

TURBÓFÚVÓ AGGREGÁT ÁRAMLÁS- ÉS HŐTECHNIKAI NUMERIKUS ANALÍZISE

Fodor Béla¹, Kalmár László²

¹tanársegéd, ²ny. egyetemi docens

Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék

3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, E-mail: aramfb@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

A cikkben egy radiális turbófúvó aggregát numerikus szimulációja kerül bemutatásra, melynek segítségével meghatározzuk az aggregátban kialakuló áramlás fontosabb jellemzőinek (pl.: az átáramlási keresztmetszetre vonatkozó átlaghőmérsékletnek) az eloszlását. A futtatások során az aggregát-elektromotorja által termelt hőmennyiséget a kidolgozott számítási modellben egy fajlagos hőforrás elhelyezésével vettük figyelembe.

A kapott számítási eredmények képet adnak arról, hogy mi okozza az aggregátban üzem közben kialakult közel 50°C-os hőmérsékletnövekedést, ami a működtetéshez szükséges energia felvétel növekedéséhez és hosszú távú üzem esetén a berendezés károsodásához is vezethet.

Kulcsszavak: CFD szimuláció, turbófúvó aggregát

Abstract

In this article the numerical simulation of a radial blower is introduced, which is available to determine the distributions of the several important flow parameters (e.g.: average temperature calculated for the cross-sectional areas) inside the blower aggregate. During the numerical investigation the heat energy turning out by electrical motor of the aggregate was considered by a specific heat source in the developed numerical model.

The computed result provide information what brings about the 50°C temperature increasing in the blower aggregate, which leads to an increasing power consumption and it also may cause damaging of the equipment in long-term operation.

Keywords: CFD simulation, blower aggregate

1. Bevezetés

A lakossági energiafelhasználás növekedése miatt egyre jobban előtérbe kerülnek a mindennapi életben használatos gépek energia felvételének csökkentésére irányuló vizsgálatok. Ezen gépek használatára jellemző üzemi paraméterek meghatározására szabványban rögzített mérési módszereket használhatunk. Az elmúlt 10 évben az iparban jelentős igény merült fel számítógéppel segített tervezés (Computer Aided Design) sokoldalú felhasználásán túl az ún. kapcsolt numerikus vizsgálatok alkalmazására. Ezeket a vizsgálatokat összefoglaló néven szimulációknak nevezzük. A szimulációk a szóban forgó berendezések prototípus gyártása előtt hónapokkal, akár évekkel korábban elkezdődnek annak érdekében, hogy a legkisebb költségen és energia befektetés árán a lehető legoptimálisabb kialakításban kerüljön legyártásra a termék.

Az elvégzendő numerikus vizsgálatok jelentős számítástechnikai igényt támasztanak a számítási pontosság növelése és a számítási idő csökkentése érdekében. A számítási módszerek tekintetében a vonatkozó szakirodalomban számos matematikai leírásmód található meg. A klasszikus CFD-ben (Computational Fluid Dynamics) a valóságos áramlási teret egy egyszerűsített és legtöbb esetben 3D-s számítási tartománnyal közelítően modellezzük. Ezt követően a kidolgozott számítási tartományt egy numerikus háló segítségével felosztjuk és a numerikus megoldást a diszkrétizált térre, esetünkben az ún. véges térfogatok módszerének alkalmazásával keressük meg. Vagyis a teljes számítási teret véges számú ellenőrző térfogatra osztjuk fel, ahol a számítási pontot az ellenőrző térfogat középpontjába vesszük fel [1]. A számítási pontokban a szimuláció során felhasznált áramlási alapegyenletek változóinak diszkrét értékét határozzuk meg a kezdeti és peremfeltételekhez tartozóan. A kapott számítási eredmények alapján elő tudjuk állítani a vizsgált tartomány időben változó üzemi állapotának legfontosabb jellemzőit és pontos képet kapunk a gép belsejében kialakuló áramlási viszonyokról.

