

MTA doktori értekezés bírálatára adott válasz

Az értekezés bírálója: *Somlyódy László*

Az értekezés szerzője (jelölt): *Vad János*

Az értekezés címe magyarul: *Lapátnyilazás alkalmazása sugár mentén növekvő lapátcirkulációra tervezett axiális átömlésű ventilátor-járókerekekre*

A bíráló kritikai megjegyzéseit, kérdéseit és a rájuk adott válaszokat sorszámoztam.

Köszönöm Somlyódy Lászlónak, hogy fiatal kutató korom óta – akkor Ph.D. dolgozatom bírálójaként – figyelemmel kíséri munkámat, és elvégezte MTA doktori értekezésem bírálatát. Kritikai észrevételeit köszönettel veszem, és további munkámban hasznosítom.

1) Megjegyzés: A bíráló észrevételezi, hogy a szűkszavú tárgyalásmód esetenként már túlzott mértékű; a magyarázó jellegű jelzős szerkezetek hiánya a megértést alaposan megnehezíti. A szűkszavúságnak nemkívánatos következménye, hogy az olvasónak gyakran oda-vissza kell lapoznia a fő szöveg és a terminológiai rész között. Ezt a jelleget a függelékek tovább bonyolítják, esetenként kereszthivatkozások sokaságával ellátva.

Válasz:

Az MTA (VI.) Műszaki Tudományok Osztálya által kiadott, „Követelmények a doktori műre és a tézisekre vonatkozóan” című dokumentum szerint: „Az értekezés érdemi fejezeteinek terjedelme ne haladja meg a 100 oldalt.”

Dolgozatom terjedelme, leszámítva a függelékeket, 99 oldal. A terjedelmi korlátnak való megfelelés több körben történő, munka- és időigényes újraserkesztést tett szükségessé. A terjedelmi korlát kényszerített arra, hogy értekezésemet a bíráló által kritizált módon szerkesszem.

A szakkifejezések gyűjteményének ötletét az [1] szakkönyv adta.

Kérem a bírálót, ha azt indokoltnak tartja, javasolja megfontolásra az MTA Műszaki Tudományok Osztálya felé a 100-oldalas terjedelmi korlát felülvizsgálatát.

E témát a Baranyi László bírálatára adott [S1] válaszomban is tárgyaltam.

2) Megjegyzés: A bíráló különösnek tartja, hogy az irodalomjegyzékben az abc sorrenddel szemben a szövegben való megjelenés sorrendje szerint számozom a munkákat.

Válasz:

Ez az úgynevezett „Vancouver style”. Ez az idézési stílus általában megfelel a forgógépekkel foglalkozó szakirodalom elvárásainak – többek között azon szakirodalomnak is, amelyekben én adtam közre eredményeimet (pl. *Proc. Instn Mech. Engrs, Part A, J. Power and Energy*; *ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*; *European Conference on Turbomachinery Fluid Dynamics and Thermodynamics*; *ASME Turbo Expo*).

3) Megjegyzés: A bíráló szerint a célkitűzések megfogalmazása nem a legegyszerűsebb. Három hasonló változat található a következő helyeken: 21. oldal, 4. bekezdés; 22. oldal alja; tézisfüzet.

Válasz:

- A 21. oldal 4. bekezdésében azt fejtettem ki, hogy *mi a célkitűzés*: a sugár mentén növekvő lapátcirkulációra tervezésre + lapátnyilazásra vonatkozó ismeretek bővítése, tervezői irányelvek megfogalmazása.
- A tézisfüzetben is ez szerepel tartalmilag, mint célkitűzés.

- A 22. oldal alján azt fejtettem ki, hogy a célkitűzést *hogyan* tervezem megvalósítani: előbb a lapátcsúcs-közeli, majd a gyűrűfalaktól távolabbi áramlási tartomány vizsgálatával; végül a nyílazást magában foglaló előtervezési módszer tárgyalásával.

Egyetértek a bírálóval abban, hogy bizonyára lehetett volna szerencsésebben fogalmazni.

4) Megjegyzés: A bíráló kérdése: továbbfejleszthető lenne-e a lapáttervezési módszer a 2. fejezetben leírt, radiális kiáramlásra vonatkozó analitikus modell felhasználásával?

Válasz:

A modell alkalmazásának célja a jelenlegi szándékom szerint a következő. Segítségével sikerül a trendeket, és az azok mögött álló fizikai okokat áttekinteni, ez által kvalitatív és részben kvantitatív tervezői irányelveket megfogalmazni. Ezzel sikerül a numerikus áramlástan (Computational Fluid Dynamics, CFD) modellezés „fekete doboz” jellegén enyhíteni.

