

A mezőgazdaságban alkalmazott axiális átömlésű ventilátorok nyomás- és sebességterének meghatározására alkalmas vizsgálati módszer továbbfejlesztése

Című OTKA

2008 évi végjelentése

Nyilvántartási szám: T-049358

1. A kitűzött célok a következők voltak:

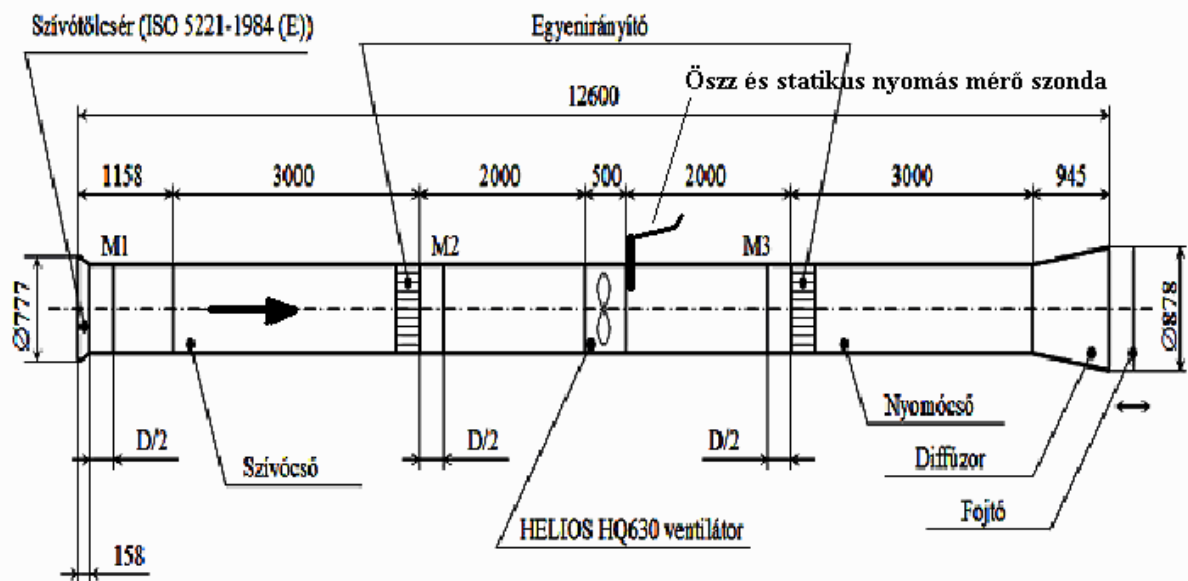
Az eddig alkalmazott mérési módszer továbbfejlesztése, melynek lényege a következőkben foglalható össze: A mérés elve, hogy a statikus és az össznyomás külön-külön (időben szétválasztott) mérésével, feltérképezzük a járókerék közvetlen környezetét. Az össznyomás meghatározásához a várható áramlási irány környezetében az össznyomás szondával letapogatjuk megfelelő sűrűséggel, különböző irányokban a nyomás nagyságát és irányát, majd a kapott értékhalmazból, utólagos elemzéssel kiválasztjuk a maximum irányát és értékét.

Tervezzük, hogy e módszer pontosságának megbízhatóságának fokozását. A mérési eredmények birtokában a járókerék környezetében így megfelelően finom szerkezetű áramképet kapunk. Az eljárással olyan diagnosztikai módszert szeretnénk kidolgozni, amely az axiális ventilátorok tervezéséhez, és gyártásához ad megfelelően gyors, de ugyanakkor részletes eredményesort. Olyan előnyöket várunk, amelyek javítják a tervezés menetét, annak pontosságát. A ventilátor mérések előmozdítják az eddigi tervezési módszerek javítását. Itt elsősorban a lapátok körüli áramkép részletesebb, pontosabb megismerésében, a lapátok egymásra hatásában várunk fontos és lényeges előrelépést. Továbbá egy, a mérnökök számára hasznos, és megfelelően pontos méretezési és kiválasztási eljárást kívánunk létrehozni.

2. Előzmények

Több évtizeden keresztül folyó OTKA pályázatok és egyéb kutatások továbbfejlesztéseként indítottuk a jelenlegi pályázatot. Ezek röviden a következők voltak: Az 1995 és 1997 között folytatott kutatások során a T 016950 számú OTKA pályázat keretében kitűzött kutatási célokat megvalósítottuk. A kitűzött célokon felül az áramkép olyan jellegzetességeit - pl. a lapátcsatornában kialakuló szekunder áramlásokat, a légrés közelében lejátszódó komplex áramlási folyamatokat - is felderítettünk, amelyek a nemzetközi szakirodalomban leírtakhoz képest is újszerűek. Az 1998-2001-ig folyó OTKA (T-026516) kutatásban, melynek vezetője voltam, a ventilátorok környezetében kialakuló áramképet mértük és számoltuk. Ez a kutatás a BME Áramlástan Tanszékén indult, majd a Szent István Egyetemen (SZIE) fejeződött be. Közben a LINDAB kft. és a Kamleithner Budapest Kft. segítségével kialakítottunk a SZIE-n egy megfelelő mérőberendezést a kutatás folytatásához. Ennek szerves folytatásként indult ez a kutatási projekt.

3. Mérőberendezés és a mérési módszer továbbfejlesztése



1. ábra A mérőberendezés vázlata

A Szent István Egyetem Környezet Ipari Rendszerek Intézetében felépítettünk egy „csőből-csőbe” szállító vízszintes elrendezésű jelleg- és hatásfok-görbemerést megvalósító axiálventilátor-mérőhelyet. A berendezés részleteit a {1}, {2} előadásokban ismertettük részletesebben. A térfogatáram mérése szabványos beszívótölcsérral történik. A munkapont paramétereinek változtatását a cső végére épített diffúzorra szerelt motorosan mozgatható fojtólappal végezzük. A ventilátor által létesített nyomásnövekedést a ventilátor mögött az agy meghosszabbításával kialakított gyűrűben is és a ventilátor után lévő egyenirányító után a csőben is meg lehet határozni. Így lehetőség nyílik a lapátózásra jellemző gyűrűben mért és a kerékre jellemző csőben mért nyomásnövekedés mérésére is. A hatásfokméréshez kifejlesztettünk egy nyomaték-mérő berendezést. A jelleg- és hatásfokmérő berendezés műszerezettségének és geometriájának részletei a {12}, {13}, {14}, {20}, {21} kiadványban található. A berendezésen elő és/vagy utóterelő 630 mm átmérőjű axiális ventilátorok jelleggörbéit lehet meghatározni. A berendezés sematikus vázlatát a **1. ábrán** láthatjuk. Különböző agyviszonyú és lapátózású ventilátorokat fejlesztettünk ki, amelyek jelleggörbéit és hatásfok görbéit az adott mérőberendezéssel határoztunk meg. Ezirányú eredményeinket többek közt a több munka tartalmazza.

A kifejlesztett ventilátorok nagyrésze az úgynevezett nem állandó cirkulációra (nonfree vortex) méretezett ventilátorok családjába tartozik. A méretezés és a mérés eredményeinek pontosabb összevetése, ill. a méretezési módszer pontosítása érdekében az áramkép finom szerkezetének vizsgálatát a már korábban kifejlesztett és ebben az OTKA kutatásban továbbfejlesztett módszerrel végeztük. A finomszerkezet vizsgálatának egyik fő iránya az LDA-műszer kifejlesztése és alkalmazása a ventilátor járókerék lapátózása környezetében kialakuló áramlás részleteinek vizsgálatában. A több éve folyó ezirányú kutatások Vad János és Bencze Ferenc nevéhez kapcsolódnak. [6]

Az LDA mérések segítségével sikerült feltérképezni a járókerék lapátózása után kialakuló sebességtér finomszerkezetét. A munkacsoport által kidolgozott mérési eljárás alkalmas a sebességtér mindhárom komponensének mérésére. Ellenben a nyomásviszonyok alakulására nem ad támpontot. Az általunk kifejlesztett és alkalmazott eljárással a járókerék környezetében kialakuló sebességtéren túlmenően a nyomások finomszerkezeti eloszlásának mérése is lehetővé válik, azonban, egyenlőre csak két sebességkomponens mérésére alkalmaztunk. Az LDA mérések

tapasztalatai alapján ez jó közelítésnek felel meg, mivel a sugárirányú sebesség nagysága kicsi a másik két komponenshez viszonyítva.

3.1. A nyomaték mérésére kifejlesztett módszer

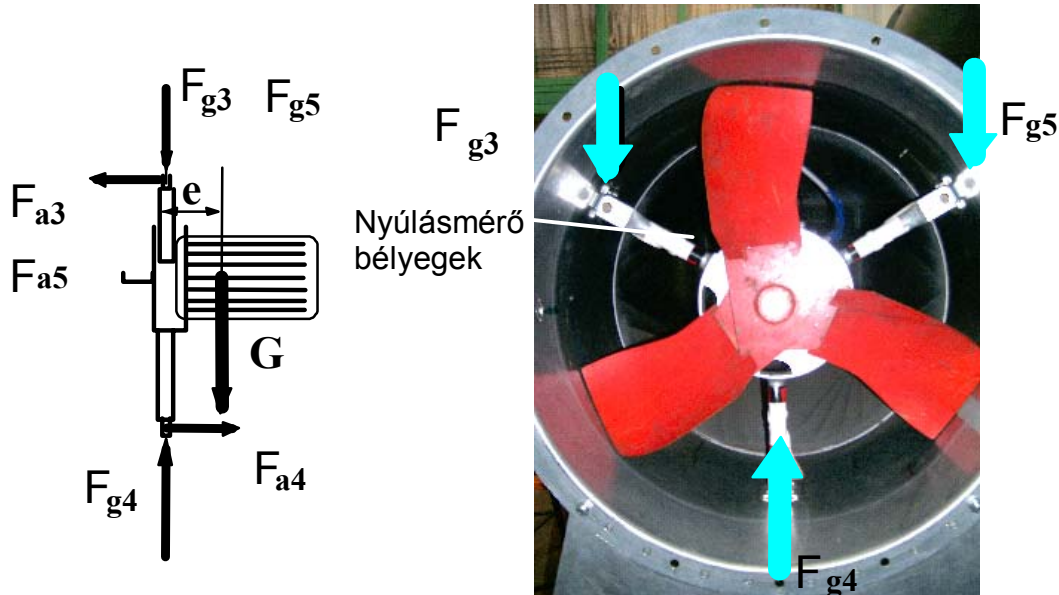
A most befejezésre került OTKA megbízás keretében a mérőberendezésen a továbbfejlesztés egy fontos lépése volt a ventilátorra ható forgatónyomaték mérésének kidolgozása, ezért erről kicsit bővebben írunk. A Szent István Egyetem Környezetipari Rendszerek Intézetében folyó axiálventilátor-kutatás eredményességéhez hozzájárul a következőkben ismertetett nyomatékmérési probléma megoldása, amely lehetőséget ad a ventilátorok hatásfokának meghatározására. A nyomaték meghatározásához a nyúlásmérő bélyeggel történő mérési módszert választottuk. Valószínű, hogy egy beépített nyomatékmérővel egyszerűbb és gyorsabb lenne a mérés, ilyen megoldást valósítottak meg hasonló axiálventilátor mérőberendezésen ([2] Bencze, F., Füredi, G., Szlivka, F., 1989). Ez a fajta megoldás a járókerék és a motor csatlakoztatásánál komoly szerkezeti átalakításokat igényelt volna jelen berendezésünkön. Ezért döntöttünk a reakciónyomaték nyúlásmérő bélyeggel történő mérése mellett. A vizsgált járókereket egy szélcsatornába építettük be. A nyúlásmérő bélyegeken ébredő feszültség nagyságának meghatározására egy több csatornával rendelkező multimétert használtunk ([21] Goda A., 2006).

