

## RUGALMAS SZALAGOK, MINT AKTÍV TURBULENCIAGENERÁTOROK LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA

Szaszák Norbert Tibor<sup>1</sup>, Dr. Szabó Szilárd<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doktoranduszhallgató, e-mail: [aramszn@uni-miskolc.hu](mailto:aramszn@uni-miskolc.hu)

<sup>2</sup>Egyetemi tanár, e-mail: [aram2xsz@uni-miskolc.hu](mailto:aram2xsz@uni-miskolc.hu)

Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Áramlás- és Hőtechnikai  
Gépek Intézeti Tanszék, Cím: 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros

### Összefoglalás

Jelen dolgozat egy olyan, új típusú, turbulencia generálására alkalmas laboratóriumi eszköz megépítését és áramlástechnikai mérését hivatott bemutatni, mely szerkezet a turbulencia létrehozásához rezgő rugalmas szalagokat használ. Bemutatja a szerkezet ötletének alapjául szolgáló fizikai jelenséget, majd annak összeállítási folyamatát, továbbá az elvégzett mérések eredményeit. Mivel a szerkezet egy kifejezetten turbulenciagenerátorok vizsgálatához tervezett szélcsatornában került kialakításra, ezért alkalmunk adódott méréseket végezni annak áramlásra gyakorolt hatásának vizsgálata céljából. A mérések során CTA mérés technikát alkalmaztunk, mely kimondottan alkalmas turbulens áramlások vizsgálatához.

**Kulcsszavak:** turbulencia, aktív rács, CTA, szélcsatorna

### Abstract

This paper deals with the construction and the measurements of a novel type turbulence generator which contains vibrating elastic tapes as active elements to increase the turbulent intensity of the main flow. It explains the basic physical phenomena of the vibrating tapes and the build process. Furthermore the results of the measurements are presented, too. Since the device was assembled in a wind tunnel constructed for investigation of turbulence generators, thus it was possible to investigate the effects on the fluidic properties of the main flow. CTA measurement technique was applied due to its beneficial properties.

**Keywords:** turbulence, active grid, CTA, wind tunnel

## 1. Bevezetés

Napjainkban számos áramlástechnikai fejlesztés számítógépes szimuláció segítségével történik. Azonban mivel a gyakorlatban kialakuló turbulens áramlások bonyolultságuk miatt egzakt módon nem számíthatóak, ezért azok szimulációja (CFD) esetén különböző modelleket kell alkalmazni az ismeretlen paraméterek számának csökkentése érdekében, melyek nem minden esetben hoznak valós eredményeket. Ezért a szimulációk eredményeit validálni szükséges, mely az esetek jelentős részében szélcsatornába helyezett modell mérésével történik. Így lehetőség adódik a mért és a CFD szoftver által számolt eredmények

összehasonlítására, az esetleges eltérések okainak feltárására, a használt modell módosítására.

Olyan esetekben, amikor a szimuláció egyes paramétereit az áramlás turbulencia-jellemzői, a modell laboratóriumi szélcsatornában történő mérése esetén is szükséges lehet olyan áramlás létrehozása, mely előre beállítható, ismert turbulens tulajdonságú. Ennek módja az úgynevezett passzív vagy aktív rácsok alkalmazása. Ezek álló (passzív) vagy mozgó (aktív) elemeket tartalmazó szerkezetek az úgynevezett turbulenciagenerátorok, amelyek az alacsony turbulenciájú alapáramlás turbulens jellemzőit az általunk kívánt értékűre módosítják. Így biztosítható a szélcsatornában a szimulációval (és a vizsgált jelenség-nél észlelt) megegyező áramlástechnikai jellemzőkkel bíró áramlás.