Jelenlegi ismereteim szerint nem célszerű az előtervezési módszerbe az áramlás további részleteit bevinni, a kidolgozott analitikus modell révén. Ezzel ugyanis magával a korszerű CFD technikával kezdenénk versenyezni a lapátalak és az áramlás finomszerkezete közti kapcsolat feltárásában. Ezt indokolatlannak és esélytelennek látom.

5) Megjegyzés: A bíráló kérdése: A 42. old. 2.6. ábra a [138] saját méréseken alapul?

Válasz:

A 2.6. ábra, amely a [138] és később a [139] cikkben publikálásra került, tartalmazza a BUP-26, BUP-29 és BUP-103 járókerekek mérési adatait. Ezek saját lézer Doppler anemométeres (LDA) méréseim. Az ábrán szerepel az „INO” címkéjű gép mérési adata is. Ahogyan azt a 38. oldalon a 2.3.1. fejezet elején leírtam (és a vonatkozó cikkeimben is hivatkoztam), az „INO” gép adatait a [131] cikkből vettem. Azok tehát nem saját adatok.

6) Megjegyzés: A bíráló kérdése: mekkora a 40. old. 2.2. táblázatban szereplő, parciális differenciálhányadosokat tartalmazó μ_i^* tényezők számításának hibája?

Válasz:

A μ_i^* tényezők relatív hibájának nagyságrendje becslésem szerint $\pm 10\%$. A 41. oldalon leírt, megfigyelt trendekre vonatkozó megállapítások e hiba ismeretében is helytállóak.

Részletes indoklás:

Annak érdekében, hogy e tényezők hibájának nagyságrendjét átfogóan becsüljem, a következő megfontolásokat teszem:

- Ha a μ_i^* tényezőket összegezzük, $\frac{\partial}{\partial x_i}(w_i w_j)$ szerkezetű kifejezések jelennek meg, amelyekben x_i valamely helykoordináta, w_i és w_j pedig relatív sebességkomponensek (i és j nem minden esetben különbözik).
- E differenciálhányadosokat a hibabecslés során differenciahányadosukkal közelítem:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(w_i w_j) \approx \Delta(w_i w_j) / \Delta x_i.$$
- Közelítések: A) Az abszolút v_i illetve v_j sebességkomponensek relatív hibája, az LDA mérés becsült hibája – értekezés 85. old. 4.1. táblázat – alapján átlagosan $\pm 2,75\%$. B) Az átlagos relatív áramlási szöget az értekezés 39. old. 2.1. táblázat γ lapátbeállítási szög-adatait is szem előtt tartva $\approx 45^\circ$ -ra választom. C) Tekintetbe veszem, hogy pl. az axiális sebességet véve alapul $w_s \approx v_x / \cos \gamma$. A w_i illetve w_j relatív sebességkomponensek relatív hibája ennek

alapján $\approx \pm 2,75 \% \times \sqrt{2} = \pm 3,9 \%$. (Ugyanis $1/\cos \gamma \approx 1/\cos 45^\circ = \sqrt{2}$). D) $w_i w_j$ relatív hibája $\approx \sqrt{2 \cdot 3,9^2} = \pm 5,5 \%$.

- $\Delta(w_i w_j)$ relatív hibája ennek kétszerese: $\pm 11 \%$, nagyságrendileg tehát $\approx \pm 10 \%$.
- Figyelembe véve, hogy az LDA mérőrendszert precíziós mozgató berendezéssel pozicionáltam, e helyütt elhanyagolom a Δx_i helykoordináta-változás pozicionálásból adódó hibáját.
- Fentiek alapján a $\frac{\partial}{\partial x_i}(w_i w_j)$ tényezők hibájának nagyságrendje $\pm 10 \%$, ami megítélésem szerint reprezentálja a μ_i^* tényezők hibájának nagyságrendjét is.

7) Megjegyzés: A bíráló kéri állásfoglalásomat: ki végezte el a hődrótos és LDA méréseket, valamint a CFD számításokat? Az értekezés mennyiben támaszkodik a [26, 131, 150] hivatkozásokban foglaltakra, és mennyiben különül el azoktól?

