

ÁLLÍTHATÓ LAPÁTOZÁSÚ KERESZTÁRAMÚ TURBINÁK

CROSS-FLOW TURBINES WITH PITCH CONTROLLED BLADES

Hajdú Sándor*, Dr. Lakatos Károly**

ABSTRACT

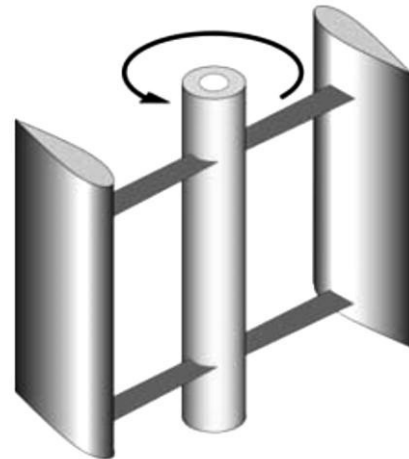
A characteristic feature of cross-flow turbines is a strong fluctuation in the circumferential force that generates axle power, because the interaction between the blades and the medium is not constant. Due to this varying interaction, the force that occurs on one blade (and its tangential component) fluctuate cyclically as the blade changes its position. This paper is about how to improve the efficiency of the turbine using active pitch control.

1. BEVEZETÉS

Az 1. ábrán látható függőleges tengelyű keresztáramú turbina járókereke, ellentétben a vízszintes tengelyűvel, pl. Bánki turbina [5], szabadon áll az áramló közegben. A függőleges tengely-elrendezés a széliránytól való függetlenséget biztosítja, a konstrukció egyszerű. A munkaközeg egyaránt lehet levegő és víz [3].

Korábbi közleményeinkben [1,2] részletesen áttekintettük a kerületi sebességgel párhuzamosan álló, fixen szerelt dúcprofilú lapátozású keresztáramú turbinák működésének sajátosságait. Üzem közben a tengelyteljesítményt előállító kerületi erő ingadozik. A kerületi sebesség és a közegsebesség különböző arányai (λ) mellett a belépő sebességi háromszög és így a kerületi erő a járókerék egy kiszemelt θ elfordulási szög értéke mellett is lényegesen változik. A járókerék forgása következtében azonban a kerületi erő a λ sebességparaméter állandó értéke mellett is a különböző θ elfordulási szöggel jellemezhető lapáthelyzetekben más és más értékű. Az üzemelés szempontjából két egymástól lényegesen eltérő sebességparaméter-tartomány vizsgálata szükséges: az egyik esetben a közegsebesség nagyobb, mint a turbina kerületi sebessége, a másik esetben pedig kisebb.

*tudományos főmunkatárs, hajdu@kti.hu
Közlekedéstudományi Intézet, Budapest
**egyetemi docens, aramlk@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszék



1. ábra. A keresztáramú turbina vázlatja

Értelemszerűen a turbina indulásakor a kerületi sebesség kisebb, mint a közegsebesség ($\lambda < 1$). A kerületi sebességgel párhuzamosan álló, fixen szerelt dúcprofilú lapátok esetén azonban csak a másik tartományban ($\lambda > 1$) kialakuló sebességi háromszögek esetében keletkezik hasznosítható nyomaték. Jelen közleményben a keresztáramú turbina állítható lapátozás mellett várható jellemzőiről kívánunk bevezető jelleggel képet adni.

2. JELÖLÉSEK

- C_x : ellenállás tényező [-]
- C_y : felhajtóerő tényező [-]
- F_y : felhajtóerő [N]
- F_x : ellenállás [N]
- v : abszolút sebesség (pl. szélesebesség) [m/s]
- w : relatív sebesség [m/s]
- u : kerületi sebesség [m/s]
- α : a kerületi- és az abszolút sebesség iránya által bezárt szög [-]
- β : a kerületi- és a relatív sebesség iránya által bezárt szög [-]
- γ : a lapát állásszöge (a lapáthúr és a kerületi sebesség iránya által bezárt szög) [-]
- θ : az elforduló járókerék pozícióját jellemző szög (elfordulási szög) [-]

λ : sebességtényező ($\lambda=u/v$) [-]
 δ : megfúvási szög (a w sebesség iránya és a lapát-húr által bezárt szög) $\delta=\beta-\gamma$ [-]

