

BÁNKI-TURBINA JÁRÓKEREKÉBEN TÖRTÉNŐ ÁRAMLÁS VIZSGÁLATA

FLOW PATTERN ANALYSIS IN RUNNER OF BANKI TURBINE

Hajdú Sándor*, Dr. Czibere Tibor**, Dr. Kalmár László***

ABSTRACT

The small capacity turbine supplied with double-flow runner by Donat Banki is still being developed and manufactured worldwide which implies that the design problems of the cross-flow turbine still have topicality. The present paper concentrates on two computational methods. The one is to determine the the central streamline of flow within the runner and the other realizes the mapping of the runner blade onto a straight cascade.

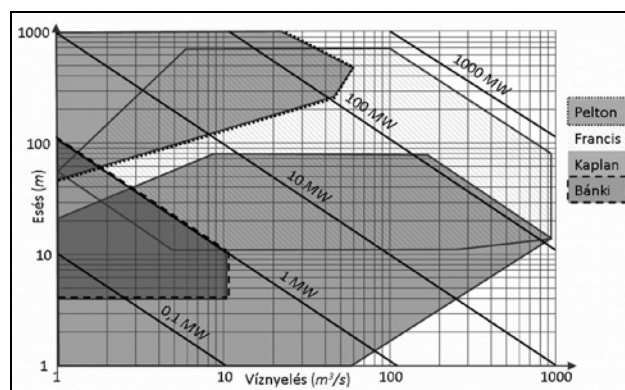
1. BEVEZETÉS

A Bánki-turbina a vízturbina-típusok sorában a szabadsugarú Pelton-turbina alkalmazási területét „bővíti ki” a kisebb esések hasznosíthatóságával (1. ábra).

Az akciós turbinák esetében a járókerékben mechanikai munkává alakuló esés a járókerék előtt teljes egészében kinetikai energia formájában jelentkezik. Az akciós turbina lapátsatornáiban az atmoszferikus nyomáshoz képest túlnyomás tehát nem keletkezhet.

Ez azt jelenti a gyakorlatban, hogy a járókerék lapátsatornáit az átfolyó vízszugárnak nem szabad teljesen kitöltenie. Határesetben a közeg a lapátsatornát éppen kitölti (adott lapátszögek mellett a Bánki-turbina esetében ezt a határfeltételt a járókerék lapátozás egyetlen átmérőviszonya elégíti ki).

Miután a közeg nem tölti ki teljesen a lapátsatornákat, azaz nincs nyomáskülönbség a járókerék belépő és a kilépő palástja között, Bánki maga határturbinának nevezte a kétszeres átömlésű – tulajdonképpen – szabadsugarú-turbinát [1].



1. ábra. A Bánki-turbina alkalmazhatósága

A járókerékre vezetett szabadsugarú a lapátkoszorún kétszer ömlik át: a járókerék kerületén lép be a lapátkoszorúba, és – azon *először centripetálisan* átömölve – a kinetikus energiája egy részét átadja a forgó járókeréknek; majd a járókerék belső részén áthaladva ismét belép a lapátkoszorúba, és azon immár *másodszor centrifugálisan* átömölve energiája másik részét is átadja a járókeréknek; végül a lapátkoszorú kerületén távozik a járókerékből. A járókerék lapátozását körív-alakra hajlított lemezlápátok képezik koszorúban úgy elhelyezve, hogy a lapátgörbe és a lapátkoszorút határoló belső kör érintője egymásra merőleges legyen.

Az egyszerű felépítésű Bánki turbina nagyon jól szabályozható és részterheléseknél is jó hatásfokú (az ismert megoldású, 1/3 és 2/3 osztású kerékekkel építve). Ezért a változó vízjárású helyeken (15 % - 100 % víznyelés tartományban) eredményesen alkalmazható. A kis vízfolyások (pl. patakok) esetében gyakran a Bánki-turbina az optimális választás [2].

