

## AXIÁL VENTILÁTOROK MÉRETEZÉSI ELJÁRÁSÁNAK KORREKCIÓJA

**MOLNÁR Ildikó\*, SZLIVKA Ferenc\*\***

Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar  
Környezetipari Rendszerek Intézet  
2100 Gödöllő Páter Károly út 1.

\*Ph.D hallgató, \*\*egyetemi docens

\*molnar.ildiko@gek.szie.hu, \*\*szlivka.ferenc@gek.szie.hu

### KIVONAT

A cikk keretében ismertetjük a változó cirkulációra történő méretezés menetét, valamint egyszerűsítő feltételeit. Ezek egy részének jogosultságát az elvégzett mérések alátámasztják más esetekben, pedig nem találtak igazoltnak a feltétel helyességét. A cikk második felében javaslatot teszünk arra, hogy hogyan lehet az alkalmazott méretezési eljárást pontosítani.

**Kulcsszavak:** Axiál ventilátor, méretezési módszer, finomszerkezeti eloszlások, hatásfok

### 1. BEVEZETÉS

Az axiál ventilátorok klasszikus tervezési módszerei közé tartozik az állandó örvényesség feltételezésén alapuló méretezési eljárás, amellyel Gruber és szerzőtársai számos cikk és könyv keretében foglalkoztak. Az össznyomás és a térfogatáram adott geometriai méretek és fordulatszám esetén az előbb említett méretezési módszertől függetlenül a változó cirkulációra történő tervezési eljárással növelhető.

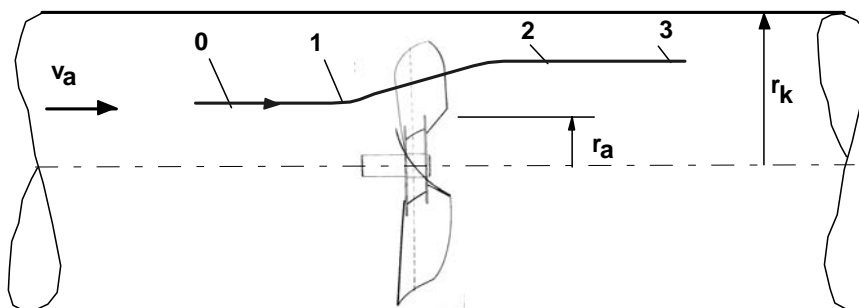
Célunk a változó cirkulációra történő méretezési eljárásban rejlő további lehetőségek ismertetése. A Szent István Egyetemen végzett OTKA pályázatokkal [4] is támogatott kutatások során vizsgáltuk az axiál ventilátor környezetében kialakuló finomszerkezeti eloszlásokat. A ventilátor sugara és a kerülete mentén az össznyomás, sebesség (axiális és tangenciális), eltérítési szög, hidraulikai hatásfok stb. változását. Ennek konkrét eredményeit a [3, 4, 5, 6, 1] cikkekben közöltük.

### 2. AXIÁL VENTILÁTOROK TERVEZÉSI MÓDSZEREI

Az axiális ventilátoroknál a tengely irányából beáramló levegő ugyancsak a tengely irányában lép ki a ventilátorból. Az áramvonalak a lapátok között áthaladva, jó közelítéssel a tengellyel koncentrikus hengerfelületeken, csavarvonalakhoz hasonlóan alakulnak ki. Wallis nyomán elterjedt non-free vortex tervezési módszer lényege, hogy a sugár mentén változó lapátcirkuláció a potenciális örvénytől eltérő tangenciális sebességeloszlást eredményez. Sugár mentén változó lapátcirkuláció esetén a tervezésbe újabb paraméterek vonhatók be. A gépekben jelentkező szekunder áramlások egy százaléknyi nagyságrendű hatásfokcsökkenést okoznak, annak köszönhetően, hogy a lapátprofil nagyobb sugarakon nagyobb össznyomást teljesít, amely többletteljesítményben nyilvánul meg, és ez arányban áll a többletvesztésekkel, így a gép hatásfoka nem romlik. Változó cirkuláció

módszerével tervezett járókerék csendesebb üzemű, mivel nincs a sugár mentén jelentős közeglassulás.