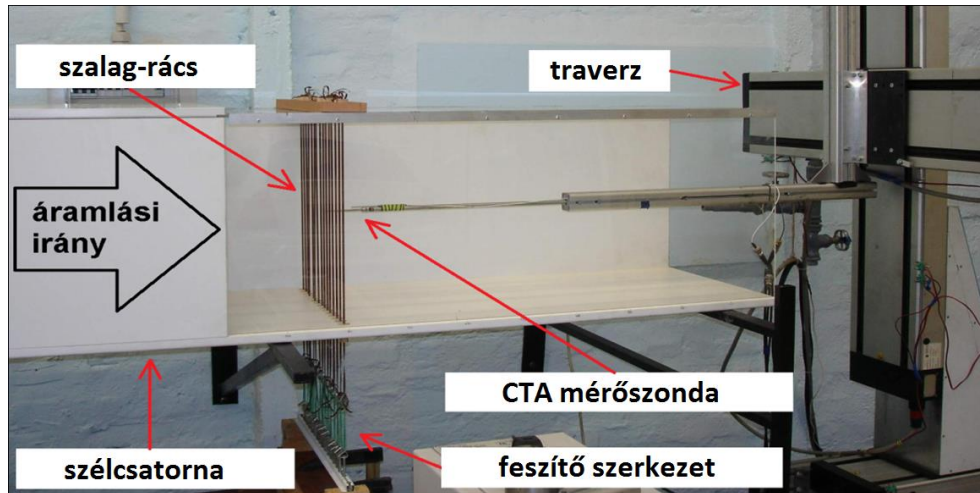
A passzív rácsok jellemzően alacsony fokú turbulencia létrehozására képesek, viszont egyszerű felépítésükből adódóan áruk jóval kedvezőbb aktív társaikhoz képest. Az aktív rácsok számos mozgó elemet tartalmaznak, melyeket számítógép vezérelt szervomotorokkal mozgatnak, így a magas árúhoz magasabb turbulenciájú áramlás társul [1]. 2011-ben Németországban egy olyan új típusú turbulenciagenerátor megépítésén és mérésén dolgoztunk, mely aktív elemek gyanánt a rácspontokban elhelyezett néhány *cm* hosszúságú, vékony rugalmas csöveket használt, melyek a belőlük kiáramló sűrített levegő hatására végeztek sztochasztikus mozgást, mellyel nagymértékben sikerült növelnünk az alapáramlás turbulenciáját, így bizonyosságot nyert az ötlet alkalmazhatósága [2]. Jelen dolgozat egy eddigiektől eltérő elven működő, turbulencia keltésére használható eszköz összeállítását és kísérleti vizsgálatát mutatja be. Ennek azonossága a rugalmas csövekhez viszonyítva csak annyi, hogy itt is rugalmas elemekkel dolgozunk. A jelentős különbség viszont az, hogy itt nincs szükség segédenergiára (préslevegőre), a mozgást maga az alapáramlás indukálja.

## 2. Új ötlet: rezgő szalagok, mint aktív elemek alkalmazása

További megoldásokon gondolkodva arra jutottunk, hogy az áramlás irányára merőleges síkba helyezett rugalmas szalagokkal az alapáramlás mechanikai energiájának egy kis részét felhasználva létre lehet hozni olyan rezgést, mely hatással van az áramlás turbulenciájára.

Hosszú, lapos lemezek áramló levegő hatására végzett különböző típusú rezgéseivel a szakirodalom is élénken foglalkozik, mind áramlástan, mind mechanikai szempontból [3]. Ez esetben az áramlás okozta rezgés deformáló és egyéb káros hatásainak elkerülése a cél (pl: hídszerkezetek, nagyfeszültségű vezetékek [4,5,6]). Jelen esetben a helyzet némileg fordított. Az áramlás okozta rezgések keltése és az azt kísérő lemez deformáció elérése a cél, azért, hogy az áramlás turbulens jellemzői megváltozzanak. Ezért az általunk alkalmazott „lemezsíkok” eleve rezgés- és deformációtűrő anyagból készültek. Természetesen a kialakuló lemezmozgásnak itt is vannak határai.

A szalagok rezgését döntően a róluk leváló örvények okozzák (Kármán-féle örvénysor), melyek továbbsovdódnak az áramlással, majd az egyre kisebb skálákon keresztülhaladva - Kolmogorov-skála [7]- a belső súrlódásuk révén disszipálódnak [8]. Ezen ötlet esetleges használhatóságának vizsgálata érdekében a rendelkezésünkre álló 400×400mm belső keresztmetszetű szélcsatornába [9] összesen 15 rugalmas szalagot (magnókazetta-szalagot) építettünk be, úgy, hogy ezek alapesetben az áramlással párhuzamosan, egymástól 25 mm távolságban helyezkednek el. A csatornában elhelyezett szalagokat, továbbá a mérési összeállítást az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra. A szélcsatorna a benne elhelyezett szalagokkal.

A szalagok a csatorna alsó és felső lapján elhelyezett, erre a célra kialakított, tengelyirányban  $0,5\text{ mm}$ -es vastagságban befűrészelt stabilizáló elemeken haladnak keresztül, melyek a csatornafalakba mart furatokban helyezkednek el. Az elkészített elemek és a beépített szalagok a 2. ábrán láthatók.