3. A MEGFÚVÁSI SZÖG ALAKULÁSA ÁLLÍTHATÓ LAPÁTOZÁS ESETÉN

Állítható lapátozás esetén a sebességi háromszögek nem változnak. Továbbra is igaz marad tehát, hogy a sebességtényező növekedésével a járókerék elfordulási szögének (θ) a függvényében ciklikusan változó irányú w relatív sebesség irányváltozásának a mértéke is egyre nagyobb lesz, ugyanakkor a megfúvási szög ingadozása csökkenni fog. Az állítható lapátozás esetén a változás abban jelentkezik, hogy a lapát megfúvási iránya (δ), amely a w sebesség iránya és a lapát-húr által bezárt szög) nem lesz azonos a kerületi- és a relatív sebesség iránya által bezárt szöggel (β), hanem attól a lapát beállítása szerinti $\pm \gamma$ szögértékkel el fog térni [2].

Függőleges tengelyű, a forgástengellyel párhuzamosan, hengerpaláston elhelyezkedő fix lapátozású turbina esetében a megfúvási szög (amely a w sebesség iránya és a lapát-húr által bezárt δ szög) változása a θ szög függvényében (paraméter a λ sebességtényező) :

$$\delta(\Theta) = \arctg \frac{\sin \Theta}{\lambda + \cos \Theta} \quad (1).$$

A lapát-húr párhuzamos a kerületi sebesség irányával, a lapátozás beállítási szöge ekkor $\gamma = 0^\circ$.

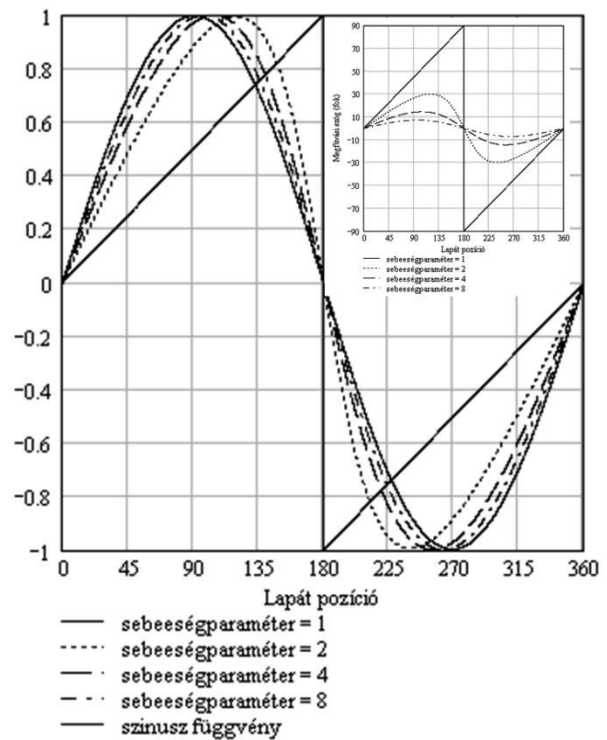
Állítható lapátozás esetében (1) az alábbi alakú lesz:

$$\delta(\Theta) = \arctg \frac{\sin \Theta}{\lambda + \cos \Theta} \pm \gamma(\Theta) \quad (2).$$

Miután a geometriai viszonyok következtében a megfúvási szög (azaz a w sebesség iránya és a lapát-húr által bezárt δ szög) a θ szög függvényében a sebességtényező növekedésével egyre kisebb mértékben fog ingadozni [1], így a λ sebességparaméternek vannak olyan értékei, amelyek mellett a C_y/C_x viszony a θ szög viszonylag tág tartományában az optimális érték körül alakul. Amennyiben tehát a lapátozást állíthatónak gondoljuk, akkor a λ sebességparaméternek a fenti értelemben vett optimális tartománya kiszélesíthető.

Az összefüggésben a lapát $\gamma(\theta)$ állásszögét általános értelemben tekintjük állíthatónak. Ez azt jelenti, hogy az állásszög nem pusztán egy additív állandó, hanem a lapátpozíció függvényében is változhat.

Az (1) szerint a lapát oszcilláló mozgása a relatív áramlásban kvázi szinuszos, a tényleges szinuszos változástól annál kevésbé tér el, minél nagyobb értékű a sebességparaméter (2. ábra).



