

Periodikusan mozgó, áramlásba helyezett testek ellenállástényezőjének mérése

Measurement of the drag coefficient of bluff bodies oscillating in steady flow field

HUZSVÁR Tamás¹, Dr. HŐS Csaba², ERDŐDI István³

¹egyetemi hallgató, ²egyetemi docens, ³doktorandusz
BME Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék,
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. www.hds.bme.hu

Abstract

Pressurized industrial systems are protected by pressure relief valves against overpressure. Under dynamic conditions, the moving parts of these valves oscillate periodically in counter-flow. The purpose of our efforts is to experimentally determine the increased drag coefficient due to this periodic motion, and to calculate the additional force using the Morison's method for sphere, cone and disc valve body geometries.

Keywords: Morison's force, drag coefficient, periodic motion, experiment,

Összefoglaló

Napjainkban a nyomáshatároló szelepek a nagynyomású technológiák elsődleges túlnyomással szembeni védelmi eszközei. Ezen eszközök esetében megfigyelték, hogy a szelep nyitásakor a szeleptest periodikus mozgást végez. Törekvéseink célja a periodikus mozgásból származó megnövekedett ellenállástényező érték kísérleti meghatározása és az ebből származó többleterő kiszámítása a Morison módszer segítségével, a három legelterjedtebb szeleptest alakra (gömb, kúp, tányér).

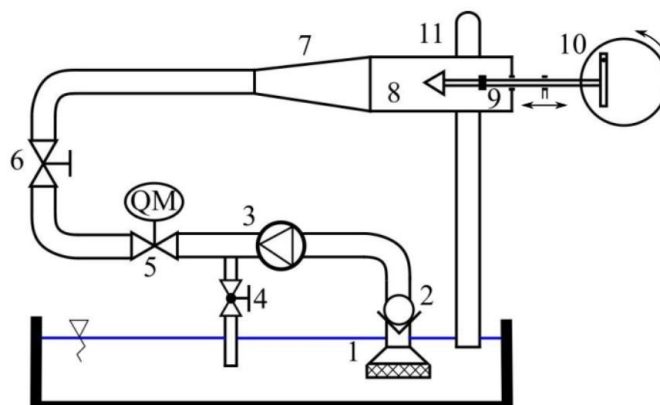
Kulcsszavak: Morison erő, ellenállás tényező, periodikus mozgás, kísérlet,

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a nyomáshatároló szelepek az atmoszférakülsőtől eltérő nyomáson zajló technológiák elsődleges túlnyomással szembeni védelmi eszközei. A hasadó tárcsákhoz képest előnyük abban rejlik, hogy a túlnyomás elvezetésekor nem szenvednek maradó deformációt, így nem csak nyomásvédelmi, de szabályzási célokra is felhasználhatók. Működésük közben azonban a rugós nyomáshatároló szelepek esetében a szeleptest periodikus lengése figyelhető meg, ld. [1] és [2]. Szakirodalmi források (pl. [3] és [4]) alapján ismert, hogy az áramlásba helyezett periodikusan mozgatott testek ellenállástényezője nagyban eltérhet az állandósult állapotban mérhetőtől, így e jelenség a szelepek esetében nem csak méretezési nehézséget, de komoly biztonságtechnikai kockázatot is rejt magában; a megnövekedett ellenállástényező következtében a szelepszárra ható többleterő végett.

Törekvéseink célja ezen többleterő meghatározása a legjellemzőbb szeleptest alakok esetében, a Morison féle periodikus kiértékelés segítségével, melyhez elvégeztük mind az állandósult állapotbeli, mind pedig a periodikus mozgáshoz tartozó ellenállástényező meghatározását a BME Hidrodinamikai Rendszerek Tanszékének laboratóriumában található, speciálisan áramlásba helyezett, periodikusan mozgatott testek vizsgálatára szolgáló mérőberendezésén.

