta T} = \left(\frac{n_1^*}{n_1} \right)^2 \quad (3)$$

ahol ΔT^* és ΔT a valóságos hőmérsékletek emelkedése a ventilátorban és a kompresszorban mosás után és előtt.

A nyomásviszonyok növekedése a Poisson egyenletből:

$$\frac{\pi^*}{\pi} = \left[\frac{1 + \frac{\Delta T^*}{T}}{1 + \frac{\Delta T}{T}} \right]^{\frac{n}{n-1}} \quad (4)$$

ahol: T a vizsgált kompresszor előtti hőmérséklet, n a kompresszió folyamatok politropikus kitevője.

Az n politropikus kitevő és a kompresszorok izentrópikus hatásfoka közötti kapcsolat:

$$\eta_{iz} = \left(\frac{\pi_k^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1}{\pi_k^{\frac{n-1}{n}} - 1} \right) \quad (5)$$

*GÁZTURBINÁS HAJTÓMŰVEK BELSŐ ÁRAMLÁSI
FELÜLETEINEK TISZTÍTÁSA*

ahol: $\kappa = 1,395 - 1,392$ a kompresszió folyamat átlagos izentrópus kitevője.
A keverőtérre érvényes összefüggések:

$$p_2 \cdot \sigma_{ka} = p_{10} = p_7 \quad (6.a.)$$

$$p_2^* \cdot \sigma_{ka} = p_{10}^* = p_7^* \quad (6.b.)$$

A turbinák össz-nyomásviszonya:

$$\pi_{t\Sigma}^* = \pi_{t2}^* \cdot \pi_{t1}^*$$

Az m keverőtérbe belépő közegek (külső és belső áramkör) statikus nyomásainak jó közelítéssel egyenlőnek kell lenni, különben valamelyik közeg fojtásos állapotváltozást szenvedne a belépéskor. A keverőtérbe belépő közegek sebességei sem különbözhetnek jelentősen egymástól, mert megnövekedne a keveredés közbeni impulzuscseréből származó veszteség. Fentiek következtében a keverőtérbe belépő közegek lefékezett (torló) nyomásai is egyenlők egymással. Ezeket a gondolatokat a matematikai modellek összeállításánál használtuk fel.

A belső és külső áramkörök matematikai rész-modelljei felhasználásával [5, 6]:

$$p_5^* = p_0 \sigma_d \pi_v^* \pi_{k2}^* \sigma_e \quad (7)$$

$$p_2^* = p_0 \sigma_d \pi_v^* \quad (8)$$

A (6.b.) és a (8) egyenletek felhasználásával

$$p_7^* = p_0 \sigma_d \cdot \pi_v^* \sigma_{ka} \quad (9)$$

$\pi_{t\Sigma}^*$ értéke a (7) és (9) egyenletek felhasználásával:

$$\pi_{t\Sigma}^* = \frac{p_5^*}{p_7^*} = \frac{\pi_{k1}^* \cdot \pi_{k2}^* \sigma_e}{\sigma_{KA}} \quad (10)$$

A vizsgált esetben tisztítás után:

$$\pi_v^* = 2,0659; \pi_{k1}^* = 1,7671; \pi_{k2}^* = \pi_{k2} = 3; \pi_{t\Sigma}^* = 5,1942 \quad (11)$$

Feltételünk szerint tisztítás után csak a ventilátor és a kisnyomású kompresszor fokozat hatásfoka javul, a többi gépegység jellemzői változatlanok. Figyelembe véve, hogy a kis- és nagynyomású tengelyeken forgó gépegységek tisztítás után is teljesítmény – egyensúlyi állapotban üzemelnek, e feltételből meghatározható a ventilátor és a kisnyomású kompresszor tisztítás utáni hatásfokai. Tekintettel a rend-

kívül kicsi (maximum 1%-os) változásokra, a számítás folyamán lineáris interpolációt alkalmaztunk. Számításaink folyamán η_{izv}^* és η_{izk1}^* értékeit arányosan változtattuk, mivel feltételeztük, hogy mindkettő javul.

A számítás kiinduló alappontjai a következők voltak. Ismeretes a turbinák össznyomásviszonya: $\pi_{\Sigma}^* = 5,1942$, valamint az alacsonynyomású turbina utáni, tisztítás hatására bekövetkező hőmérsékletcsökkenés, $\Delta T_7^* = 5$ K. Ezt a hőmérsékletcsökkenést levonva a matematikai modellben szereplő $T_7 = 903$ K-ből, megkaptuk a tisztítás utáni matematikai modellhez tartozó $T_7^* = 898$ K értéket, mint kiindulási alappontot. A lineáris interpoláció folyamán η_{izv}^* és η_{izk1}^* értékeit addig változtattuk, míg a matematikai modell fenti alappontokat kielégítette.

A SZÁMÍTÁS EREDMÉNYEI

Az előző pontban vázlatosan ismertetett számítás eredményei szerinti ventilátor és kisnyomású kompresszor hatásfok javulásokat a 3. Táblázat mutatja be.

3. számú táblázat

Tisztítás előtt	$\eta_{izv} = 0,86$	$\eta_{izk1} = 0,855$
Tisztítás után	$\eta_{izv}^* = 0,866$	$\eta_{izk1}^* = 0,861$

Látható, hogy a hatásfokok a tisztítás hatására közelítően 0,5%-kal javultak. Ezzel a tisztítás utáni matematikai modell minden jellemzője meghatározható, többek között a tolóerő és a tüzelőanyag-fogyasztások értékei is.

A 4. táblázat a tisztítás előtti és utáni tolóerő és fogyasztási jellemzőket, a változások abszolút és százalékos értékeit tartalmazza.