2. ábra. A szalagok stabilizálásához készített elemek a csatorna alján és tetején.

A képen megfigyelhető, hogy a stabilizáló elemek csatornán belüli felülete egy síkban van a csatorna falával. Ez egy fontos kritérium volt, hiszen az áramlásba „belógó” élek örvényleválásokat okozhatnak, ezzel megzavarva az alapáramlást. A szalagokból álló rács a csatorna kilépő keresztmetszetétől  $800\text{ mm}$ -re lett elhelyezve. Ennek oka egyrészt az, hogy a turbulenciaparaméterek alakulásának vizsgálata szempontjából szükséges a megfelelően nagy mérőtér-hossz. Másrészt a csatorna  $1\text{ m}$  hosszúságú szakasza átlátszó plexi lemezből készült, hogy alkalmas legyen optikai elven működő, például PIV vagy LDV mérések elvégzésére is, így ezzel az elrendezéssel a közeljövőben ilyen típusú mérések is megvalósíthatók.

Rugalmas szalagként magnókazettákban használatos, 3,81 mm szélességű műanyag szalagot alkalmaztunk, melyet a csatorna felső lapján a stabilizáló elemhez rögzítettük. Erre a típusú szalagra előzetes mérések alapján jutott a választás. Összehasonlítva a videokazetta-szalaggal jóval alacsonyabb áramlási sebesség esetén kezd rezegni, így alkalmasabb széles sebességtartományban való felhasználásra. A csatorna alsó lapján elhelyezett elemeken keresztülhaladnak a szalagok, így feszítettségüket a csatornán kívülről lehet szabályozni. Fontos paraméter a szalagot feszítő erő mértéke, ugyanis ennek függvényében változik az a minimális sebesség, mely szükséges a szalag rezgéséhez, továbbá ezen erővel szabályozható a rezgés amplitúdója. Az első mérések alkalmával a feszítőerő egységességét egyszerűen, azonos csavaranyáknak -mint feszítő súlyoknak- a szalagok csatorna alatti végére történő felakasztásával oldottuk meg. Ebben az esetben azonban azt tapasztaltuk, hogy egy bizonyos áramlási sebességet beállítva egyes szalagok rezegtek, mások viszont látszólag mozdulatlanok maradtak. Nyilvánvalóvá vált, hogy a különböző szalagok különböző mértékű feszítőerőt igényelnek ahhoz, hogy egy adott légsebesség esetén rezgésbe jöjjenek. Ezért egy olyan megoldást kellett találnunk, mely segítségével megvalósítható a szalagok külön-külön, fokozatmentesen történő feszítése. Erre a célra a 3. ábrán látható szerkezetet készítettük el.



**3. ábra.** A szalagok fokozatmentes feszítéséhez készített szerkezet.

Ezzel a megoldással az egyes szalagokhoz gumigyűrűkön, mint csillapító elemeken keresztül csatlakoztatott csavarokkal fokozatmentesen lehet beállítani a feszítettséget. A csavarfejeknél könnyen elforduló kampók feszítik a gumigyűrűket, a vízszintes alumínium profilba pedig fixen elhelyezett csavaranyák vannak beépítve. A csavarok tekerésével állítható be az egyes szalagok feszessége. E módszerrel olyan nagy feszítőerőt is be lehet állítani, mely esetben a szalagok nem rezegnek, így ez az eset összehasonlítható a rezgő szalagok esetében kialakuló áramlással.

### 3. A mérés menete

Az eddig elvégzett vizsgálataink arra irányultak, hogy információt gyűjtsünk az ötletnek a turbulencia generálásához történő felhasználhatóságáról. Éppen ezért olyan mérés technikát alkalmaztunk, mely nagy térbeli felbontással képes mérni a rács után kialakuló áramlási tér sebességének magas frekvenciájú fluktuációit, mely szükséges a turbulenciát jellemző paraméterek meghatározásához.

#### 3.1. Alkalmazott mérés technika

A fentebb említett okok miatt méréseink során a CTA (Constant Temperature Anemometry) technikát alkalmaztuk. Előnyös tulajdonságai közül kiemelkedően fontos a magas mintavételezési frekvenciája, ami méréseink során 1000 Hz-es értékre lett beállítva. Mivel pontonként 2 s-os mintavételezési időt állítottunk be, így mérésenként 2000 sebességadatot tudunk mérni, mely értékek ingadozásából számítható a négyzetes középérték és az időbeli átlag is.

