

Vortex áramlásmérő nemlineáris viselkedésének vizsgálata numerikus szimuláció alkalmazásával

Investigation on the nonlinear behavior of a vortex flow meter via conducting numerical simulations

*FENYVESI Bence, MSc hallgató
Dr. HORVÁTH Csaba, adjunktus*

BME Áramlástan Tanszék, Budapest, 1111 Bertalan Lajos u. 4 - 6., Tel.: (+36-1) 463 2464, 463 4072
Fax: (+36-1) 463 3464, Web: <http://www.ara.bme.hu>, E-mail: fenyvesi@ara.bme.hu, horvath@ara.bme.hu

ABSTRACT

Vortex shedding flow meters can be used for a wide range of flow measurement applications with various kinds of fluids. The measurement principle, based on which the instrument operates states that when a body is placed in a flow, characterized by a certain Reynolds-number, a von Kármán vortex street will be shed from the surface of the body. The critical point in applying this method comes from the assumption that Strouhal number is constant for the given Reynolds number range. My goal is to examine this phenomenon by conducting numerical simulations and measurements, in order to confirm the presence of the presumed nonlinear behavior.

ÖSSZEFOGLALÓ

Az örvényhagyó elven működő vortex áramlásmérők széles körben alkalmazhatóak cseppfolyós, illetve gáz/gőz közegek térfogatáramméréséhez. A műszer működésének alapját képező áramlástechnikai elv kimondja, hogy adott Reynolds-szám tartományban egy áramlásba helyezett testről Kármán-féle örvénysor úszik le. A módszer kritikus pontja a Strouhal-szám értékének feltételezett állandósága a vizsgált Reynolds-szám tartományon. Célom, hogy numerikus szimulációval vizsgáljam meg a jelenséget, és megerősítem a mérési eredményeim alapján feltételezett nemlineáris viselkedés jelenlétét.

KULCSSZAVAK

vortex, örvényleválás, áramlásmérő, numerikus szimuláció, nemlinearitás

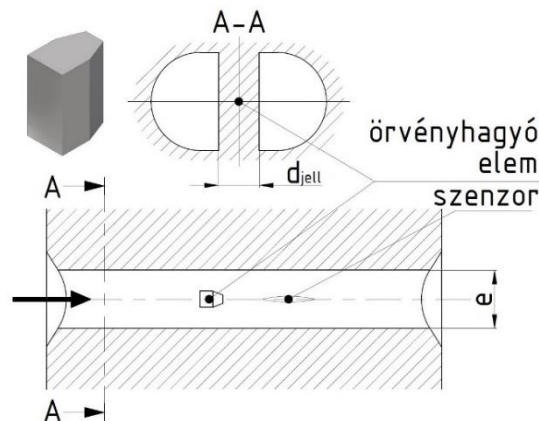
1. MÉRÉSI ELV ÉS ELŐZETES FELTEVÉSEK

A vortex áramlásmérők sokoldalú áramlásmérő műszerek, melyek az utóbbi években széles körben terjedtek el az iparban, ugyanis az eszköz széles hőmérséklettartományban, gyakorlatilag közegfüggetlen módon alkalmazható. Ma már egyre több gyártó kínálatában szerepelnek, és jelentenek folyamatos kutatás-fejlesztési kihívást. A műszerben található örvényhagyó elem felületéről leváló Kármán-féle örvénysor leválási frekvenciáját egy szenzor segítségével detektálja az eszköz. A frekvencia hozzávetőlegesen egyenes arányosságban van a közeg sebességével [1], amelyből a mérőcsatorna geometriai jellemzőinek ismeretében számítható a térfogatáram. Ideális esetben, a Strouhal-szám Reynolds-szám függetlensége esetén, tökéletesen lineáris karakterisztikájú áramlásmérő műszer lenne kialakítható, amely az örvényleválás frekvenciájával tökéletesen arányos térfogatáram adatot szolgáltat a teljes mérési tartományon [2]. A tényleges viszonyok feltérképezése érdekében egy esettanulmányul választott műszer kalibrálására alkalmas berendezést építettem, amellyel felvettem az

eszköz kalibrációs diagramját (a folyamat részletes leírását lásd: [3]). Az áramlásmérő gyártó által dokumentált pontossága a katalógusban szerepel [4]. Kérdésként merül fel, hogy ebben a pontossági korlátban mekkora szerepet játszik a nemlinearitás, mely a Strouhal-szám Reynolds-szám függésének tulajdonítható. A szükséges következtetések megtétele érdekében a kiértékelt mérési eredmények kiegészítéseként numerikus szimulációkat végeztem az áramlásmérő modelljén.