A forgó ventilátor lapátjain ébredő légerők a járókerék síkjába eső a forgással ellentétes nyomatékot keltenek a járókerék tengelyén. Ennek mérése a cél.

A nyomatékot és a tolóerőt, a lapátot forgató motoron keresztül a motort tartó bak (jelen esetben a háromlábú felfogó szerkezet (**2. ábra**) kompenzálja egy ugyanakkora, de ellentétes nyomatékkal és erővel. A nyomaték mérési módszerünk ennek a kompenzáló nyomatéknak a mérésén alapul, mely nyomatéknak a tengelye párhuzamos a cső és a ventilátor forgástengelyével (**ld. 1. ábra**). Ezúton is elnézést kérünk az olvasótól, hogy a tartószerkezet rúdjaiknak számozását nem 1, 2, 3-al jeleztük számozását 3, 4, és 5-nek választottuk, mert a többcsatornás multiméter 3,4 és 5 csatornáját használtuk a mérésekkor.

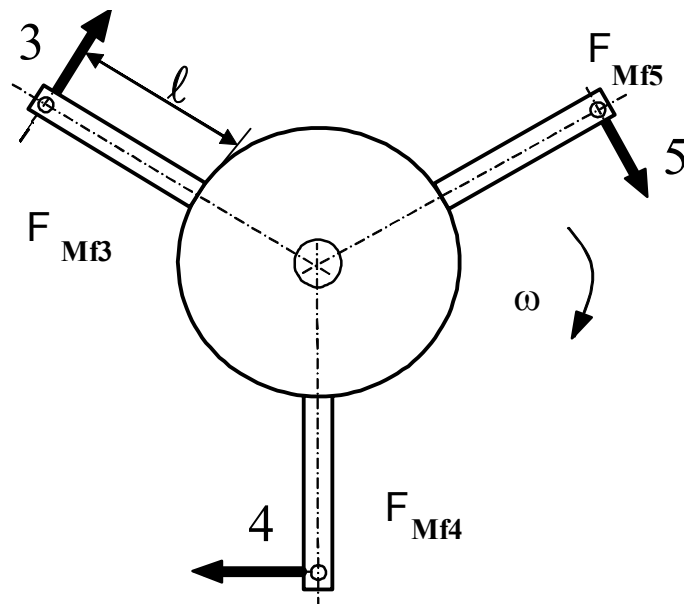
A méréseinket egy háromlapátos axiálventilátoron végeztük. A tartószerkezet három rúdjaiban a kompenzáló (méréndő) nyomaték által keltett feszültségen kívül egyéb nyomatékok és erők is keltenek mechanikai feszültségeket. A lapátokra ható légerők a járókereket a járókerék síkjára merőlegesen ható nyomóerőt is kifejtenek, amely a járókereket a nyomóoldal felől a szívó oldal felé tolja. Az egyéb erők és nyomatékok két fő csoportba oszthatók: az első csoportba azok az erők és nyomatékok sorolhatók, amelyek ventilátor álló és forgó állapotában ugyanakkora értékűek, a második csoportba soroljuk a csak forgás közben fellépő erőket és nyomatékokat. Az álló és forgó helyzetben azonos hatást kifejtő erők és nyomatékok könnyen kiszűrhetők a mérés során, mert a nyúlásmérő bélyeges mérésben a nulla szintet ezekhez a hatásoknak a meglétekor nullázzuk. Álló és forgó állapotban azonos feszültségeket okoz a motor, a ventilátor és a tartók súlya, amely a felül lévő lábokban húzást és hajlítást, az alul lévő lábban nyomást okoz (**2. ábra**). A keltett hajlító nyomaték tengelye szintén párhuzamos a ventilátor forgástengelyével, mint ahogy járókeréken ébredő méréndő kompenzáló nyomaték is. A motor súlya, ami a lábakra nehezedik, az alsó tartó ágat nyomó feszültséggel (F_{g4}) a felső kettő ágat, pedig húzó feszültséggel (F_{g3}, F_{g5}) terheli. Továbbá a motor súlypontja hátrébb van, mint a háromágú tartószerkezet síkja, ami ezért olyan erőket (F_{a3}, F_{a4} és F_{a5}) és ezáltal hajlító nyomatékot ébreszt a tartókban, amelynek tengelye merőleges a ventilátor tengelyére. A két hatást lehet a nyúlásmérő bélyegek nulla szintjének beállításával kiküszöbölni.

A csak forgó állapotban fellépő járulékos feszültségek közé tartozik az a nyomaték, amelyet a légerők hoznak létre. A ventilátor által mozgatott levegő áramlás irányában tolja a levegőt, ami reakcióerőket ébreszt és a tartószerkezet közepét hátrafelé, áramlással szemben nyomja. A fellépő légerők kerület irányú komponensei keltik a mérendő nyomatékot, amelynek hajlítási tengelye párhuzamos a forgástengellyel. A légerők tengely irányú komponensei, pedig a három tartóban olyan reakció nyomatékot ébresztenek, amelyeknek nyomatéki tengelye merőlegesek a ventilátor tengelyére, tehát a mérendő nyomatéokra éppen merőleges. A nyúlásmérő bélyegek speciális elhelyezésével el lehet érni, hogy a mérési eredményekből kiszűrjük a ventilátor tengelyére merőleges tengelyű nyomatékok hatását.



2. ábra A motor súlya által keltett húzó és nyomóerők

A mérés folyamán, különböző fordulatszámokon, különböző fojtásoknál vizsgáltuk a tartószerkezetben ébredő nyomatékot, és az egyes tartókban ébredő feszültségeket. A kiértékelés szempontjából úgy vizsgáltuk, hogy a három tartón együttesen ébredő deformációt együtt kezeltük. Ez természetesen a kalibrálásnál is így kezelendő. A mérések során ki is derült, hogy forgás közben a tartó három rúdja különbözőképpen vesz részt a teherviselésben.

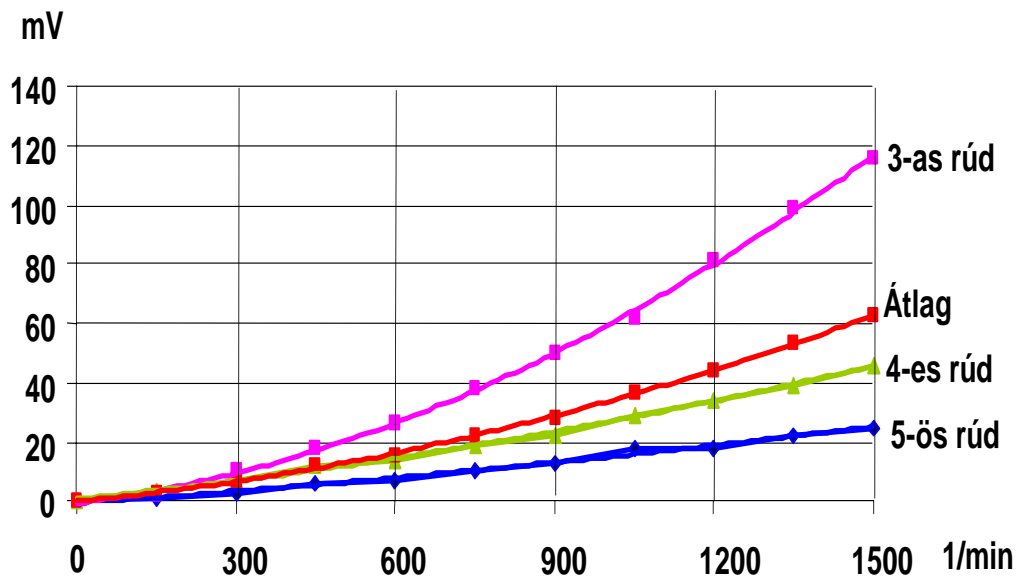


3. ábra A mérendő forgató nyomatékkal szemben fellépő reakcióerők

A tartószerkezet rúdjaikat az egyik végén befogott konzolos tartóknak tekintettük, ahol a legnagyobb hajlító feszültség, így a legnagyobb deformáció is a befogásnál ébred. Az alkalmazott nyúlásmérő bélyeges mérésnél a bélyegeket erre a területre kell felragasztani a minél pontosabb mérés érdekében. A bélyegek Wheatson hídba vannak kötve, az egyik ág a nyúlást (+ ϵ) a másik ág a rövidülést (- ϵ) méri.

A csavaró nyomaték mérésénél, a befogásnál létrejövő hajlító nyomatékokat mérjük. Ismerve a befogás és a rúd vége közötti hosszt, számolható az (F_{Mf}) függőleges erő. Elvileg minden rúdnál a csavaró nyomaték egyharmad erőt hoz létre, mert egyforma keresztmetszetű, hosszúságú és anyagú, ezért a csavaró nyomaték $F_{Mf} \cdot l$ nagyságú lesz.

A pontos méréshez igen fontos a megfelelő kalibrálás. Az eszköz kalibrálása két módon történt. Az I. kalibrálási módszernél a tartószerkezetet rögzítettük, és a rúdjaikat külön-külön terheltek. Ebben az esetben feltételeztük, hogy a ventilátorház merevsége elhanyagolható. A II. módszer esetében a kalibrálás a csővezetékben történt, ahol pótlólagos szerkezet beépítésére nem volt szükség. A kalibrálás során a járókereket úgy rögzítettük, hogy az egyik lapátja vízszintes helyzetben legyen, és ne mozdulhasson el. A járókerékre hitelesített súlyokat függesztve, mérésenként súllyal terhelve vizsgáltuk a tartó rúdjaiban ébredő nyomatékokat. A nyomaték négyzetesen arányos a fordulatszámmal tehát a függvények, melyeket a nyomaték értékek mutatnak parabolát adnak eredményül. Mikor ténylegesen megterheljük a tartószerkezetet, akkor a három rúd különböző módon deformálódik, ez látszik a mérésekből. A tartószerkezet három ága más-más módon terhelődik más-más módon vesz részt a nyomaték kompenzálásában, tehát három görbét kapunk eredményül (**ld. 4. ábra**). A nyomaték kiszámításakor a három láb aktuális deformációját, azok összegét használtuk fel a nyomaték kiszámítására.