2. A MÉRŐBERENDEZÉS



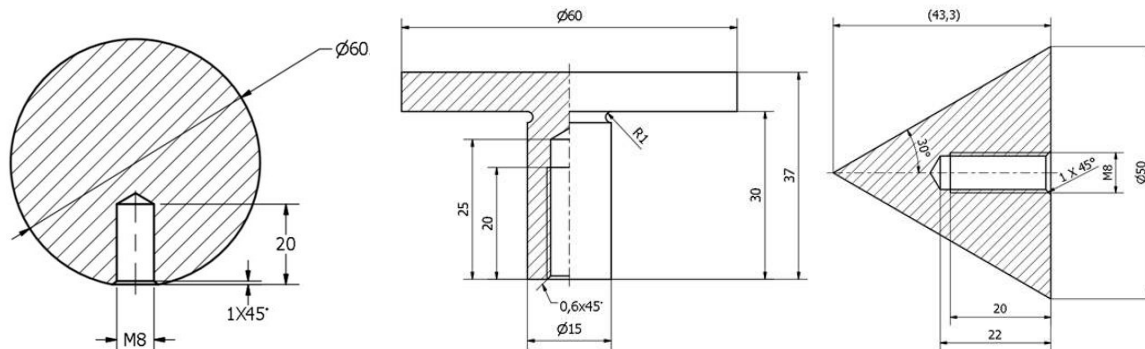
1. ábra

A mérőberendezés vázlata

Az 1. ábrán a mérő berendezés fő részei láthatóak. A mérés során a mérőközeget – esetünkben vizet – a 3 jelű szivattyú az 1 jelű szívókosáron és a 2 jelű lábszelepen keresztül szívja fel az ipari víz csatornából. A szívókosár feladata a nagyobb szilárd szennyezők kiszűrése, míg a lábszelep a leállás esetén történő teljes leürülést hivatott megakadályozni. A szivattyú után a közeg a rendszerbe épített 5 jelű térfogatáram mérőn, ezt követően pedig a 6 jelű tolózár halad keresztül mindaddig míg el nem éri a 7 jelű diffúzort. A tolózár felelős a térfogatáram – ezen keresztül a rááramlási sebesség – szabályozásáért. A diffúzoron való keresztülhaladás után éri el a közeg a 8 jelű mérőteret. A mérőtest periodikus mozgatásáért a 10 jelű kulissza felelős, mely egy villanymotor segítségével kerül meghajtásra. A mérőtestre ható áramlási erő a 9 jelű erőmérő cellával kerül rögzítésre. A közeg a mérőtérből a 11 jelű kifolyó csövön távozik, míg teljes leállás esetén a mérőrendszer a 4 jelű gömbcsapon keresztül üríthető le teljesen.

Az ellenállástényező meghatározását a szakirodalmi források és ipari tapasztalatok alapján leggyakoribb szeleptest alakokra végeztük el, melyek a következők:

1. Gömb - 60 mm-es átmérővel.
2. Sík körlap, szintén 60 mm-es átmérővel.
3. 30°-os kúpszöggel rendelkező kúp, 50 mm-es alapkör átmérővel.



2. ábra

A mérőtestek műszaki rajza

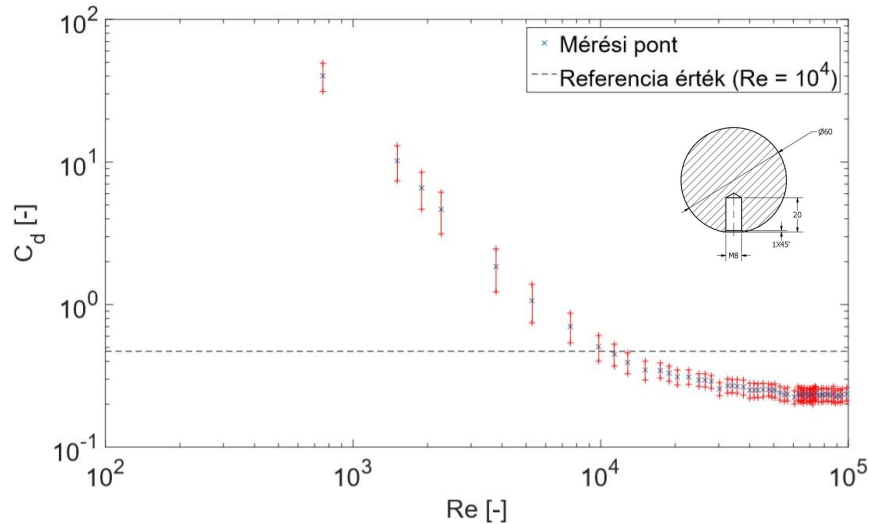
Az ellenállástényező mérések megkezdése előtt a mérőrendszer validációját végeztük el a mérőtestek tehetetlenségi erejének meghatározásával. Mivel ismert volt számunkra a mérőtest tömege (m), a mozgás amplitúdója (A_m) – vagyis a kulisszakerék átmérője –, illetve a mozgás frekvenciája (ω_m) így a tehetetlenségi erő elméleti értéke meghatározhatóvá vált a következő képlet alapján

$$F_{in} = mA_m\omega_m^2 \sin \theta, \quad (1)$$

ahol θ egy adott szöghelyzetet jelöl a kulisszakerék fordulata mentén. Az elméleti és mért értékek összevetéséből megbizonyosodhattunk a mérőrendszer működőképességéről és e mellett a Savitzky-Golay simítás paramétereinek kiszámítására is lehetőségünk nyílt.

