

# MINI SZÉLCSATORNA SEBESSÉGELOSZLÁSÁNAK BEÁLLÍTÁSA ÁRAMLÁSRENDEZŐK BEÉPÍTÉSÉVEL

## VELOCITY DISTRIBUTION CONTROL IN A SMALL-SCALE WIND TUNNEL USING FLOW GUIDES

Szaszák Norbert<sup>1</sup>, Mátrai Zsolt<sup>2</sup>, dr. Szabó Szilárd<sup>3</sup>

### ABSTRACT

*The aim of the presented contribution is to adjust the proper velocity distribution in a small-scale wind tunnel using CTA measurement technique. In this tunnel an innovative type of semi-active turbulent generator will be experimentally characterized and improved. For this reason, broadly uniform velocity distribution with low turbulence level is required in the wind tunnel. Several kinds of flow guides and assemblies were examined to find the variation producing the lowest turbulent intensity. By performing the experiments described here it was possible to find the proper layout of the wind tunnel.*

### 1. BEVEZETÉS

Napjainkban számos áramlástechnikai kísérletet végeznek laboratóriumokban található szélcsatornáknál. Az esetek nagy részében a természetben kialakulóhoz hasonló turbulenciájú alapáramlás biztosítása a cél. Ennek érdekében úgynevezett turbulenciageneráló rácsokat alkalmaznak. Ezeknek két fajtája ismert: passzív és aktív rács. Passzív rács esetében viszonylag alacsony turbulencia intenzitás érhető el, viszont az egyszerű felépítése miatt nagyon olcsón megépíthető [1]. Ezzel szemben az aktív rácsok számos mozgó alkatrészt, és az ezek mozgatásához szükséges elektronikus eszközöket tartalmaznak, így jóval drágábbak passzív társaiktól [2]. Előnyük a magas turbulencia intenzitás.

Az aktív rácsok magas ára miatt egy olyan konstrukció megépítése volt a cél, mely segítségével megfelelően magas turbulencia intenzitás érhető el kedvező áron. Az innovatív új rács aktív elemei sűrített levegő által mozgatott vékony szilikon csövek [3]. Sztochasztikus mozgásukkal különböző irányú és méretű sebességkomponenseket adnak az alapáramláshoz, így növelve annak turbulenciáját.

A rács vizsgálatához és továbbfejlesztéséhez tehát szükségessé vált egy megfelelően alacsony alapturbulenciájú

áramlást biztosító szélcsatorna megépítése és bevizsgálása.

Egy adott keresztmetszetű csatorna bővítését végeztük el úgy, hogy különböző áramlásrendező elemek, és további szakasz beépítésének segítségével kialakulhasson a kívánt paraméterű áramlás.

A méréseink során CTA (Constant Temperature Anemometry) technikát alkalmaztunk, mely működési elve alapján kiválóan alkalmas sebességprofilok kimérésére, és turbulencia vizsgálatok elvégzéséhez.

### 2. SZÉLCSATORNÁK

A szélcsatornák olyan kísérleti berendezések, melyeket elsősorban különböző testek körül kialakuló áramlások vizsgálatára fejlesztettek ki.

Az elérhető sebességtől függően szubszonikus ( $M < 1$ ), transzszonikus ( $0,8 < M < 1,2$ ), szuperszonikus ( $1,2 < M < 5$ ) és hiperszonikus ( $5 < M$ ) típusú lehet a szélcsatorna. Felépítésük szerint lehetnek kifúvó, beszívó vagy visszatérő áramú elrendezésűek. A mérőtér szerint megkülönböztetünk nyitott, félig zárt és zárt mérőtérű szélcsatornákat.

- Kifúvó szélcsatorna esetén a levegőt egy ventilátor a szabadból szívja be, majd az áramlásrendező és a konfúzor után a levegő a nyitott mérőtérbe jut.

- Beszívó szélcsatornánál a beszívó szájon át, majd az áramlásrendezőknél keresztül jut a levegő a csatornában található, azaz zárt mérőtérbe, mely után a ventilátor helyezkedik el.

