

ÚJ TÍPUSÚ, TURBULENCIA-GENERÁLÓ AKTÍV RÁCS LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA ÁLLANDÓ HŐMÉRSÉKLETŰ LÉGSEBESSÉGMÉRŐ TECHNIKA ALKALMAZÁSÁVAL

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF A NOVEL TYPE ACTIVE GRID BY MEANS OF CONSTANT TEMPERATURE ANEMOMETRY MEASUREMENT TECHNIQUE

Szaszák Norbert¹, Szabó Szilárd²

^{1,2}Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék, H-3515 Magyarország, Miskolc-Egyetemváros, tel: +36(46)565-154, fax: +36(46)565-471, ¹aramszn@uni-miskolc.hu, ²aram2xsz@uni-miskolc.hu

Abstract

In this paper the investigation and its results of a flow downstream of a novel type active grid is described. The examined grid contains metal tapes which can flutter on high frequency caused by the main flow itself, generated in a small size wind tunnel. The moving boundary layers in the flow produce flow with high turbulence intensity, which is expected downstream of an active grid. The high turbulence intensity causes rapid changes in the flow parameters, e.g. in the velocity fluctuations. Since its high sampling rate and its high signal to noise ratio, for this purpose an especially adequate measuring technique is the Constant Temperature Anemometry (CTA). By means of the CTA technique, inter alia the 1D energy spectrums were quantified.

Keywords: turbulence, wind tunnel, CTA, decaying turbulence, active grid.

Összefoglalás

Jelen dolgozat egy új típusú aktív turbulenciagenerátor kísérleti mérésével és az eredmények kiértékelésével foglalkozik. Egy kisméretű nyomott rendszerű nyitott típusú szélcsatornába lett beépítve a rugalmas fémszalagokból elkészített aktív rács, ahol a szalagok a légáramlás hatására periodikus mozgást végeznek. A mozgó határrétegről leváló örvények magas turbulenciájú áramlást hoznak létre, így az áramlási paraméterek, például a pillanatnyi sebességértékek gyorsan változnak. A kialakult turbulens áramlás vizsgálatához, annak előnyös tulajdonságai miatt (magas mintavételezési frekvencia, magas jel/zaj arány) az állandó hőmérsékletű légsebességmérő technikát (CTA) alkalmaztuk. Többek között meghatároztuk a turbulencia-intenzitást és az egydimenziós energiaspektrumot is.

Kulcsszavak: turbulencia, szélcsatorna, CTA, elhaló turbulencia, aktív rács.

1. A kutatás tárgya

Jelen dolgozat egy doktori témául szolgáló alapkutatás legújabb eredményeit kívánja bemutatni. A kutatás keretein belül egy olyan, laboratóriumi szélcsatornába beépíthető szerkezet fejlesztése és áramlás-

technikai vizsgálata történik, amely egy költséghatékony megoldást jelenthet a jelenleg alkalmazott, jóval bonyolultabb felépítésű eszközök mellett [1,2]. Számos áramlástanai vizsgálathoz szükséges magas intenzitású, ismert paraméterekkel rendelkező turbulenciájú áramlás létrehozása. A