Az axiál ventilátor tervezése során induljunk ki a következő ábrából:



1. ábra A csővezetékbe beépített axiál ventilátor

Feltételezésünk szerint az áramfelületek  $r$  sugarú hengerek. A 0-3 pont között felírva az Euler turbina egyenletet a következő összefüggést kapjuk.

$$\left( \frac{p_3}{\rho} + \frac{v_3^2}{2} \right) - \left( \frac{p_0}{\rho} + \frac{v_0^2}{2} \right) = (v_{3u} \cdot u_3 - v_{0u} \cdot u_0) - \frac{\Delta p'_{0-3}}{\rho} \quad (1)$$

ahol:

$p_0, p_3$  - a statikus nyomás;

$v_{0u}, v_{3u}$  - a belépő és kilépő abszolút sebességek kerület irányú komponensei;

$u_0, u_3$  - a kerületi sebesség a be- és kilépésnél;

$\Delta p'_{0-3}$  - a 0 és 3-as pontok között fellépő veszteségek.

Az (1) Euler turbinaegyenlet bal oldalán a zárójelben lévő összefüggés a nyomóoldali és a szívóoldali össznyomás különbsége ideális esetben, tehát

$$\Delta p_{\text{öid}} = \rho \cdot (v_{3u} \cdot u_3 - v_{0u} \cdot u_0) \quad (2)$$

A méretezési eljárás során feltételezzük, hogy nincs jelentős sugár irányú sebesség komponense a szállított közegnek. Ezért a sugár irányú sebességet ( $v_r$ ) elhanyagoljuk a másik két sebességkomponens, a meridián ( $v_m$ ) és a tangenciális ( $v_u$ ) komponensek mellett.

$$\begin{aligned} v_3^2 &= v_{3u}^2 + v_{3m}^2 \\ v_0^2 &= v_{0u}^2 + v_{0m}^2 \end{aligned} \quad (3)$$

ahol:

$v_m$  - meridián, tengely irányú sebesség;

Behelyettesítünk az (1) Euler turbinaegyenletbe:

$$\left( \frac{p_3}{\rho} + \frac{v_{3m}^2}{2} + \frac{v_{3u}^2}{2} \right) - \left( \frac{p_0}{\rho} + \frac{v_{0m}^2}{2} + \frac{v_{0u}^2}{2} \right) = (v_{3u} \cdot u_3 - v_{0u} \cdot u_0) - \frac{\Delta p'_{0-3}}{\rho} \quad (4)$$

A szilárd testként forgó lapát kerületi sebessége felírható a következő módon:

$$u_0 = r_0 \cdot \omega, \quad u_3 = r_3 \cdot \omega \quad (5)$$

ahol:

$r_0$  és  $r_3$  - futósugár;

A (4) egyenletet deriváljuk  $r_0$  és  $r_3$  szerint, egyelőre feltételezzük, hogy az  $r_3$  és  $r_0$  egymástól független változók, továbbá feltételezzük, hogy  $p_0$  sugár mentén állandó, deriváltja 0:

$$\begin{aligned} & \left( \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p_3}{\partial r_3} + v_{3m} \cdot \frac{\partial v_{3m}}{\partial r_3} + v_{3u} \cdot \frac{\partial v_{3u}}{\partial r_3} \right) - \left( v_{0m} \cdot \frac{\partial v_{0m}}{\partial r_0} \cdot \frac{\partial r_0}{\partial r_3} + v_{0u} \cdot \frac{\partial v_{0u}}{\partial r_0} \cdot \frac{\partial r_0}{\partial r_3} \right) = \\ & = \left( \frac{\partial v_{3u}}{\partial r_3} \cdot u_3 + v_{3m} \cdot \omega - \frac{\partial v_{0u}}{\partial r_0} \cdot u_0 \cdot \frac{\partial r_0}{\partial r_3} + v_{0u} \cdot \omega \right) - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta p'_{03}}{\partial r_3} \end{aligned} \quad (6)$$

Felhasználjuk az (7) Euler-egyenlet természetes koordináta rendszerben felírt alakját, amit behelyettesítünk a (6) derivált kifejezésbe.