- Visszatérő áramú szélcsatorna esetén a ventilátornak csupán a csatorna által okozott súrlódási veszteségeket kell pótolnia, így üzeme gazdaságosabb, illetve a használt levegő kondicionálása is megoldható.

A konkrét célfeladathoz szükséges szélcsatorna esetén törekedtünk a legegyszerűbb kivitelre, ezért egy állandó keresztmetszetű, zárt mérőtérű kifúvó típusú szélcsatornát fejlesztettünk ki.

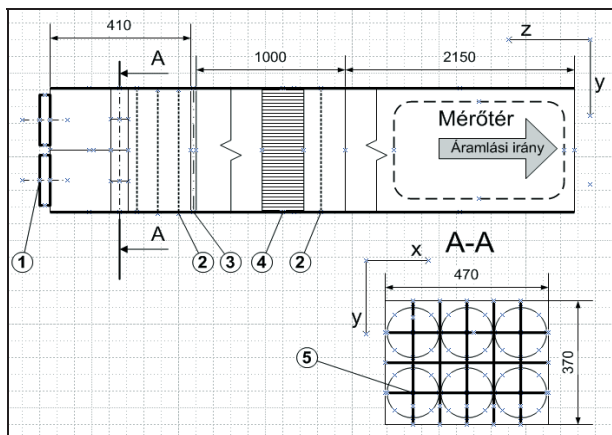
### 3. A CSATORNA GEOMETRIAI KIALAKÍTÁSA

Egy, már meglévő csatornaszakaszt kellett úgy továbbépíteni, hogy az adott keresztmetszet mellett olyan hosszúságú legyen, továbbá olyan áramlásrendező elemeket tartalmazzon, melyekkel biztosítható a kívánt

<sup>1,2</sup>doktorandusz, Miskolci Egyetem, Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola

<sup>3</sup>egyetemi tanár, tanszékvezető, Miskolci Egyetem, Áramlás és Hőtechnikai Gépészeti Tanszéke

alapáramlás. A későbbi mérések elvégzéséhez a csatorna kilépő keresztmetszetétől mérve 800 mm-ig, azaz a mérési szakaszban,  $\bar{u} = 1-2 \text{ m/s}$  áramlási sebesség, továbbá  $Tu < 3\%$  turbulenciafok volt az elvárás. A méréseink alapján legmegfelelőbbnek talált összeállítás látható az 1. ábrán.

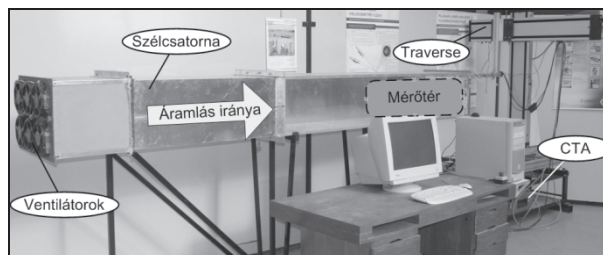


1. ábra. Az összeállított szélcsatorna 1. axiálventilátor; 2. fémrács; 3. szűrőbetét; 4. áramlásrendező csökötege; 5. ritka áramlásrendező-lemezek

Az alapáramlást 6 darab, 150 mm-es átmérőjű, egyenként 45 W elektromos teljesítményű axiálventilátor (1) beépítésével hoztuk létre. Ezek fordulatszámát egy toroid transzformátorral szabályoztuk. A ventilátorok által létrehozott áramlás magas perdületét a ventilátorok után közvetlenül elhelyezett  $5 \times 3$  darab lemez hivatott csökkenteni (5). Ezek osztása  $200 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ . A végleges összeállításban ezeket követően 3 darab fémdrótrács (2) lett elhelyezve  $3 \times 3 \text{ mm}$ -es rácsközzel, melyek a bevezetőben leírtak szerint turbulenciát generáló passzív rácsok. A passzív-rács turbulencia jellemzője a gyors „elhalás”, azaz a ráctól megfelelő távolságra már megszűnnek az áramlásban tapasztalható sebesség-ingadozások. Tehát esetünkben a rácsok az áramlás egységesebbé tétele céljából lettek beépítve. A mérőtér, melyben vizsgáltuk az áramlást, egy 310 mm széles és 210 mm magas, továbbá 800 mm hosszú térrész volt az 1. ábrán látható helyzetben. (Ez némileg kisebb, mint a csatorna keresztmetszet a szondatartó helyigénye miatt.)