Az ütközési veszteség csökkentésének, illetve elkerülésének feltétele, hogy a lapátok belépő élén sima rááramlás jöjjön létre. Lényeges követelmény továbbá, hogy a lapátrács megvalósítsa az előírt sebességi háromszögeknek megfelelő elterelést. A közlemény numerikus eljárást ismertet a Bánki-turbina járókerékén átömlő szabadsu-

* doktorandusz

Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszék

** Akadémikus, Professzor Emeritus

Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszék

*** egyetemi docens

Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszék

gárban kialakuló középső abszolút áramvonal meghatározására, valamint az egyenes turbina lapátrácsra történő áttérést biztosító konform leképezés végrehajtására.

2. A JÁRÓKERÉKEN TÖRTÉNŐ ÁTÁRAMLÁS KÖZÉPSŐ ÁRAMVONALÁNAK SZÁMÍTÁSA

A járókerék körív alakú, hengeres lapatozásának geometriáját a 2. ábra segít áttekinteni. A lapatozás geometriáját a következő három geometriai adat egyértelműen meghatározza: a lapátkoszorú R_I külső és R_{II} belső sugara, valamint a lapátgörbe érintőjének a külső kör érintőjével alkotott β_I szöge.

A lapátszög és az abszolút sebesség irányszöge közötti összefüggés az alábbi megfontolással adódik [3]. A 2. ábra jelöléseit használva a levezetés mind a centripetális, mind a centrifugális átömlés esetére egyaránt alkalmazható, emiatt a levezetés során a p ill. az f indexek használata a félreértés kockázata nélkül mellőzhető. A járókerék lapatozott terének tetszőleges P pontjában érvényes sebességi háromszögek (2. ábra) alapján írható:

$$c \sin \alpha = w \sin \beta$$

$$c^2 = u^2 + w^2 - 2uw \cos(\pi - \beta).$$

E két egyenletből az abszolút sebesség kiküszöbölésével adódik a

$$\frac{1}{\sin^2 \alpha} = \left(\frac{u^2}{w^2} + 2 \frac{u}{w} \cos \beta + 1 \right) \frac{1}{\sin^2 \beta}, \quad (1)$$

összefüggés, miszerint az abszolút sebesség α irányszögét az u/w sebességviszony és a β lapátszög egyértelműen meghatározzák. A folyadéksúrlódást elhanyagolva és a járókerékben *lapátkongruens* relatív áramlást feltételezve (ami a vastagság nélküli végtelen sok lapát szokásos feltételével azonos) az (1) egyenlet alkalmas – adott u/w sebességviszony mellett – állandó szögsebességgel forgó járókerék lapátkoszorújában kialakuló súrlódásmentes abszolút áramlás iránymezejének a meghatározására. Az u/w sebességviszonyt a lapátszög mellett a járókerék ω szögsebessége és az átáramló szabadsugár térfogatárama határozzák meg. Abban az esetben, amikor a folyadéksugár a két szomszédos lapát közti teret éppen kitölti, a tömegmegmaradásból következik:

$$R_I c_{I_r} = r c_r \Rightarrow w_r = c_r = \frac{R_I c_{I_r}}{r}; \quad r^2 = x^2 + y^2$$

és így az u kerületi és w relatív sebesség hányadosára a következő adódik:

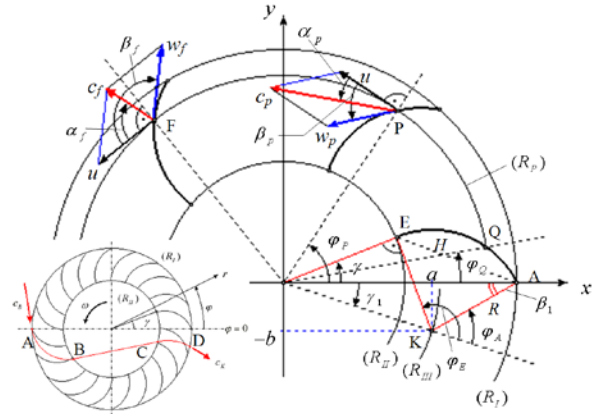
$$\frac{u}{w} = \frac{r \omega}{w} \sin \beta = \frac{r^2 \omega}{R_I c_{I_r}} \sin \beta = \frac{(x^2 + y^2) \omega}{R_I c_{I_r}} \sin \beta. \quad (2)$$

