

# BAYONET CSÖVES HŐCSERÉLŐ VIZSGÁLATA CFD-VEL

## CFD ANALYSIS OF BAYONET TUBE HEAT EXCHANGER

Venczel Gábor\*

### ABSTRACT\*

*This paper details the examination of a bayonet tube heat exchanger for use in the chemical industry and potentially as part of a continuous stirred-tank reactor. The effect of the mass flow rate changes was studied, using Computational Fluid Dynamics. The data is reported in terms of temperature, pressure drop, surface heat transfer coefficients and heat gain, over a range of Reynolds numbers. Much of the heat gained by the tubes is in the annular flow of the bayonet tube.*

### 1. BEVEZETÉS

Számos vegyipari eljárás legfontosabb készüléke a keverővel ellátott kettős köpenyű reaktor. Ahhoz, hogy ezekben a készülékekben megfelelő minőségű termék kerüljön előállításra elengedhetetlen feltétel a folyamat paramétereinek a kívánt szinten tartása. Például exoterm folyamatoknál az állandó hőmérsékletszint tartásához a felszabaduló reakcióhőt el kell vonni. Ezen intenzív hőelvonásban nyújthat segítséget a reaktortérbe helyezett bayonet csöves hőcsereberendezés.

Ilyen típusú berendezés részletes vizsgálatával több szerző is foglalkozott [1,3,4], azonban a hőátviteli folyamatokban meghatározó szerepet játszó hőátadási tényezők meghatározására csak durva becsléseket adtak vagy mérési eredményekből kerültek meghatározásra.

Jelen cikk a berendezés numerikus szimulációját mutatja be. A szimulációhoz alkalmazott szoftver segítségével különböző tömegáramok mellett közvetlenül meghatározásra kerül a vizsgált tartományban a hőmérséklet-, nyomás- és sebesség eloszlás, a hőátadási tényezők és az elvont hőmennyiség.

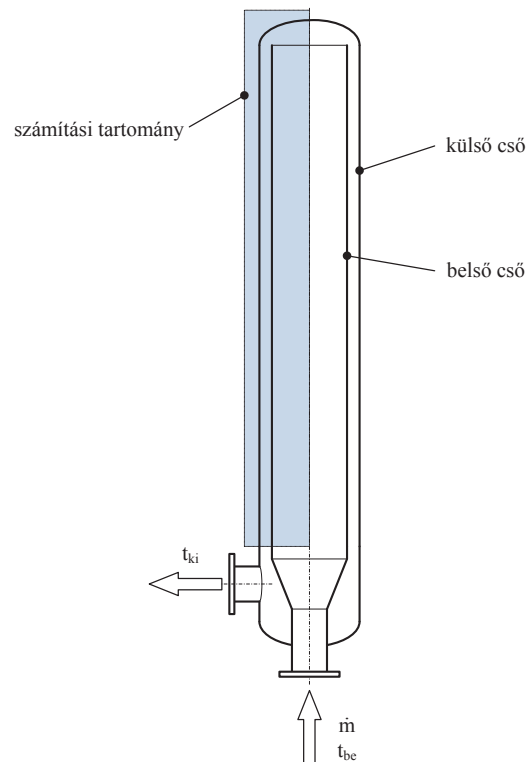
### 2. A VIZSGÁLT BERENDEZÉS JELLEMZÉSE

A szerkezet két – hossz tengelyük mentén – egymásba helyezett csőből áll. A hűtőközeg (jelen esetben hűtővíz) a belső cső egyik végén kerül bevezetésre, a

másik végén az úgynevezett fordulókamrából a belső és a külső cső közötti körgyűrűben áramlik vissza, majd a külső cső végén távozik. A csövek közti rés mérete relatíve kicsi, így a külső gyűrűben az áramlási sebesség viszonylag nagy.

A szerkezet egy helyen van fixen rögzítve (praktikusan a csomók közelében), a többi csúszó megfogás, ezáltal elkerülhető a dilatáció okozta belső feszültség, hiszen így a szerkezet tengelyirányban szabadon elmozdulhat. A konstrukció kiválóan alkalmazható nagy hőmérséklet különbségek esetén is, további előnye, hogy a hűtővíz bevezetés és elvezetés közel egy helyről valósítható meg, így egyszerűbben lehet összekapcsolni több hőcsereberendezést.

Az 1. ábra a berendezés szerkezeti kialakítását mutatja be. A hőcsereberendezés jól közelíthető tengelyszimmetrikusként, így a számítási procedúra jelentősen leegyszerűsíthető, ha a numerikus szimuláció során csak az ábrán jelölt számítási tartomány kerül modellezésre.



1. ábra. A vizsgált berendezés modellje

\* tanársegéd, ME Vegyipari Gépek Tanszéke

A vizsgálatok során a reaktortér tökéletesen kevert térnek tekinthető, hőmérséklete állandó, így a reaktortér oldali hőátadási tényező is konstans.