4. ábra Különböző fordulatszámokon a nyomaték nagysága

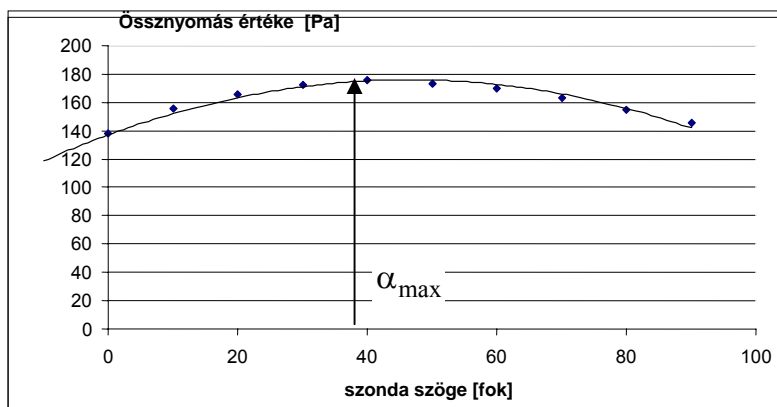
3.2. A finomszerkezeti mérés módszere és berendezései

Forgó gépek lapátózása közelében a sebesség és a nyomástér méréssel történő meghatározására nagyon sokféle mérési módszert dolgoztak ki. Alapvető két fő csoportba lehet sorolni a méréseket, az egyik fajta mérési módszer az abszolút, álló rendszerből végzi el a sebességek, és a nyomások mérését. Például a LDA mérések ebbe a kategóriába tartoznak. A másik fajta módszernél a lapátokkal együtt forgó rendszerből határozzák meg a mérendő jellemzőket. Az együttforgó rendszerben végzett nyomás és- sebességmérés, pl. a kerékkel együtt forgatott és a kerékhez képest mozgatott ötlyukú szondával végzett mérések. Itt igen nagy nehézséget okoz a szonda forgó rendszerben történő mozgatása, valamint a nyomásjelek akár közvetlen, akár közvetett kivezetése. Az általunk alkalmazott mérési módszerben az álló térből vezérelhető nyomásmérő szondát, szondákat alkalmaztunk. A járókerék közvetlen közelében előtte és mögötte mérjük az össznyomás és a statikus nyomás térbeli megoszlását. A járókerék mögötti és előtti térben elvileg elhelyezhettük volna mind a statikus, mind az össznyomás mérő szondát egyidejűleg két különböző helyen, az egyszerűbb kezelhetőség és az áramlás kisebb megzavarása érdekében egyszerre csak egy szondával mértünk. Így a statikus nyomást és az össznyomást két különböző időpontban végeztük el. Az eltérő idejű mérés miatt nagyon pontosan kellett a ventilátor jellemzőit beállítani egy-egy méréshez és mérési pozíciók térbeli helyzetét is pontosan kellett tárolni, hogy a későbbiek során az összetartozó össz- és statikus nyomásokat megfelelő módon tudjuk az egyéb jellemzők meghatározásához felhasználni. Abból a feltételezésből indultunk ki, hogy a sebességnek a sugár irányú komponense nagyságrenddel kisebb a másik két sebességnél. A statikus nyomás mérése elvileg nem jelent semmiféle nehézséget, ha a Ser-tárcsa síkjától a sebesség iránya csak kismértékben tér el. Ezt a tényt több mérés és számítás is igazolta. A radiális sebesség problematikájával Keszthelyi részletesen foglalkozik. Nagyobb problémát jelent az össznyomás meghatározása.

A össznyomás meghatározása

Egy adott geometriai pontban az össznyomást akkor tudjuk megmérni, ha az össznyomás szonda furata, amely a legtöbb mérésünkben hengerszonda volt, pontosan a pillanatnyi sebességgel szemben helyezkedik el. A ventilátor lapátózása mögött a sebesség iránya és nagysága folyamatosan változik, így a sebességmérő szondára érkező áramlás iránya és nagysága a kerék

körülfordulása során szintén folyamatosan változik. Egy adott sugárra és egy adott irányba beállítva a sebességmérő szondát a körülfordulás függvényében kapunk egy nyomáslefutási függvényt. Illetve ezt átlagolva több körülfordulás során, lapátosztásonként periódikus függvényt. Ez azonban nem az össznyomás görbe. Ha az össznyomás-szondát a saját tengelye körül egy másik helyzetbe fordítjuk, akkor ehhez az új pozícióhoz is kapunk egy másik görbét a kerület mentén. Ha az össznyomás szonda megfelelő számú pozíciójában meghatározzuk a nyomáslefutást, akkor a görbék megfelelő pontjainak segítségével kiválaszthatjuk a legnagyobb nyomás értékét és egyben az ehhez tartozó szonda elfordítási szöget, α_{\max} értékét is egy adott geometriai pontban (**ld. 5. ábra**).



5. ábra Maximális nyomásérték helyének meghatározása

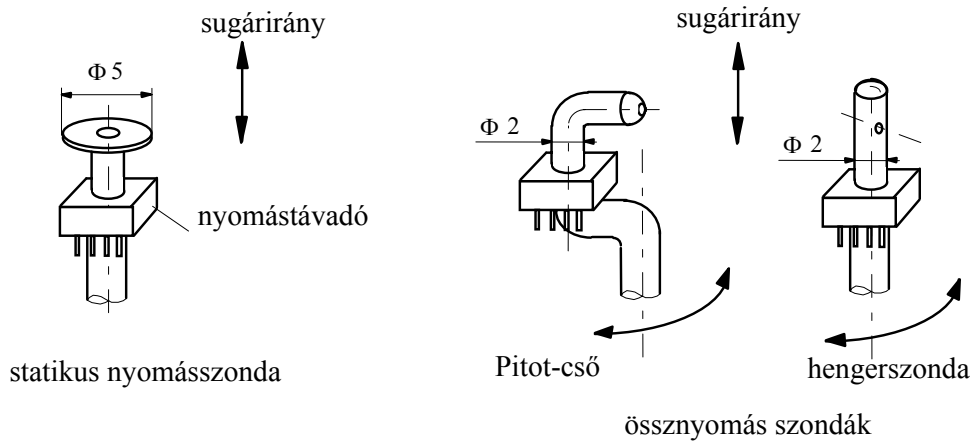
A maximum értékének kiválasztásakor regressziót alkalmaztunk a pontatlanságok csökkentése érdekében, és a regressziós görbéből választottuk ki a maximumot és annak helyét. Az így meghatározott irány az abszolút áramlás irányát is megadta. A kapott áramlási irányok meglepően jól egyeztek az LDA mérésekből kapott irányokkal. Végeztünk méréseket Pitot-csővel és henger-szondával. A mérési eredményekben sem az irány, sem a nagyság tekintetében nem volt eltérés, a henger szondával mért eredmények stabilabb eredményt szolgáltatottak.

A szonda kialakítása

A nyomásmérésnek ilyen esetben több szigorú követelményt kell teljesítenie. A szonda igen rövid beállási idővel kell rendelkezzen, hogy a járókerék lapátok nyomán keletkező hirtelen nyomásváltozásokat is képes legyen torzítás nélkül követni. A nyomásmérő szondától a jeleket nem lehet nyomás formájában továbbítani, hanem elektromos úton kell azokat a feldolgozás helyére eljuttatni. Ugyanis már néhány „cm” hosszúságú nyomásvezeték is nagymértékben eltorzítja a század másodperces nagyságrendben változó nyomásképet.

Így a szondát közvetlen a mérés helyére kell telepíteni, és a mérete is kellően kicsi, kb. 1 cm, vagy annál kisebb lehet. A nyomásváltozások nagysága néhány száz Pa, így mikrofon, vagy ahhoz nagyon hasonló elven működő piezo-kristályos nyomásmérő mellett döntöttünk, amely teljesíti a fenti követelményeket.

A piezo-kristályos nyomástávadó differenciál nyomásmérő. Egyik oldalán egy stabil referencia nyomást kell biztosítani, amely esetünkben a nyomásmérő szárán keresztül a külső légköri nyomás volt. A nyomásváltozásokat érzékelő oldalára össznyomás érzékelésre alkalmas Pitot-csövet, illetve hengerszondát, vagy a statikus nyomás érzékelésére alkalmas Ser-féle tárcsát alakítottunk ki. A szondák vázlatát a **6. ábrán** láthatjuk.



6. ábra Az alkalmazott össz- és statikus nyomás mérő szondák

A Ser-tárcsa átmérője 5 mm, 1 mm-es furattal, a Pitot-cső 2 mm átmérőjű 1 mm-es furattal. A hengersizonda szára 2 mm-es a rajta lévő össznyomás furat 0,3 mm átmérőjű. Az érzékelők méretei azt biztosítják, hogy a mérési pontok térbeli felbontása a LDA-felbontásával közel megegyező lehet.

A statikus és össznyomás-szondák kialakítása olyan, hogy a pozicionálás pontosan végezhető el sugárirányban és az össznyomás-szondák esetében a szonda tengelyéhez viszonyított elforgatás irányában.

A járókerék lapátmozgása mögötti sebességtér egy-egy lapát elhaladásnak ütemében periodikusan változik. A változás frekvenciája a lapátszám \times fordulatszám értékkel egyezik meg. Ennek következménye, hogy az álló rendszerben elhelyezett mérőszonda periodikusan, vagy közel periodikusan változó nyomást érzékel. Amennyiben a lapátmozgáshoz kötötten vizsgáljuk az áramképet, akkor az áramkép kvázi stacionáriusnak tekinthető, ha a turbulens ingadozásokat kiszűrjük, az áramképből. A turbulens ingadozások kiszűrése megfelelő számú átlagolással elvégezhető. A nyomásszonda időben változó jelsorozatából mindig a lapátokhoz képest azonos helyen vett minták összegzését kell elvégezni és ezen értékek átlaga adja az adott, a lapátmozgáshoz kötött, de abszolút rendszerben mért nyomás, vagy sebességkomponenst. A mintavételezés pontosságát a tengelyre épített szögjeladó biztosítja, amely a teljes körülfordulást 1024 részre osztja. A szondaféjek és az nyomástávadók együttes időbeli gyorsaságát többféle mérés és számítással is ellenőriztük. Több esetben végeztünk különböző fordulatszámokon nyomáslefutás méréseket azonos munkapontokban.

A mérőberendezésről ill. a mérési módszerről a további részleteket a {1}, {7} és a {13}, {14} cikkekben és előadás anyagokban találunk.

4. A méretezési eljárások

A terelőlapát nélküli axiális ventilátorok gyártásakor törekednek olyan technológiák alkalmazására, amelyek igen gazdaságosan elégítik ki az igényeket. A préselt lemez elemekből összeállított konstrukciókban legfeljebb néhány szegecset, vagy hegesztést használnak fel rögzítésként. Az ilyen egyszerű szerkezeti megoldásokkal gyártott ventilátorok tervezésére több kialakult tervezési eljárást alkalmaznak. BENCZE és SZLIVKA [1] dolgoztak ki egy tervezési eljárást, mely ezeket az elveket alkalmazza. Több sikeres gyártmánycsaládot is készítettek. Például a SZLIVKA-BENCZE-KEMÉNY [5] szabadalmaztatott axiális ventilátor járókerék, amely a

lapátmozás kerület irányú előferdítésének felhasználásával, valamint a változó cirkuláció elvének alkalmazásával készült.

