

Dr. Pásztor Endre

## SZÁLLÍTÓ REPÜLŐGÉPEK GÁZTURBINÁS HAJTÓMŰVEI NYOMÁSVISZONYA NÖVELÉSÉNEK TERMIKUS PROBLÉMÁI

A probléma felvetése, bevezetése.

Az ideális termikus hatások ( $\eta_{td}$ ) folytonosan növekszik a kompresszor nyomásviszonya ( $\pi_k$ ) növelésével. A valóságos (effektív) hatásfok ( $\eta_{eff}$ ) azonban a nyomásviszony függvényében maximális értéket ér el, majd utána csökken. A hatásfok maximális értéke a nyomásviszonyon kívül függ a gázturbina egyes géprészei veszteségétől is.

A közepes nagyságú szállító repülőgépekben 2-4 MW teljesítményű, 10-30 kg/sec levegőszállítású gázturbinás hajtóművek üzemelnek. Az ilyen gázturbinák axiális kompresszorai fokozatszám (Z) növelésével növekszik a hajtómű  $\pi_k$  nyomásviszonya, ezzel együtt csökken a kompresszor és turbina fokozatok lapátmagassága. A lapátmagasság csökkenésével azonban csökken a kompresszor és turbina egyes fokozatainak politrópikus hatásfoka ( $\eta_{polk}$ ,  $\eta_{polt}$ ) is, melyek csökkentik a gázturbina effektív hatásfokát és a maximális hatásfokhoz tartozó optimális nyomásviszonyt.

A fentiek szerint két, ellentétes hatás küzd egymással. A nyomásviszony növekedése pozitív, az egyes géprészek hatásfokának csökkenése negatív. Ezen megfontolás figyelembevételével várható, hogy kis és közepes teljesítményű gázturbináknál nem célszerű nagy nyomásviszonyt alkalmazni, a rész-hatásfokok jelentős csökkenése miatt.

Ez a jelenség elsősorban axiális kompresszorral rendelkező gázturbinás hajtóműveknél domborodik ki erőteljesen, de centrifugális kompresszoros hajtóműveknél, ha burkoltabb formában is, de ugyanúgy megmutatkozik. Nagy nyomás viszony esetén legalább két sorba kapcsolt centrifugális kompresszor szükséges. A második, tehát a nagynyomású kompresszor méretei

jelentősen kisebbek az első (alacsony nyomású) kompresszorénál, ennek megfelelően hatásfoka csökken, tehát az axiál kompresszoros gázturbinával azonos helyzet áll elő.

Ki kell hangsúlyozni, hogy a tárgyalt jelenség csak kis és közepes teljesítményű (levegőfogyasztású) gázturbináknál mutatkozik meg erőteljesen.

Nagy teljesítményű gázturbináknál, ahol a levegőfogyasztás

$$(\dot{m}_{lev}) > 40 - 50 \text{ kg/sec},$$

a gázturbina lapátos gépeinek méretei, (elsősorban lapátmagasságai) oly nagyok, hogy a nyomásviszony növekedésével együtt járó csökkenésük lényegében nem

okoz géprész-vesztés növekedést, így nem okoz effektív teljesítmény, ill effektív hatások csökkenést sem.

## 2. A vizsgálat egyes lépései.

- A vizsgálat alapadatainak felvétele.
- Az axiális kompresszor fokozatszáma ( $Z$ ) függvényében a ( $\pi_k$ ) nyomásviszony növekedés meghatározása.
- Az egyes kompresszor és turbina fokozatok politrópus hatásoknak megállapítása a lapátmagasság ( $l$ ) csökkenése, ill. a kompresszor  $Z$  fokozatszáma növekedésének függvényében .
- Az effektív teljesítmény és effektív hatások meghatározása a kompresszor fokozatszáma, illetve nyomásviszonya függvényében, különböző nagyságú tömegáramok estében.
- Az eredmények értékelése, konstrukciós megfontolások, végkövetkeztetések.

## 3. A vizsgálat tényleges végrehajtása.

A vizsgálat kiinduló adatai megegyeznek egy korszerű, modern gázturbina alapadataival.

A kompresszor és turbina alap(kiinduló) politrópus hatásokait „0”indexel jelölöm. Ez a „0”indexű politrópus hatások lényegében az első (kompresszornál a legnagyobb lapáthosszúságú) fokozat hatásoka, amikor nincsen rés a lapátok és a ház között.