A CTA technika sajátosságai miatt egy időpontban csupán a mérendő keresztmetszet egyetlen pontjában van lehetőség 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 szerkezetet alkalmaztunk.

A mérések során egy 1 dimenziós szondát alkalmaztunk, melyet előzőlegesen 0-9 m/s-os sebesség tartományra bekalibráltunk. Ebből adódóan nem volt lehetőségünk felbontani a sebességvektorokat koordináták szerinti komponenseikre, viszont az átlagsebességeket és a fluktuációkat meg tudtuk határozni. Későbbi méréseink során 2 dimenziós szondát fogunk alkalmazni, mely képes lesz mérni a fő áramlási iránnyal párhuzamos, és az arra merőleges irányú sebességkomponenseket is.

#### 3.2. A mérési adatok feldolgozása

A CTA technika számítógépes vezérléséhez a StreamWare nevű tudományos szoftvert használtuk. Ennek segítségével végeztük el előzetesen a szonda kalibrálását is, továbbá különböző rácsokat lehetett definiálni, amelyeket a traverznek a megkívánt pozíciókba történő vezérléséhez használt a szoftver. A programon belül továbbá beállításra kerültek a következő paraméterek: mintavételezési frekvencia, mintavételezési idő, pozicionálás és mérés közötti idő (a szonda esetleges mechanikai rezgéseinek csillapodása miatt).

Az egyes mérések végeztével a programból exportálható adatok a térbeli pozíció koordinátái ( $x, y, z$ ) szerint lettek rendezve. Ezen pontbeli áramlási jellemzők az alábbiak:

- A pontonként mért pillanatnyi sebességek időátlagolt értékei:

$$\bar{u} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N u_i, \quad (1)$$

ahol  $u_i$  a pillanatnyi sebességérték,  $N$  pedig a minták száma, amely esetünkben  $N=2000$  volt.

- Az egyes pontokban mért sebességértékek szórása:

$$u_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{u})^2}. \quad (2)$$

- A turbulenciafok a pontbeli pillanatnyi sebességértékek szórásának és az átlagértékének a hányadosa:

$$Tu = \frac{u_{rms}}{\bar{u}}. \quad (3)$$

Ezen adatokat az Excel és a MATLAB programokkal dolgoztuk fel. A pontbeli értékek meghatározása után a vizsgált áramlási mezőben a jellemzők eloszlása is előállíthatóvá vált.

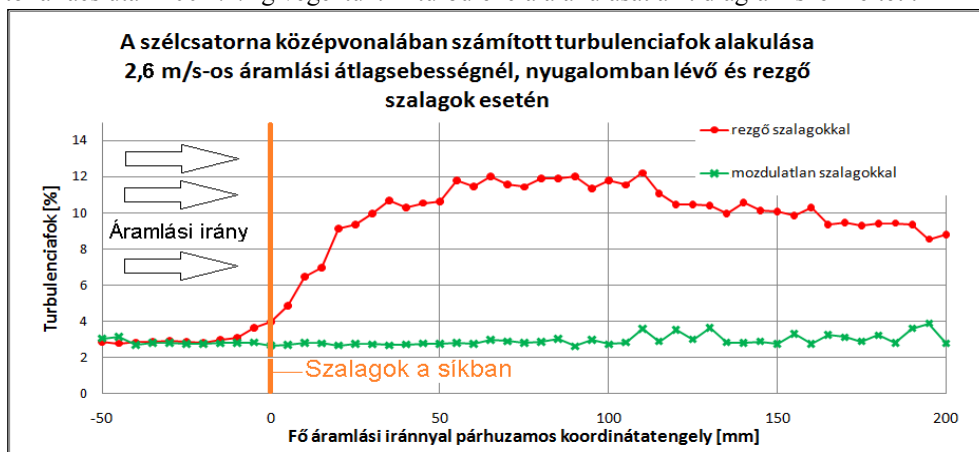
### 3.3. Különböző esetek vizsgálata

A szalagok alkalmazhatósága érdekében különböző méréseket végeztünk el, melyek során eltérő sajátosságokat figyelhettünk meg. Az áramlási sebesség változtatásán túl vizsgáltuk a szalagok rezgésének turbulenciára gyakorolt hatását, továbbá módosítottuk a szalagokat feszítő erőt is.