Az áramlás tulajdonságainak méréséhez CTA (Constant Temperature Anemometry) technológiát alkalmaztunk, mivel ez mérési elvűből adódóan előnyösen felhasználható az áramlásban kialakuló, nagy frekvenciájú sebesség-ingadozások méréséhez. Ebből adódóan a későbbi aktív-rács vizsgálatok során is ezt a mérési módszert kívánjuk alkalmazni. A CTA mérőfej védelme érdekében egy megfelelő sűrűségű szűrőbetét (3) is beépítésre került, melyen a ventilátorok által esetlegesen befűvott porszemek fennakadtak. Az áramlásra mérőleges sebességkomponensek további csökkentése érdekében áramlásrendező eszközként egy csököteget (4) is elhelyeztünk a csatornában. Ez 120 mm hosszú, 6 mm átmérőjű, 0,1 mm falvastagságú műanyag csöveket

tartalmazott. A csökötege után a sebességeloszlás egységítése céljából egy további fémdrótrács lett elhelyezve. A végleges szélcsatorna-összeállítás a hozzáépített CTA mérőrendszerrel a 2. ábrán látható.



2. ábra. A végleges szélcsatorna-összeállítás a CTA mérőrendszerrel

#### 4. MÉRÉSI MÓDSZER

Az egyes összeállítások vizsgálata a már említett CTA mérés technika alkalmazásával történt. Segítségével a csatorna különböző keresztmetszeteiben meghatározhatuk az ott kialakuló sebesség- és turbulenciaprofilokat, melyek segítségével elvégezhetjük az egyes variációk összehasonlítását. A CTA berendezés (hődrótos anemométer) szondája két egymásra merőleges, csupán néhány mikron vastagságú fémszálat tartalmaz. Mindkét szál  $45^\circ$ -os szöget zár be az áramlás fő irányával. Így nem csak a fő irányban áramló közeg sebességét képes mérni, hanem az arra merőleges sebességkomponenseket is. Azért, hogy ezeket a sebességkomponenseket is mérni tudjuk, irányfüggő kalibrációt kellett elvégezni a szondán. Mivel a vizsgálataink során  $\bar{u} = 1-2 \text{ m/s}$ -os sebességek fordultak elő a csatornában, a mérőszonda kalibrációját is erre a tartományra végeztük el. A CTA technika egy időpontban a mérendő keresztmetszet egyetlen pontjában ad lehetőséget mérést végezni. Ezért a csatorna éppen vizsgált keresztmetszetében, annak különböző rácspontjaiban történő mérésekhez egy pozicionáló szerkezetre volt szükség a CTA szonda precíz mozgatásához. Erre a célra egy három irányban mozgatható traverz rendszert alkalmaztunk.

#### 5. ADATOK FELDOLGOZÁSA

A CTA és a traverz egységet a StreamWare nevű programmal vezéreltük. A programból, az adatok exportálása után, azok a MATLAB nevű programrendszerbe lettek importálva további feldolgozás céljából.

Az  $x, y, z$  helykoordinátákat,  $u$  és  $v$  sebességkomponensek időátlagait, továbbá azok RMS értékeit tartalmazó adatmátrix lett létrehozva. A turbulenciafok a következő összefüggéssel lett meghatározva:

$$Tu = \frac{u_{RMS} + v_{RMS}}{2 \cdot \bar{u}} \cdot 100\% .$$

A különböző összeállítások összehasonlíthatósága végett a sebességek keresztmetszet-átlagolt relatív szórását