A matematikai modell ismeretében vizsgálatainkat egy turbófúvó aggregát áramlás- és hőtechnikai paramétereinek meghatározására terjesztettük ki, melynek során feltártuk az aggregát áramlási viszonyai alapján azt a térképet, mely segíti a műszeres mérés lehetséges mérési pontjainak meghatározását. Ezen kívül megvizsgáltuk az aggregát üzeme során képződő hő keletkezésének helyét és annak tovaterjedési módját.

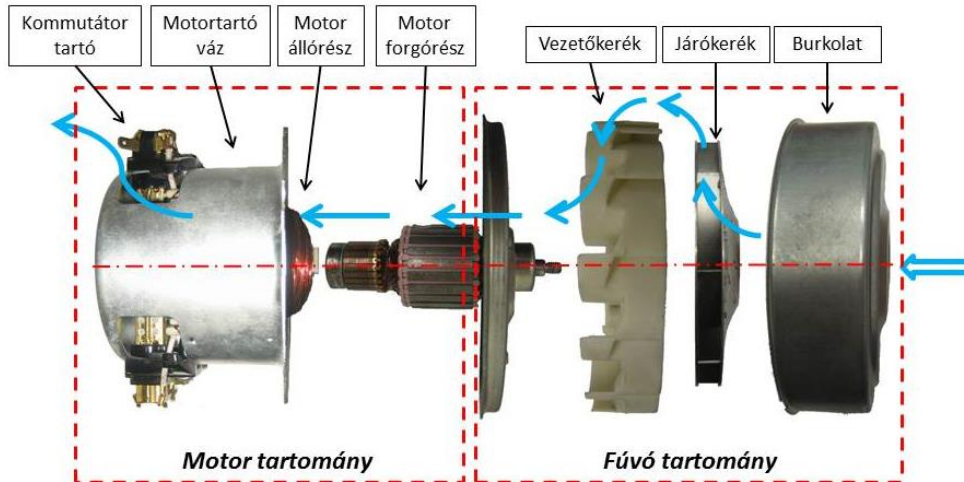
Az érintett vizsgálatok az áramlástan modellezésén túl kiterjeszthetők szilárdságtani, akusztikai vizsgálatokra is, amire e cikk keretében nem térünk ki.

2. Turbófúvó aggregát tartományainak jellemzői

A vizsgált turbófúvó aggregát olyan áramlástechnikai gépcsoport, mely két gépből áll. *Egyik gépegység* a turbófúvó, amely biztosítja az áramló közegben a működéshez szükséges nyomásemelkedést. *A másik gépegység* pedig az aszinkronmotor, amely a turbófúvóval azonos tengelyre szerelve biztosítja a turbófúvó meghajtását. A turbófúvó által szállított levegő az aggregát üzemszerű működtetésének biztosítása mellett gondoskodik a meghajtó motor hűtéséről is.

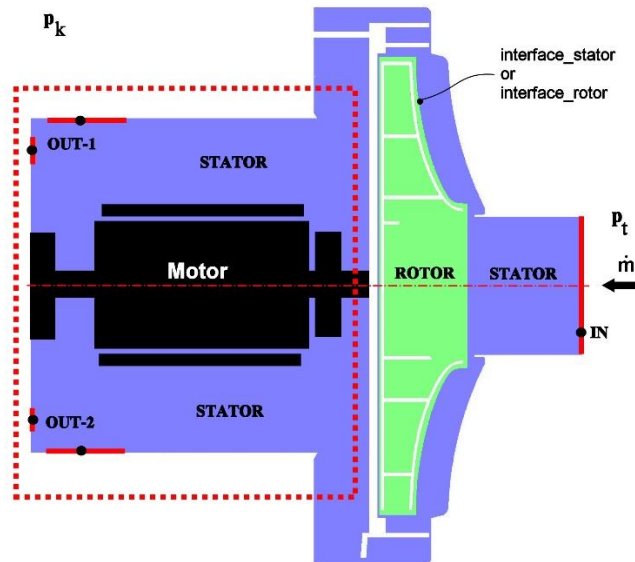
Az aggregátot alkotó két gépegység kialakítása határozza meg a numerikus vizsgálat szempontjából lényeges tartományokat. *Egyik tartomány* a vizsgált turbófúvó tartománya, ami egy forgó járókerékkel, valamint vezető- és visszavezető kerekekkel felszerelt gépegység, melynek szívó- és nyomócsenkja közötti nyomásviszony értéke $\pi = 1,15$. *Másik tartomány* a motortér, amely egy tekerceselt forgórészből és egy álló vasmagból áll. A járókereket és a motort burkolat veszi körül. A turbófúvó aggregát szerkezeti kialakítását és a fent említett főbb részeit az 1. ábra mutatja be.