A belépő ωR_I kerületi és a c_{I_r} meridián sebességek $\psi = \omega R_I / c_{I_r}$ viszonyát bevezetve az (1)-(2) egyenle-

tek összevonásával adódik az abszolút sebesség α irányszöge és a β lapátszög között – a turbina üzemi állapotát jellemző ψ sebességviszony függvényében – a

$$\cot \alpha = \sqrt{\left\{ \psi^2 \sin^2 \beta \left[\frac{(x^2 + y^2)}{R_I^2} \right] + \psi \sin 2\beta \left(\frac{x^2 + y^2}{R_I^2} + 1 \right) \right\} (1 + \cot^2 \beta)} - 1 \quad (3)$$

összefüggés a járókerék lapatozott terének tetszőleges $P(x,y)$ pontjában, és ez már alkalmas a járókerék lapatozott terében az abszolút áramlás iránymezejének a meghatározására.



2. ábra. A lapát elhelyezése a járókerék lapátkoszorújában és a sebességvektorok a lapát egy-egy pontjában centripetális (P) és centrifugális (F) átömlés esetén és a kialakuló szabad sugár egy abszolút áramvonala

2.1. A járókerékben kialakuló áramvonalak különböző üzemi állapotokban

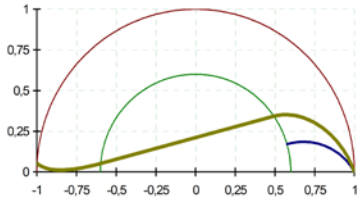
A bemutatott eljárás alkalmazására FORTRAN-programot készítettünk, amellyel meghatároztuk a belépő ωR_I kerületi és a c_{I_r} meridián sebességek $\psi = \omega R_I / c_{I_r}$ viszonyának néhány számértéke ($\psi = 1; 1,25; 1,5; 1,75$) mellett kialakuló áramvonalakat. A 2. ábrán és a szövegben szereplő jelölések az alábbi táblázat szerint feleltethetők meg a 3-1. és a 3-2. ábrán használt, *eltérő* jelöléseknek:

2. ábra és szöveg:	β_I	γ	ψ	$\cot(\alpha_f)$ (a kilépésnél)	R_0 / R_I
3. ábra:	BET1 [rad]	GAM [rad]	PSI	CTA2	Ro

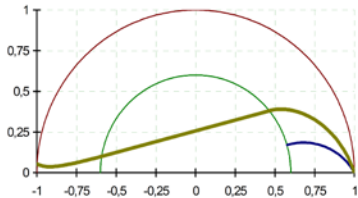
3. A JÁRÓKERÉK KONFORM LEKÉPZÉSE KÉT EGYENES LAPÁTRÁCSRA

A 2. ábrán bal oldalon alul a Bánki-turbina járókerékének vázlata látható. Az ábrázolás koordináta-rendszere egy, a járókerék forgási középpontjával egybeeső kezdőpontú síkbeli r, φ poláris koordináta-rendszer.