Válasz:

- A hődrótos méréseket Inoue és szerzőtársai végezték [131], ahogyan arra hivatkozom is, az értekezés 38. oldalán a 2.3.1. fejezet elején, és a 39. oldalon. A japán kutatók munkájának fő célja független az értekezés célkitűzéseitől: a légrés-méret hatását vizsgálták, állandó cirkulációra méretezett, egyenes lapátozásokon.
- Az LDA méréseket én magam végeztem.
- A [26] szerinti CFD számításokat – amelyekre több alkalommal hivatkozom – Alessandro Corsini végezte el, Franco Rispoli szakmai iránymutatásával. Az olasz kutatók a cikkben az általam tervezett FSW lapátozást hasonlítják össze az USW lapátozással. Az értekezés célkitűzései túlmutatnak a cikkben foglaltakon, illetve attól függetlenek. Ugyanis Corsini és Rispoli [26] szerinti CFD eredményeinek további feldolgozását végzem el az értekezésben.
- Birtokomban van egy nyilatkozat Alessandro Corsini és Franco Rispoli részéről, közös szerzőségben írt bizonyos cikkeinkhez kapcsolódóan. E nyilatkozatban a következő kijelentést teszik. A sugár mentén növekvő cirkulációra tervezett axiálgépekben kialakuló háromdimenziós (3D) áramláshoz kötődő modellezési aspektusokra és tervezési módszerre vonatkozó eredmények az én független tudományos eredményeim.
- Értekezésem alapvetően támaszkodik a [150] szakirodalomban foglaltakra. Ebben a szerzők a külső gyűrűfali kiszorító hatást vizsgálják, és megállapítják, hogy az axiális kiszorítási vastagság számos paramétertől függ. Értekezésem meghaladja a [150] szerinti szakirodalmi ismereteket, a 2. tézispontban foglaltak szerint:
 - A kiszorító hatást [150] szerint befolyásoló paraméterek csoportját kiegészítettem az új $d\hat{\psi}_{2,D}/dR$ paraméterrel („cirkuláció-gradiens”) (magyarázat a téziszűzetben).
 - Számszerűsítettem a kiszorító hatás „cirkuláció-gradiensnek” tulajdonítható növekményét.

8) Megjegyzés: A bíráló kérdése: Az egyenes mentén történő előrenyilazással összehasonlítva, milyen mértékben és eredményességgel alkalmaznak görbe-vonalú felfűzést, ami figyelembe veszi a fali hatásokat? (Hivatkozik a 49., 60. és 73. oldalakra, továbbá a 4.20 egyenletre.)

Válasz:

Görbe-vonalú felfűzés esetén az általam ismert szakirodalmi esettanulmányokban 45° -ig terjed a nyilazási szög abszolút értéke a gyűrűfalak közelében. Hatásfok-romlás és -javulás egyaránt előfordul, százalékos nagyságrendben. E nyilazási szög és hatásfok-változás értékek

nagyságrendileg megegyeznek az egyenes mentén történő előrenyilazást tárgyaló esettanulmányokban szereplő számértékekkel.

Valószínűsíthető, hogy ha az általam a 7. tézispontban javasolt előtervezési módszert kiegészítjük a gyűrűfal-közeli hatásokat figyelembe vevő nyilazási módszerrel, a 4.5. fejezetben megállapított hatások-javuláshoz képest további javulás érhető el.

Részletes indoklás:

Az értekezés 17. oldalán hivatkozom azon esettanulmányokra, amelyekben a lapátnak főként a gyűrűfal-közeli részére korlátozódik a radiálistól eltérő lapátfelfűzés. Az esettanulmányokra jellemző adatokat előkeresve a [4] áttekintő tanulmányom 1. táblázatából, a következőket állapítom meg. A nyilazási szög abszolút értéke a lapát mentén a zérus értéktől (egyenes lapát) a $10^\circ \div 45^\circ$ tartományon belüli csúcsértékekig változott, előírt függvény szerint. A tervezési munkapontban az összhatásfok-változás a -0,6 % (hatásfok-romlás) és 2 % (maximális hatásfok-javulás) értékek között változott. Közvetlen összefüggés nem mutatható ki a nyilazás módja és mértéke, valamint a hatásfok változása között. Ez szemlélteti, hogy a gyűrűfalak közelében a lapátalak meghatározása nem tartható kézben egyszerű előtervezési elvek alkalmazásával. Ennek oka a gyűrűfalak közelében fellépő 3D áramlási jelenségek bonyolultsága.

9) Megjegyzés: A bíráló kérdése: Különbféle nyomás- és mennyiségi számok, valamint agyviszonyok mellett mekkora lehet a legnagyobb hatásfok-különbség a tradicionális és a CVD + FSW tervezés között?