#### 3.3.1. Nyugalomban lévő és rezgő szalagok

Elsőként arra voltunk kíváncsiak, hogy a szalagok rezgése milyen mértékben befolyásolja az alapáramlás turbulenciáját. Ezért méréseket végeztünk állandó sebesség esetén, nem rezgő szalagokkal, majd ezt követően rezgő szalagokkal. Ezt a csatorna alatt elhelyezett feszítő szerkezettel valósítottuk meg, eltérő feszítő erőt alkalmazva. Mivel a csatorna légáramát egy frekvenciaváltóval szerelt, aszinkronmotorral hajtott radiális ventilátor szolgáltatja, a csatornában kialakuló átlagsebesség a frekvencia függvénye. Így e mérésünkhöz a változó feszültség frekvenciáját, mint paramétert 20 Hz-re állítottuk be. Ennek eredményeként a csatornában 2,6 m/s-os áramlási sebesség alakult ki.

Mérésünket a csatorna középvonalában, az áramlás irányából nézve a rács előtt 50 mm-től a rács után 200 mm-ig végeztük. A turbulencia alakulását a 4. diagram szemlélteti.

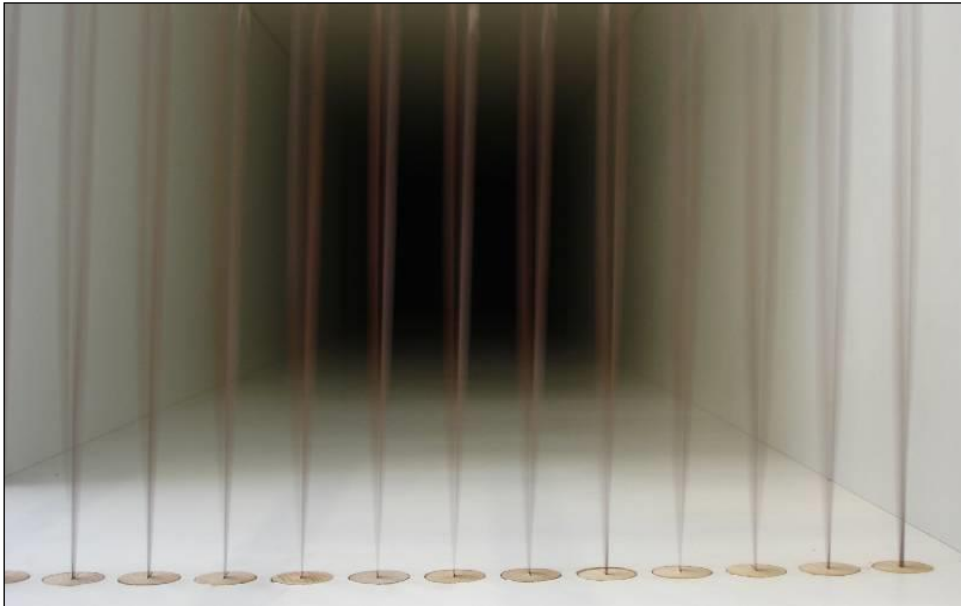


4. ábra. Nyugalomban lévő és rezgő szalagok összehasonlítása.

Míg a nyugalomban lévő szalagok nem zavarják meg az áramlás turbulenciáját, mely a vizsgált tartományon 3 % körül alakul; a rezgő szalagok a kezdeti 3%-os turbulenciafokot maximálisan 12%-osra növelik meg, amely jelentős változás. Ezek alapján kijelenthető, hogy a rezgő szalagok nagymértékben növelik az áramlás turbulenciáját, tehát alkalmazhatóságuk bizonyított, de hatásuk mértéke további méréseket igényel.

#### 3.4. A szalagok viselkedése különböző áramlási sebességek esetén

Mivel a szalagok rezgését maga az áramlás energiája biztosítja, így nyilvánvaló volt az, hogy a kialakuló rezgés, és ebből adódóan a turbulencia mértéke is függni fog az alapáramlás sebességétől. A mérések során vizsgált, rezgésbe hozott rács az 5. ábrán látható.