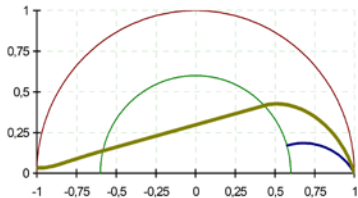
Bemenő adatok: $R_{II}/R_I=0,6000$ $BET1=0,523600$ $PSI=1,000000$
 Eredmények: $R/R_I=0,3695$ $H/R_I=0,4571$ $GAM=0,286695$
 $R_{III}/R_I=,7047$ $Ro/R_I=,8576$ $CTA2=-,0721158$



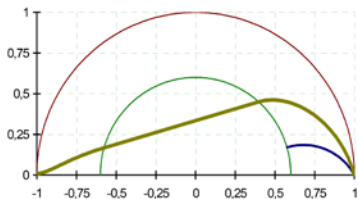
Bemenő adatok: $R_{II}/R_I=0,6000$ $BET1=0,523600$ $PSI=1,250000$
 Eredmények: $R/R_I=0,3695$ $H/R_I=0,4571$ $GAM=0,286695$
 $R_{III}/R_I=0,7047$ $Ro/R_I=0,9296$ $CTA2=-,0470801$



Bemenő adatok: $R_{II}/R_I=0,6000$ $BET1=0,523600$ $PSI=1,500000$
 Eredmények: $R/R_I=0,3695$ $H/R_I=0,4571$ $GAM=0,286695$
 $R_{III}/R_I=0,7047$ $Ro/R_I=1,0000$ $CTA2=0,227704$

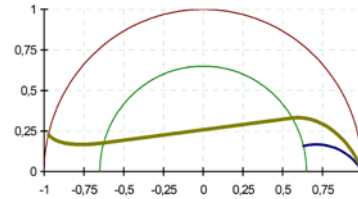


Bemenő adatok: $R_{II}/R_I=0,6000$ $BET1=0,523600$ $PSI=1,750000$
 Eredmények: $R/R_I=0,3695$ $H/R_I=0,4571$ $GAM=0,286695$
 $R_{III}/R_I=0,7047$ $Ro/R_I=1,0000$ $CTA2=0,024989$

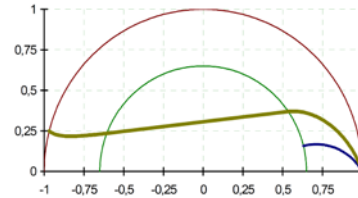


3-1. ábra A járókerékben kialakuló áramvonalak $\psi = 1; 1,25; 1,5; 1,75$ és $R_{II}/R_I = 0,6$

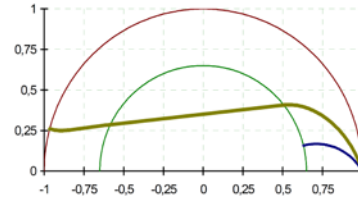
Bemenő adatok: $R_{II}/R_I=0,6500$ $BET1=0,523600$ $PSI=1,000000$
 Eredmények: $R/R_I=0,3334$ $H/R_I=0,4011$ $GAM=0,243722$
 $R_{III}/R_I=0,7305$ $Ro/R_I=0,8887$ $CTA2=-,0730179$



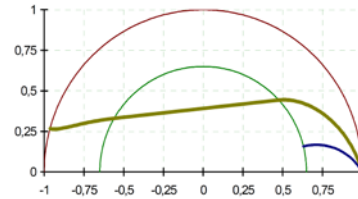
Bemenő adatok: $R_{II}/R_I=0,6500$ $BET1=0,523600$ $PSI=1,250000$
 Eredmények: $R/R_I=0,3334$ $H/R_I=0,4011$ $GAM=0,243722$
 $R_{III}/R_I=0,7305$ $Ro/R_I=0,9438$ $CTA2=-,0478274$



Bemenő adatok: $R_{II}/R_I=0,6500$ $BET1=0,523600$ $PSI=1,500000$
 Eredmények: $R/R_I=0,3334$ $H/R_I=0,4011$ $GAM=0,243722$
 $R_{III}/R_I=0,7305$ $Ro/R_I=1,0000$ $CTA2=0,228710$