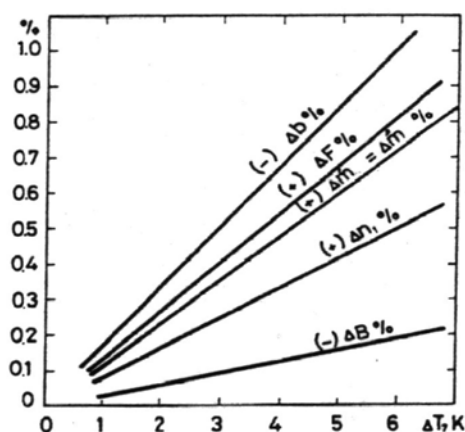
4. számú táblázat

Tisztítás után	Tisztítás előtt	Abszolút javulás	Százalékos javulás
$F_t = 103,714$ N	103,005 N	709 N	0,688 %
$B_{tüz} = 6282$ kg/h	6292,5 kg/h	10,5 kg/h	0,167 %
$m_{lev} = 109,47$ kg/s	108,82 kg/s	0,65 kg/s	0,597 %
$b_{fajl} = 0,06057$ kg/Nh	0,06109 kg/Nh	0,00052 Kg/Nh	0,851 %
$F_{t\ fajl} = 947,42$ Ns/kg	946,56 Ns/kg	0,86 Ns/kg	0,091 %

A hajtómű paramétereinek javulása közül külön figyelmet érdemel a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás, mely közel 1%-os csökkentésével alapvetően meghatározza az áramlási felületek tisztításának gazdasági előnyeit. Amennyiben tisztí-

tás után is a tisztítás előtt tolóerőt kívánjuk létrehozni, akkor a hajtómű terhelésének csökkenése következtében tovább csökken a tüzelőanyag-fogyasztás és a csökkenés eléri az 53-54 kg/h értéket.

A számítás általánosított eredményei a 2. ábrán láthatók, ahol $\Delta T_7 = T_7^* - T_7$ hőmérséklet-csökkenés függvényében ábrázoltuk a különböző paraméterek szempontjából elérhető %-os javulásokat. A kisnyomású kompresszor Δn_1 % növekedésének értékét mérési eredményekből kaptuk, így ez az összefüggés közelítően érvényes. Az ábrában az egyes paraméterek indexeit elhagytuk, mivel azok a 4. táblázatban egyértelműen megtalálhatók.



2. ábra

A hajtómű jellemzőinek javulása a ΔT_7 csökkenése függvényében

Az eddigiekből megállapítható, hogy a hajtómű áramlási felületei tisztításának minden szempontból kedvező hatása van. Elsősorban jelentősebben elszennyeződött hajtóművek (legalább 3000-4000 óra üzemidő tisztítás nélkül) esetében tisztítás után a T_7 hőmérséklet 8-10 fokot is csökkent, miközben az n_1 fordulatszám közel 1%-ot növekedett. A T_7 csökkenése következtében nő a szabályozási tartalék, az üzembiztonság és az élettartam.

A tisztításnak vannak azonban negatív hatásai is. Egy tisztítás ideje legalább 6-8 óra, a szükséges személyzet 3-4 fő, a tisztítás utáni hajtóműpróbában elfogyasztott tüzelőanyag kb. 500 kg.

Ezek után felmerül az igény a nagyjavítási időszak közötti optimális tisztítási szám meghatározására a maximális összeggazdaságosság elérése érdekében. Sajnos ez a kérdés az előírt terjedelemben részleteiben nem tárgyalható, de az eddigi ilyenirányú vizsgálatok szerint [5; 7] két nagyjavítási időszak között 2-3 tisztítás látszik optimálisnak.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Cleaning the compressors of aircraft engines. Aircraft engineering. January 1983.
- [2] Az Nk8-2U hajtómű termikus – áramlási analizise. Budapesti Műszaki Egyetem, Aero- és Termotechnika tsz. Budapest, kézirat. Témavezető: Dr.Pásztor Endre egy.tanár 1978. Készült a MALÉV megbízásából.
- [3] Dvigatyeľ szemeisztva NK-8 proművka gazovozdusnavo trakta dvigatyeľej i proverka parametrov dvigatyeľej imejuschih bolsuju narabotku v ekspluatácii. Metodika N⁰ MT-0053-78 Moskow.
- [4] Az NK8-2U hajtómű jellemzőinek átszámítása normál paraméterekre. Kézirat, MALÉV.
- [5] E.Pásztor: A mathematical model for the investigation of aging processes with the two-flow turbofan jet-plants. Acta Technica Academiae Scientiarum Hungaricae, 97 (1-4), pp.259-272 (1984)
- [6] Az NK8-2U hajtómű belső felületei tisztítása utáni paramétereinek számításával történő meghatározása. Budapesti Műszaki Egyetem, Aero- és Termotechnika tsz. Témavezető: Dr.Pásztor Endre egy.tanár. Kézirat 1983. Készült a MALÉV megbízásából.
- [7] A hajtóművek belső felületei tisztítása gyakoriságának közelítő meghatározása. Kézirat. MALÉV 1982.

The author determined the improvement of the parameters of jet-plants as a result of cleaning of flow-space boundary surfaces of jet-plants. It was found that cleaning affected the economy of the jet-plant favourably in every case. To determine the rate of improvement, a calculation method based on directly measurable parameters has been elaborated by the author to find that an improvement of around 1 % of the basic parameters (thrust, fuel consumption, etc.) of the jet-plant can be achieved under favourable cleaning conditions. Based on approximate economical considerations, the optimum number of cleanings between two general overhauls, and the optimum intervals at which cleaning shall be made within the service period of the jet-plant, has been determined, considering that the costs of cleaning are not negligible as the number of cleanings increase. According to the investigations, 2-3 cleanings shall be made in the period between two general overhauls.