2. NUMERIKUS MODELL

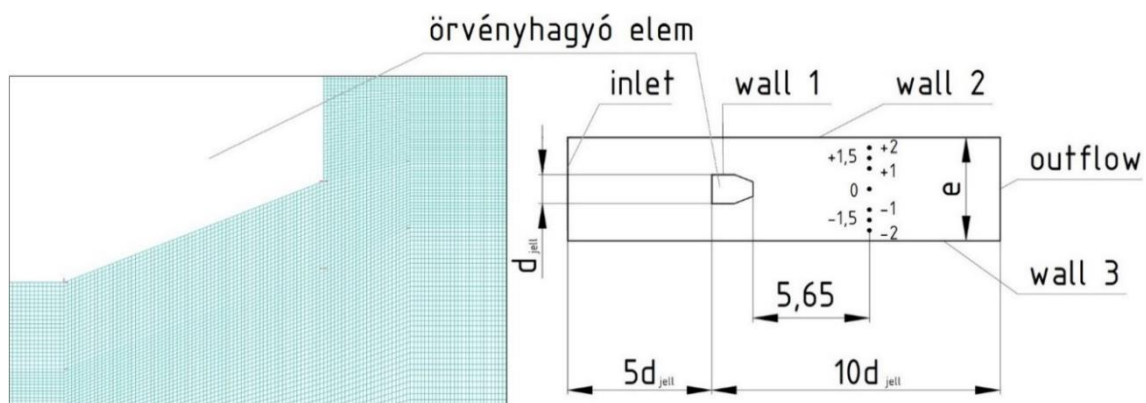
A numerikus modell elkészítéséhez szükséges a műszer belső geometriájának ismerete. Ezen adatok nem nyilvánosak, ezért azok megszerzése csak alternatív módszerekkel lehetséges. Mivel az Áramlástan Tanszék birtokában lévő két, egymással teljesen megegyező vortex áramlásmérő közül az egyik hibás volt, ezért egy vágószerszám segítségével metszetet készítettem a már használhatatlan műszer mérőcsatornájáról. A metszetről lemért adatok alapján kiegészítettem a hazai forgalmazótól (SMC Hungary Kft.) kapott háromdimenziós modellt úgy, hogy az már tartalmazza a mérőcsatornát, az örvényhagyó elemet illetve a nyomá szenzort. Elkészítettem továbbá a mérőcsatorna rajzát is, mely az 1. ábrán látható.



1. ábra

Az áramlásmérő háromdimenziós modellje és hosszmetzeti ábrája

A műszer mérőcsatornájának kétdimenziós modelljét az 1. ábrán bemutatott hosszmetset alapján készítettem el (lásd: 2. ábra). Az oldalfalakra (*wall2*, *wall3*) és az örvényhagyó elem felületére (*wall1*) *No Slip Wall* peremfeltételt adtam meg, a súrlódási tényező értéke $0,1$. A tartományt egy közel 454 000 elemszámú strukturált hálóval fedtem le, amelyet ANSYS ICEM programban készítettem. Az örvényhagyó elem környezetében, illetve a leválási zóna utáni nyomószámban lineáris léptékezéssel sűrítettem a hálót, valamint az oldalfalak menti határrétegben is sűrűbb hálót alkalmaztam. Az elkészített numerikus háló egy részlete a 2. ábrán látható. A fal y^+ értékek a szimulációban szükséges áramlási sebességek mellett mindenhol 1 alatt maradtak.