A méretezési eljárásnak többféle útja lehetséges, pl. a manapság igen széles körben alkalmazott számítógépes szimuláció alkalmazása. Vad [7] közöl egy CFD eljárásról alapuló méretezési eljárást olyan járókerék tervezése esetén, ahol a lapátmozás kerület irányú előferdítéssel készült el. Az előferdített lapátmozással, annak akusztikai hatásaival foglalkozik. Eddigi vizsgálataink, melyek egy része mérésen alapult, azt találtuk, hogy a fenti változó cirkulációra méretezett ventilátorok tervezésekor alkalmazott néhány elv, a megvalósított járókerekeken nem minden tekintetben teljesült. A járókerekek finom szerkezetének mérésekor, pl. a hidraulikai hatásfokot változó mennyiségnek találtuk a sugár mentén, holott a tervezéskor ennek értékét állandónak feltételezték az eddigi méretezési eljárásokban. Az egyes méretezési eljárások alapvető elveit ismertetjük, kitérünk a közös és az eltérő vonásokra, illetve az így tervezett ventilátorok sajátosságaira.

4.1. A ventilátor méretezési módszerek kiinduló alapelvei

A méretezés során a ventilátor lapátmozása körül kialakuló áramfelületeket „r” sugarú hengerek és kis nyílásszögű kúpfelületekből (7. ábra) összerakható felületek alkotják. Egyszerűbb esetben, mint az állandó cirkuláció esetén egyetlen egy hengerfelület. Az általuk kimetszett lapátgeometriából meghatározzuk az

$$\frac{\ell}{t} \cdot c_f = \frac{2 \cdot v_{a03} \cdot \Delta v_u \cdot \cos \delta}{w_\infty^2 \cdot \sin(\beta_\infty + \delta)}$$

dimenziótlan mennyiséget.

Ahol ℓ az aktuális sugáron lévő lapát húrhossza

t a lapát osztása adott sugáron

c_f a felhajtóerő-tényező (értékeit az egyedülálló szárny, vagy szárnyrács mérésekből veszik)

δ a lapát méretezésekor felveendő optimális állásszög

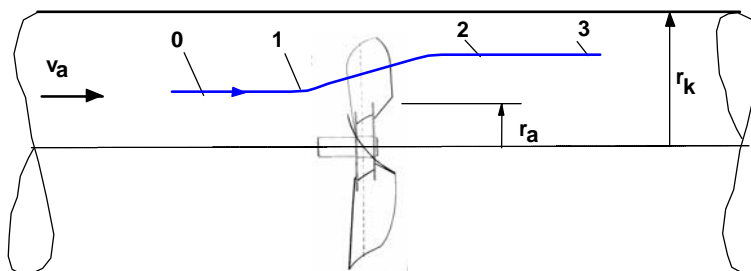
β_∞ a relatív rendszerben érvényes átlagos sebességirány a forgás síkjához viszonyítva

v_{a03} az axiális sebesség 0 és 3 pontbeli értékének átlaga

Δv_u az abszolút sebesség kerület irányú változása a kerék utáni és előtti állapotok között

A jelölések egy része a 8. ábrán lévő sebességi háromszögből láthatók.

Az ideális össznyomás az ismert Euler-turbinaegyenlet felhasználásával



7. ábra Henger- és kúpfelületekből összerakható áramfelületek

A méretezési eljárásban fontos kiindulási feltevés, hogy a $\underline{w}_\infty = (\underline{w}_1 + \underline{w}_2) / 2$, vagyis, a lapátrács előtt és mögött kialakuló relatív sebességek számtani közepe adja az egyedülálló szárny megfűvási sebességének nagyságát és irányát. Itt természetesen még azzal a feltételezéssel is élünk, ami a mérések alapján majd láthatóan csak részben teljesül, hogy egy adott sugáron, a kerület mentén ennek a sebességnek az iránya és nagysága nem, vagy nem nagymértékben változik. Az 1 és 2 indexű pontok közvetlen a járókerék előtti és mögötti síkban vannak. A járókerék középsíkjában érvényes v_{a03} axiális sebességet a légcsvavar elméletben ismert a 0 és 3 pontbeli értékek átlagaként számítjuk $v_{a03} = (v_{a0} + v_{a3}) / 2$. Az eredményeket dimenziótlan formában adjuk meg. A relatív sugár ($R = r/r_k$) függvényében ábrázoltuk az r sugár mentén változó mennyiségi számot

$$\varphi(R) = (v_{1ax} + v_{2ax}) / 2u_k$$

ahol a „ r ” a futó sugár, r_k a kerületi sugár u_k a kerületi sebesség.

A sugár mentén változó nyomásszám
$$\psi(R) = \frac{\Delta p_\delta(r)}{\rho/2 \cdot u_k^2}$$

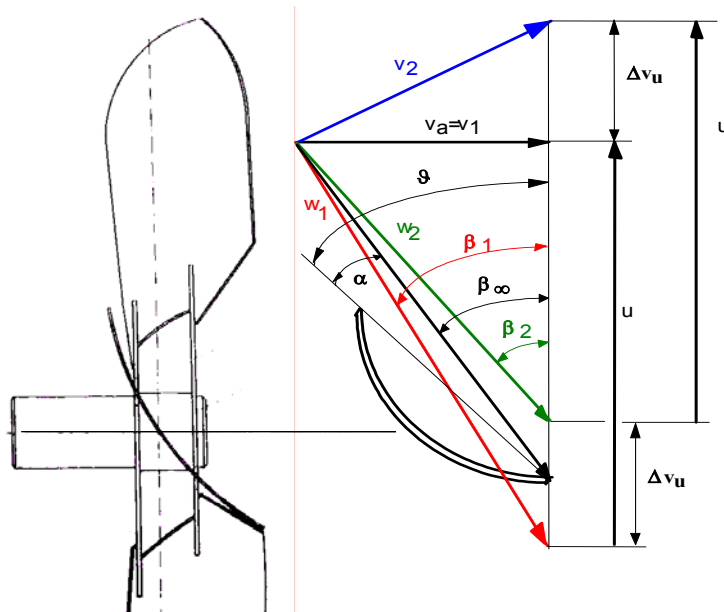
Ahol $\Delta p_\delta(r)$ az adott sugáron mért össznyomás-növekedést jelenti.

$$\Delta p_{\delta id} = \rho \cdot u \cdot \Delta v_u$$

A járókerékre számított, egy adott sugáron lévő cirkuláció kifejezése

$$\Gamma = (2r\pi)\Delta v_u$$

amelynek jelentése a **8. ábra** alapján válik érthetővé.



8. ábra Egy lapátszelvény sebességi háromszögei

A járókerék előtti, csak axiális sebességű (v_{ax}) levegő áthaladva járókeréken kap egy kerület irányú sebességkomponenst, Δv_u -t, vagyis cirkulációt, forgást ad a lapát a levegőnek. Ha a sugár mentén a cirkuláció állandó, akkor beszélünk „állandó cirkulációra méretezett” ventilátorról, ha pedig ennek értéke változik, akkor „változó cirkulációra méretezett” ventilátorról.

4.2. Az állandó cirkulációt feltételező tervezési eljárás

Az előbbi általános, és a változó cirkuláció elvét is magában foglaló elveket állandó cirkuláció esetén leegyszerűsítették.

- Az áramfelületek koncentrikus hengerek, azaz sugár irányban nincs áramlás.
- Az axiális sebesség a ventilátor sugara mentén és a kerék előtt és után állandó.

$$v_{1ax} = v_{2ax} = v_{ax} = \text{állandó}$$

- Az össznyomás (ideális és valóságos egyaránt) a sugár mentén állandó.

$$\Delta p_{oid} = \text{állandó}$$

Az Euler-turbina egyenletet felhasználva kapjuk, hogy

$$\Delta p_{oid} = \rho \cdot u \cdot \Delta v_u \text{ amiből egyenesen következik, hogy a cirkuláció}$$

$$\Gamma = (2r\pi)\Delta v_u \text{ is állandó lesz a sugár mentén.}$$

- A fenti állításokból következik, hogy az $r \cdot \Delta v_u$ értéke is állandó.

Az ilyen tervezéssel készült járókeréknek a nagyobb sugáron kisebb elterelést (Δv_u) kell létesíteni, a kisebb sugáron, pedig nagyobb elterelést. A lapát megjelenésében ez úgy jelentkezik, hogy a kisebb sugáron, az agynál szélesebbek a lapátok, a kerület felé, pedig folyamatosan csökken a lapátok szélessége.

- A hidraulikai hatásfok η_h a sugár mentén állandó.

A dimenziótlan adatokra vetítve a feltételezéseket, könnyen beláthatjuk, hogy $\varphi(R)$ és $\psi(R)$ állandók a sugár mentén (ld. Gruber [3]). Az állandó össznyomás feltételezéséből már látható is a tervezés korlátja, az agynál nem lehet akármekkora elterelést létrehozni, korlátot kell szabni az elterelés mértékének. A változó cirkuláció ezt a korlátot oldja fel azáltal, hogy az össznyomás növekedés változását megengedi a sugár mentén, ezáltal a lapátok agyhoz közel eső részének terhelését csökkenti. A lapát megjelenésében az ilyen típusú lapát már nem keskenyedik a kerület irányába, sőt némely esetben szélesedik is. A **2. ábrán** ilyen ventilátor lapátalakot látunk. Itt kell megjegyezni, hogy a járókerék után forgásban van a levegősugár. A forgásban rejlő mozgási energia a további áramlás során elvész. A ventilátorok esetében ezt nevezik forgási veszteségnek. A változó cirkulációra méretezett ventilátorok esetében ez a forgási veszteség általában nagyobb, mint az állandó cirkulációra méretezettekénél. A veszteség csökkentésére utóterelőt, vagy előterelőt szoktak alkalmazni, esetleg mindkettőt. Kompresszoroknál, turbináknál a terelő, vagy álló lapátsor alkalmazása elengedhetetlen. Egyszerű ventilátorok esetében azonban szokásos bevett módszer.

