

A TV2-117A TÍPUSÚ HELIKOPTERHAJTÓMŰ KOMPRESSZORÁNAK
VIZSGÁLATA

Ebben a cikkben szeretném folytatni az 1991/1. számban megjelent, a hajtómű-vizsgálatról szóló tanulmányom, részletesen kitérve a kompresszor - mint hajtómű-részegység elemzésére. Számítások segítségével meghatározható a fokozatokra jutó hőmérsékletnövekedés és nyomásviszony. Ezek felhasználásával megkaphatók a fokozatok előtti és mögötti hőmérséklet- és nyomásértékek, majd felvehető a fokozatok sebességi háromszögei. Ez a munka az oktatásban hozzásegíthet a kompresszor termikus és áramlástanai viszonyainak jobb megértéséhez. A kapott eredmények kiindulási alapul szolgálhatnak a kompresszor további vizsgálatához, pl. a kompresszor-lapátokra ható erők meghatározásához.

Mivel tízfokozatú kompresszort vizsgálók, felvetődik a kérdés, hogy érdemes-e egyáltalán hagyományos "kézi" számításokat végezni, vagy célszerűbb inkább számítógépes programot írni a feladat megoldására. Az utóbbi két szempontból is kedvezőbbnek tűnik. Egyrészt, mire a hagyományos módszerrel történő számítást elvégezzük, akkorra programot is készíthetünk. Másrészt a "kézi" számítás elvégezhetősége miatt minden fokozatra előzetesen meg kell határozni a termikus körfolyamat számításakor a közepes fajhő (C_p) és adiabatikus kitevő (κ) értékeit, valamint egy átlagos fokozat izentrópiikus hatásfokával dolgozhatunk. Mindezek az egyszerűsítések a pontosság rovására mennek, ami gépi számításnál kiküszöbölhető. Pl. egy szubrutin segítségével valamennyi fokozatra lekérdezhetjük a reál érvényes, állandó nyomáson vett fajhő és adiabatikus kitevő értékeit. Több számítási ciklus elvégzésével helyesbíthetjük a fokozat izentrópiikus hatásfok

adatait, az előző számítási ciklus eredményeinek felhasználásával. Mindezzel ciklusonként egyre közelebb kerülünk az optimális megoldáshoz. Számításaim során a harmadik és negyedik ciklus eredményei között már nem volt gyakorlati eltérés. Meg kell jegyezni, hogy az első számítási ciklus, ami hagyományos számítással is elvégezhető (magam is elvégeztem!), már megfelelően pontos eredményeket szolgál a későbbi gépi számítás eredményeivel összehasonlítva is.

A KOMPRESSZOR SZERKEZETENEK RÖVID ISMERTETÉSE ES A KIINDULÓ ADATOK MEGHATÁROZÁSA

A vizsgált kompresszor egy tízfokozatú axiális kompresszor. Az előperditő és a három első, álló, tereelő lapátoskorszorú lapátjainak beállítási szöge hidromechanizmus segítségével változtatható az átszámított fordulatszám függvényében. A kompresszor-fokozatok középátmérője hátrafelé növekszik, ami azok optimális kihasználtságát javítja.

Kiinduló adatok:

- $P_1 = 100311 \text{ Pa}$ - kompresszor belépési keresztmetszetének nyomása;
- $T_1 = 288 \text{ K}$ - kompresszor belépési keresztmetszetének hőmérséklete;
- $P_2 = 662057 \text{ Pa}$ - kompresszor kilépési keresztmetszetének nyomása;
- $T_2 = 530 \text{ K}$ - kompresszor kilépési keresztmetszetének hőmérséklete;
- $m = 6,8 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ - a kompresszor levegőszállítása;
- $n_K = 6,6$ - a kompresszor nyomásviszonya;
- $n = 348,03 \frac{1}{\text{s}}$ - a kompresszor fizikai fordulatszáma fel szálló üzemmódon.

Ezek az adatok részben a termikus körfolyamat számításnál már felhasznált, a hajtómű leírásból vett

adatok, részben pedig a termikus körfolyamat számítási eredményei. A vizsgált üzemmód ugyanaz a felszálló üzemmód, ($T_0 = 288 \text{ K}$, $p_0 = 101325 \text{ Pa}$) amit előzőleg a termikus körfolyamat számításakor végeztem, így ezek adatai újból felhasználhatók.