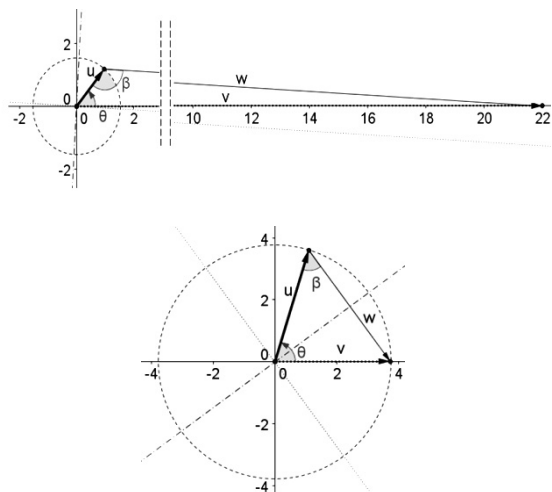
2. ábra. Az (1) összefüggés normalizált grafikonja. Fent a jobb oldali kis ábrán a normalizálás nélküli, valós megfúvási szögek szerepelnek

4. A SEBESSÉGPARAMÉTER ÉRTÉKE KISEBB, MINT 1 ($\lambda < 1$)

4.1. A sebességi háromszög sajátosságai

A sebességparaméter egységénél kisebb tartományában a kerületi sebesség kisebb, mint közegsebesség. Egy igen alacsony $\lambda = u/v$ sebességparaméter érték mellett, illetve a sebességparaméter egységnyi értéke esetére szerkesztett, a kvantitatív viszonyokat szemléltető sebességi háromszöget mutat a 3. ábra.

A belépő sebességi háromszög ábrázolásakor azt a korábban bevezetett [1] konvenciót követjük, hogy a kerületi sebességvektort (u) önmagával párhuzamosan eltoljuk a járókerék tengelyvonalába úgy, hogy a vektor kezdőpontja essen a tengelyvonalra. Ekkor a járókerék elfordulási szögének (θ) a függvényében egy forgó vektor felel meg a kerületi sebesség vektorának. Amennyiben felteszünk, hogy a lapát rögzített, és a lapát-húr párhuzamos a kerületi sebességgel, akkor az ábrázolási konvenció szerint a sebességi háromszög ábráján a lapátot úgy lehet elképzelni, hogy a lapát-húr egybe esik az u vektorral, a belépésnél lévő végpontja pedig az u vektor végpontjával esik egybe.



3. ábra. A belépő sebességi háromszög $\lambda \ll 1$ esetén (felül), illetve $\lambda = 1$ esetén (alul)

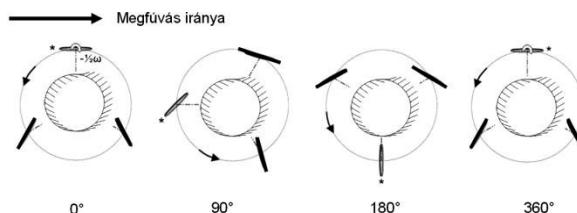
A 3. ábra közvetlenül szemlélteti, hogy $\lambda \ll 1$ esetén a v közegsebesség nagysága és iránya közel azonos a relatív sebesség nagyságával és irányával a lapát teljes körbefordulása során. Ennek megfelelően a lapát megfűvási iránya drasztikusan, közel 360° értékkel változik a lapát körbefordulása során. A kerületi erő is drasztikusan változik az elfordulással, akár előjelet is vált.

Megjegyezzük, hogy a 3. ábra rámutat egy sajnálatos gyakorlati körülményre is: nagy szél esetén (a felső ábra ezt illusztrálja) a meginduló kerék tekintélyes fordulatszámot (magas kerületi sebességet) érhet el a $\lambda < 1$ tartomány elhagyása nélkül, ami keltheti azt a hamis és esetenként akár visszaélésre is alkalmas látszatot, hogy a gép általában jól indul és alkalmas energiatermelésre, holott pusztán egy rossz Savonius-kerék üzemeről van szó. A Savonius-kerék a $\lambda < 1$ tartományban üzemel. A működése azon alapszik, hogy van a megfűvás irányának olyan kitüntetett értéke, amelyben a lapát jelentősen eltérő alakellenállást mutat, mint az ehhez képest 180 fokkal eltérő megfűvási irányhoz tartozó ellenállás érték (erre utal az angolszász terminus: „drag-driven turbine”). Erre a működésmódra közismert példa a jól csapágyazott, terheletlenül forgó, így $\lambda \sim 1$ mellett üzemelő kanalas szélesebbségmérő.