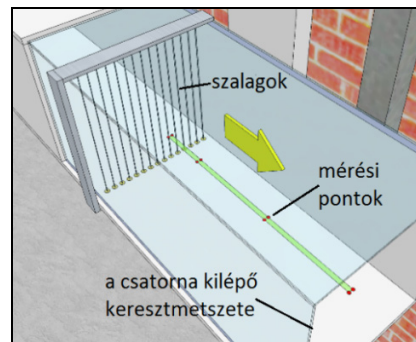
magas turbulenciájú áramlás nagymértékben növeli különböző kémiai reakciók gyorsaságát is, így a turbulencia-generálás az ipari alkalmazások tekintetében is fontos szerephez jut. Szélcsatorna-áramlások esetén e célra alkalmazhatók az úgynevezett turbulencia-generáló rácsok. Ezeknek passzív és aktív típusait különböztetjük meg. A passzív rácsok mozgó elemek nélküli szerkezetek, amelyekkel viszonylag csak kis mértékben növelhető a turbulencia [3], továbbá sok esetben a kialakuló örvényskálák sem elégségesek. Jóval nagyobb intenzitású és szélesebb skálájú turbulencia érhető el az aktív rácsokkal, amelyek (külső energiaforrással) mozgatott alkatrészekkel okoznak „zavart” az áramlásban. Ezek azonban bonyolult felépítésűek, ebből adódóan igen költséges szerkezetek. Egy költséghatékony megoldás lehet az általunk fejlesztendő szerkezet, mely az alapáramlás mechanikai energiájának egy részét hasznosítja a rácelemek mozgásához.

2. A kísérleti rács és a mérőrendszer

A vizsgált rács a nyomott rendszerű nyitott szélcsatorna [4] végén található 1000 mm hosszú 400×400 mm keresztmetszetű mérőtérben a kilépő keresztmetszet előtt 800 mm-re került beépítésre, ahogy azt az 1. ábra mutatja. Az egyes szalagok közötti távolság $M=25\text{ mm}$, így a rács összesen 15 darab függőlegesen elhelyezett, az áramlás síkjával párhuzamos felületű szalagot tartalmaz, melyeket egy merev alumíniumkeretben helyeztünk el. A szalagokat a keret felső lapján mereven rögzítettük, az alsó lapon viszont csavarmentes feszítőszervezetet készítettünk, amellyel az egyes szalagok feszessége külön állítható (alacsony sebesség esetén kisebb feszítés szükséges a rezgés kialakulásához). Maguk a rácelemek 6 mm széles és 0,05 mm vastag, 1.1274 anyagminőségű szénacél szalagok. A szélcsatornában a légáram sebességét egy

frekvenciaváltóval vezérelt radiális ventilátor segítségével 0-7 m/s értékek között állíthatjuk be, miközben egy Testo gömbszondás légsebességmérő mutatja a csatorna középvezetékében kialakult sebességet. A méréseket a műszer által kijelzett 3, 4, 5, 6 m/s-os sebességeken végeztük el úgy, hogy a szalagok rezegtek. További mérést végeztünk 3 m/s-os áramlás esetén, amikor is a szalagok rezgését megakadályoztuk: a feszítőszervezettel a rezgő állapothoz képest jóval nagyobb feszességet állítottunk be.

Az elvégzett mérések célja a rács után kialakuló áramlásban jelenlévő örvények vizsgálata volt, ezért a ráctól különböző távolságban található mérési pontokban vizsgáltuk az alapáramlás irányú sebesség-ingadozásokat. Erre a célra előnyös tulajdonságai miatt az állandó hőmérsékletű hődrótos légsebességmérő mérés technikát (CTA) alkalmaztuk: egy háromkarú traverzre rögzített egydimenziós szondával 30 kHz-es mintavételezési frekvenciával mérési pontonként 3 s-ig mértünk, majd az adatokat a StreamWare nevű CTA szoftverből exportáltuk, és a MATLAB programmal dolgoztuk fel. A szélcsatornába beépített rács és a mérési pontok elhelyezkedése az 1. ábrán látható.



1. ábra. A szélcsatorna mérőtere a beépített ráccsal, a rács után kialakított mérési pontok (2×4 db) bejelölésével.

A mérési pontok a szélesatorna vízszintes középsíkijában lettek kialakítva. Négy pont magán a középvonalon helyezkedik el, ezektől a vízszintes irányban 12 mm-re található a másik vonalban elhelyezkedő négy mérési pont. A két vonalban történő elhelyezést az indokolta, hogy az egyes szalagok mögött más értékeket vártunk a szalagok közötti tér értékeihez képest. A rácsához legközelebbi pontpár eredményei között eltérés mutatkozott, mivel a turbulencia ekkora úton még nem homogenizálódott; azonban a dolgozat terjedelmi korlátai miatt ennek vizsgálatára nem térünk ki.