Bemenő adatok: $R_{II}/R_I=0,6500$ $BET1=0,523600$ $PSI=1,750000$
 Eredmények: $R/R_I=0,3334$ $H/R_I=0,4011$ $GAM=0,243722$
 $R_{III}/R_I=0,7305$ $Ro/R_I=1,0000$ $CTA2=0,024368$



3-2. ábra A járókerékben kialakuló áramvonalak $\psi = 1; 1,25; 1,5; 1,75$ és $R_{II}/R_I = 0,65$

3.1. Az r, φ polárkoordinátákkal jellemzett fizikai sík konform leképezése az x, y derékszögű koordinátákkal jellemzett képsíkra

Az r, φ polárkoordinátákkal jellemzett fizikai sík konform leképezését az x, y derékszögű koordinátákkal jellemzett képsíkra a 4. ábra szemlélteti [4]. A leképezésnek az alábbi követelményeket kell teljesítenie:

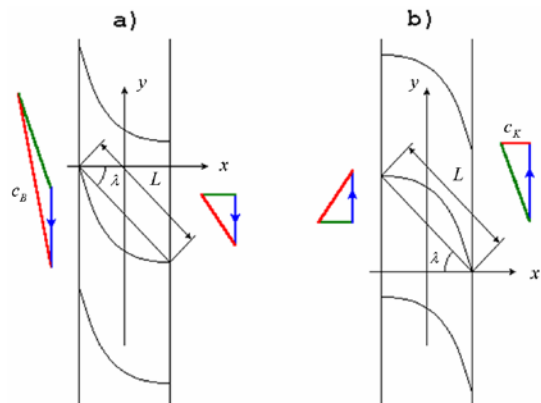
a) a koordináták mindegyike csak a neki megfelelő koordinátától függhet:

$$x(r) \Rightarrow dx = \dot{x}(r) dr$$

$$y(\varphi) \Rightarrow dy = \dot{y}(\varphi) d\varphi$$

b) a szög-tartás követelménye: $r \frac{d\varphi}{dr} = \frac{dy}{dx}$

c) az arány-tartás követelménye: $dl_{x,y} = \mu(P) dl_{r,\varphi}$

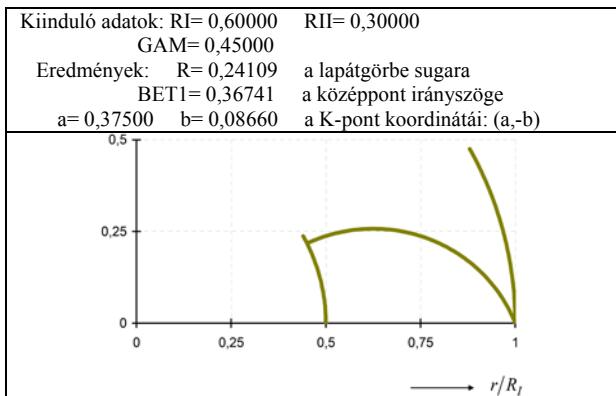


4. ábra. A Bánki-turbina lapátkoszorújának konform leképezése két egyenes turbina-lapátrácsra; a) a centripetális és b) a centrifugális átömlésű járókerék-szakasz lapátoszásának a képe

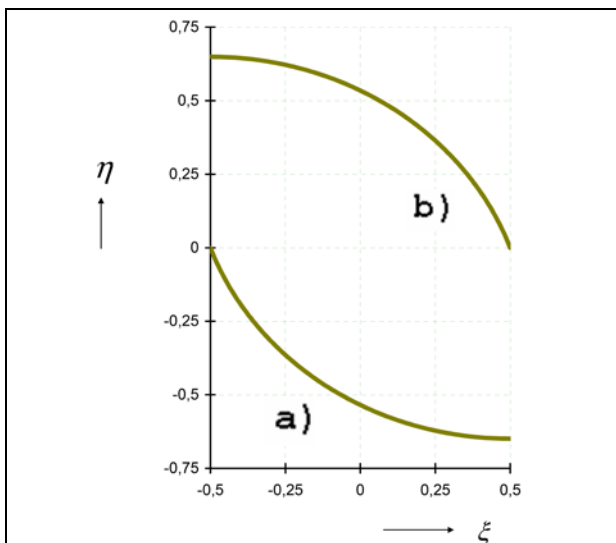
A geometriai leképezés egyenletei:

$$x = L \cos \lambda \left(-\frac{1}{2} + \frac{\ln(r/R_{II})}{\ln(R_I/R_{II})} \right); y = \frac{L \cos \lambda}{\ln(R_I/R_{II})} \varphi.$$