A szerkezeti kialakításhoz illeszkedve az aggregát teljes számítási tartományát először résztartományokra osztottuk, melynek elrendezése és a résztartományok elnevezései a 2. ábrán láthatók.



1. ábra. Aggregát szerkezeti kialakítása szétszerelt állapotban

A turbófüvő működéséből adódóan két alapvetően eltérő tulajdonságú áramlási teret különíthetünk el. A forgó járókereket tartalmazó tartományt ROTOR-nak és az álló tartományt STATOR-nak neveztük el, amelyet a turbófüvő aggregát háza és a vezetőkerék falai határolnak. A motor álló- és forgó részei a STATOR-nak nevezett áramlási térben helyezkednek el. A szimuláció során ezeket a részeket a határoló felületekkel vettük figyelembe.



2. ábra. Számítási tartomány résztartományai és azok elnevezései

A rendelkezésre álló geometriai jellemzők felhasználásával a numerikus számítások előkészítéséhez az ANSYS-FLUENT kereskedelmi szoftver grafikus előkészítő programjára

val létrehoztuk a turbófúvó aggregát teljes számítási tartományát és numerikus hálóját ([2] és [3]).

3. Numerikus analízis peremfeltételei és jellemzői

A numerikus vizsgálat elsődleges célja az említett turbófúvó aggregát üzemi paramétereinek számítása, valamint az aggregáton belül kialakuló áramlási- és hőtechnikai jellemzők értékeinek minél részletesebb meghatározása. Az aggregát működése közben az áramló levegő a turbófúvó szívócsoncján (IN-el jelölve) érkezik a járókerékre, mely a külső energiával történő forgatása miatt a folyadék energiáját megnöveli. Ezt követően a levegő a járókerék oldali vezetőkeréken át a nyomótérbe kerül, majd a hátoldali visszavezető keréken átáramolva a nyomócsoncokon távozik a turbófúvó egységből. Ezt követően a közeg a motortérbe kerül, ahol a forgó tekercecsek és álló vasmagot körüláramolva keresztülhalad, majd a burkolat két kivezető nyílásán (OUT1-el és OUT2-vel jelölve) eltávozik a vizsgálati tartományból.

Az aggregát belsejében a hő egy része a hajtómotor tekercecsein keletkezik, aminek nagysága a motor forgórészén – mért és katalógus adatokat is figyelembe véve – közel 800W. E miatt a szállított közeget összenyomhatónak tekintjük. Megállapítható, hogy a motor működtetése során jelentős hő fejlődik a meghajtó motor terében, azonban nem elhanyagolható a közeg sűrűlódásából adódó hő fejlődése sem. Az előzetes laboratóriumi vizsgálatok alapján a hőmérséklet növekedésének mértéke akár 50°C is lehet. Mindezek mellett az aggregát külön hűtést azért nem igényel, mert a keletkezett hő jelentős részét a fúvó által szállított közeg elszállítja.