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p_3}{\partial r_3} = \frac{v_{3u}^2}{r_3} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & \left( \frac{v_{3u}^2}{r_3} + v_{3m} \cdot \frac{\partial v_{3m}}{\partial r_3} + v_{3u} \cdot \frac{\partial v_{3u}}{\partial r_3} \right) - \left( v_{0m} \cdot \frac{\partial v_{0m}}{\partial r_0} \cdot \frac{\partial r_0}{\partial r_3} + v_{0u} \cdot \frac{\partial v_{0u}}{\partial r_0} \cdot \frac{\partial r_0}{\partial r_3} \right) = \\ & = \frac{\partial v_{3u}}{\partial r_3} \cdot u_3 + v_{3m} \cdot \omega - \frac{\partial v_{0u}}{\partial r_0} \cdot u_0 \cdot \frac{\partial r_0}{\partial r_3} + v_{0u} \cdot \omega - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta p'_{03}}{\partial r_3} \end{aligned} \quad (8)$$

Az egyenlet dimenziótlantításához szükség van a következő összefüggésekre:  
Mennyiségi szám:

$$\varphi = \frac{v_m}{u_k}$$

Össznyomás szám:

$$\psi_{\ddot{o}i} = \frac{\Delta p_{\ddot{o}i}}{\frac{\rho}{2} \cdot u_k^2}$$

Ideális össznyomás változás:

$$\Delta p_{\ddot{o}id} = \rho \cdot (v_{3u} \cdot u_3 - v_{0u} \cdot u_0)$$

A felírt (8) Euler-egyenletet egyszerűsítve, bevezetve a  $\Delta v_u = v_{3u} - v_{0u}$ , ha feltételezzük, hogy  $u_3 = u_0$  vagyis azonos sugáron van a 0 és 3 pont, akkor  $u_3 = u_0 = u$  jelölést bevezetve kapjuk, hogy  $\Delta p_{\ddot{o}i} = \rho \cdot u \cdot \Delta v_u$

Ha feltételezzük, hogy perdületmentes a belépés  $v_{0u} = 0$ , akkor

$$\Delta p_{\ddot{o}i} = \rho \cdot u \cdot v_{3u} \text{ és } \psi_{\ddot{o}i} = \frac{\rho \cdot u \cdot v_{3u}}{\frac{\rho}{2} \cdot u_k \cdot u_k}$$

ahol:

$u_k$  - a lapátvég kerületi sebessége;

Az (5) egyenlet alapján  $u = r_3 \cdot \omega$  a futósugár kerületi sebessége,  $u_k = r_k \cdot \omega$ , ahol az  $r_k$  a külső sugár.

$$\psi_{\ddot{o}i} = 2 \cdot \frac{r_3}{r_k} \left( \frac{v_{3u}}{u_k} \right) \Rightarrow \frac{v_{3u}}{u_k} = \frac{\psi_{\ddot{o}i}}{2 \cdot \frac{r_3}{r_k}}$$

$$\psi'_{03} = \frac{\Delta p'_{03}}{\frac{\rho}{2} \cdot u_k^2}$$

Minden egyes tagot dimenziótlanítunk (8) egyenletben, úgy, hogy az egész egyenletet végigszorozzuk az  $\frac{r_k}{u_k^2}$  vagy annak az átalakított alakjával  $\frac{1}{r_k \cdot \omega^2} \Rightarrow \frac{1}{u_k \cdot \omega}$

$$\left( \frac{\left( \frac{v_{3u}}{u_k} \right)^2}{\left( \frac{r_3}{r_k} \right)} + \frac{v_{3m}}{u_k} \cdot \frac{\partial \left( \frac{v_{3m}}{u_k} \right)}{\partial \left( \frac{r_3}{r_k} \right)} + \frac{v_{3u}}{u_k} \cdot \frac{\partial \left( \frac{v_{3u}}{u_k} \right)}{\partial \left( \frac{r_3}{r_k} \right)} \right) - \left( \frac{v_{0m}}{u_k} \cdot \frac{\partial \left( \frac{v_{0m}}{u_k} \right)}{\partial \left( \frac{r_0}{r_k} \right)} \cdot \frac{\partial r_0}{\partial r_3} + \frac{v_{0u}}{u_k} \cdot \frac{\partial \left( \frac{v_{0u}}{u_k} \right)}{\partial \left( \frac{r_0}{r_k} \right)} \cdot \frac{\partial r_0}{\partial r_3} \right) =$$

$$= \left( \frac{\partial \left( \frac{v_{3u}}{u_k} \right)}{\partial \left( \frac{r_3}{r_k} \right)} \cdot \frac{r_3}{r_k} + \frac{v_{3u}}{u_k} + \frac{\partial \left( \frac{v_{0u}}{u_k} \right)}{\partial \left( \frac{r_0}{r_k} \right)} \cdot \frac{r_0}{r_k} \cdot \frac{\partial r_0}{\partial r_3} + \frac{v_{0u}}{u_k} \cdot \frac{\partial r_0}{\partial r_3} \right) - \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial \left( \frac{\Delta p'}{\frac{\rho}{2} \cdot u_k^2} \right)}{\partial \left( \frac{r_3}{r_k} \right)} \quad (9)$$