Az L lapáthossz szabadon választható, míg az R_I , R_{II} és γ a Bánki-turbina körív-alakú lapátok alkotta lapátkoszorújának kiinduló adatrendszere.



5. ábra. A Bánki-turbina lapátkoszorújának és egy lapátjának képe a fizikai síkon felvet $r/R_I, \varphi$ (dimenziótlan) poláris koordinátarendszerben



6. ábra. A Bánki-turbina egy lapátjának konform képe a képsíkon felvett ξ, η (dimenziótlan) koordinátarendszerben, az 5. ábra adataival. a): a centripetális b): a centrifugális átömlésű járókerék-szakasz lapátolásának a képe

A leképezés számítására FORTRAN-programot készítettünk, amellyel meghatározható egyrészt a Bánki-turbina lapátkoszorújában elhelyezkedő körív-alakú lapát képe az r, φ síkbeli poláris koordinátarendszerben, másrészt a lapát konform leképezése után adódó képe az egyenes rács képsíkján.

Az 5. ábra a Bánki-turbina lapátkoszorújának és egy lapátjának képét mutatja be a fizikai $r/R_I, \varphi$ síkbeli

poláris koordinátarendszerben az ábrán szereplő kiindulási adatok esetében. Miután a folyadékáram a Bánki-turbina lapátkoszorúján először *centripetális*, majd pedig *centrifugális* irányban áramlik át; ennek az áramlásnak az x, y képsíkon két különböző *egyenes turbina-lapátrács* felel meg (4. és 6. ábra). Az 5. és a 6. ábrán és a szövegben szereplő eltérő jelölések a 3. ábrához tartozó táblázat szerint feleltethetők meg egymásnak.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A megújuló energiaforrások folyamatosan növekvő jelentősége előrevetíti a keresztáramú turbina egyre szélesebb körben történő alkalmazásának a lehetőségét. Ez adja a közleményben bemutatott számítási eljárások aktualitását. A cikk első felében a kétszeres átömlésű akciós járókerékben kialakuló áramlás egydimenziós közelítését tárgyalja.

Az áramvonal számítására és ábrázolására kidolgozott numerikus eljárás alkalmazásával készült ábrákon jól követhető a különböző lapáthosszak és üzemállapotok mellett az áramlás középvonala helyzetének az alakulása és elemezhető a kilépés perdületessége.

A cikk második része módszert ismertet a körrács egyenes rácsra történő leképezésére. Numerikus eljárás került kidolgozásra, amellyel egyrészt a fent említett alapadatok ismeretében felrajzolható a körrács lapátja, másrészt a kétszeres átömlés sajátosságainak a figyelembevételével felrajzolható a lapát egyenes rácsbeli konform képe is mind a centripetális, mind a centrifugális átömlés esetében.

5. 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 valósult meg."

6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] BÁNKI D.: Energie-Umwandlungen in Flüssigkeiten Springer Verlag Berlin, 1921
- [2] <http://www.ossberger.de/cms/pt/hydro/ossberger-turbine/>
- [3] CZIBERE, T.: Az el nem évülő Bánki-turbina létrehozója 150 éve született, GÉP 60. évf. 3. sz. / 2009
- [4] CZIBERE, T.: Bánki-turbina járókerékének konform leképezése két egyenes lapátrácsra, Kutatási jelentés p. 9, 2012