Válasz:

A szakirodalmi adatok kiterjedt – igen széles nyomás- és mennyiségi szám-, valamint agyviszony-tartományokat feldolgozó – kiértékelése arra vezetett, hogy az általam javasolt CVD + FSW módszerrel elérhető legnagyobb összhatásfok-javulás mintegy $2 \div 3$ %, a tervezési munkapontban.

Részletes indoklás:

A bíráló által is felvetett kérdés vizsgálatára kiterjedt szakirodalmi adatfeldolgozást végeztem. A szakirodalmi források túlnyomó része a [4] közleményben szerepel. Az eredményeket az [S2] cikkben publikáltam. A szakirodalmi források pontos megadását, a részletesebb kiértékelést, az adatokra vonatkozó gondos statisztikai analízist az előkészületben lévő, Halász Gáborral közösen készítendő [S3] cikk fogja tartalmazni.

A következő jelöléseket alkalmazom:

G : = $d\hat{\psi}_{2,D}/dR$ "cirkuláció-gradiens"; a lapátcirkuláció sugár menti változékonyságát a lapátmagasság mentén átlagosan jellemző dimenziótlan paraméter, tervezési térfogatáramon

η : összhatásfok (térfogatáram X össznyomás-növekedés osztva a járókerék-tengelyen bevezetett mechanikai teljesítménnyel)

$\Delta\eta$: összhatásfok-változás előrenyilazás hatására

ν : agyviszony (agy-átmérő / lapátcsúcs-átmérő)

Φ : mennyiségi szám (térfogatáram osztva a gyűrűkeresztmetszettel és a lapátcsúcs kerületi sebességével)

Ψ : össznyomásszám (össznyomás-növekedés osztva a lapátcsúcs kerületi sebességével számolt dinamikus nyomással)

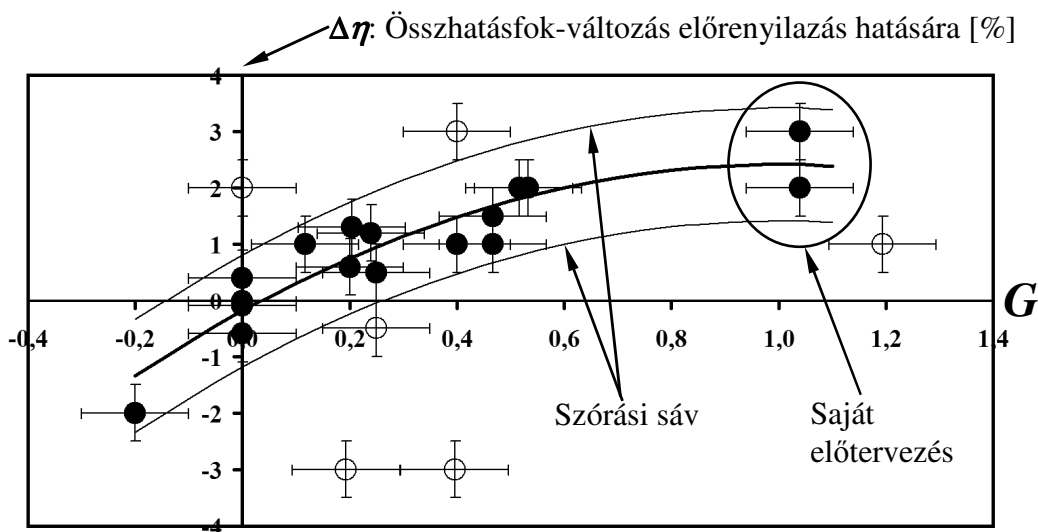
Az általam feldolgozott szakirodalomban szereplő esettanulmányokat magukban foglaló paraméter-tartományok igen szélesek. Az adatok túlnyomó része fellelhető a [4] cikkben.

$$\Psi \approx 0,15 \div 0,8; \quad \Phi \approx 0,2 \div 0,8; \quad \nu \approx 0,35 \div 0,85$$