A numerikus vizsgálatok elvégzése során a következő peremfeltételi előírásokat (továbbiakban Pft.) alkalmaztuk, amelyeket, valamint a hozzájuk kapcsolódó egyéb megfontolásokat a 2. ábra jelöléseit felhasználva az alábbiakban mutatjuk be:

- a turbófúvó aggregát szívóoldali belépő keresztmetszetében (IN) előírjuk az áramló levegő turbófúvó aggregátba belépő \dot{m} tömegáram értékét, (Pft.: „massflow in”);
- a nyomóoldali mindkét kilépő keresztmetszeteiben (OUT1 és OUT2) pedig megadjuk a környezeti nyomás p_k értékét, (Pft.: „pressure outlet”);
- az aggregát fúvó részének belső határoló falait jól elkülöníthetően „wall” típusra választjuk;
- a turbófúvó járókerékének számítási tartományát (ROTOR) a körülötte elhelyezkedő álló tartománnyal (STATOR) való összekapcsolását egy kapcsolódó „interface” felülettel definiáljuk;
- a motortérben megtalálható forgórész felületét a járókerékhez hasonlóan jól elkülöníthető „wall” típusúra választjuk, ahol a forgórész felületének nagyságát figyelembe véve a 800W bevitt hőteljesítményt írjuk elő;
- A tartományba megtalálható további felületek alapértelmezetten „wall” típusként értelmezzük.

A számítási folyamat során a turbófúvó aggregát szívóoldali „IN” jelölésű belépő keresztmetszetében kialakuló p_t abszolút nyomás aktuális átlagértékét számítjuk ki, melyet az időben változó szimuláció során folyamatos monitorozással figyelhetünk. A peremfeltételként megadott p_k környezeti nyomás ismeretében meghatározható a turbófúvó aggregátra vonatkozóan a $\Delta p = p_k - p_t$ nyomáskülönbség [4]. A szimuláció eredményeként a megha-

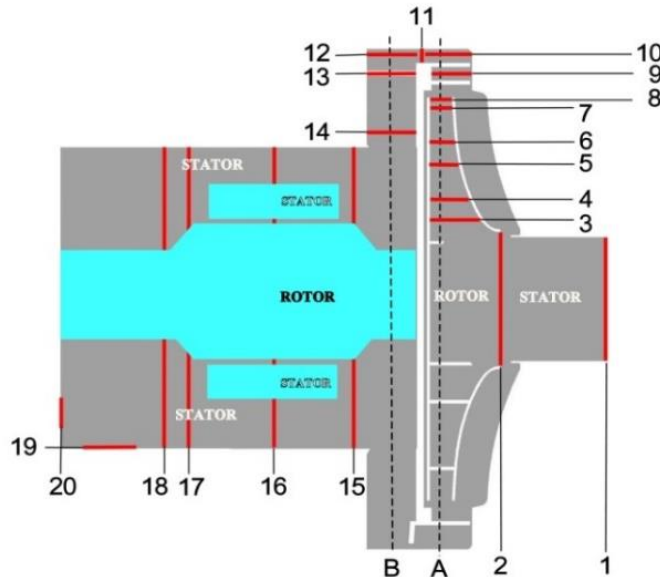
tározásra került a p_t nyomásérték, amelynek segítségével előállíthatók az aggregát üzemére jellemző paraméterek, mint az n fordulatszám, az \dot{m} tömegáram és a Δp nyomáskülönbség. A vizsgálathoz 36480min^{-1} fordulatszámú, $28,2\text{ l/s}$ térfogatáramú és 104mm járókerék átmérőjű aggregát üzemi jellemzőket vettünk figyelembe.

A fentieknek megfelelően a háromdimenziós vizsgálat során az áramló közeg összenyomhatóságát az általános gáztörvény alkalmazásával vettünk figyelembe. A numerikus megoldáshoz az „SST $k-\omega$ ” turbulencia modellt alkalmaztuk, valamint a véges térfogatokban értelmezett változókat másodrendben közelítettük.

4. Vizsgálat eredményeinek bemutatása

A szimulációt az ANSYS-FLUENT kereskedelmi szoftver felhasználásával végeztük el, mely segítségével kapott eredmények lehetővé teszik a teljes aggregátban kialakuló áramlási tér elemzését.