4.3. A változó cirkulációt feltételező tervezési eljárások

Ennél a méretezési módszernél feltételezzük, hogy az előzőekben definiált $\varphi(R)$ és $\psi(R)$ változik a sugár mentén. egy, a sugár mentén felírt differenciálegyenlet megoldását keressük, amelyben a mennyiségi szám $\varphi(R)$ és a nyomásszám, $\psi(R)$ szerepelnek.

$$2\varphi_3 \cdot \frac{\partial \varphi_3}{\partial R_3} - \left(2\varphi_0 \cdot \frac{\partial \varphi_0}{\partial R_0} + \frac{\partial R_0}{\partial R_3} \right) = \frac{\partial \psi_{oi}}{\partial R_3} \cdot \left(1 - \frac{\psi_{oi}}{2R_3^2} \right) - \frac{\partial \psi_{0-3}}{\partial R_3}$$

$$\rho = 1,2 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

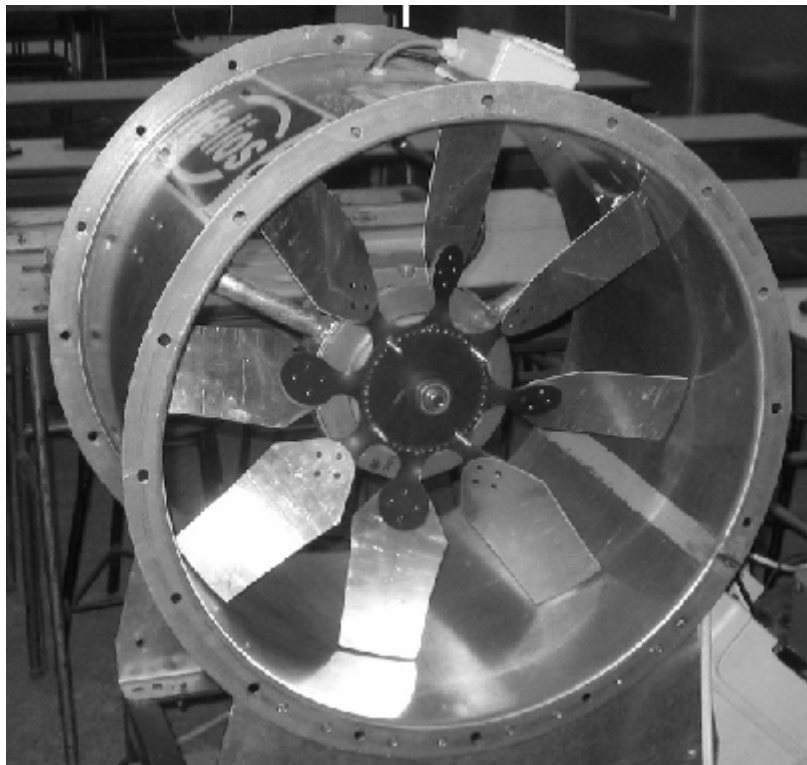
$$\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{/s]}$$

$$\eta_{\text{hsz}} = 0,8$$

Fordulatszám és agyviszony ismeretében:

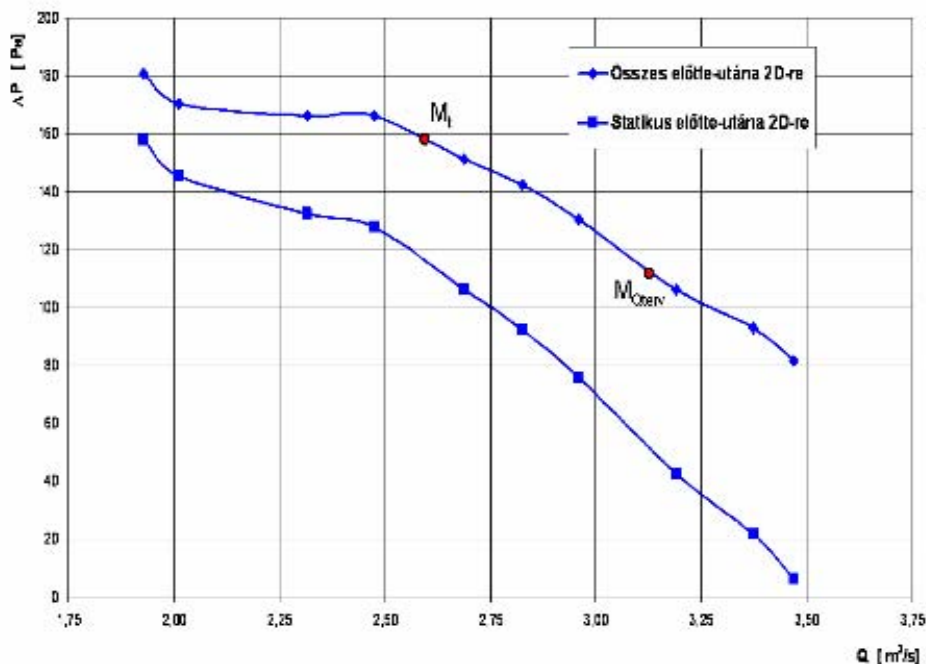
$$\Psi_{\text{oid}} = 0,12 \text{ [-]}$$

$$\varphi = 0,3 \text{ [-]}$$



9. ábra Reverzálható síklapátos ventilátor

Tervezés során egyedülálló szárny kimért jellemzőit használtuk fel, tehát olyan elhanyagolásokkal és feltételezésekkel élünk, amely ezen eredmények alkalmazását lehetővé tették. Tervezésnél a lapátrácsot állandó cirkuláció módszerével számoltuk, és a reverzálhatóság valamint az egyszerű és költséghatékony gyárthatóság végett síklemez lapátot alkalmaztunk. A reverzálhatóságból és a szerényebb hidraulikus hatásfokból adódó korlátokat figyelembe véve, a síklemez-lapátos ventilátor konstrukciók csak kisebb ideális össznyomásszám tartományra $\Psi_{\text{oid}} \leq 0,14$ tervezhetők [5].

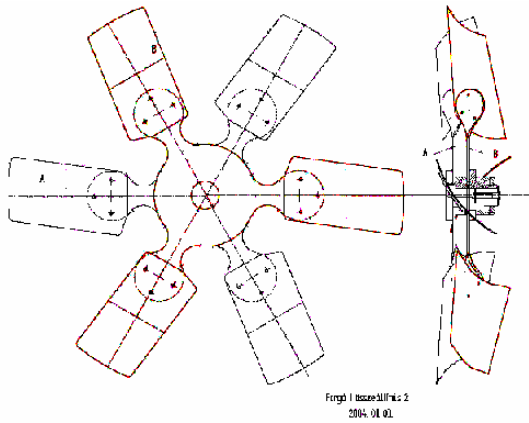


10. ábra Az $n = 1440$ [1/min] fordulatszámon mért jelleggörbe

Ahhoz, hogy a tervezési munkapontban mennyiségileg is kielégítő eredményt kapjunk, a tervezési eljárásban kell változtatásokat tenni. Például egy lehetőség, hogy a számítási hidraulikus hatásfokot jobban alul kell becsülni, azaz $\eta_{hsz} < 0,8$. Kisebbszámítási hidraulikus hatásfok esetén azonban az agyviszony (r_a/r_k) és a rácsjellemezők (l , t , N) kedvezőtlenül alakulhatnak, így gyártási nehézségekbe ütközhetünk valamint a lapátok egymásra hatása már nem elhanyagolható mértékű. A méretezési eljárás javítására további ventilátorokat terveztünk gyártottunk és mértünk meg. A sík lapátos típus elég egyedi ezért részletesebb vizsgálatától eltekintettünk. A ventilátor felhasználási területe lehet: mezőgazdasági építmények szellőztetése, terménytároló épületek kisegítő légtechnikai berendezései.

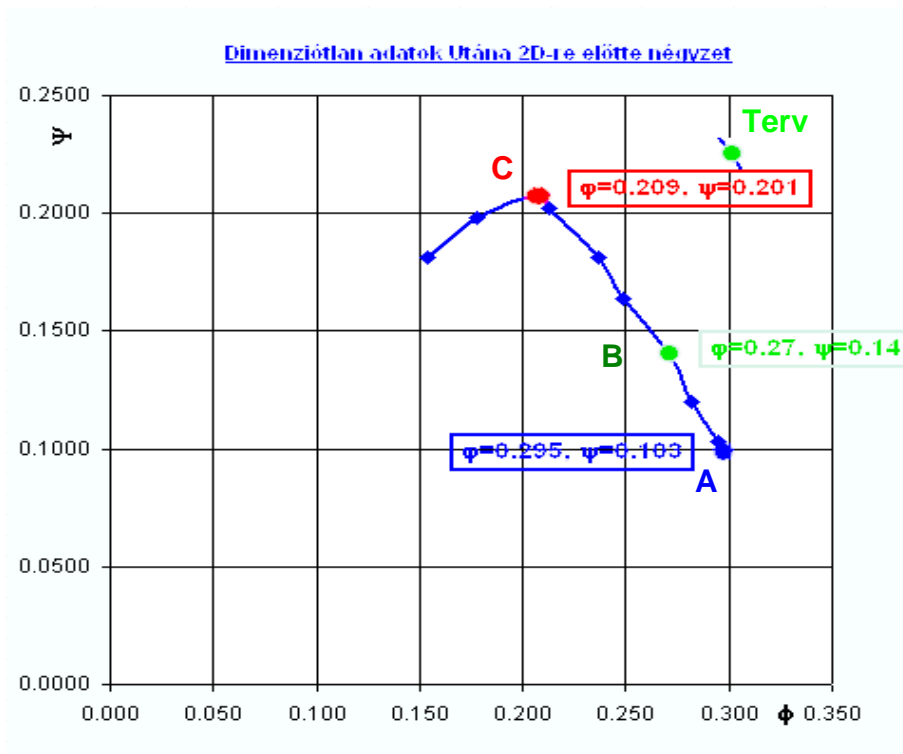
5.2. Állandó húr hosszú ívelt lap lapátokkal rendelkező ventilátor

A terelőlapát nélküli axiális ventilátorok tömeges felhasználása a gyártókat arra ösztönözte, hogy olyan új gyártmányokat és technológiákat fejlesszenek ki, amelyek igen gazdaságosan elégítik ki az igényeket. A sajtolt elemekből összeállított lemezkonstrukcióban legfeljebb néhány szegecs használják fel rögzítőelemként. A vizsgálatunk tárgyát ilyen elvek alapján készített ventilátorok képezik. Az egyszerűen gyártható típusok közül leggyakrabban az állandó húr hosszúságú, körív alakú, előreferdített geometriájú lapátos ventilátor vizsgálatát végeztük el. Szerkezeti felépítése a **11. ábrán** látható. Olyan felfogási rendszert választottunk a lapátoknak, amelynél a lapátszög és a lapátszám egyezően változtatható. A háromágú csillagra szegecselt lapátok állászöge a csillag szárának elcsavarásával könnyen elvégezhető. Két vagy három csillag egymásra helyezésével a lapátszám hatra, kilencre növelhető. Az ábra egy hatlapátos változatot mutat.