Az esettanulmányokat összegző, [S2] cikkből vett diagramot az **S1. ábrán** mutatom be. A diagram tartalmazza az összetartozó $[G; \Delta\eta]$ értékpárokat, a tervezési térfogatáramon. Az S1. ábrán megfigyelhető az adatpontok jelentős szórása. Ennek okai, hogy a $\Delta\eta$ összhatásfok-változást az előrenyilazáson kívül számos más tényező is befolyásolja, továbbá hogy az adott esettanulmány nem feltétlenül az elérhető legnagyobb hatásfok-javulást adó előrenyilazási esetet dolgozza fel. Mindenesetre az adatpontok határozott trendet követnek. A másodfokú polinom szerinti trendvonalat vastag folytonos vonal jelzi, a trendvonal körüli $\Delta\eta = \pm 1 \%$ szélességű szórási sávot vékony vonalak szemléltetnek. Figyelembe véve a G és $\Delta\eta$ adatok becsült bizonytalanságát (hibasávokkal jelölve) megállapítható, hogy az adatpontok mintegy háromnegyede – fekete szimbólumok – a szórási sávon belül követik a trendet. Az ábrán feltüntettem a 7. tézispontban javasolt új módszer szerinti „saját előtervezés” adatait is. Ez utóbbiak az értekezés 4.5. fejezetében bemutatott esettanulmányból származnak.

Az ábrából levonható következtetések, és ezek révén az eredmények összefoglalása:

- A trend szerint növekvő G értékekhez növekvő $\Delta\eta$ összhatásfok-javulás tartozik a trendvonallal jellemzett adattartományon. Ez a megfigyelés alátámasztja a 3. és 6. tézispontokban tett megállapításaimat. Ahogyan azt a nemrégiben megjelent [S4] cikkem tartalmazza: «Az előrenyilazás kedvező – összhatásfokot javító – hatása „növekvő cirkulációra” tervezett gépek esetén – vagyis növekvő G cirkuláció-gradiens esetén – fokozottan kiaknázható az „állandó cirkulációra” tervezett gépekhez képest». Az ábra szerint valóban annál nagyobb az előrenyilazásnak köszönhető hatásfok-javulás ($\Delta\eta > 0$), minél markánsabb a lapátcirkuláció sugár menti változása (növekvő G értékek).
- A lapátcirkuláció sugár menti növekedésének és az előrenyilazásnak az összehangolásával százalékos nagyságrendű összhatásfok-javulás érhető el. A „saját előtervezés” esettanulmánya $2 \div 3 \%$ javulásról számol be. (V.ö.: a 10. megjegyzésre adott válasz.) Az ábra azt sugallja, hogy közelítőleg ez az elérhető maximális hatásfok-javulás, amit a javasolt új módszerrel elérhetünk.
- Az ábra figyelmeztet arra, hogy a sugár menti lapátcirkuláció-eloszlás és a nyilazási szög eloszlásának összehangolása híján nemhogy elmaradhat az előrenyilazástól várt hatásfok-javulás, de az összhatásfok százalékos nagyságrendű romlása is bekövetkezik ($\Delta\eta < 0$ értékek).



S1. ábra. Szakirodalmi adatok: az előrenyilazásnak tulajdonítható összhatásfok-változás trendje a cirkuláció-gradiens függvényében [S2]

10) Megjegyzés: A bíráló kérdése: A tervezési ponttól eltérő feltételek mellett megmaradnak-e az előnyös tulajdonságok az állandó cirkulációval jellemzett esethez viszonyítva (lásd például a 4.5. pont tapasztalatait)?

Válasz:

Valószínűsíthető, hogy az előnyös tulajdonságok megmaradnak a „fojtott” – tervezési ponthoz képest kisebb térfogatáramú – üzemi állapotokban. Nem tehető azonban ilyen átfogó megállapítás a tervezési pontnál nagyobb térfogatáramú üzemi állapotokra.

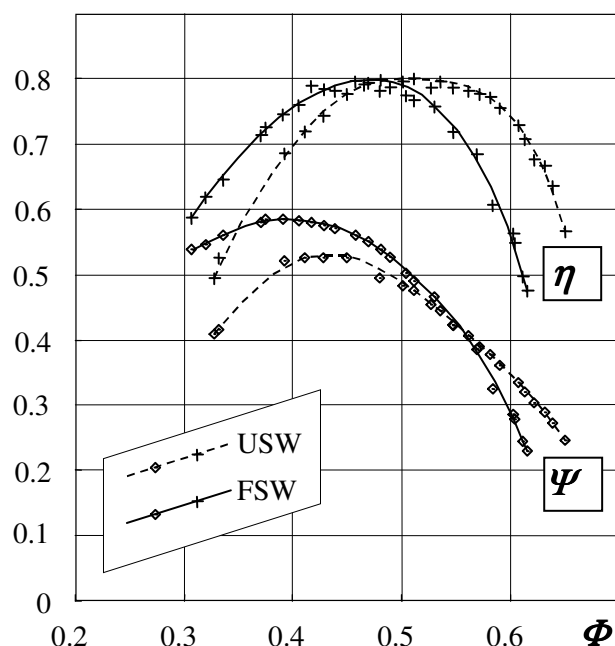
Részletes indoklás:

A „fojtott” – tervezési ponthoz képest kisebb térfogatáramú – üzemi állapotokban a megvastagodott szívott oldali határreteg még inkább hajlamos a radiális irányú kiáramlásra – állandó cirkulációra tervezett gépek esetén is. Ez megfigyelhető pl. a [S5] cikk ábráján, amelyet megfelelő hivatkozással átvettünk a [138] közleményünkbe. Ehhez képest még erőteljesebb a fojtott üzemi állapotban a radiális kiáramlás a szívott oldalon, ha a gépet ráadásul eleve növekvő cirkulációra tervezték. Ezt jól illusztrálják a [138] cikkben szereplő mérési adatok.

Valószínűsíthető, hogy az előrenyilazás kedvező hatása látványosabban tud érvényesülni a „növekvő cirkulációra” tervezett gép fojtott üzemi állapotában – az erőteljesebb radiális kiáramlás miatt –, mint az „állandó cirkulációra” tervezett gép fojtott üzemi állapotában.

Hasonlóan egyszerű gondolatmeneten alapuló trendet nem tudok becsülni a tervezésinél nagyobb térfogatáramok esetére.

Az előrenyilazás „fojtott” üzemi állapotokra jellemző kedvező hatását mutatja az **S2. ábra**. Az ábra az értekezés 4.5. fejezetében szereplő nyilazatlan, „USW”, és előrenyilazott, „FSW” gép mért jelleg- és összhatásfok-görbéit mutatja. A mérést, amely az FSW gépet az USW géppel összehasonlítja, én magam végeztem. Az ábra közlésre került a [175], majd később a [25-26] cikkekben. E méréseket a Nyíri András bírálatára adott [S6] válaszómban részletesen kommentáltam. Ezért, a bíráló utólagos engedelmével, bizonyos szövegrészeket közvetlenül átvesszek az [S6] válaszból.



S2. ábra. Az értekezés 4.5. fejezetében szereplő nyilazatlan („USW”) és előrenyilazott („FSW”) gép mért jelleg- és összhatásfok-görbéi [25-26][175]

A tervezési munkapontot a $\Phi = 0,5$ érték jellemzi. Ennél kisebb térfogatáramokra fojtva a FSW gép nagyobb Ψ értékeket produkál, a $\Psi(\Phi)$ görbe csúcspontjához tartozó Φ érték („a leválás határa”) kisebb, és a jelleggörbe a csúcspont közelében laposabb, mint az USW gép esetében. E kedvező trendek többek között annak köszönhetőek, hogy az előrenyilazás a szívott oldali határréteg-áramlást kedvezően módosítja.

Az alábbiakban a mért összhatásfokokat értékelem.

Ahogy arra felhívtam a figyelmet az értekezés 4.5. fejezetének végén, a FSW járókereket mechanikai okból nagyobb légrés-mérettel kellett legyártatnom és mérnem. Az USW járókerék-lapátok légrés-mérete a lapátmagasság 2,9 %-a, a FSW lapátoké a lapátmagasság 4 %-a volt. Alapul véve Gruber és szerzőtársai [87] instrukcióit, és az ezt megerősítő [184] számításokat, kijelenthető, hogy a FSW gép összhatásfoka mintegy 3 %-kal nagyobb lenne, ha azt is sikerült volna 2,9 % légrésmérettel tesztelni. E kijelentéssel összhangban áll Corsini és Rispoli CFD vizsgálata [26], amelyben a szerzők kimutatták, hogy azonos rés méret mellett a FSW gép összhatásfoka 2 %-kal haladja meg az USW gépét.

Az S2. ábrán látható, hogy a két gép mért összhatásfoka azonos a tervezési pontban.

Az előző kommentek figyelembe vételével, azonos rés méretek esetén, a tervezési munkapontban mintegy $\Delta\eta = 2\div3$ % összhatásfok-javulást tulajdoníthatunk az általam javasolt, előrenyilazást magában foglaló tervezési módszernek, az esettanulmányra vonatkozóan. Ez az eredmény szerepelt a 9. megjegyzésre adott válaszomban.

Fentieket részletesen megtaláljuk az értekezés 4.5. fejezetének végén.