Tudjuk, hogy

$$v_{0u} = 0, \quad \frac{r_0}{r_k} = R_0, \quad \frac{r_3}{r_k} = R_3$$

és ezen összefüggések ismeretében behelyettesítünk a dimenziótlanított (9) egyenletbe:

$$\begin{aligned} & \left( \frac{\left( \frac{\psi_{\ddot{o}i}}{2R_3} \right)^2}{R_3} + \varphi_3 \cdot \frac{\partial \varphi_3}{\partial R_3} + \frac{\psi_{\ddot{o}i}}{2R_3} \cdot \frac{\partial \left( \frac{\psi_{\ddot{o}i}}{2R_3} \right)}{\partial R_3} \right) - \left( \varphi_0 \cdot \frac{\partial \varphi_0}{\partial R_0} \cdot \frac{\partial R_0}{\partial R_3} \right) = \\ & = \frac{\partial \left( \frac{\psi_{\ddot{o}i}}{2R_3} \right)}{\partial R_3} \cdot R_3 + \frac{\psi_{\ddot{o}i}}{2R_3} + \frac{\partial \varphi_0}{\partial R_0} \cdot \frac{\partial R_0}{\partial R_3} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial \psi'_{0-3}}{\partial R_3} \end{aligned} \quad (10)$$

Az egyenlet bal oldalán lévő deriváltat átalakítva kapjuk.

$$\frac{\partial \left( \frac{\psi_{\ddot{o}i}}{2R_3} \right)}{\partial R_3} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{\frac{\partial \psi_{\ddot{o}i}}{\partial R_3} \cdot R_3 - \psi_{\ddot{o}i}}{R_3^2} \right)$$

Behelyettesítünk a (10) egyenletbe, majd az egyenlet mindkét oldalát megszorozzuk kettővel:

$$\begin{aligned} & \frac{\psi_{\ddot{o}i}^2}{4R_3^3} + \varphi_3 \cdot \frac{\partial \varphi_3}{\partial R_3} + \frac{\psi_{\ddot{o}i}}{2R_3} \cdot \frac{1}{2} \left( \frac{\frac{\partial \psi_{\ddot{o}i}}{\partial R_3} \cdot R_3 - \psi_{\ddot{o}i}}{R_3^2} \right) - \left( \varphi_0 \cdot \frac{\partial \varphi_0}{\partial R_0} \cdot \frac{\partial R_0}{\partial R_3} \right) = \\ & = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \psi_{\ddot{o}i}}{\partial R_3} - \frac{\psi_{\ddot{o}i}}{R_3} \right) + \frac{\psi_{\ddot{o}i}}{2R_3} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial \psi'_{0-3}}{\partial R_3} \\ & 2\varphi_3 \cdot \frac{\partial \varphi_3}{\partial R_3} + \frac{\psi_{\ddot{o}i}}{2R_3^2} \cdot \frac{\partial \psi_{\ddot{o}i}}{\partial R_3} - \left( 2\varphi_0 \cdot \frac{\partial \varphi_0}{\partial R_0} \cdot \frac{\partial R_0}{\partial R_3} \right) = \frac{\partial \psi_{\ddot{o}i}}{\partial R_3} - \frac{\partial \psi'_{0-3}}{\partial R_3} \\ & 2\varphi_3 \cdot \frac{\partial \varphi_3}{\partial R_3} - \left( 2\varphi_0 \cdot \frac{\partial \varphi_0}{\partial R_0} \cdot \frac{\partial R_0}{\partial R_3} \right) = \frac{\partial \psi_{\ddot{o}i}}{\partial R_3} - \frac{\psi_{\ddot{o}i}}{2R_3^2} \cdot \frac{\partial \psi_{\ddot{o}i}}{\partial R_3} - \frac{\partial \psi'_{0-3}}{\partial R_3} \end{aligned} \quad (11)$$