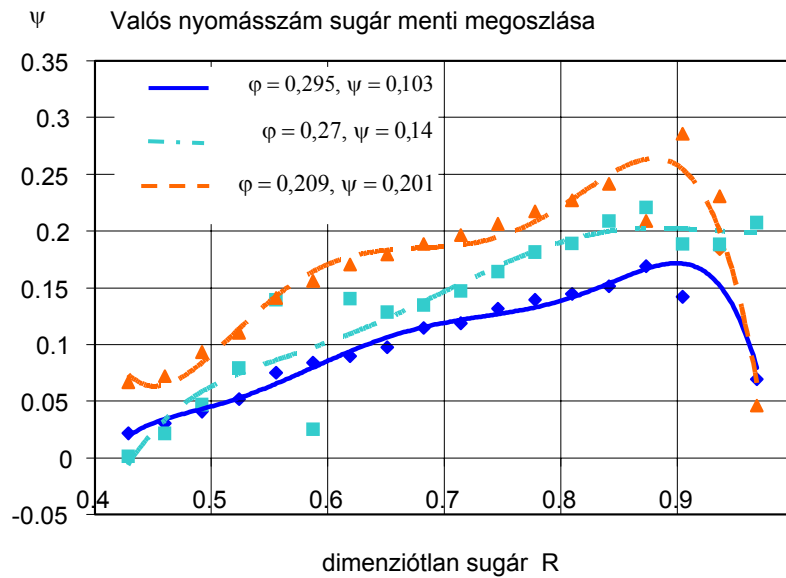
11. ábra Változtatható állászögű és lapátszámú ventilátor

A ventilátor lapátjai 6,3 %-os íveltségű, állandó húrösszeívelt lapok. A lapátot alkotó henger tengelye nem párhuzamos a kerék sugarával, így a sugár mentén változó, kifelé csökkenő beállítási szögű lapátozást kaptunk, mely még a forgás irányában előrefelé is ferdített. Méretezési paramétereit: $\bar{\varphi} = 0,3$, $\bar{\psi}_{id} = 0,22$. Az előbb említett méretezési eljárással kaptuk meg a lapátozás geometriáját. A jelleggörbét a fent ismertetett berendezéssel mértük meg. Amely a **12. ábrán** látható. Itt feltüntettük a méretezési pontot is. Láthatóan a mérés eredménye elmarad a tervezettől. További vizsgálatra az áramlás finomszerkezetét mértük le, több jelleggörbe pontban. A jelleggörbe mérés eredményét az **12. ábra** mutatja. A jelleggörbe meghatározásának fontos szerepe van a mérések során, mivel ez alapján tudjuk a finomszerkezeti vizsgálatára a jelleggörbe meghatározott pontjait kiválasztani. A jelleggörbe három pontját választottuk ki a finomszerkezet mérésére. A legnagyobb mért mennyiségénél $\varphi = 0,295$, $\psi = 0,103$, „A” pont egy közepes nyomásnövekedésnél, $\varphi = 0,27$, $\psi = 0,14$ „B” pont és a legnagyobb megvalósult össznyomásnál, $\varphi = 0,209$, $\psi = 0,201$, „C” pont.

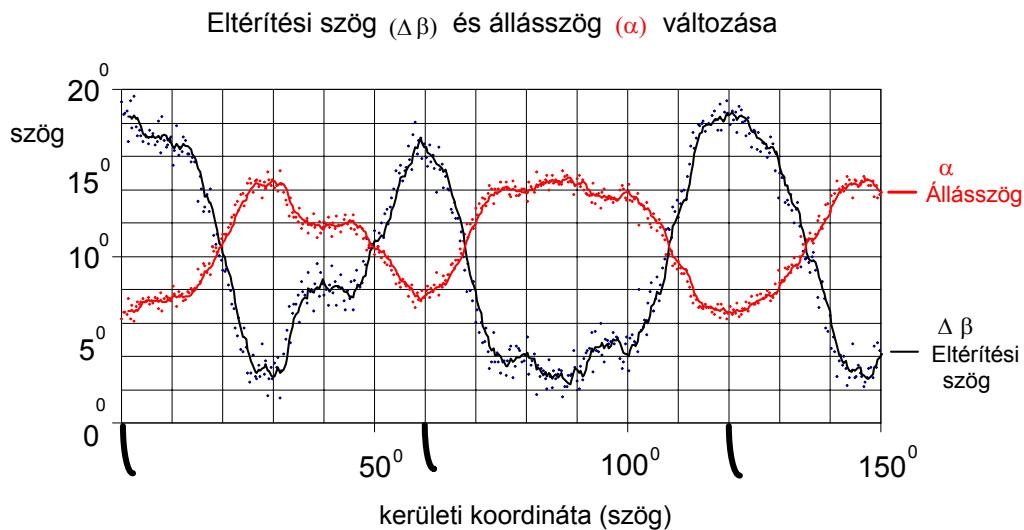


12. ábra A ventilátor dimenziótlanított jelleggörbéje

A méretezési módszer egyik sarkalatos feltételezése a nyomás változása a sugár mentén. A jelen ventilátornál a dimenziótlan nyomásmegoszlást $\psi(R)$ lineárisnak feltételeztük. Az úgynevezett változó cirkuláció méretezésénél a sugár menti változás minden jelleggörbe pontban fennáll. Az állandó cirkuláció méretezésénél a méretezési állapotban a sugár mentén nincs nyomásváltozás, de a munkaponttól eltérő állapotban ott is változik. A mérés mind a három munkapontban visszaigazolja a közel lineáris nyomásszám változást. A kerület közelében a rés hatására természetesen lecsökken a nyomásszám. A méretezés további fontos kritériuma, hogy a kerület mentén a sebességi háromszögben szereplő relatív sebességek iránya és nagysága közel állandó. Erre vonatkozóan a kerület menti mennyiségek változása ad tájékoztatás.

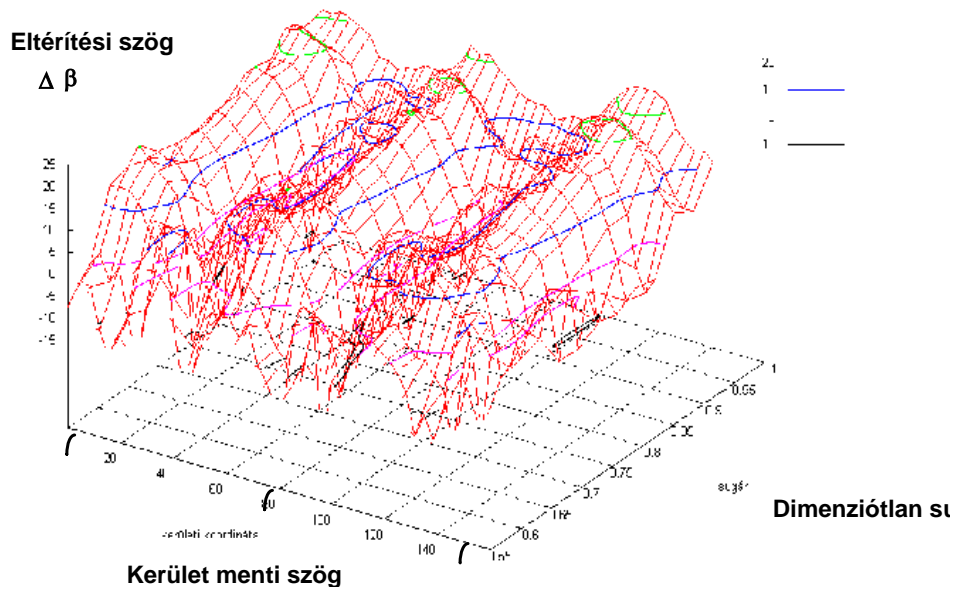


13. ábra A mért nyomásszám változása a sugár mentén



14. ábra Az eltérítési szög és az állásszög változása a kerület mentén ($R=0,926$, $\varphi = 0,209$, $\psi = 0,201$)

A **14. ábrán** a számított állásszöget, (α) és eltérítési szöget, ($\Delta\beta$) ábrázoltuk a dimenziótlán sugár és a kerületi szög mentén. Az ábrán jól látható, hogy a 60° -onként lévő lapátok nyomában az eltérítési szög nagyobb, mint a lapátok közötti szakaszokon. A klasszikus perdületapadás látható a lapátok közötti területen. Vagyis a lapátok a közvetlen közelükben nagyobb mértékben térítik el a levegőt, mint a lapátok közötti területen.



15. ábra Az eltérítési szög változása a sugár és a kerület mentén ($\varphi = 0,209$, $\psi = 0,201$)

A szögeltérés elég jelentős, néhol megközelíti a 10 fokot is a lapátok közötti tér, és a lapát mögött lévő pontok között. Így a kerület menti egyenletesség kis lapátszám esetében csak közelítés. Ennek kompenzálására szokásos a méretezési nyomásnövekedést megnövelni valamilyen értékkel. Amennyiben a méretezés során az egyedi lapát erőtenyezőit használjuk fel, akkor számítanunk kell arra, hogy a kerék kerülete mentén az eltérítés átlagos értéke kisebb lesz mint a közvetlenül a lapátan kialakuló eltérítés. A **15. ábrán** a bemutatjuk a lapátcsatorna mentén, pontosabban három lapátcsatorna mentén kialakuló eltérítési szög változását. Az ábrán jól kirajzolódik a lapátok helye, mint kiemelkedés és a lapátok közötti tér, mint völgyek jelennek meg a térbeli képen. A méretezés pontosítása a mérések tükrében biztató tovább lépést jelent. A kerék által ideális esetben létrehozott össznyomás nagyságát az Euler-turbina egyenletből kaphatjuk meg $\Delta p_{\text{oid}} = \rho \cdot u \cdot \Delta v_u$. A méretezés során ezt használtuk. Itt javasoljuk a az ideális, végtelen sűrű lapátokkal rendelkező modellben szereplő ψ_{oid} mellett a ψ_{oidv} vagyis az véges lapátszámhoz tartozó ideális nyomásnövekedés bevezetését. A kettő közötti kapcsolatot az átlagos perdületapadás, $\lambda_{\text{át}}$ valósítja meg:

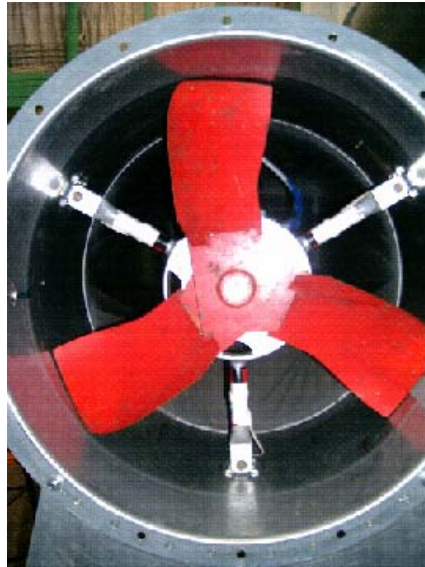
$$\psi_{\text{oidv}} = \psi_{\text{oid}} \cdot \lambda_{\text{át}}$$

A perdületapadás változó cirkuláció esetében nem állandó, a sugár, a lapátszám, a lapátalak, a lapátterhelés stb. függvényeként adható meg. Méréseink alkalmasak arra, hogy bizonyos lapát szám, sugár és lapátterhelési tartományban a tervező számára megadjuk annak várható függvényét. Jelen esetben a sugártól való függés elhanyagolható. A hat lapát esetében a $\lambda_{\text{át}} \cong 0,5$. További részletek a {5}, {13}, {14} cikkekben találhatóak.