A megoldás során kapott adatok a tartomány diszkrét pontjaiban állnak rendelkezésre, ahol különböző – sík, vagy görbült – felületeken az áramlási jellemzők mellett a hőmérsékletmező is meghatározható. A gép működésének pontos feltérképezéséhez 20db különböző átáramlási keresztmetszetben határoztuk meg a legfontosabb jellemzők átáramlási keresztmetszetre vonatkozó átlagértékét. A 3. ábra segítségével egyszerűen áttekinthető a közeg főáramlási iránya is az 1-20 számmal jelölt keresztmetszetek növekvő sorszáma mentén. A kialakult hőmérséklet eloszlás grafikus megjelenítéséhez további – a forgástengelyre merőlegesen elhelyezkedő – A, B jelű metszeteket, valamint az aggregát tengelyére illeszkedő un. meridián metszetet is használtuk.



3. ábra. Vizsgált keresztmetszetek elrendezésének vázlata

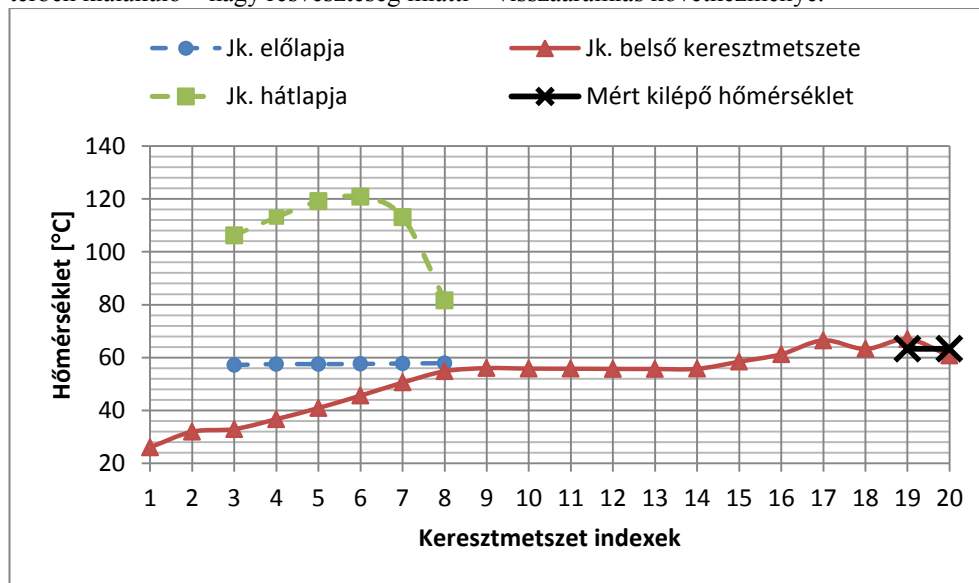
A járókerék numerikus vizsgálatához szükségünk van a járókerék előlapja előtti és hátlapja mögötti térrészek külön vizsgálatára is. Ennek érdekében 3-8. jelölésű hengermet-

teknél az áramlási keresztmetszetet három résztartományra a „Járókerék belső keresztmetszeteire”, valamint a „Járókerék előlapja” előtti, illetve a „Járókerék hátlapja” mögötti részekre osztottuk.

A fentiekben felsorolt 1-20 számmal jelölt keresztmetszetekben tömegátlagolással határozzuk meg az áramlási jellemzők (pl. a hőmérséklet, a nyomás, a sebesség komponensei, stb.) átáramlási keresztmetszetre vonatkozó átlagértékeit. Az átlagolást a kijelölt átáramlási keresztmetszeten elhelyezkedő véges térfogatok csomópontjaiban és a felületen megtalálható csomópontokban rendelkezésre álló szimulációs értékek felhasználásával végeztük el.

A 3. ábra jelöléseit felhasználva a szimuláció eredményeként meghatároztuk a kijelölt keresztmetszetekben kialakuló átlaghőmérséklet eloszlását, az abszolút- és dinamikus átlagnyomás eloszlásait, a közeg átlagsűrűségét és a tömegáramát is. Terjedelmi okokból itt az alábbiakban csak az átlag hőmérsékletre kapott változásokat mutatjuk be.