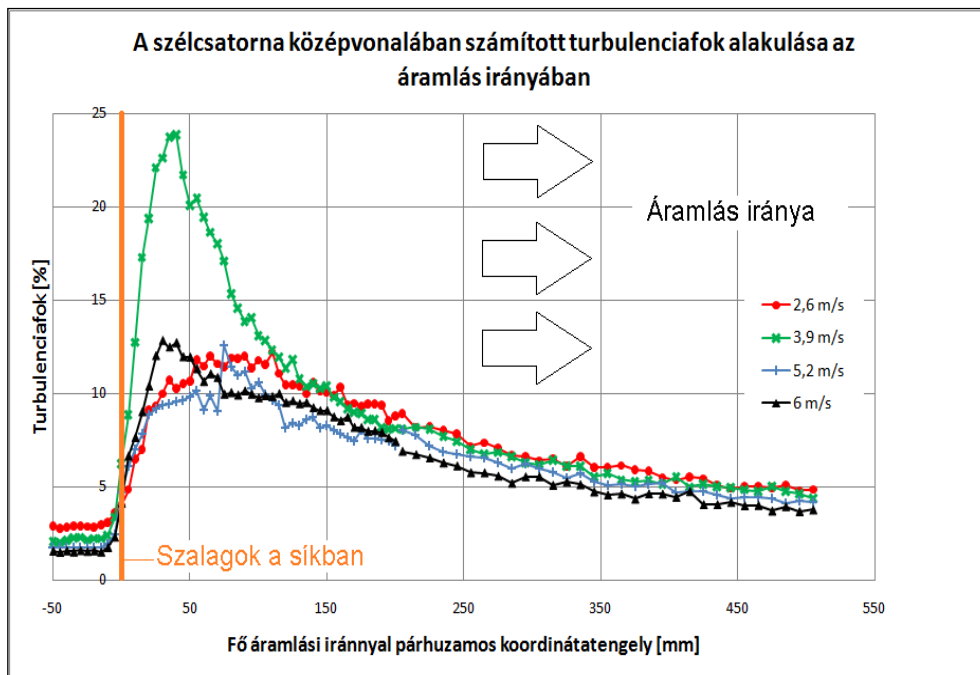


5. ábra. Az alapáramlás által rezgésbe hozott szalagok.

A kialakuló turbulencia vizsgálatához a továbbiakban ezért olyan méréseket végeztünk, melyek során négy különböző sebességet állítottunk be a csatornában, ezek  $2,6 \text{ m/s}$ ;  $3,9 \text{ m/s}$ ;  $5,2 \text{ m/s}$ ;  $6 \text{ m/s}$ . E sebességértékekhez tartozó frekvenciaértékek a frekvenciaváltó tekintetében a következők voltak:  $20 \text{ Hz}$ ,  $30 \text{ Hz}$ ,  $40 \text{ Hz}$ ,  $50 \text{ Hz}$ . Ebben a mérési sorozatban szintén a csatorna középvonalában mért a szonda, viszont a rács előtti  $50 \text{ mm}$ -es távolságtól egészen a rács után  $500 \text{ mm}$ -ig. A mérési eredményeket a 6. diagram szemlélteti. Az ábrát tanulmányozva megállapítható, hogy a sebesség növekedésével egyre csökkenő alapturbulenciát a szalagok nagymértékben megnövelik közvetlen környezetükben, azonban ez a turbulencia exponenciális függvény módjára folyamatosan lecsökken, a ráctól  $450 \text{ mm}$ -re mindegyik esetben  $5 \%$ -os érték alá. Az ábra alapján egy további fontos megállapítás is tehető. Megfigyelhető, hogy a  $3,9 \text{ m/s}$ -os sebesség esetén a többi esethez képest lényegesen nagyobb turbulencia-maximum jött létre, mely érték gyors ütemben lecsökken, majd viszonylag rövid szakasz után a többi mérés értékeihez simul. Mérési hibára gyanakodva



megismételtük a mérést, de ismét kimagasló maximum érték adódott. Valószínűleg a 3,9 m/s-os sebesség esetén, a szalagokról leváló örvények frekvenciája közel van azok saját-frekvenciájához, ezért erősödik ekkora értékűre a turbulencia. Ennek bizonyítására vagy cáfolására további mérések elvégzése szükséges.



6. ábra. A turbulencia alakulása különböző áramlási sebességek esetén.