A (11) egyenlet jobb oldalát rendezve kapjuk,

$$\frac{\partial \psi_{\dot{o}i}}{\partial R_3} \cdot \left( 1 - \frac{\psi_{\dot{o}i}}{2R_3^2} \right) - \frac{\partial \psi'_{0-3}}{\partial R_3}$$

ezt visszahelyettesítjük a (11) egyenletbe.

$$2\varphi_3 \cdot \frac{\partial \varphi_3}{\partial R_3} - 2\varphi_0 \cdot \frac{\partial \varphi_0}{\partial R_0} \cdot \frac{\partial R_0}{\partial R_3} = \frac{\partial \psi_{\dot{o}i}}{\partial R_3} \cdot \left( 1 - \frac{\psi_{\dot{o}i}}{2R_3^2} \right) - \frac{\partial \psi'_{0-3}}{\partial R_3} \quad (12)$$

ahol:

$$\frac{\partial R_0}{\partial R_3} = 1 \quad (\text{a független változók értéke megegyezik})$$

Somlyódy a kísérletei során a  $2\varphi_0 \cdot \frac{\partial \varphi_0}{\partial R_0}$  és  $\frac{\partial \psi'_{0-3}}{\partial R_3}$  tényezők figyelembevételét

elhanyagolta. Míg Somlyódy az axiál ventilátorok tervezéséhez szükséges differenciál egyenlet jobb oldalán lévő veszteséges tagot konstansnak feltételezte, emiatt annak deriváltja nulla [7], addig Bencze-Szlivka a valóságos össznyomásból kiindulva figyelembe vette a veszteséges tagot, ahol a hidraulikai hatásfokot állandónak tekintették sugár mentén [2]. Mindkét módszer alkalmazásával a tervezési pont nem esik rá a mérésből számított ideális jelleggörbére. Mindezt mérések is alátámasztják.

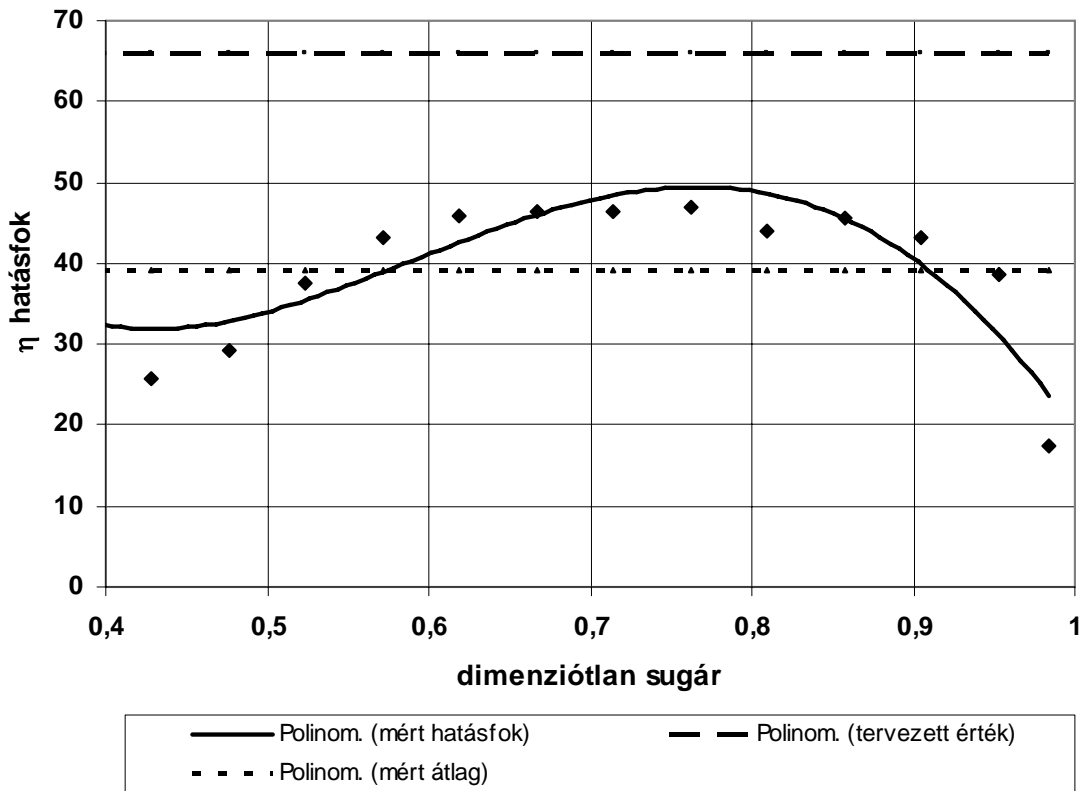
## 2. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

Az általunk elvégzett mérések azt bizonyítják, hogy a hidraulikai hatásfok sugár menti állandósága helyett annak sugár menti változását figyelembe kell venni a méretezési eljárás során.