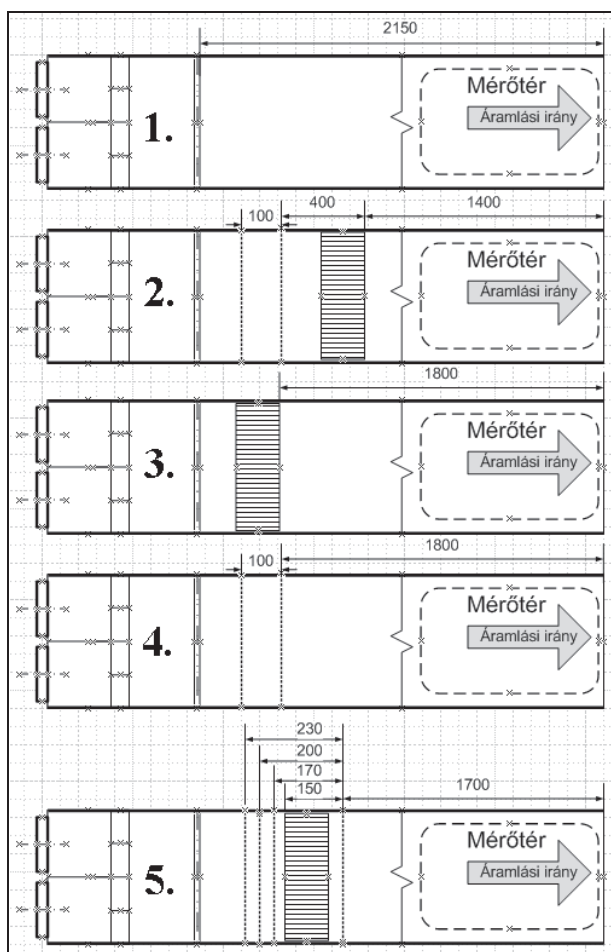
is kiszámoltuk. A relatív szórás a következő összefüggéssel adódott:

$$u_{relRMS} = \frac{u_{RMS}}{\bar{u}} \cdot 100\%.$$

További mennyiségeket is számoltunk, ezek az átlagsebesség és a turbulenciafok különböző statisztikai jellemzői: átlag, medián, módusz. Az átlagsebességmezőt diagramon szemléltettük, továbbá a vízszintes irány függvényében ábrázoltuk az átlagsebesség-értékek szóródását a függőleges irányban számított átlagértékhez képest, melyre egy görbét is fektettünk. Ezeket túlmenően hisztogramot is készítettünk a turbulenciafok alakulásának bemutatására.

## 6. VIZSGÁLT VÁLTOZATOK

A későbbi mérésekhez megfelelő alapáramlást biztosító csatorna-elrendezést számos, egymástól eltérő összeállítás mérése előzte meg. Az egyes esetekben különböző számú és típusú áramlásrendező elemet alkalmaztunk, továbbá ezek csatornán belüli helyzetét is változtattuk. A különböző vizsgált variációkat a 3. ábra szemlélteti, a mérések alapján legjobbnak ítélt elrendezés (6. variáció) pedig az 1. ábrán látható.



3. ábra. A vizsgált összeállítások

Megfigyelhető, hogy a ventilátorokat tartalmazó egységet nem módosítottuk a mérések alatt, továbbá a szűrőbetét helyzetét sem változtattuk meg. Mindegyik esetben két különböző síkban történtek a mérések: az alapáramlásra merőleges síkban, a mérőtér csatorna végével egyező síkjában, továbbá attól 800 mm-re, a csatornán belül. Mivel a vizsgált paraméterek, mint a főirányú sebességkomponens relatív szórása, és a turbulenciafok is csökkenő tendenciát mutatott az áramlás irányában, ezért csak a legrosszabb esetet, a 800mm-es keresztmetszetek eredményeit mutatjuk be.

A különböző összeállítások eltérő eredő áramlási ellenállással rendelkeztek, így a ventilátorok vezérlése nélkül különböző átlagsebességek alakultak volna ki. Ennek kiküszöbölése végett a különböző esetekben úgy választottuk meg a ventilátorok feszültségét, hogy a létrejövő áramlás átlagsebessége minden esetben közel azonos legyen.