5.3. Változó húr hosszú ivelt lap lapátokkal rendelkező ventilátor

Az egyszerűen gyártható típusok közül igényesebb feladatokat is képes ellátni a lemezlapátos ventilátor, ha az állandó húr hosszúság helyett változó húr hosszút, de továbbra is körív alakú, előreferdített geometriájú lapátot alkalmazunk. Gyártástechnikai szempontokból jelentős lépést tett az axiális ventilátorok terén a HU 171673 [5] számú szabadalom tárgya. E megoldásnál az axiális

járókerék lapátjait hengerpalást vagy kúppalást egy részeként alakítják ki, biztosítva azt, hogy a lapát be- és kilépő élét törésmentes görbe alkossa. Az ilyen megoldásnál a lapát megfelelő állásszöge végett a húrokat a hengerfelületen - vagy kúpfelületen - egymáshoz képest eltolják. A lapátok ilyen kialakítása a különféle szempontok egyikének - nevezetesen a gyártási költség és bonyolultság csökkentésének - figyelembevételét jelenti, de más szempontok figyelembevétele fel sem merül. Körhenger felületre felfűzött lapátokkal van ellátva a Benji-19 járókerék. Szerkezeti felépítése a **16. ábrán** látható. Rajzát a **8. ábrán** is láthatjuk.

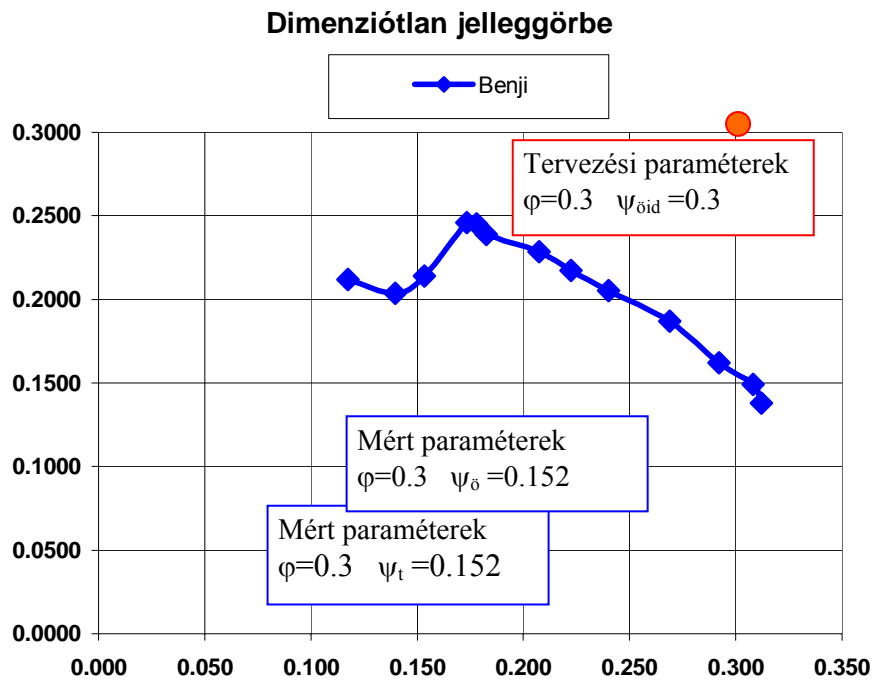


16. ábra Változó húr hosszú ivelt lap lapátokkal rendelkező ventilátor

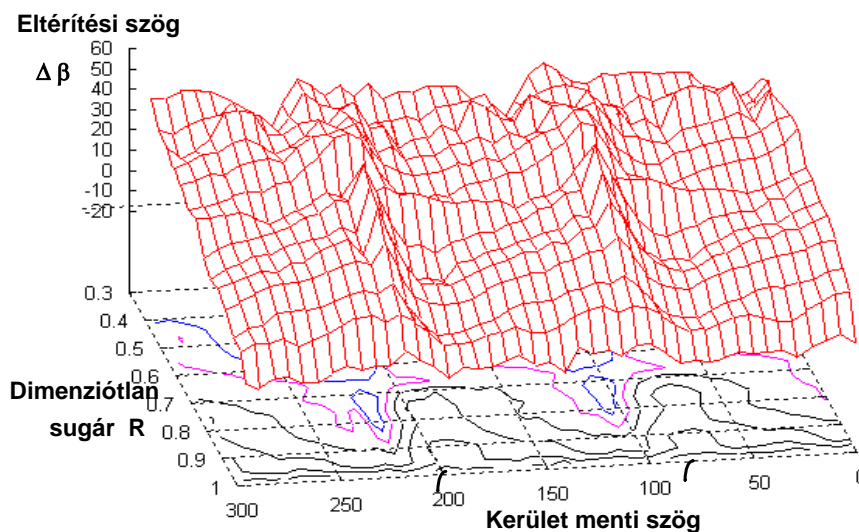
Tervezési paraméterek a fordulatszám és agyviszony ismeretében:

$$\Psi_{\text{oid}} = 0,3 \text{ [-]}$$

$$\varphi = 0,3 \text{ [-]}$$



17. ábra A ventilátor dimenziótlanított jelleggörbéje



18. ábra Az eltérítési szög változása a sugár és a kerület mentén ($\varphi=0,30$; $\psi=0,152$)

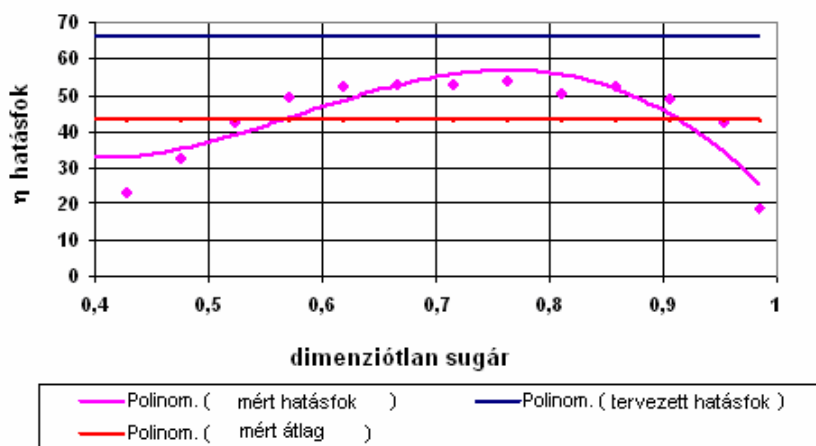
A **18. ábrán** az eltérítési szöget, ($\Delta\beta$) ábrázoltuk a dimenziótlan sugár és a kerületi szög mentén. Az ábrán jól látható, hogy a 120° -onként lévő lapátok nyomában az eltérítési szög nagyobb, mint a lapátok közötti szakaszokon. A klasszikus perdületapadás látható a lapátok közötti területen. Vagyis a lapátok a közvetlen közelükben nagyobb mértékben térítik el a levegőt, mint a lapátok közötti területen. Ennek kompenzálására szokásos a méretezési nyomásnövekedést megnövelni valamilyen értékkel. A bemutatott a lapátcsatorna mentén, pontosabban három lapátcsatorna mentén kialakuló

eltérítési szög változását. Az ábrán jól kirajzolódik a lapátok helye, mint kiemelkedés és a lapátok közötti tér, mint völgyek jelennek meg a térbeli képen. A méretezés pontosítása a mérések tükrében bízható továbblépést jelent. Itt is az előzőekben már javasolt az ideális, végtelen sűrű lapátokkal rendelkező modellben szereplő ψ_{oid} mellett a ψ_{oidv} vagyis az véges lapátszámhoz tartozó ideális nyomásnövekedés bevezetését. A kettő közötti kapcsolatot az átlagos perdületapadás, $\lambda_{\text{át}}$ valósítja meg:

$$\psi_{\text{oidv}} = \psi_{\text{oid}} \cdot \lambda_{\text{át}}$$

Jelen esetben a sugártól való függést elhanyagolva, a három lapát esetében itt is a $\lambda_{\text{át}} \cong 0,5$ érték adódik. A terület menti átlag értékeket vizsgálva a sugár mentén állandónak feltételezett hidraulikai hatásfok sem állandó a sugár mentén. Mindezt mérések is alátámasztják. 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.

η HATÁSFOK



19. ábra Hidraulikai hatásfok változása sugár mentén

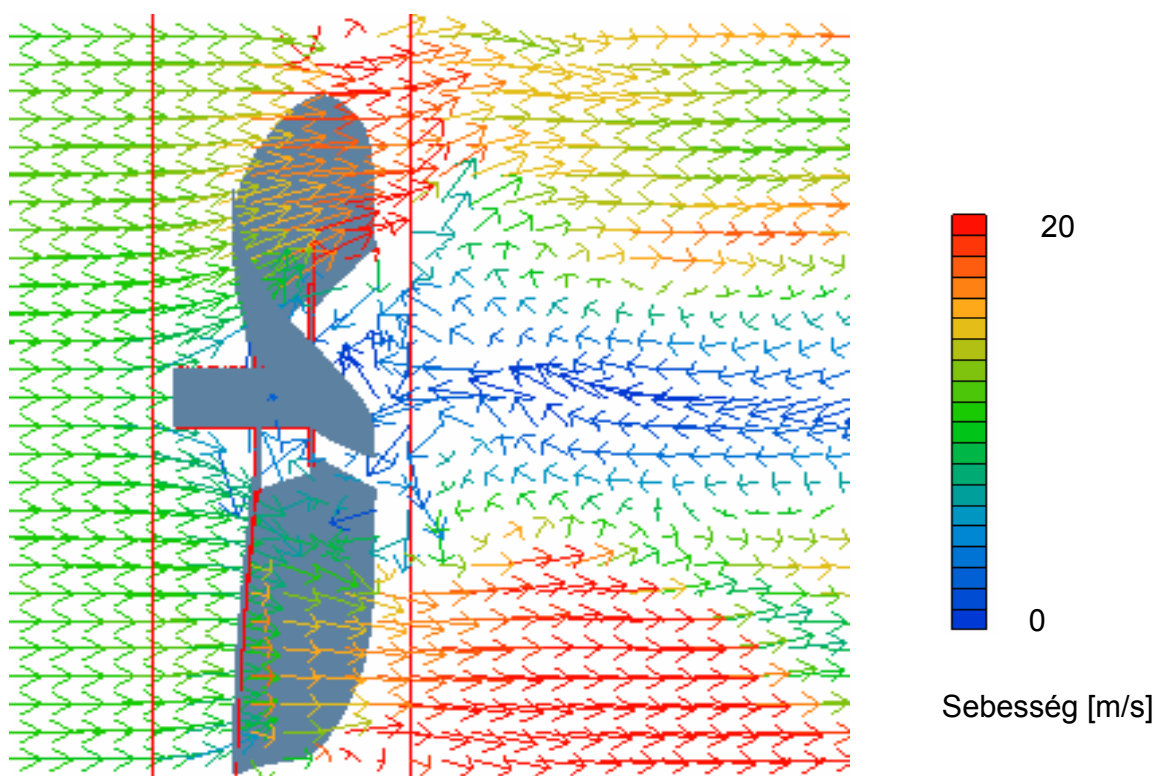
A finomszerkezeti eloszlások mérése során {4} meghatároztuk a hidraulikai hatásfokot. Az ideális nyomásnövekedést az Euler-turbinaegyenletből kaptuk $\Psi_{\text{oid}} = \frac{\Delta p_{\text{oi}}}{\frac{\rho}{2} \cdot u_k^2}$, a valóságos

nyomásnövekedést pedig mérésrel határoztuk meg. Ennek részletei megtalálhatók {4} cikkekben. A **19. ábrán** látható, hogy az ideális hatásfok és a mért hatásfok, amelyek átlaga jelentősen eltér egymástól, a mért hatásfok érték jóval kisebb, mint a tervezett.