Nagyon fontos a sebességi háromszögek felvételéhez a reakciófok meghatározása. A reakciófok azt fejezi ki, hogy a kompresszor-fokozatban hogyan oszlik meg az entalpia-növekedés az álló és forgó lapátkoszorú között. Képlete:

$$r = \frac{\Delta i_f}{\Delta i_f + \Delta i_d}$$

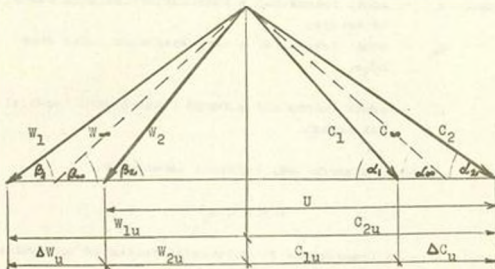
ahol: Δi_f - entalpiánövekedés a forgó lapátkoszorúban;
 Δi_d - entalpiánövekedés az álló lapátkoszorúban;
 r - a kompresszor-fokozat reakciófoka.

Mivel egy-egy fokozatban kicsi a közeg sűrűségének változása, ezért úgy tekinthetjük, hogy a nyomásnövekedés is az entalpiaváltozásoknak megfelelően oszlik meg az álló és forgó lapátkoszorú között.

Az axiális kompresszorok általában 50-100 %-os reakciófokúak. Szemrevételezve a tárgyalt kompresszort, jól megfigyelhető, hogy a fokozatok reakciófoka 50 %-os, mivel az álló és forgó lapátkoszorú lapátjai egymáshoz képest szimmetrikusak. Ennek megfelelően a fokozatok sebességi háromszögei is szimmetrikusak lesznek. Ez olyan szerencsés helyzet, ami nagyban megkönnyíti a feladat végrehajtását. A számításokban alkalmazott jelölések megértéséhez nyújt segítséget az 1. ábra, amelyen egy 50 %-os reakciófokú kompresszor-fokozat sebességi háromszög vektorait ábrázoltam a be- és kilépési szögek jelölésével.

A geometriai méreteket egy metszett hajtómű kompressz-

szorárdó vettem. Minden fokozatnál lemértem a kompresszor-csatorna külső átmérőjét és a lapát magasságát. Ezeket az adatokat a cikk végén a fokozatonkénti eredményekkel együtt közlöm.



1. ábra

A KOMPRESSZOR SZAMITASI FOLYAMAT ISMERTETESE

A vizsgálat menetét a következőkben "abc" sorrendben tárgyalom, majd a kapott eredményeket fokozatonként összefoglalom. Az egyes pontoknál a jobb áttekinthetőség kedvéért numerikus értékeket nem helyettesítek be. A leírt összefüggések természetesen az összes kompresszor-fokozatra ugyan olyan formában érvényesek, és mind a "kézi" számításnál, mind a számítógépes program felállításánál felhasználhatóak.

a. / Kompresszor közép-átmérő számítás

Mérni legegyszerűbben a kompresszorház belső átmérőjét, illetve a forgó lapátkoszorú lapátjainak magasságát lehete-

tett. Így az adott fokozatnál a forgó lapátkoszorú közép-átmérője:

$$d_k = d_h - L$$

ahol: d_k - adott fokozatban a kompresszor-csatorna közép-átmérője;

d_h - adott fokozatnál a kompresszorház belső átmérője;

L - adott fokozatnál a forgó lapátkoszorú lapátjainak hossza.

b./ Közép átmérőn vett kerületi sebességek:

$$U = n \pi d_k$$

ahol: n - a kompresszor fordulatszáma felszálló üzemmódon, mértékegysége: $\frac{1}{s}$;

U - az adott fokozat forgó lapátkoszorújának kerületi sebessége közép-átmérőn;

c./ Hőmérséklet-növekedés a fokozatokban

A kompresszor-fokozatok munkája kifejezhető az ún. kerületi munka segítségével is.

$$W_f = U (C_{2u} - C_{1u})$$

ahol: W_f - az adott fokozat fajlagos kompresszió munkája;

C_{2u} , C_{1u} - az abszolút sebességek kerületi irányú komponensei (Lásd 1. ábrát!).