2. ábra

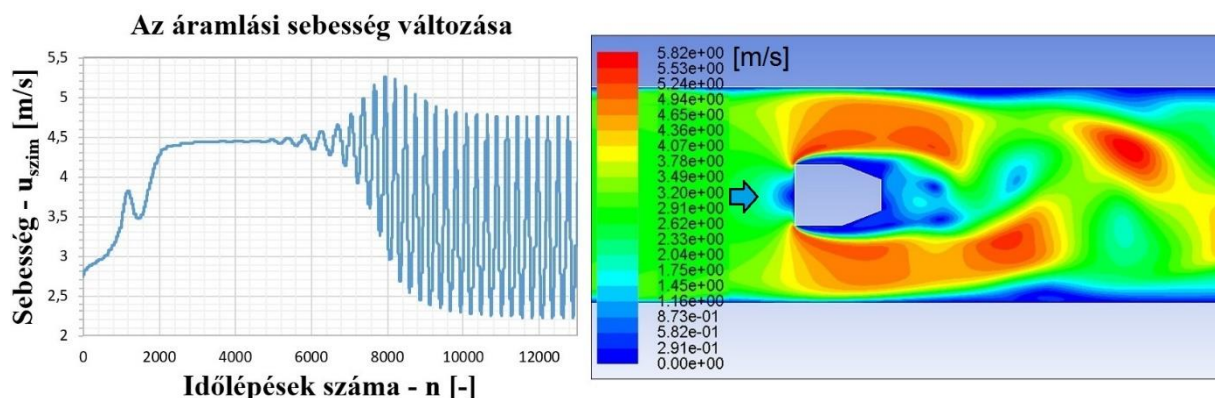
A mérőcsatorna modell, a peremfeltételek, és a monitor-pontok

3. SZIMULÁCIÓS PARAMÉTEREK

Mivel az a cél, hogy numerikus szimuláció alkalmazásával megkapjam a Strouhal-szám – Reynolds-szám görbét, ezért több eltérő – jelen esetben 6 db – sebességen szükséges számításokat futtatni. A modellben az örvényhagyó elem után elhelyezett monitor-pontok helyét a műszer szenzorának és örvényhagyó elemének valós távolsága alapján határoztam meg. Az itt mért aktuális sebesség- és nyomásértékeket minden időlépésben egy szövegfájlba mentettem, ezeket használtam fel az adatfeldolgozás során. A hálók elkészítése után ANSYS Fluent környezetben kétdimenziós tranziens numerikus szimulációkat futtattam. $K-\omega$ SST turbulenciamodellt alkalmaztam. Mivel a mérések során $30\text{ }^\circ\text{C}$ -s desztillált vízzel dolgoztam, ezért az áramló közeg anyagjellemzőit is ez alapján adtam meg. A vizsgálati hőmérsékletet is eszerint, $30\text{ }^\circ\text{C}$ -ra állítottam be. Az *inlet* peremfeltételnél megadott sebességértékeket a különböző vizsgálati esetekre 1 és 6 m/s között arányosan elosztva adtam meg. A turbulenciaintenzitásra 5% -ra, a turbulens viszkozitási arány értékére pedig 10 -re állítottam be. Az alkalmazott időlépések nagyságát az elemi intervallumhossz, illetve a felvett áramlási sebesség segítségével határoztam meg, úgy, hogy a Courant-szám értéke 1 alatt maradjon. Így minden beállított időlépés érték 10^{-6} s nagyságrendbe esik. A futtatási tapasztalatok azt mutatták, hogy a nyomás- illetve sebességváltozások kiértékelését a középvonaltól $1,5\text{ mm}$ távolságra a legcélszerűbb elvégezni, mert a leváló örvények középpontjai megközelítőleg itt haladnak át. Ennek megfelelően a „-1,5” jelzésű monitor pontban „mért” adatsorokat értékelem ki (lásd: 2. ábra).

4. EREDMÉNYEK

A leírt paraméterekkel $2,7\text{ m/s}$ belépő sebesség mellett futtatott numerikus szimuláció eredményei a 3. ábrán láthatók. Megfigyelhető a sebesség változása a „-1,5” jelű monitor pontban. A diagram ismeretében egyértelműen megállapíthatók a függvény minimumhelyei. Az egyes minimumértékek különbségét képezve megállapítható az egy periódusra vonatkozó időlépésszám (n). A kezdeti tranziens után a 7000 . időlépés körül ($0,042\text{ s}$) kezdenek kialakulni az elemről periodikusan leváló örvények, majd a sebességingadozás amplitúdója egyre nő, és körülbelül 10000 időlépés ($0,06\text{ s}$) után mondható el, hogy kialakult a végleges, Kármán-féle örvénysorokkal jellemezhető áramlási kép. A kialakult áramlási viszonyok melletti sebességeloszlás ábráján látható az elem mögötti leválási buborék, illetve a periodikusan leváló örvénysor. A szűkebb csatorna-keresztmetszet az örvényhagyó elemnél az áramlás kontrakcióját okozza, amely a kontinuitási egyenletet kielégítve felgyorsul. Megfigyelhető továbbá a fali súrlódás jelenléte, illetve hatása az áramlási viszonyokra.