## 7. EREDMÉNYEK

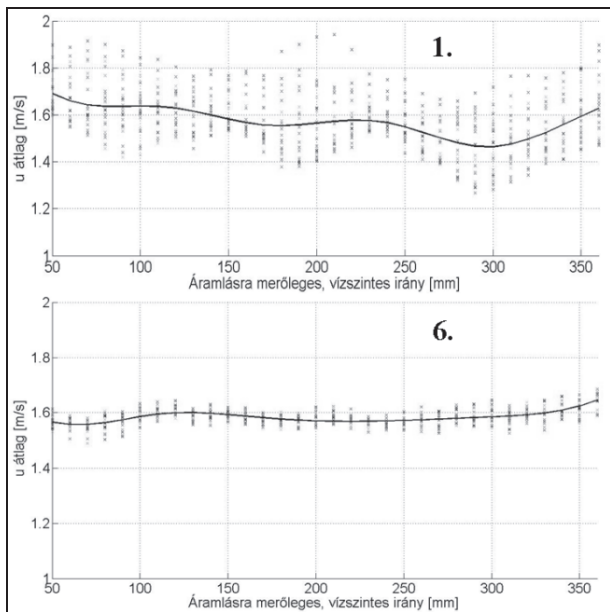
Az egyes esetek a már említett MATLAB programkörnyezetben megírt script segítségével lettek kiértékelve. Az áramlást jellemző mennyiségek keresztmetszetre vett átlagértékeit az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat

Összeállítás sorszáma	$\bar{u}$ [m/s]	$u_{relRMS}$ [%]	$\overline{Tu}$ [%]
1.	1,573	2,861	6,584
2.	1,837	1,926	5,897
3.	1,657	2,212	5,502
4.	1,712	1,011	2,620
5.	1,610	1,114	2,519
6.	1,584	1,014	2,290

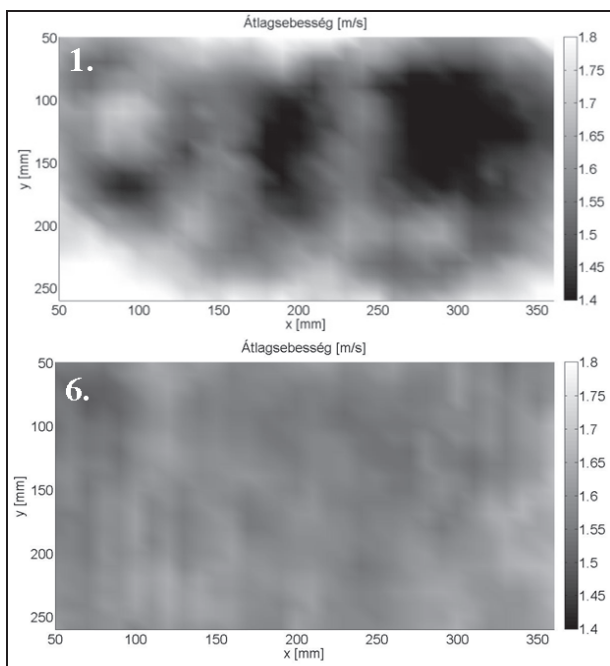
Az egyes variációk az átlagos turbulenciafok csökkenésének alapján lettek sorba rendezve. Látható, hogy miközben az első, áramlásrendező nélküli esetben a turbulenciafok 6,584%, ugyanez az érték a meghosszabbított, 4 rácsot és egy csőkeget tartalmazó csatornában 2,290%, mely teljesíti a kívánt  $Tu < 3\%$  feltételt. A táblázatban az is megfigyelhető, hogy az átlagsebesség relatív szórása általánosságban együtt csökken a turbulenciafokkal. A szemléletesség kedvéért a következőkben a vizsgált variációk közül csupán a legrosszabb és legjobb eredményeket produkáló két esetet, azaz az 1., áramlásrendező nélküli, és a véglegesnek választott, 6. összeállítás eredményeit mutatjuk be.