4.2. Az állítható lapátozás szerepe a sebességparaméter egységnyinél kisebb értékei esetén ($\lambda < 1$)

Ha a sebességparaméter az egységnyél kisebb ($\lambda < 1$, a kerületi sebesség alulról közelíti a közeg sebességét) és a lapátozás nem állítható (például $\gamma = 0^\circ$ rögzített beállítási szöggel), akkor a működés gyakorlatilag kizárható. Állítható lapátozás alkalmazásával azonban elérhető, hogy a függőleges tengelyű, a forgástengellyel párhuzamosan, hengerpaláston elhelyezkedő lapátozású turbina Savonius-rotorként üzemeljen akkor is, ha a lapát alakellenállása alig változik a megfűvási irány 180 fokos megváltozása esetén (természetesen azt viszont

kihasználjuk, hogy a megfűvás 90 fokos megváltozása esetén az alakellenállás nagymértékben megváltozik). Tekintsük példaként állíthatónak egy $N=3$ lapáttal rendelkező gép lapátjait. A kerék szögsebessége legyen ω . Az egyes lapátok forogjanak a kerék forgásával ellentétes irányban, $-\frac{1}{2}\omega$ szögsebességgel. Az elrendezés a 4. ábrán látható, egy kiszemelt lapát belépő élét a $\theta=0^\circ$ szerinti pozícióban csillag jelzi. A 4. ábrán a $\lambda=0.6$ értékű sebességparaméter esetén kialakuló relatív sebesség kerület menti irányeloszlását is feltüntettük.



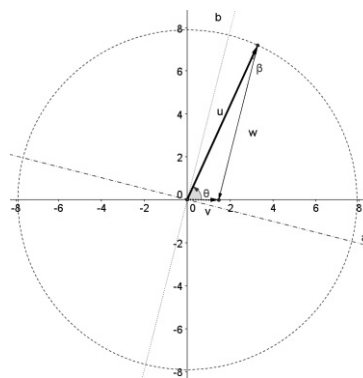
4. ábra. A szöveg szerinti állítható lapátozású gép lapáthelyezetei a járókerék különböző θ elfordulási szöge mellett, valamint a relatív sebesség kerület menti irányeloszlása $\lambda=0,6$ esetben

A kvalitatív megközelítés is elegendő annak belátására, hogy a függőleges tengelyű, a forgástengellyel párhuzamosan, hengerpaláston elhelyezkedő állítható lapátozású turbina, mint Savonius-rotor üzemelhet.

5. A SEBESSÉGPARAMÉTER ÉRTÉKE NAGYOBB, MINT 1 ($\lambda > 1$)

5.1. A sebességi háromszög sajátosságai

A sebességparaméter egységnyél nagyobb tartományban a közegsebesség kisebb, mint a kerületi sebesség, a fordulatszám a működés lehetséges tartományán belül magas.



5. ábra. A belépő sebességi háromszög $\lambda \gg 1$ esetén. A felhajtóerő iránya w irányára merőleges (a irány), az ellenállás iránya w irányával párhuzamos (b irány)

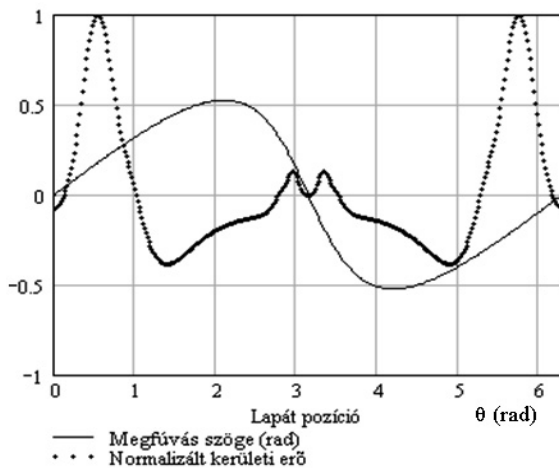
A $\lambda = u/v$ sebességparaméter 1-nél jóval nagyobb értéke mellett szerkesztett, a kvantitatív viszonyokat szemléltető sebességi háromszöget az 5. ábrán mutatjuk be.