3. Adatfeldolgozás

A mérési pontok koordinátáit, az adatgyűjtés időpillanatait és a CTA-szondával mért pillanatnyi sebességértékeket tartalmazó adatfájlokat a MATLAB nevű programba importáltuk adatfeldolgozás céljából.

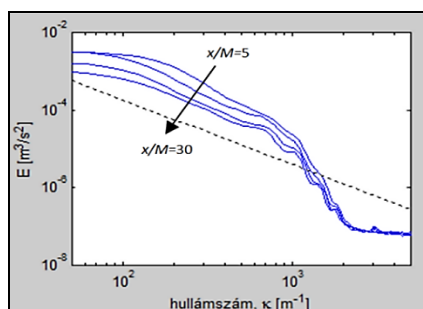
Az adatok megfelelő mátrixokba történő rendezését követően statisztikai módszerekkel határoztuk meg az átlagsebességeket és a turbulenciafok-értékeket. Mivel e mérés célja az áramlásban megtalálható örvények vizsgálata volt, ezért erre a célra egy külön scriptet készítettünk.

Maga a script beolvasta az előzőleg rendezett adatmátrixokat, majd a MATLAB beépített *spectrum.welch* és a *psd* (power spectral density) függvényeivel számította ki az egyes adatsorok energiaspektrumát. A Welch-módszer egy olyan nem-parametrikus becslési módszer, amely az adatsorból, modell feltételezése nélkül expliciten becsüli meg a vizsgált folyamat spektrumát. Az energiaspektrumhoz súlyzófüggvényként Hanning-ablakot alkalmaztunk 50%-os átlapolással. A leírt módszerrel öt különböző mérési beállítás esetén, beállításoként 8 mérési pontban határoztuk meg az energiaspektrumokat. A spektrum függőleges tengelye a spektrális energiasűrűség (E), a vízszintes tengely a hullám-

szám (κ), amely az (1) összefüggéssel számítható:

$$\kappa = 2 \cdot \pi / L, \quad (1)$$

ahol L az áramlással sodródó örvény jellemző méretének a fele. Az energiaspektrum alakulását a ráctól mért különböző távolságokban, 6 m/s átlagsebesség esetén a **2. ábra** szemlélteti.



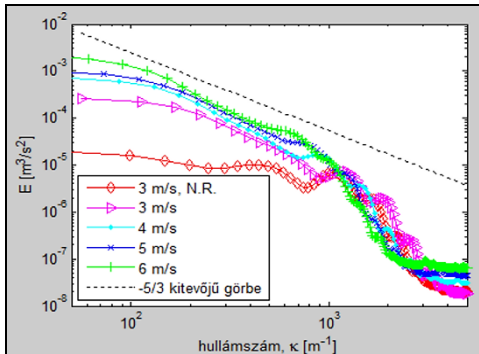
2. ábra. 6 m/s esetén felvett egydimenziós energiaspektrum a ráctól mért $x/M=5, 10, 20, 30$ távolságokban.

A diagram alapján több megállapítást is tehetünk. Fontos észrevenni, hogy a tengelyek mértékegységeit összeszorozva fajlagos energiamennyiséget kapunk ($m^2/s^2 \equiv J/kg$), így a görbék alatti terület megfelel az adott pontban mért egydimenziós fajlagos turbulens kinetikus energiának. Látható, hogy a rácsához legközelebbi pontban a legnagyobb ez az energia, távolodva a ráctól pedig monoton csökkenő értékek adódnak. Ez a tendencia a vártnak megfelel, hiszen a turbulenciáért felelős örvény-produkció csupán a rács közvetlen környezetében jellemző, távolodva a ráctól a kis örvényekben végbemenő energiadisszipáció miatt a turbulencia folyamatosan gyengül.