A 4. ábrán az 1. és a 6. kialakítás esetén mért átlagsebesség-értékeket figyelhetjük meg, az áramlásra merőleges síkban, a vízszintes irány függvényében. A két ábrát összevetve megállapítható, hogy a 6. variáció szórása számottevően kisebb az 1.-höz képest. Továbbá a függőleges irányban kiértékelte értékek segítségével képzett görbe is jóval szűkebb értékek között mozog, azaz egységesebb az áramkép.



4. ábra. Az 1. és 6. összeállítás átlagsebességének alakulása

Az 1. és 6. variáció esetén, a mérési síkban kialakult átlagsebesség-eloszlás figyelhető meg az 5. ábrán.

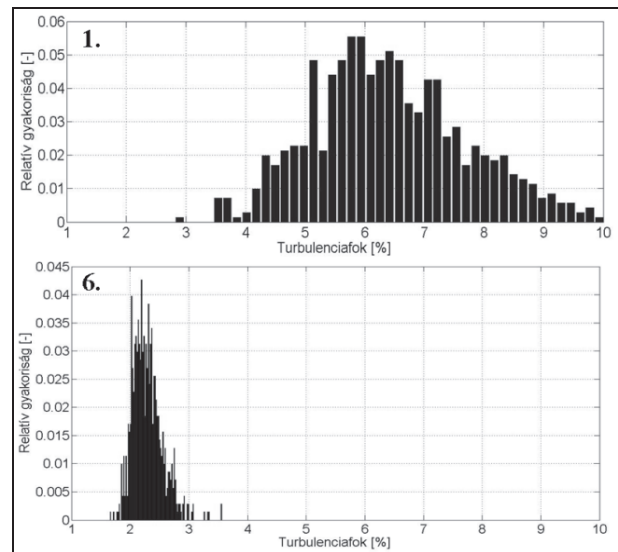


5. ábra. Az átlagsebesség alakulása a vizsgált keresztmetszetben

Azonos skálák mellett megfigyelhető, hogy az áramlásrendezőket nem tartalmazó esetben jóval szabálytalanabb sebességeloszlás alakult ki, mint a 6. esetben. Míg az 1. variáció esetén a sebesség az  $u = 1,3 - 1,9 \text{ m/s}$  tartományban változott, addig ez a 6. összeállításban  $u = 1,5 - 1,7 \text{ m/s}$  között mozgott.

A turbulenciafok értékeinek relatív gyakorisága figyelhető meg a 6. ábra hisztogramjain. Könnyen belát-

ható, hogy az 1. összeállítás értékei a magasabb értéken túlmenően szélesebb tartományt fednek le, mint a 6. variáció esetén. Ez az előzőekben bemutatott sebesség-szórások különbözőségével magyarázható, mivel a turbulenciafok a sebesség szórásának is függvénye.



6. ábra. A turbulenciafok értékeinek relatív gyakorisága

## 8. ÖSSZEFOGLALÁS

Az elvégzett mérések eredményeit ismerve belátható, hogy sikerült megtalálnunk azt a keresett összeállítást, mely áramlási jellemzőivel meg fog felelni a későbbi kutatásainkhoz. A  $2760 \text{ mm}$  hosszúságú csatornaszakas, továbbá a 4 darab passzív rács a közük helyezett csököttel, az elvárásainknak megfelelően alacsony turbulenciájú áramlást hoz létre az ezt követő  $800 \text{ mm}$  hosszú mérőtérben, miközben a sebességprofil is egyenesnek mondható.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

## IRODALOM

- [1] M. GAD-EL HAK AND S. CORRISIN.: Measurements of the nearly isotropic turbulence behind a uniform jet grid, *Journal of Fluid Mechanics*, 62(01): 115–143, 1974.
- [2] MAKITA, H.: Realization of a large-scale turbulence field in a small wind tunnel, *Fluid Dynamics Research*, Vol. 8, No. 1, pp. 53–64, 1991.
- [3] N. SZASZÁK: Experimental characterization of a cost-effective active grid for turbulence generation, *Diplomamunka*, pp.1-85, Magdeburg, Németország, 2011.