Az ábrán szereplő belépő sebességi háromszög arányai mellett a kerületi sebesség iránya és nagysága a relatív sebesség irányától és nagyságától a lapát teljes körbefordulása során csak kicsit tér el. Ennek megfelelően a lapát megfűvási iránya csak kis értékkel változik a lapát körbefordulása során.

5.2. Az állítható lapátozás szerepe a sebességparaméter egységnyinél nagyobb értékei esetén ($\lambda > 1$)

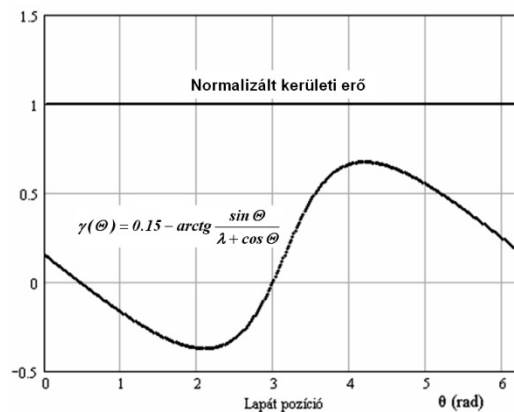
A továbbiakban az [1] szerinti számítási modellt felhasználva egyszerű, csak kvalitatív képet adó elemzés keretében mutatjuk be a kerületi erő optimalizálását változó állásszög esetén.

Tekintsük először a $\gamma(\theta) = 0$ függvény szerinti helyzetet, azaz a lapáthúr párhuzamos a kerületi sebességgel és a lapátozás nem állítható. Ekkor $\lambda = 2$ esetén a normalizált kerületi erő és a megfűvási szög a 6. ábra szerint alakul.



6. ábra. A normalizált kerületi erő és a megfűvási szög $\lambda = 2, \gamma = 0$ esetén

Keressük meg ezek után az optimális $\gamma(\theta)$ függvényt annak a feltételezésével, hogy a sebességparaméter állandó értékű. Optimális esetben a lapát mindig az átesés előtti, nagy felhajtóerő tényezőt eredményező megfűvást kap. Az ezt biztosító $\gamma(\theta)$ függvényt és a függvény grafikonját a 7. ábra mutatja. A kvalitatív példa rámutat az állítható lapátozás valódi jelentőségére: az állítható lapátozás megteremti az adaptív (szabályozott) üzem lehetőségét a $\gamma(\theta)$ függvény paramétereinek dinamikusan változó értékeivel megvalósított szabályozás alkalmazásával.



7. ábra. A lapáton ébredő kerületi erő optimalizálása $\lambda = 2$ esetén

6. TOVÁBBI KUTATÁSI FELADATOK

Munkánk folytatásában a szabályozás részletkérdéseivel foglalkozunk. Kiemelt kérdéskör a $\lambda < 1$ tartományból a $\lambda > 1$ tartományba történő átmenet lehetőségének a vizsgálata.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

8. HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Hajdú, S., Lakatos, K.: Keresztáramú turbinák üzemének néhány sajátossága. GÉP Doktorandusz különszám pp 10-16, 2010. ISSN 0016-8572
- [2] Hajdú, S., Lakatos, K.: The Influence of pitch control on working parameters of cross flow turbines, IN-TECH2011 International Conference on Innovative Technologies, Pozsony, Szlovákia, 2011. szeptember 01-02. pp 203-206. ISBN 978-80-904502-6-4
- [3] Gorlov, A.: Hydraulic cross flow turbine http://hydropower.inel.gov/hydrokinetic_wave/pdfs/day1/05_crossflow_turbine.pdf
- [4] Shendal, R. E., Klimas, P.C.: Aerodynamic characteristics of 7 symmetrical airfoil sections through 180-degree angle of attack for use in aerodynamics analysis of vertical axis wind turbine. Sandia National Laboratories SAND-2114
- [5] Fukutomi, J., Sendov, Y., Nakase, Y.: A numerical method of flow trough a cross flow runner; ISME Series II. Vol. 34. No.1.(1991), pp. 44-51.