Az előző kifejezés egyszerű matematikai módszerekkel átalakítható úgy, hogy a kifejezésben csak a sebességi háromszög szögeinek szögfüggvényei szerepelnek a kerületi sebességen kívül.

$$W_f = U^2 \frac{\operatorname{ctg}\alpha_2 - \operatorname{ctg}\alpha_1}{\operatorname{ctg}\alpha_1 - \operatorname{ctg}\beta_1} = U^2 K$$

ahol: K - a fokozat kialakítására jellemző szám.

A termikus számításból ismerjük, hogy a felszálló üzemmódon mennyi a kompresszor fajlagos munkája. A fentebb említett "K" tényezőt első lépésben állandónak vesszük az összes kompresszor-fokozatra. Értékét pedig a kompresszor fajlagos munkája alapján a következőképpen számítjuk:

$$W_k = C_p (T_2 - T_1)$$

ahol: W_k - a kompresszor fajlagos munkája felszálló üzemmódon.

Ez a fajlagos kompresszor-munka természetesen megegyezik a fokozatok fajlagos munkájának összegével:

$$W_k = \sum_{j=1}^{10} W_{f_j}$$

Tehát "K" tényező értéke az összes fokozatra:

$$K = \frac{C_p (T_2 - T_1)}{\sum_{j=1}^{10} U_j^2}$$

Ezekután az egy fokozaton létrejövő hőmérséklet-növekedést a következőképpen határozhatjuk meg:

$$\Delta T_f = \frac{U^2 K}{C_p}$$

ahol: ΔT_f - egy fokozaton létrejövő hőmérséklet-növekedés.

A nagyobb pontosság érdekében az állandó nyomáson vett fajhő (C_p) értékét minden fokozatra számíthatjuk, mivel a hőmérséklet függvényében változik. Ha azonban "kézi" számítást végzünk, elegendő a termikus körfolyamat során a kompresszorra meghatározott közepes fajhő alkalmazása.

d. / A fokozatok izentrópiikus hatásfokának meghatározása

A fokozatok nyomásviszonyainak meghatározásához az első feladat a fokozatok izentrópiikus hatásfokának kiszámítása. Az izentrópiikus hatásfokot a következőképpen kaptam meg:

- a kompresszor politropikus hatásfoka:

$$\pi^{\frac{n-1}{n}} = \frac{T_2}{T_1} \quad \frac{n}{n-1} = \frac{\ln 6,6}{\ln \frac{830}{288}} = 3,093$$

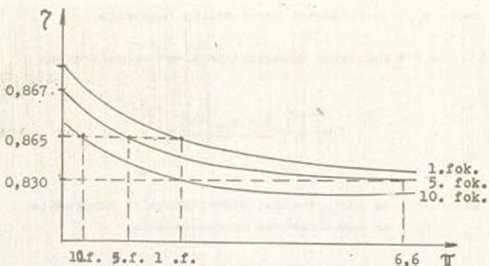
$$\eta_{pol} = \frac{\frac{n}{n-1}}{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = \frac{3,093 \cdot 0,39}{1,39} = 0,8677$$

ahol: n - a kompresszió folyamat politropikus kitevője;

η_{pol} - a kompresszió folyamat politropikus hatásfoka.

Ez a számított politropikus hatásfok az egész kompresszorra vonatkoztatott átlagos érték. Feltehető, hogy az első

fokokat politropikus hatásfoka jobb, az utolsó pedig rosszabb. Lásd a 2. ábrát. Mivel a fokozatok nyomásviszonyai



2. ábra

a kompresszorban hátrafelé csökkennek, ezért az ábrán látható módon az izentropikus hatásfokot fokozatonként állandónak tekintem. (A következő számítási ciklusban már az előző ciklus eredményei segítségével pontosíthatók a hatásfok-értékek).

- izentropikus hatásfok értékének meghatározása:

$$\pi_{fd} = \sqrt[n]{\pi_k} = \sqrt[10]{6,6} = 1,207$$

ahol: π_{fd} - a fokozatok átlagos nyomásviszonya

π_k - a kompresszor nyomásviszonya

$$\eta_{if} = \frac{\pi_{fd}^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1}{\frac{\pi_{fd}^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1}{\frac{n-1}{n} - 1}} = \frac{1,207^{\frac{0,39}{1,39}} - 1}{1,207^{\frac{0,32}{1,39}} - 1} = 0,855$$

ahol: η_{if} - a fokozatok izentrópiikus hatásfoka.

e./ A fokozatok nyomásviszonyainak meghatározása

$$\Pi_f = \left(\frac{T + \eta_{if} \Delta T}{T} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$$

ahol: T - az adott fokozat előtti abszolút hőmérséklet

Π_f - az adott fokozat nyomásviszonya.

f./ A sebességi háromszögek axiális komponenseinek meghatározása

A feladat megoldásához szükséges az adott fokozatnál lévő keresztmetszetben a közeg sűrűségének ismerete. Ehhez tudnunk kell az itt lévő nyomást és hőmérsékletet. Mivel az előzőekben számítottuk a fokozatokra jutó hőmérséklet-növekedést, illetve nyomásviszonyt, így bármely keresztmetszetben ismerjük ezeket a jellemzőket.