A 4. ábrán az 1-20 keresztmetszetek mentén kialakult hőmérséklet átáramlási keresztmetszetekhez tartozó átlagértékei láthatók. Az ábrán feltüntettük a 3-8 keresztmetszetekben a járókerék előlapja előtti és hátlapja mögötti keresztmetszetek átlaghőmérsékletét is. A járókerék előlapja előtt közel 60°C-os a levegő hőmérséklete, mely a járókerék előtti térben kialakuló – nagy résvesztés miatt – visszaáramlás következménye.

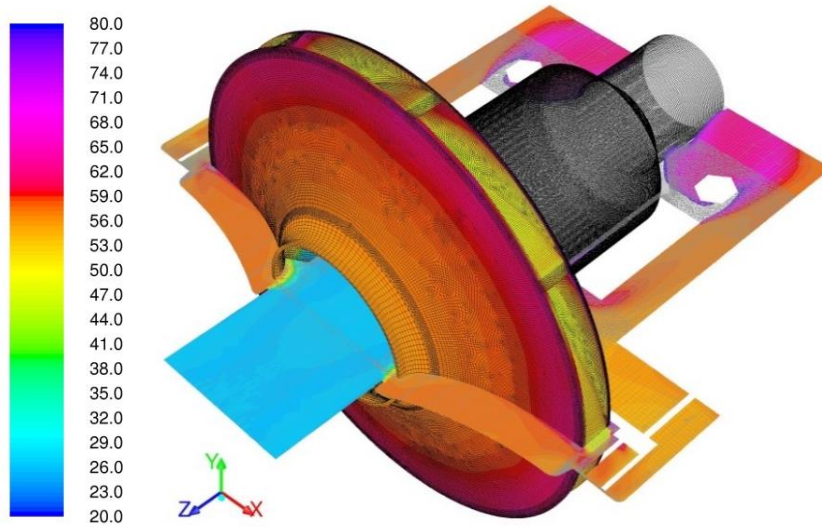


4. ábra. Az aggregát áramlási csatornája mentén az 1-20 keresztmetszetben számított, valamint a kilépő keresztmetszetekben mért átlaghőmérséklet értékei [°C]

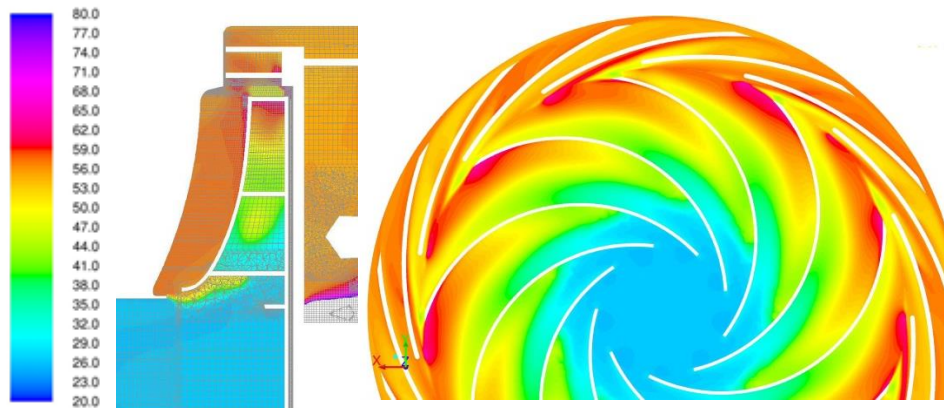
Jól átható, hogy a járókerék hátlapja mögött kialakuló helyi hőmérsékletnövekedés akár 80°C is lehet, ami a közeg nagyon szűk részben nagysebességgel történő áramlása során létrejött jelentős disszipációs veszteség miatt alakul ki. Emellett jól látható az is, hogy a tovább áramló közegben fellépő hőmérsékletnövekedés nagy része a motortér tekersein keletkező és onnan az áramlási térbe beérkező hő hatására jön létre.