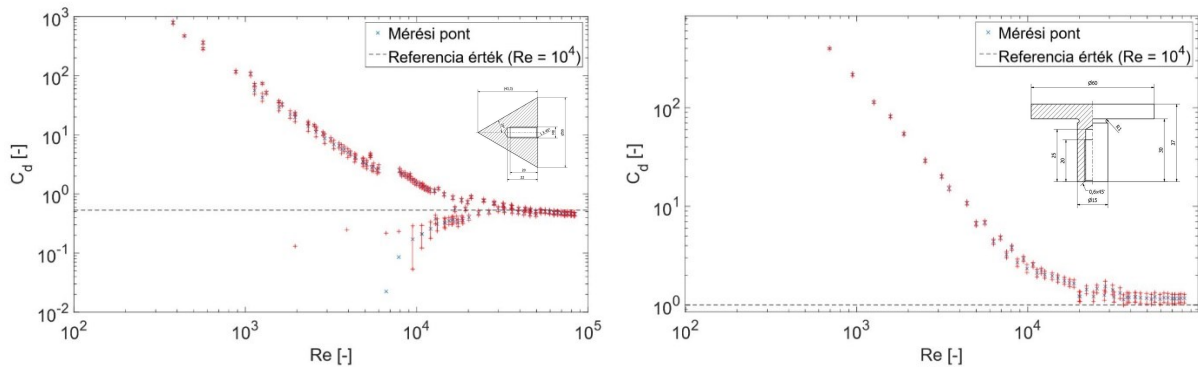
3. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A mérőrendszer ellenőrzése után elvégeztük az állandósult állapotbeli ellenállástényező meghatározását a Reynolds-szám függvényében. A Reynolds-számhoz szükséges referencia méretet a kúp esetében az alapkör átmérője, még gömb és körlap esetében a keresztmetszeti átmérő jelentette. A rááramlási sebesség pedig a térfogatáramból került visszaszámításra. A hibasávok az adott mérési pontban rögzített adatok szórását szemléltetik.



4. ábra

Gömb mérőtest állandósult állapotbeli ellenállás tényezője a Reynolds-szám függvényében
Referencia érték: $Re = 10^4$ -nél $C_d = 0,47$, ld [5]