Igy adott keresztmetszetben a közeg sűrűsége:

$$\rho = \frac{p}{R_L T}$$

Adott keresztmetszetben a közeg axiális sebessége a folytonosság tételéből:

$$C_a = \frac{m}{\rho \varepsilon d_k \Pi L}$$

ahol: m - a kompresszorán időegység alatt átáramló közeg tömege (itt 0,8 $\frac{kg}{s}$)

ε - a lapátok miatt a kompresszor keresztmetszete szűkül, értéke becslés alapján lett felvéve (0,96).

g. / ΔW_u [ΔC_u] meghatározása

A sebesség-vektorok értelmezéséhez lásd az 1. ábrát. Az ábrán látható, hogy ΔW_u és ΔC_u vektorok nagysága azonos. A c. / pontban tárgyaltak szerint:

$$W_f = U (C_{2u} - C_{1u}) = U (W_{1u} - W_{2u}) = U^2 K$$

Ez alapján:

$$\Delta W_u = \Delta C_u = W_{1u} - W_{2u} = C_{2u} - C_{1u} = U K$$

h. / β_2 [α_1] szögek meghatározása

Ismét az 1. ábra alapján szögfüggvények segítségével számíthatók a keresett szögek.

$$\beta_2 = \arctg \frac{2 C_a}{U - \Delta W_u}$$

i. / β_1 [α_2] szögek meghatározása

$$\beta_1 = \arctg \frac{2 C_a}{U + \Delta W_u}$$

j. / W_1 [C_2] sebesség-vektorok meghatározása

$$W_1 = \frac{C_a}{\sin \beta_1}$$

k./ $W_2 [C_1]$ sebesség-vektorok meghatározása

$$W_2 = \frac{C_a}{\sin \beta_2}$$

Ezzel tulajdonképpen befejeződött a kompresszor-vizsgálat számítási folyamatának ismertetése. A k./ pont alapján bármelyik kompresszor-fokozatra, a hőmérséklet- és nyomásnövekedés mértéke, a fokozat előtti és mögötti nyomás és hőmérsékletadatok, fokozatonként a sebességi háromszögek számíthatók, illetve megismerhetők. Ezeket az eredményeket a fenti tárgyalás "abc" sorrendjében az 1. táblázatban összefoglalva közlöm.

A kompresszorfokozatok jellemző adatai

1. táblázat

Sor- rend	Fok- jell.	1. fok.	2. fok.	3. fok.	4. fok.	5. fok.	6. fok.	7. fok.	8. fok.	9. fok.	10. fok.
a.	v_k [m]	0,206	0,210	0,217	0,225	0,231	0,236	0,241	0,243	0,244	0,245
b.	U [m/s]	225,2	229,6	237,2	246	252,5	258	263,5	265,7	266,7	267,8
c.	ΔT_f [K]	19,37	20,13	21,5	23,11	24,36	25,43	26,52	26,96	27,18	27,4
e.	\overline{N}_f [-]	1,223	1,217	1,217	1,219	1,217	1,212	1,207	1,198	1,187	1,178
f.	C_0 [m/s]	110,9	114,6	116,95	117,9	117,7	118	122,1	116,5	108	100,7
g.	W_0 [m/s]	87,7	89,4	92,4	95,8	98,3	100,5	102,6	103,4	103,9	104,3
h.	A_2 [fok]	58,2	58,4	58,2	57,5	56,7	56,3	56,6	55,1	53	50,9
i.	A_1 [fok]	35,3	35,5	35,3	34,5	33,8	33,3	33,7	32,2	30,2	28,4
j.	W_1 [m/s]	191,8	198,1	202,2	207,7	211,4	214,7	229	218,4	214,6	211,7
k.	W_2 [m/s]	130,4	134,5	137,5	139,7	140,7	141,9	146,2	142	135,3	129,7