Tekintettel a turbina majdnem nagyságrenddel kevesebb fokozatszámára, ott átlagos ( első és utolsó fokozat lapátmagasságának átlaga) lapátmagasságot vettem figyelembe. Az alap politrópus hatások : ( $\eta_{polko} = 0,84; \eta_{polto} = 0,86$ )

A politrópus hatások annak következtében csökkennek, hogy különböző nagyságú reális, egy vizsgálaton belül állandó értékű  $r$  rés ( $r=0,5; 0,3; 0,1$ ) felvételekor a lapátmagasság csökkenésekor a fajlagos rés ( $r/l$ ) növekszik, ez pedig a politrópus hatások csökkenését, így a teljes gázturbina jellemzőinek romlását okozza.

Az {1;2;3;4} irodalmak szerint 1% fajlagos rés növekedés, 2-2,5 % hatások csökkenést okoz. A szakirodalomban bőven rendelkezésre álló és lényegében azonos eredményeket szolgáltató, kísérleti eredmények közül (Andenburg {5}, Brown- Boveri {5}, Kirillov {6}, Stepanov {7}, ), Stepanov alap-összefüggését használtam fel. Az alap-összefüggést mostani felhasználásra átalakítva:

$$\eta_{polk} = \eta_{polk0} \left[ 1 - K_K \left( \frac{r_k}{l_k} \right)^{m_k} \right]$$

$$\eta_{polt} = \eta_{polt0} \left[ 1 - K_t \left( \frac{r_t}{l_t} \right)^{m_t} \right]$$

ahol:  $r_k$  ill  $r_t$  a rész mérete a kompresszornál, illetve a turbinánál,

$l_k$  ill  $l_t$  a megfelelő lapátmagasságok.

A fenti két összefüggésben a konstansokat úgy állapítottam meg, hogy azokkal a lapát összes többi veszteségét is figyelembe vettem.

A kompresszort  $K_k=2$  és  $m_k=0,9$  jellemzőkkel modelleztem, míg tekintettel a turbina expanzíós jellegére ott  $K_t=1$  és  $m_t=1,1$  konstansokat alkalmaztam.

A lapátmagasságokat a sűrűség változása figyelembevételével, állandó, reális, axiális sebesség mellett a kontinuitás segítségével határoztam meg.

Mivel vizsgálataimat a  $Z$  fokozatszám és nem a  $\pi_k$  nyomásviszony függvényében végeztem, ezért egy speciális eljárást alkalmaztam.

Az egyes kompresszor fokozatok valóságos hőfoknövekedését

( $\Delta T_{fok\ k\ val}=50K$ ) vettem az Euler egyenletnek megfelelően állandónak, mert minden fokozat középátmérőn mért sebességét azonosnak tételeztem fel.

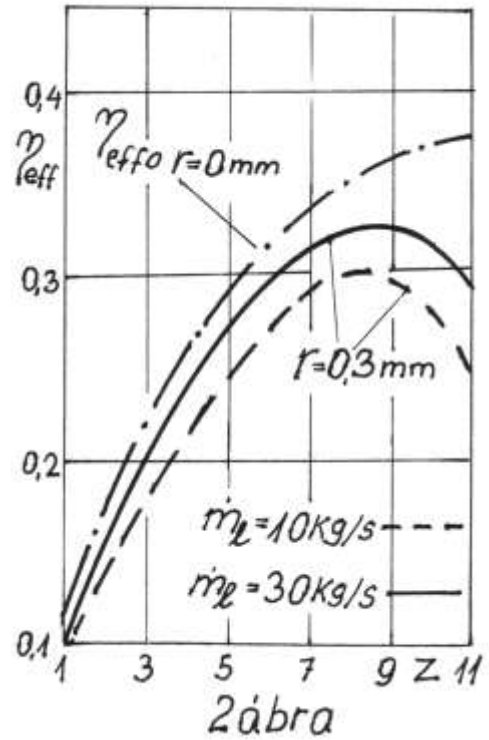
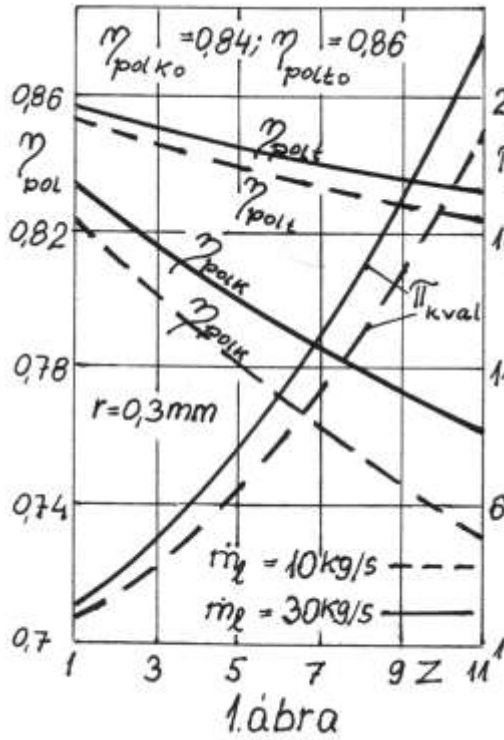
A tetszőleges  $i$ -edik fokozat valóságos nyomásviszonya:

$$\pi_{k\ val} = \left[ \frac{T_{val.fok.elött} + \Delta T_{fok\ k\ val}}{T_{val.fok.elött}} \right]^{\frac{\chi_i}{\chi_i - 1} \eta_{polt}}$$

A teljes kompresszor valóságos nyomás viszonya az egyes fokozatok nyomásviszonyának szorzata.

A valóságos kompresszor munka felvétele ( $W_{k\ val}$ ) az egymás közt azonos fokozati munkafelvételek ( $W_{k\ fok\ val}$ ) összege:

$$W_{k\ val} = \sum_{z=1}^{z=Z} W_{k\ fok\ val} = Z W_{k\ fok\ val} = Z c_{pl} \Delta T_{k\ fok\ val}$$



A turbina munka számítása hagyományos módon történik.  
 A politrópikus hatásfokok változása a Z fokozatszám függvényében az 1. ábrán látható két különböző tömegáram figyelembevételével. Szembetűnő, hogy a Z fokozatszám, ill. a  $\pi_{kval}$  valóságos nyomásviszony növekedésével, elsősorban

kisebb levegő-tömeg áramok esetén, a kompresszor politrópikus hatásfoka gyorsan csökken, mivel a  $\pi_{k\ val}$  növekedésével növekszik a közeg sűrűsége. Ez a lapátmagasság erőteljes csökkenését idézi elő, mely a fajlagos rés növekedésén keresztül a hatásfok csökkenését okozza.

Szintén az 1. ábrán látható a  $\pi_{k\ val}$  nyomásviszony változása a  $Z$  függvényében. Állandó  $\Delta T_{k\ fok\ val}$  esetén a kompresszor csökkenő  $\eta_{polk}$  hatásfoka a  $\pi_{k\ val}$  nyomásviszony csökkenésében realizálódik. Itt is látszik, hogy csökkenő  $m_1$  levegő-tömegáram esetén a lapátmagasság csökkenése miatt bekövetkező  $\pi_{k\ val}$  csökkenés annál nagyobb, minél kisebb  $m_1$  értéke.

Az ábrán feltüntettem a kompresszor és turbina alap-politrópus hatásfokait is ( $\eta_{polko}$  és  $\eta_{polto}$ ), amelyek  $r=0$  mm rés mellett keletkeznek.

Az ábrán a rés értéke, állandó,  $r=0,3$  mm. A 2. ábrán a vizsgálat egyes végeredményei láthatók, ahol  $\eta_{eff}$  és  $P_{eff}$  értékeit ábrázoltuk a  $Z$  fokozatszám függvényében.

Az ábrán a „o” index az  $r=0$  réshez tartozó eredményeket ábrázolja, vagyis azt az esetet, amikor a politrópikus hatásfokok ( $\eta_{polko}, \eta_{polto}$ ) állandók, és függetlenek a lapát magasságtól.

Állandó,  $r=0,3$  mm rés  $m_1$  csökkenésével a gázturbina effektív hatásfoka is ( $\eta_{eff}$ ) is jelentős mértékben csökken.