Az előrenyilazásnak köszönhetően a tervezési pontnál kisebb térfogatáramokon a FSW gép jelentősen nagyobb összhatásfokon dolgozik, mint az USW gép. Kétségtelen viszont, hogy $\Phi > 0,5$ értékek esetén az USW gép hatásfoka nagyobb. Ez utóbbi jelenség további vizsgálatokat igényel.

Az S2. ábrához tartozóan az alábbiakban adok becslést a mérési hibára.

A hibákat a $\Phi = 0,5$; $\Psi = 0,5$; $\eta = 0,8$ névleges adatokra vetítve (relatív hibák):

- Φ relatív hibája: $\varepsilon_\Phi = \pm 1,5$ %
- Ψ relatív hibája: $\varepsilon_\Psi = \pm 0,5$ %
- η relatív hibája: $\varepsilon_\eta = \pm 1,6$ %

A $\Phi = 0,5$ tervezési üzemállapotra vonatkozóan, a két ventilátor mért X jellemzői közti ΔX különbség relatív bizonytalansága:

- $\Delta\Phi$ jellemzőre: $u_{\Delta\Phi} = \pm 0,5$ %
- $\Delta\Psi$ jellemzőre: $u_{\Delta\Psi} = \pm 0,4$ %
- $\Delta\eta$ jellemzőre: $u_{\Delta\eta} = \pm 0,6$ %

11) Megjegyzés: A bíráló kérdése: Utóterelő alkalmazása esetén jelentkezhetnek-e újabb előnyök vagy fordítva?

Válasz:

Ilyen célú vizsgálatokat nem végeztem, felelős választ nem tudok adni. Csak a sejtésemet tudom megosztani a bírálóval.

Corsini és Rispoli [26] tanulmánya szerint a FSW járókeréken belül kevésbé rendeződik át az axiális sebességprofil. Ennek eredményeként valószínűsíthető, hogy ha utóterelőt alkalmazunk, az FSW járókerék utóterelőjére egyenletesebb axiális sebességeloszlással lép be a közeg. Ez az utóterelőben és az utóterelő utáni áramlásban is energetikailag kedvezőbb viszonyokat eredményezhet.

Mindezek alapján nem zárható ki, hogy utóterelő alkalmazásával némileg tovább javítható a hatások a nyilazott járókerék esetében, a nyilazatlan esethez képest.

12) Megjegyzés: A bíráló formai észrevétele: a tézisek – angolul és magyarul egyaránt – kissé körülményesen kifejtettek, nem követik azt az íratlan szabályt, ami szerint a lehető legtömörebb megfogalmazásra célszerű törekedni (különösen, ha a stílusomból is ez következne).

Válasz:

A kritikai észrevételt elfogadom.

13) Megjegyzés: A bíráló a magyar változatban a „növekvő cirkuláció” helyett – a közérthetőség érdekében – javasolja a „sugárirányban növekvő cirkuláció” elnevezést.

Válasz:

A tézisfüzetben az 1. fejezetben dőlt betűvel szedtem az általam később is gyakran használt kifejezéseket, definíciókat. Ezekre rögtön magyarázatot is adtam. Ennek megfelelően a tézispont 2. oldalán szerepelnek magyarázattal együtt az „*„állandó cirkulációra” tervezés*» és „*„növekvő cirkulációra” tervezés*» kifejezések. E bevezető magyarázatok alapján a kifejezések a későbbiekben is érthetőek.

Készséggel elfogadom a bíráló javaslatát, és felhasználom jövőbeli munkámban. Azonban, a hosszabb, érthetőbb megfogalmazást a tézisfüzet esetén is – akárcsak az értekezésben – a terjedelmi korlát gátolta.

Ismét hivatkozom az MTA (VI.) Műszaki Tudományok Osztálya által kiadott, „Követelmények a doktori műre és a tézisekre vonatkozóan” című dokumentumra, miszerint a nyomtatott tézisfüzet 8-10 oldalas lehet. Ez a terjedelmi korlát a tézisfüzet többszöri újraserkesztését követelte meg. A korlát arra vezetett, hogy a közérthetőség esetleges rovására menően a szakkifejezéseket a füzet elején vezettem be, és a későbbiekben rövid formájukat használtam – akárcsak az értekezésben.

A felmerülő magyar szakkifejezések hosszúsága különösen akkor szembetűnő, ha angol változatukkal hasonlítjuk össze őket, pl.