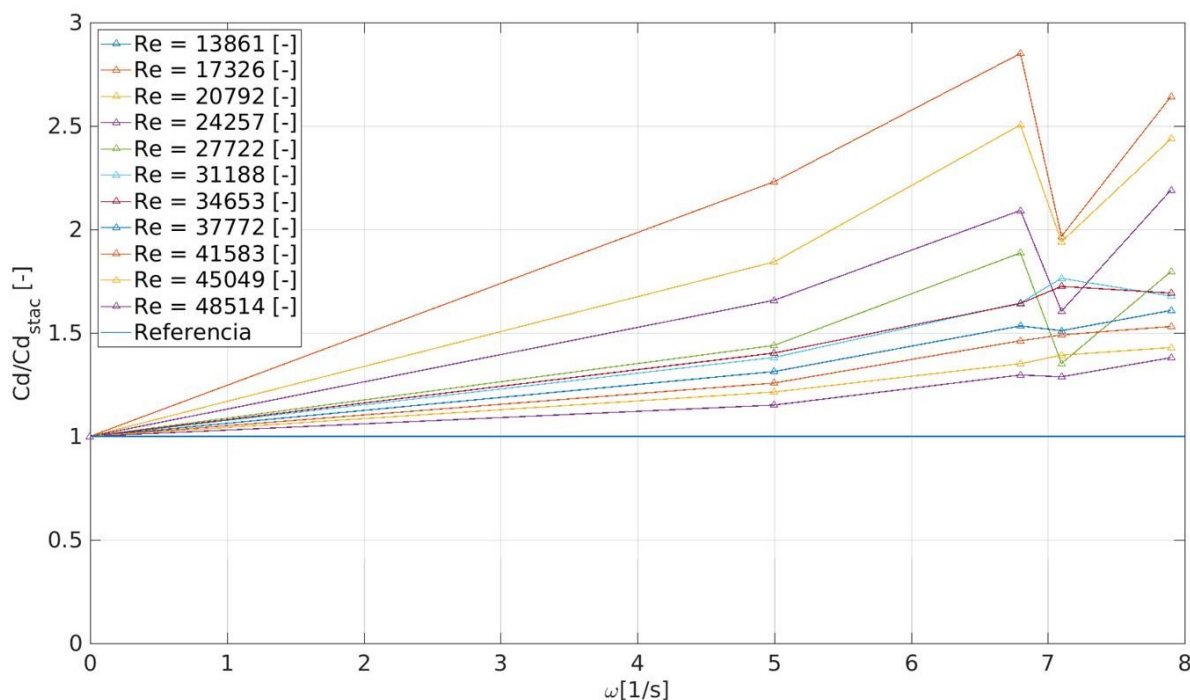
5. ábra

Kúp és körlap mérőtest állandósult állapotbeli ellenállás tényezője a Reynolds-szám függvényében
Referencia értékek:

kúp: $Re = 10^4$ -nél $C_d = 0,53$, tányér: $Re = 10^4$ -nél $C_d = 1$, ld [5]

Ahogy az a 4. és 5. ábrán jól látható, az általunk mért és [3] alapján felvett ellenállás tényező értékek között a 10^4 Reynolds-szám érték alatti tartományban jelentős különbség észlelhető, ennek fő forrása a mérőberendezésünk alacsony térfogatáram és erőmérések esetén tapasztalható, a hibasávokból is kitűnő bizonytalansága, illetve a blokkolási tényező nagy mértéke (21,38%). A 10^4 Reynolds-szám érték felett azonban elhanyagolhatóan kis eltérés tapasztalható a szakirodalmi forrásokban leírt értékektől. Ezt és az ellenállás tényező szemmel látható és szakirodalmi forrásokkal is egyező állandóságát kihasználva a periodikus ellenállás tényező értékeket az adott állandósult állapotban mérhető ellenállás tényezőjének arányában ábrázoltuk, ez látható a 6. ábrán. A diagramon jól látható,

hogy már a legalacsonyabb körfrekvencia esetében is jelentős eltérés tapasztalható az állandósult állapotbeli értékhez képest. Ezen jelenséget mindhárom mérőtest esetében észleltük.



6. ábra

A periodikus és állandósult állapotbeli ellenállás tényező aránya a körfrekvencia függvényében, kúpos mérőtest esetén

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Összefoglalásként kijelenthető, hogy a mérések során bizonyítást nyert számunkra az, hogy periodikus gerjesztés hatására az ellenállás tényező növekszik. E mellett a mérési eredményekből meghatároztuk az egyes frekvencia értékekhez tartozó Morison erőt [3], [4], [6] és [7] nyomán. Érdekes módon egy határfrekvencia után meredeken csökken az ellenállástényező az össze megfűvási sebesség esetén, ezt a jelenséget a jövőben alaposabban megvizsgáljuk.

Módszerünk további fejlesztési lehetőségei egyértelműen a méréseink nagyobb frekvenciatartományban történő elvégzésének irányába mutatnak, a jelenség pontosabb és részletesebb feltérképezésének érdekében.

Irodalomjegyzék

- [1] S. Chabane, S. Plumejault, D. Pierrat, A. Couzinet, and M. Bayart, Vibration and chattering of conventional safety relief valve under built up back pressure, IAHR International Meeting, 2009.
- [2] Cs. J. H'os, A. R. Champneys, K. Paul, and McNeely M. Dynamic behavior of direct spring loaded pressure relief valves in gas service: Model development, measurements and instability mechanisms, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2014.
- [3] G. H. Keulegan and Carpenter L. H. Forces on cylinders and plates in an oscillating fluid, Journal of Research of the National Bureau of Standards, 60(5):423–440, 1958.
- [4] T. Sarpkaya. Wave forces on offshore structures, Cambridge University Press, 2010.
- [5] Dr. Sighard F. Hoerner, Fluid-Dynamic Drag, Bricktown New Jersey, 1965.
- [6] R. L. P. Verley and G. Moe. The forces on a cylinder oscillating in a current. River and Harbour Laboratory, The Norwegian Institute of Technology, 1979.
- [7] T. Sarpkaya and M. Storm. In-line force on a cylinder translating in oscillatory flow, Applied Ocean Research, 7(4), 1985.