Egyrészt csökken az  $\eta_{eff}$  maximális értéke, másrészt a maximális

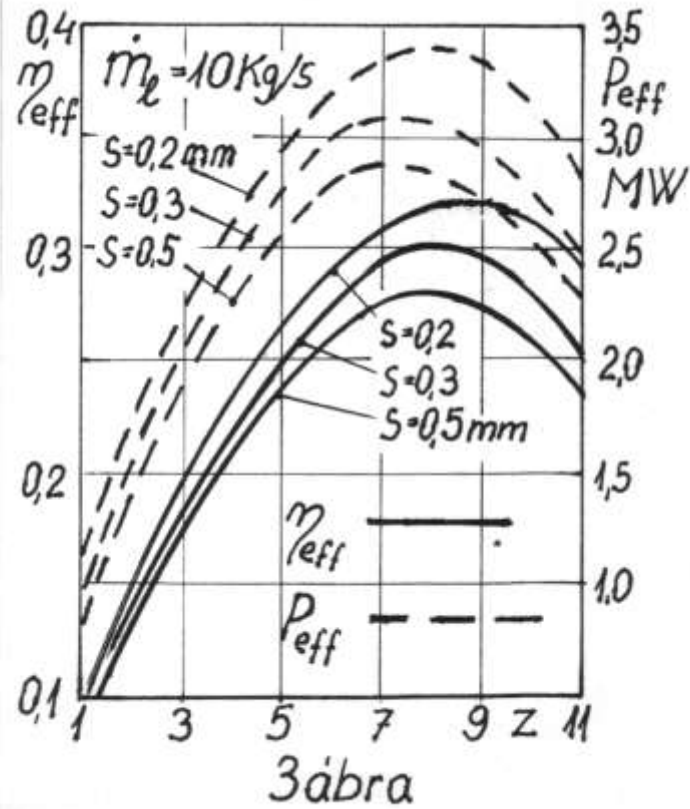
$\eta_{eff}$  hatásfokhoz tartozó  $Z_{opt}$  optimális fokozat szám, illetve  $\pi_{kopt}$  is egyre kisebb értéket vesz fel. Ebből az ábrából jól érzékelhető, hogy kis levegőfogyasztású gázturbinánál, nem célszerű nagy  $Z$  fokozatszámot, vagyis nagy  $\pi_{k\ val}$  nyomásviszonyt alkalmazni.

A 3. ábra bemutatja, hogy a  $m_1=10$  kg/s levegő-tömegáram esetén a lapátvég és a ház közötti rés( $r$ ) nagysága milyen hatással van a gázturbina jellemzőire. ( $P_{eff}, \eta_{eff}$ ).

A rés növekedésének hatása ugyanolyan mint amikor csökken az  $m_1$  levegő-tömegáram.

Csökken a jellemzők maximális értéke és a maximális értékhez tartozó  $\pi_{kopt}$  optimális nyomásviszony ill. fokozatszám.

Kedvező gázturbina jellemzők kizárólag minimális lapátréssel érhetők el.



Fenti vizsgálati eredmények figyelembevételével érthető az, hogy kis és közepes teljesítményű gázturbinás repülőgép hajtóműveknél nagy nyomásviszony esetén az utolsó 3-4 axiális fokozatot egy centrifugális fokozattal helyettesítik. A centrifugális kompresszornak is csökken a mérete és így a hatásfoka, de néhány %-al még mindig jobb, mint a 8-10mm lapátmagasságú, utolsó 3-4 axiális fokozat hatásfoka.

**Irodalom jegyzék:**

- 1. Dr Gruber József és szerzőtársai: Ventilátorok  
Műszaki könyvkiadó.1966**
- 2. Howel,A.R.: Fluid dynamics of axial flow compressors.Proc.Instr.Mech.  
Eng.London 1945**
- 3. Kahane, A.: Investigation of axial flow fan and compressor rotors designed for  
three dimensional flow.N.A.C.A Techn. Note.1652. 1948**
- 4. Wallis ,R.A.:Axial flow fans. Newnes London 1961**
- 5. Brodszky , D.:Repülőgép-hajtóművek II.Gázturbinák.  
Budapest.Tankönyvkiadó.1954**
- 6. Kirillov, I.I.: Teorija turbomasin.Leningrad.Masinostroenie.1974**
- 7. Stepanov, G JU.Osnovi teorii lopatocsnih masin, kombinirovannih i  
Gasoturbinnih dvigatelei.Masgis. Moskva.1958**