- „Sugár mentén állandó cirkulációra történő tervezés” ↔ „Free vortex design”
- „Sugárirányban növekvő cirkulációra történő tervezés” ↔ „Controlled vortex design”

Ha több „MTA doktora” jelölt esetén is hozzám hasonló problémákat tapasztalnak bírálók, megfontolandó lehet a kissé nagyobb terjedelmű tézisfüzet engedélyezése. A füzet elkészítése (A5 formátum) szempontjából a következő „fokozat” a 14 oldalas füzet, ha az első két oldalt számozásától eltekintünk. Már ez a négy többlet-oldal komoly javulást adhatna a füzet érthetősége szempontjából.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

Az értekezésben nem szereplő szakirodalom:

- [S1] Vad, J., MTA doktori értekezés bírálatára adott válasz. Bíráló: Baranyi László. Budapest, 2013. február 1.
- [S2] Vad, J. (2012), Energiahatékony axiális átömlésű ventilátor-járókerek tervezése. *Energiagazdálkodás*, **53** (4), pp. 8-10.
- [S3] Vad, J., Halász, G. (2013), Efficiency gain due to incorporation of forward blade sweep in controlled vortex design of axial flow rotors. *Proc. Instn Mech. Engrs, Part A, J. Power and Energy* (előkészületben)

- [S4] Vad, J. (2012), Forward blade sweep applied to low-speed axial fan rotors of controlled vortex design: an overview. *ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, Paper No. GTP-12-1152, **135**, pp. 012601-1: 012601-9.
- [S5] Inoue, M., Kuroumaru, M., Iwamoto, T. and Ando, Y. (1991), Detection of a rotating stall precursor in isolated axial flow compressor rotors. *ASME J Turbomachinery*, **113**, pp. 281-289.
- [S6] Vad, J., MTA doktori értekezés bírálata adott válasz. Bíráló: Nyíri András. Budapest, 2013. február 1.

Az értekezésben szereplő, e dokumentumban is hivatkozott szakirodalom:

- [1] Lakshminarayana, B. (1996), *Fluid Dynamics and Heat Transfer of Turbomachinery*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [4] Vad, J. (2008), Aerodynamic effects of blade sweep and skew in low-speed axial flow rotors near the design flow rate: an overview. *Proc. Instn Mech. Engrs, Part A, J. Power and Energy*, **222**, pp. 69-85.
- [25] Corsini, A., Rispoli, F. (2003), The role of forward sweep in subsonic axial fan rotor aerodynamics at design and off-design operating conditions. *ASME Paper No. GT2003-38671*.
- [26] Corsini, A., Rispoli, F. (2004), Using sweep to extend the stall-free operational range in axial fan rotors. *Proc. Instn Mech. Engrs, Part A, J. Power and Energy*, **218**, pp. 129-139.
- [87] Gruber, J. és szerzőtársai: Blahó, M., Herzog, P., Kurutz, I., Preszler, L., Szentmártony, T., Vajna, Z. (1978), *Ventilátorok*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 4. kiadás.
- [131] Inoue, M., Kuroumaru, M., Fukuhara, M. (1986), Behavior of tip leakage flow behind an axial compressor rotor. *ASME J. Engineering Gas Turbines Power*, **108**, pp. 7-14.
- [138] Vad, J., Horváth, Cs. (2008), The impact of the vortex design method on the stall behavior of axial flow fan and compressor rotors. *ASME TURBO EXPO*, Berlin, ASME Paper GT2008-50333, CD-ROM Proceedings (ISBN 0-7918-3824-2)
- [139] Vad, J. (2010), Radial fluid migration and endwall blockage in axial flow rotors. *Proc. Instn Mech. Engrs, Part A, J. Power and Energy*, **224**, pp. 399-417.
- [150] Khalid, S. A., Khalsa, A. S., Waitz, I. A., Tan, C. S., Greitzer, E. M., Cumpsty, N. A., Adamczyk, J. J., Marble, F. E. (1999), Endwall blockage in axial compressors. *ASME J. Turbomachinery*, **121**, pp. 499-509.
- [175] Vad, J., Corsini, A. (2002), Comparative investigation on axial flow industrial fans of high specific performance with unswept and forward swept blades at design and off-design conditions. 9th International Symposium on *Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery (ISROMAC9)*, Honolulu, CD-ROM Proceedings, Paper No. FD-ABS-016. Proc. Abstracts p. 301.
- [184] Lakshminarayana, B. (1970), Methods of predicting the tip clearance effects in axial flow turbomachinery. *ASME J. Basic Engineering*, September 1970, pp. 467-482.

Budapest, 2013. február 1.