Az 5. és a 6. ábra az aggregát jellemző felületein a kialakult hőmérséklet eloszlást mutatja meg.

Az 5. ábra a járókerék hálózott felületeit, valamint a forgástengelyre illeszkedő un. meridián metszet mentén a hőmérséklet eloszlást ábrázolja az aggregát szívócsonkjá és a járókerék előtti áramlási térre vonatkozóan. Az 5. és 6. ábrákon egyaránt látható, hogy az aggregátba 20°C hőmérsékletű közeg érkezik, majd a járókerék kilépő keresztmetszete környezetében a levegő hőmérséklete közel 55-60°C-ra növekszik.



5. ábra. Hőmérséklet eloszlás a járókerék forgástengelyére illeszkedő meridián metszeten, valamint a járókerék behálózott felületein [°C]



6. ábra. Az aggregát hőmérséklet eloszlása egy meridián irányú és a járókerék lapátcsatornájában kijelölt axiális irányú „A” jelű metszeten (3. ábra alapján) [°C]

5. Összefoglalás

A bemutatott numerikus szimulációs eljárás alkalmas egy turbófúvó aggregát áramlás- és hőtechnikai numerikus vizsgálatának elvégzésére, melynek segítségével a turbófúvó aggregát belsejében lezajló áramlási jelenségek aprólékosan és globálisan egyaránt elemezhetők. A kapott számítási eredmények ismerete és azok elemzése elősegíti a turbófúvó aggregát továbbfejlesztését még a tervezés fázisában.

A bemutatott numerikus vizsgálat által kapott részletes eredmények elemzésével megállapíthatók, hogy az aggregát mely részegységei módosításával lehetséges az üzemi jellemzők javítása (pl. esetünkben a berendezés belsejében létrejövő hőfejlődés mértékének csökkentése, stb.). A kapott szimulációs eredmények összevetésre kerültek a méréssel végzett eredményekkel, melyek a 4. ábrán bemutatott eloszlás alapján a kilépő keresztmetszetekben (19. és 20.) jó egyezést mutattak [4]. Terjedelmi korlátok miatt ennek bemutatására ebben a cikkben nem térünk ki.

A numerikus vizsgálat egyik jövőbeli célkitűzése az, hogy a kidolgozott numerikus módszert továbbfejlesztése révén hasonló felépítésű, de más geometriájú aggregátok összehasonlító numerikus vizsgálatának elvégzése lehetővé váljon, ezáltal új és korszerű turbófúvó aggregátok kifejlesztése valósulhasson meg.

6. Köszönetnyilvánítás

A kutató munka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Innovációs Gépészeti Tervezés és Technológiák Kiválósági Központban a TÁMOP-4.2.2.B-10/1-2010-0008 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg. Valamint köszönetet mondunk az Elektrolux Kft.-nek a szimuláció előkészítésében nyújtott segítségért.

7. Irodalom

- [1] ANSYS Inc., Fluent Theory Guide, Release 14.0, Canonsburg, PA, <http://www.ansys.com>
- [2] Fodor, B., Kalmár, L.: Turbófúvó aggregátban kialakuló áramlás numerikus vizsgálata, 21th International Conference in Mechanical Engineering, Románia/Arad, 2013, pp. 118-121, (ISSN 2068-1267) Lang.: HUN
- [3] Kalmár, L., Janiga, G., Fodor, B., Varga, Z., Soltész, L.: Egyfokozatú turbófúvó numerikus modellezése, Numerical investigation of the flow in one-stage blower GÉP 2012/1. LXIII évfolyam, pp. 39-42., Miskolc (ISSN 0016-8572), Lang.: HUN
- [4] Kalmár, L., Szabó, Sz., Janiga, G., Fodor, B., Soltész, L.: Egyfokozatú turbófúvó aggregátok áramlási jellemzőinek numerikus és kísérleti meghatározása, Szivattyúk, kompresszorok, vákuumszivattyúk, XX. évfolyam, 2013, pp. 41-48., (ISSN 1219-1108), Lang.: HUN