### 3.4.1. Síkbeli vizsgálatok

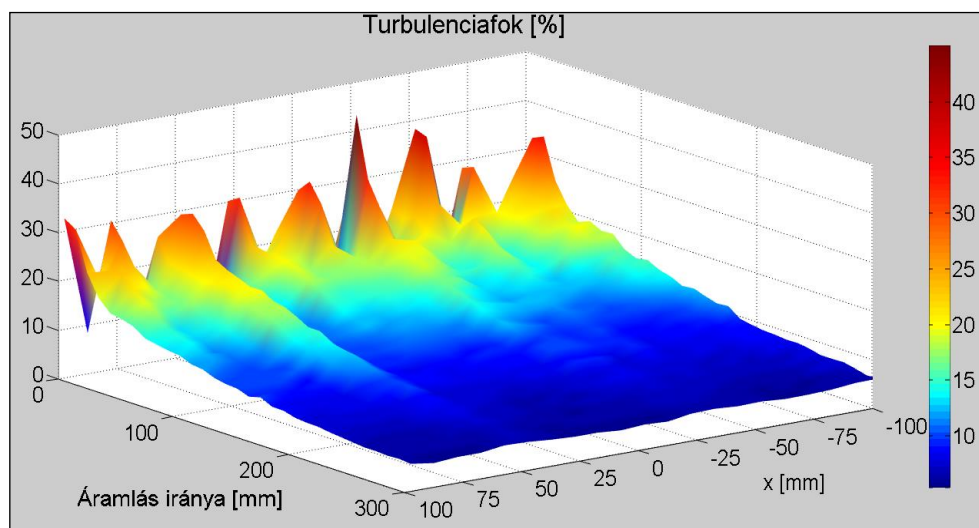
A csatorna tengelye, mint vonal menti vizsgálatokat követően síkbeli méréseket végeztünk. Elsőként vízszintes síkban mértünk a csatorna középvonalában, a szalagoktól számítva 5 mm - 305 mm közötti, 200 mm széles sávban. A mérést 30 Hz-es tápfeszültséget beállítva, azaz 3,9 m/s-os átlagsebességen végeztük el, rezgő szalagok esetén. A turbulencia alakulása a 7. ábrán látható. Megfigyelhető, hogy a függőlegesen elhelyezett szalagokhoz közel a turbulencia kimagasló értékű, azonban távolodva a rácstól, 300 mm távolságban már egységesen alacsony a turbulencia.

Továbbá közvetlenül a szalagoknál összesen 9 turbulencia-csúcs is kitűnik a diagramból. Ez nem meglepő, hiszen a 200 mm széles tartomány éppen 9 darab szalagot tartalmaz, melyek között 25 mm a távolság.

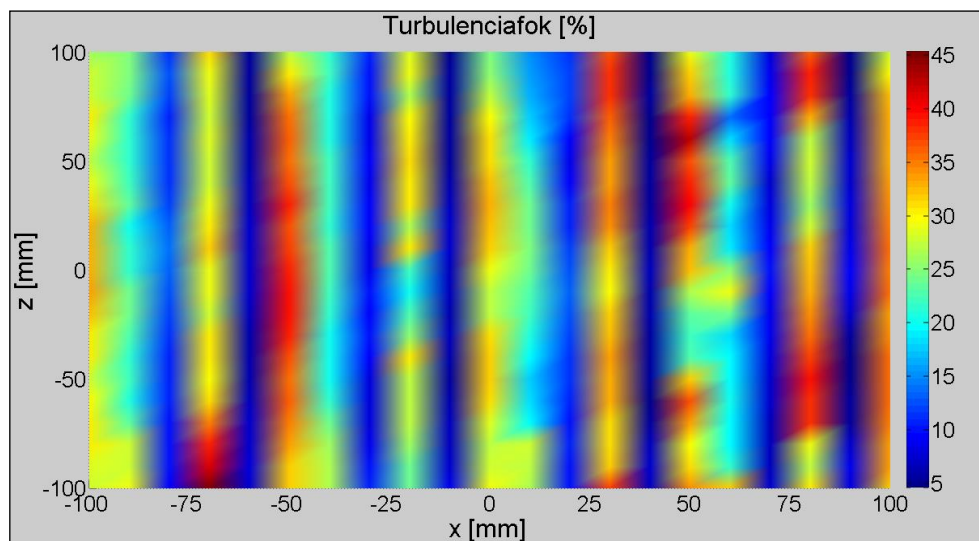
A 8. ábrán a szalagoktól 5 mm-re, függőleges síkban, 200×200 mm-es keresztmetszeten kimért turbulencia figyelhető meg. Ebben az esetben is 3,9 m/s volt az átlagsebesség, azaz 30 Hz-en működött a ventilátor. A 8. ábrán látható, hogy a maximális turbulenciafok elérte a 45%-ot, azonban ez az érték csak közvetlenül a szalag környezetében volt kimutatható. A függőleges tagoltság a szalagok közelsége miatt igen szembevetendő, ugyanis ilyen kis távon még nem volt lehetősége az áramlásnak homogenizálódnia. A 7. ábrához hasonlóan itt is 200 mm a vízszintes irányú szélesség, és úgyszintén 9 esetben találunk turbulencia-