3. ábra

Az áramlási sebesség és az abszolút sebességmező a mérőcsatornában

A meghatározott időlépésszám és az időlépés nagyságának ismeretében (Δt_{szim}) számítható az örvényleválási frekvencia:

$$f_{szim} = \frac{1}{n \cdot \Delta t_{szim}} \quad (1)$$

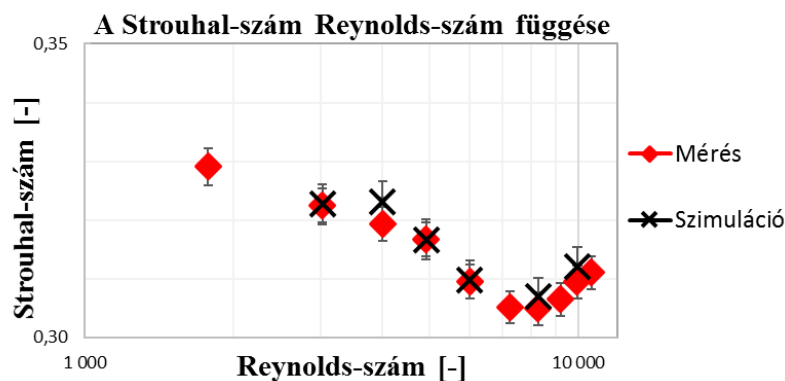
Az jellemző méret (d_{szim}) jelen esetben az örvényhagyó elem áramlásra merőleges szélessége. Az áramlási sebesség (u_{szim}) és az örvényleválási frekvencia, ismeretében számítható az adott esetre vonatkozó Strouhal-szám:

$$Str_{szim} = \frac{f_{szim} \cdot d_{szim}}{u_{szim}} \quad (2)$$

A jellemző Reynolds-szám meghatározása adott esetre, az áramlási sebesség, az örvényhagyó elem szélességének és a közeg kinematikai viszkozitásának (ν) ismeretében lehetséges:

$$Re_{szim} = \frac{u_{szim} \cdot d_{szim}}{\nu} \quad (3)$$

A szimuláció és a mérések kiértékeléséből kapott Reynolds-szám – Strouhal-szám diagramok a megfelelő hibásávokkal [3] a 4. ábrán láthatók.



4. ábra

A Strouhal-szám változása a mérés, illetve a szimuláció során

Megfigyelhető, hogy a Strouhal-szám változása egy bizonyos trend szerint alakul a Reynolds-szám függvényében. A két pontsor gyakorlatilag teljes mértékben fedi egymást, az eltérések mindenhol hibásávon belül vannak, tehát a mérések és a szimulációs vizsgálat eredményei jól fedik egymást és megfeleltethetők a valós viszonyoknak. Kijelenthető, hogy a megfogalmazott feltételezések beigazolódtak, azaz a műszer bizonytalanságának mértékét befolyásolja a Strouhal-szám változása a Reynolds-szám függvényében. Bár az egyedi geometriájú örvényhagyó elem esetén tapasztalt nemlinearitás által okozott hiba kisebb, mintha a gyártó egy egyszerű körhengert alkalmazott volna [2], nagysága semmiképpen nem elhanyagolható, így befolyásolja a mérési pontosságot. Az eredményekből levonható legfontosabb következtetés, hogy az elemgeometria esetleges továbbfejlesztésével nagymértékben csökkenthető a műszer nemlinearitási hibája.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk elkészítését támogatta a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal a K 112277 pályázat keretein belül.

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben", valamint a „Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" című projektek szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projektek megvalósítását a TÁMOP-4.2.2.B-10/1-2010-0009 és a TÁMOP-4.2.1/B-09/11/KMR-2010-0002 programok támogatják.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Dr. Lajos Tamás. (2008), Az áramlástan alapjai, *Műegyetemi Kiadó*, Budapest
- [2] Endress+Hauser GmbH+Co. (1990), Durchfluss Fibel. 3. Ausgabe, ISBN3905615037, <http://www.endress.com>
- [3] Fenyvesi Bence (2016), Vortex áramlásmérő nemlineáris viselkedésének vizsgálata, *Tudományos Diákköri Konferencia, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar*, Budapest
- [4] SMC Co. (2015), 3-color display Digital Flow Switch for Water-Series PF3W, <http://www.smcworld.com>