Mind az agynál mind a kerületen (rés hatására) lecsökken a hatásfok értéke (**19. ábra**). A ventilátorok tervezésének továbbfejlesztésére ajánljuk a változó cirkuláció méretezésének kiegészítését a hidraulikai hatásfok változásának figyelembevételével. A változást egy polinommal vagy több szakaszból álló függvénnyel közelíthetjük. Mivel a tervezési módszer számítógéppel végezhető el, így ennek semmiféle akadálya nincs.

A tervezési módszer gyorsabb elvégzése érdekében CFD programmal lehet a tervezett járókerék körül kialakuló áramlást pontosítani. A Koreában tartott előadás keretében együttműködés indult meg a CEDIC C Többek között CFD szoftvereket készítő és forgalmazó céggel. Az általuk készített szoftver képes a ventilátor körüli áramkép szimulálására és annak akusztikai sajátosságainak kiszámítására is. Egy közös cikket kívánunk megjelentetni a {14}, amelyben eddigi eredményeinket

összegeznénk. Előzetesként a szimuláció egy eredményét bemutatjuk a **20. ábrán**. A Benji-19 járókerék körül kialakuló áramképet láthatjuk az ábrán, a munkapont környéki áramlási viszonyok között. A következő lépésként a finumszerkezeti méréseket és a számításokat kívánjuk összevetni a CFD számítások eredményeivel.



20. ábra Számított sebességek megoszlás a lapátok környezetében

6. Összefoglalás

A mostani OTKA megbízás keretében kitűzött célokat teljesítettük. A mezőgazdaságban alkalmazott egyszerű geometriájú és egyszerűen gyártható ventilátorok mérésének és méretezésének továbbfejlesztése terén léptünk előre. A mérés továbbfejlesztésében a nyomás és sebességtér mérését pontosítottuk a mintavételezés és kiértékelés továbbfejlesztésével. Főként az össznyomás mérésének megbízhatóságát növeltük a hengerszonda alkalmazásával. Az egyszerű ventilátorok néhány típusánál a perdületapadás kimérésével módosítani tudtuk a méretezési eljárást a $(\Psi_{\text{oidv}} = \Psi_{\text{oid}} \cdot \lambda_{\text{át}})$ véges lapátszámra vonatkozó ideális nyomásnövekedés bevezetésével. Ezen a területen főként Molnár Ildikó tevékenykedett és majdnem elkészült PhD értekezésének ez alkotja a fő gerincét. Foglalkoztunk a ventilátorok egy másik, nagyobb légteljesítményekre képes csoportjának tervezésével is, főként a rácsszámítás irodalmi áttekintésével és az anomáliák feltárásával és a helyes eredmények alkalmazásával. Ezt elsősorban Fenyvesi Dániel dolgozta ki a szintén majdnem elkészült PhD értekezésében. A méretezési eljárások pontosításához a járókerekek körül kialakuló áramlás CFD számítására több irányban léptünk. Egyik a Koreai CEDIC co. Ltd-vel kötött együttműködés keretében a méréseinket összehasonlítjuk az általuk kifejlesztett cod eredményeivel. A CFD kertében az ANSYS és a FLUENT programok alkalmazása terén is biztató

eredményeket értünk el. Az OTKA eredményeink összefoglalásaként létrehoztunk olyan tervezési eljárást, amely a ventilátorok pontosabb, egyszerű tervezését teszi lehetővé a mérnökök számára.

A témában publikált cikkek és konferencia előadások

- {1} F. Szlivka-I.-B. Béla,- I. Molnár: Axiális ventilátor járókereke környezetében nyomás- és sebességtér mérése.
Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztálya Agrár-Műszaki Bizottság, XXIX. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozásán 2005. Január 18-19, Gödöllő pp. 143-147.
- {2} Dr. Szlivka Ferenc: Áramlási jellemzők mérése axiális ventilátorokban, Dunaújvárosi Főiskola Közleményei XXVI/II, Dunaújváros 2005, pp. 553-563
- {3} I. Molnár- F. Szlivka: Operational planning and aerodynamically calibration of a convective deep bed grain model-drier, 4rd. YOUTH IMEKO SYMPOSIUM, On Experimental Solid Mechanics, Castrocaro Terme, Italy 2005. pp. 59-60
- {4} I. Molnár-F. Szlivka: Pressure and velocity field properties around an impeller of axial flow fan, 2005. PhD. Hallgatók V. Nemzetközi Konferenciája, Miskolci Egyetem pp. 361-365.
- {5} Dr. Szlivka Ferenc-Molnár Ildikó: Axiális ventilátorok méretezésének és mérésének összehasonlítása, Dunaújvárosi Főiskola Közleményei XXVII/II, Dunaújváros 2006, pp. ????
- {6} Fenyvesi Dániel-Dr. Szlivka Ferenc: Axiális átömlésű reverzálható síklemez-lapátos járókerék számítása és mérési tapasztalatai, Dunaújvárosi Főiskola Közleményei XXVII/II, Dunaújváros 2006, pp.
- {7} Fenyvesi Dániel: Axiális átömlésű járókerék rácsszámítási elveinek kritikai elemzése, Dunaújvárosi Főiskola Közleményei XXVII/II, Dunaújváros 2006, pp.57-62
- {8} Dr. Szlivka Ferenc, Molnár Ildikó: Axiális ventilátor méretezése a mérési eredmények tükrében, Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XI. Kolozsvár, 2006 márc. 24-25. pp. 351-354.
- {9} Molnár I., Dr. Szlivka F.: Axiál ventilátor környezetében mért sebesség- és nyomáseloszlásból levonható következtetések.
Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztálya Agrár-Műszaki Bizottság, XXIX. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozásán 2006. Január, Gödöllő pp. 291-294.
- {10} I. Molnár-F. Szlivka: Measurement method of velocity and pressure field at axial flow fans, 5th YOUTH SYMPOSIUM, On Experimental Solid Mechanics, Púchov, Slovakia 2006
- {11} F. Szlivka and I. Molnár: Analysis of Design Method of Axial Flow Fans in The View of The Measurement Results, The International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion 2006 © FTEC Jakarta, Indonesia, December 10–14, 2006 ISSN 0854 – 9346 pp. 107-1-107-12.
- {12} I. Molnár-F. Szlivka: Determination of the Axial Flow Fans' Efficiency, 6th YOUTH SYMPOSIUM, On Experimental Solid Mechanics, Vrnjacka Banja, Serbia 2007. pp. 229-231.
- {13} F. Szlivka and I. Molnár: Comparison of the Results of Measured Method and Non-free Vortex Design The 9th Asian International Conference on Fluid Machinery October 16-19, 2007, Jeju, Korea NO. AICFM9-303
- {14} F. Szlivka-I. Molnár-A. Imreyaz: Comparison of the Results of Measured Method and Non-free Vortex Design. Journal of Mechanical Science and Technology (under pressure)
- {15} Fenyvesi D., Dr. Szlivka F.: Nagy áramlási teljesítményű axiális átömlésű ventilátor tervezése sugár mentén növekvő cirkuláció módszerével. Magyar Tudományos Akadémia

- Agrártudományok Osztálya Agrár-Műszaki Bizottság, XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozásán 2008. Január, Gödöllő
- {16} Fenyvesi D., Dr. Szlivka F.: Sugár mentén növekvő cirkulációra történő tervezési módszer továbbfejlesztése, figyelembe véve a lokális veszteségforrásokat. Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztálya Agrár-Műszaki Bizottság, XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozásán 2008. Január, Gödöllő
- {17} Molnár I., Dr. Szlivka F.: Mezőgazdaságban alkalmazott hűtőventilátor méretezési és mérési eredményeinek összevetése. Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztálya Agrár-Műszaki Bizottság, XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozásán 2008. Január, Gödöllő

A témában a doktori képzés keretében született publikációk:

- {18} Fenyvesi Dániel, SZIE-GK V. Reverzibilis üzemi síklemez lapátos ventilátor számítása és áramlástanai vizsgálata SZIE OTDK Konferencia 2005. Témavezető: Dr. Szlivka Ferenc egyetemi docens
- {19} Fenyvesi Dániel: Újszerű módszer a változó cirkulációra számolt axiális átömlésű lapátrács áramlási teljesítmény fokozására. Kutatási beszámoló, 2007. Szent István Egyetem Műszaki Doktori Képzés. Témavezető: Dr. Szlivka Ferenc egyetemi docens
- {20} Molnár Ildikó: A mezőgazdaság területén használt axiális ventilátorok kísérleti és numerikus vizsgálata. Kutatási záróbeszámoló, 2007. Szent István Egyetem Műszaki Doktori Képzés. Témavezető: Dr. Szlivka Ferenc egyetemi docens
- {21} Goda Adrien: Axiális ventilátorok nyomtatékmérésének kidolgozása. Szent István Egyetem TDK 2006. Témavezető: Molnár Ildikó PhD hallgató

Felhasznált irodalom:

- [1] Bencze, F.-Szlivka, F.: Egyszerű geometriájú axiális ventilátor felhasználási területe Gép, 1985. 10. sz. pp. 390-394.
- [2] Bencze, F.-Füredi, G.-Szlivka, F.: Automatikus mérőberendezés modellméretű axiális ventilátor jelleggörbe mérésére alkalmas mérőberendezés V. Áramlásmérési Kollokvium, Miskolc 1989. pp. 53-59.
- [3] Gruber: Ventilátorok: Műszaki Könyvkiadó, 1974
- [4] Somlyódy László: Axiálventilátorok tervezése és jelleggörbe számítása. Műszaki Doktori Értekezés, Budapest 1971
- [5] Szlivka, F.-Bencze, F.-Kemény, Gy.: Axiális átömlésű ventilátor járókerék (VENTILATOR ROTOR OF AXIAL FLOW) 1989 No: 209-012: NSZO:F04D-029/38
- [6]. Vad J. and Bencze F. (1998), „ Laser Doppler Anemometer Measurements Upstream and Downstream of an Axial Flow Rotor Cascade f Adjustable Stagger”, 9th Int. Conf. On Flow Measurement (FLOMEKO), Lund, Sweden 579-584
- [7] Vad, J.: " Axiális átömlésű ventilátorok mögötti sebességtér vizsgálata lézer Doppler anemométerrel", Ph. D. értekezés, Budapesti Műszaki Egyetem Áramlástan Tanszék, 1997.

Budapest 2008 február 23.

Dr. Szlivka Ferenc
egyetemi docens, témavezető