A nagy skálák kisebbekké való átmene-tének törvényszerűségeit az elsők között Kolmogorov orosz matematikus vizsgálta, akinek a turbulenciára vonatkozó spektrális elméletét napjainkban is alkalmazzák a turbulencia leírásához [5]. Az elmélet alapján

a spektrum három szakaszból áll: a legnagyobb örvényeket (legkisebb hullámszámok) tartalmazó „energiahordozó” tartomány (energy-containing range); a tehetetlenségi altartomány (inertial subrange), ahol a nagyobb skálák folyamatosan kisebbekké alakulnak; továbbá a disszipációs tartomány, ahol egy bizonyos örvényméret alatt megjelenik a viszkozitás szerepe, amely energia-disszipációhoz vezet. A tehetetlenségi altartományra az elmélet szerint egy $E=C\cdot\kappa^{-5/3}$ görbe illeszkedik (C konstans), amelyet a **2. ábrán** szaggatott vonallal jelöltünk. Megfigyelhető, hogy a görbéink alakulása (a tehetetlenségi altartományban) szépen közelíti az elméleti meredekséget.

A vizsgálatainkkal arra is kerestük a választ, hogy miként függ a kialakuló spektrum az átlagsebességtől. Ezért a **3. ábrán** az öt különböző mérési beállítást hasonlítottuk össze, a rácstól $20 M$ távolságban.



3. ábra. Különböző sebességeken felvett energiaspektrumok a rácstól mért $20 M$ távolságban (N.R.=nem rezgő rács).

Talán a legszembevetőbb különbség a nem rezgő rács, és az ugyanakkora átlagsebesség esetén (3 m/s) rezgő rács eredményei között figyelhető meg. Látható, hogy alacsony hullámszámok esetén (nagy örvények) közel egy nagyságrenddel kisebb az energia értéke, továbbá a nem rezgő esetben nem alakul ki a $-5/3$ -os szakasz sem. Ennek oka az lehet, hogy a rácspan lévő szalagok nyugalmi helyzetükben párhuzamosak az

áramlással, így csak minimálisan zavarják meg a csatornában kialakult alapáramlást, nem visznek örvényeket az áramlásba (nincs produkció). Továbbá megfigyelhető, hogy nagyobb sebességekhez rendre nagyobb energiaértékek tartoznak (főleg az energiahordozó tartományban), és a rezgő szalagok után mindig kialakul a tehetetlenségi altartomány is, amely szépen közelíti az elméleti görbét.

4. Következtetések

Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapíthatjuk, hogy az aktív rács alkalmazásával jelentősen növelhető az áramlás turbulens energiája. Az aktív rács mögött kialakuló turbulencia széles skálájú; a spektrumképek hasonlóságot mutatnak más szakirodalmakban található eredményekkel [1].

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Innovációs Gépészeti Tervezés és Technológiák Kiválósági Központ keretében teljesül.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Kang, H. S., Chester, S., Meneveau, C: *Decaying turbulence in an active-grid-generated flow and comparisons with large-eddy simulation*, J. Fluid Mech. vol. 480, Cambridge University Press, Egyesült Királyság, 2003, 129-160.
- [2] Makita, H: *Realization of a large-scale turbulence field in a small wind tunnel*, Fluid Dynamics Research 8, Észak-Holland, 1991, 53-64.
- [3] Kamruzzaman, Md., Djenidi, H. S., Chest, L., Antonia, R. A: *Behaviours of Energy Spectrum at Low Reynolds Numbers in Grid Turbulence*, I. J. of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering Vol. 7, No. 12, 2013, 1385-1389.
- [4] Szaszák, N: *Development of Small Size Wind Tunnel for Investigation of Turbulence Generators*, Tavaszi Szél Konferenciakiadvány, DOSz, Budapest, 2013, 217-224.
- [5] Pope, S. B: *Turbulent flows*, Cambridge University Press, 2000, 229-242.