A finomszerkezeti eloszlások mérése során [3, 5] meghatároztuk a hidraulikai hatásfokot. Az ideális nyomásnövekedést az Euler turbinaegyenletből kaptuk

$$\psi_{\dot{o}id} = \frac{\Delta p_{\dot{o}i}}{\frac{\rho}{2} \cdot u_k^2}, \quad \text{a valóságos nyomásnövekedést pedig mérésrel határoztuk meg. Ennek}$$

részletei megtalálhatók [3] cikkekben. Az 2. ábrán látható, hogy az ideális hatásfok görbe, a mért hatásfok görbe (amelynek pontjaira harmadfokú polinomot illesztettünk) és a mért hatásfok görbének az átlag függvénye. A két hatásfok átlaga jelentősen eltér egymástól, a mért hatásfok érték jóval kisebb mint a tervezett, ideális hatásfok érték.



2. ábra: Hidraulikai hatásfok változása sugár mentén

#### 4. KÖVETKEZTETÉSEK

A hidraulikai hatásfok sugár menti állandóságának feltételezése nem rossz közelítés, ha nem az agy közelében és nem a kerület közelében vagyunk. Mind az agynál mind a kerületen (rés hatására) lecsökken a hatásfok értéke (2. ábra). Vizsgálataink célja, hogy egy olyan méretezési eljárást dolgozzunk ki, amely e hatásfokváltozást figyelembe veszi. A legegyszerűbb módon a változást egy polinommal közelíthetjük, mint tettük azt a nyomásszám esetében is. Ekkor azonban nehéz figyelembe venni a középső szakaszon fellépő közel állandó hatásfok értéket. Így a valóság közelítése pontosabb, ha három szakaszra osztjuk a hatásfok sugár menti változását, és külön-külön közelítjük. Mivel a tervezési módszer számítógéppel végezhető el, így ennek semmiféle akadálya nincs.

#### 5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Molnár I., Eredmények a mezőgazdaságban alkalmazható axiál ventilátorok fejlesztésében, Gép, LVII. évf., 2006, pp. 41-44.
- [2] Szlivka F.- Bencze, F.-Kemény, Gy., Ventilator rotor of axial flow fan 1989 No: 209 012: NSZO:F04D-029/38

- [3] Szlivka F.- Kópházi J., Nyomás- és sebességtér mérése axiális ventilátor járókereke környezetében Magyar Épületgépészet 2001/14., pp. 48-50.
- [4] Szlivka F.- Molnár I., Pressure and velocity field properties around an impeller of axial flow fan, 2005. Ph.D. Hallgatók V. Nemzetközi Konferenciája, Miskolci Egyetem, pp. 361-366.
- [5] Szlivka F.- Molnár I., Különböző lapátosú axiális ventilátorok vizsgálati eredményei Dunaújváros, 2005, Dunaújvárosi Főiskola Közleményi. XXVI pp. 553- 563
- [6] Szlivka F. – Molnár I., Axiál ventilátor méretezése a mérési eredmények tükrében Kolozsvár, 2005, pp. 351-354.
- [7] Somlyódy L., Axiál ventilátorok tervezése és jelleggörbe számítása, Műszaki Doktori Értekezés Budapest, 1971.

### THE CORRECTION OF MEASUREMENT METHOD BY AXIAL FLOW FAN

In our article we analyzed the measurement method based on the known non-free vortex design, which serves as a planning method for design of axial flow fans. Each measurement method, like this one, is based on some simplified hypothesis. One part of these hypothesis is supported by the measurement results made by ourselves and by other researchers, as well, but on the other hand some hypothesis are do not totally verified. For the sake of the further development of this design method the change of the hydraulic efficiency was analyzed along the radius. According to our experiences steadiness of the hydraulic efficiency was realized with relatively high-level error. Hence it is suggested to take the change of the hydraulic efficiency along the radius into consideration to improve the ability of the above mentioned design method.