maximum vonalakat. Mivel a mérés 10 mm-es lépésközzel készült, melynek nem többszöröse a rácsállandó (25 mm), így némely mérési pontok közelebb, mások viszont távolabb adódtak a szalagoktól. Ezek okán a nagyobb pontosság érdekében a későbbiekben szükséges egy 5×5 mm-es térbeli felbontású mérés elkészítése is.



7. ábra. Turbulencia a csatorna vízszintes középsíkjában, a szalagok után.



8. ábra. Turbulenciafok függőleges síkban, a szalagoktól 5 mm-re.

#### 4. Összefoglalás

Jelen tanulmányban bemutatásra került egy új ötlet alkalmazhatóságának vizsgálata. A szélcatornába helyezett rugalmas szalagok bizonyos feltételek mellett erős rezgésbe hozhatók az alapáramlás segítségével, így külső energiaforrás nélkül nagymértékben növelhetjük az áramlás turbulenciáját. Elmondható, hogy eddigi eredményeink alapján ígéretesnek tűnik a rezgő szalagok turbulenciagenerátorként történő felhasználása.

A mérések rámutattak jó néhány olyan kérdésre, amelyet elméleti és kísérleti úton a jövőben vizsgálni kell. Ezek közül néhány: a rugalmas lemezcsíkok rezgésének és lengésének különböző típusai és ezeknek az áramlás jellemzőitől való függésének elemzése. A rezgések frekvenciájának mérése. A rezgést kísérő hangjelenségek vizsgálata. A lemezcsíkok mozgásjellemzőinek mérése és elemzése. Továbbá érdemes elemezni a 3,9 m/s-os sebességértéknél mért feltűnően magas turbulencia érték kialakulásának okát is.

#### 5. Köszönetnyilvánítás

A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú *Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program* című kiemelt projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. A kutatómunka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Innovációs Gépészeti Tervezés és Technológiák Kiválósági Központ keretében teljesül.

#### 6. Irodalom

- [1] Mordant, N.: *Experimental high Reynolds number turbulence with an active grid*, Am. J. Physics 76(12) 1092, 2008.
- [2] Szaszák, N.: *Experimental characterization of a cost-effective active grid for turbulence generation*, MSc. Thesis, University of Miskolc, 2011.
- [3] Szabó, Zs., Zelei, A., Stépán, G.: *Stability of an elastic supported flat plate subjected to potential flow*. Journal Periodica Polytechnica Mechanical Engineering, vol. 56/2, p. 99-103., 2012.
- [4] Zelei, A., Szabó, Zs., Stépán, G.: *Rugalmasan felfüggesztett hídmodellre ható aerodinamikai erők kísérleti meghatározása Monte Carlo módszerrel*, Konferenciakiadvány, XI. Magyar Mechanikai Konferencia, az.: 139, Miskolc, 2011.
- [5] Szabó, Zs., Zelei, A., Szabó, G.: *Áramlásba helyezett rugalmasan felfüggesztett síklap dinamikájának analitikus vizsgálata*, Konferenciakiadvány, XI. Magyar Mechanikai Konferencia, az.: 113, Miskolc, 2011.
- [6] Szabó, G., Györgyi, J., Zelei, A., Szabó, Zs., Kristóf, G.: *Hídpályák belebegésének numerikus és kísérleti vizsgálata*, Konferenciakiadvány, XI. Magyar Mechanikai Konferencia, az.: 082, Miskolc, 2011.
- [7] Stephen B. Pope: *Turbulent Flows*, Cambridge, Cambridge University Press, 2000.
- [8] Hyung Suk Kang, Stuart Chester and Charles Meneveau: *Decaying turbulence in an active-grid-generated flow and comparisons with large-eddy simulation*, Journal Fluid Mech. vol. 480, pp. 129–160., 2003.
- [9] Szaszák, N.: *Development of small size wind tunnel for investigation of turbulence generators*, Konferenciakiadvány, XVI. Tavaszai Szel Konferencia, Sopron, 2013.