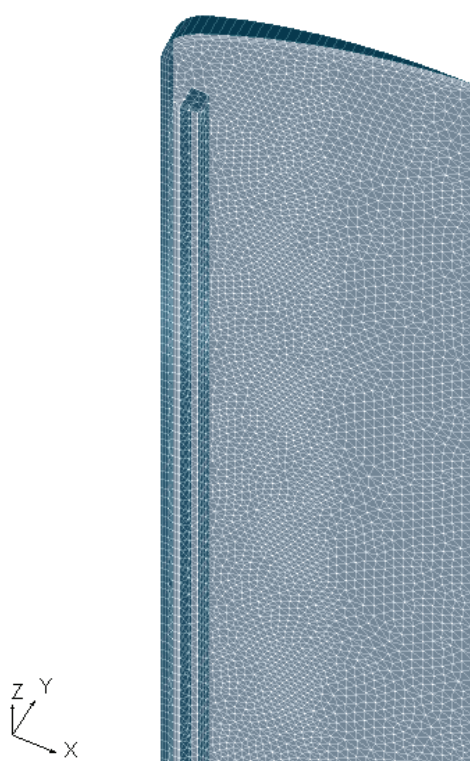
Ebből kifolyólag a számítási tartományból elhanyagolásra került a külső csőfal, mivel a hűtővíz mennyiségének változása erre nincs hatással.

### 3. A SZIMULÁCIÓS ELJÁRÁS ISMERTETÉSE

A vizsgálatok során alkalmazott CFD (Computational Fluid Dynamics) szoftver az SC/Tetra v9-es. Az SC/Tetra egy véges térfogat módszeren alapuló, strukturálatlan hálót készítő áramlás- és hőtani szimulációs szoftver, amely a japán CRADLE Co. fejlesztése.

A szoftver csak 3D-os numerikus szimulációra alkalmazható [2], azonban nem minden esetben szükséges a számításokat a teljes modellre elvégezni. Jelen esetben például a vizsgált tartomány forgásszimmetrikus, így elegendő egy megfelelő méretű cikkelyt kivágni a modelltől és hozzárendelni a periodikus peremfeltételeket. Ezáltal a számítási igény – így a szimulációhoz szükséges idő is – jelentős mértékben csökkenthető, vagy a pontosság többszörösére növelhető.

CRADLE



2. ábra. Forgásszimmetrikus számítási tartomány (részlet)

A 2. ábrán a szimulációra kész bayonet csöves hőcserélő modell számítási tartományának fordulókamra része látható. A teljes geometriából egy 5°-os cikkely került kimetszésre, így az eredeti elemszám 1/72 részével kell csak számolni.

A szimulációs folyamat első lépése tehát a geometria megalkotása, mely történhet pl. egy 3D-s rajzoló program segítségével (ilyenkor pl. ACIS szilárdtestobjektum-fájlként vagy STEP modellfájlként kell elmenteni), vagy egyszerűbb geometriák esetén a test közvetlenül beprogramozható (pl. Parasolid szövegfájlként).

A megalkotott geometriát az SC/Tetra ellenőrzi és létrehoz egy natív modellt, amely már szoftver specifikus. Ezt követően a jellemző geometriai elemekhez (pl. hőátadó felületeknek) nevet lehet hozzárendelni, ezáltal egyszerűbben beazonosíthatóak a későbbiek során.

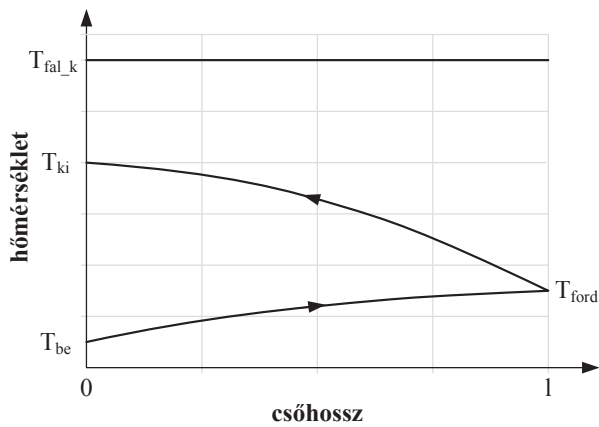
A numerikus szimuláció véges térfogatok módszerén alapul, így elengedhetetlen a modell megfelelő hálózása. Erre a szoftverbe integrált modul áll rendelkezésre, amellyel egyszerűen készíthető bármilyen bonyolult geometriára strukturálatlan (tetra-, penta- és hexaéder) háló. Lehetőség van eleve behálózott modell importálására is (pl. NASTRAN vagy ANSYS fájlok is beolvashatók).

A következő lépés az analízis kondícióinak megadása, azaz ki kell választani a számítási módszereket (áramlás- és/vagy hőtani modulválasztás, illetve egyéb speciális modulok választhatók) és típusokat (stacioner/instacioner). Definiálni kell a zárt térfogatok (fluidumok és szilárd anyagok) tulajdonságait, amelyhez egy részletes anyaglista adatbázis áll rendelkezésre. Lehetőség van új anyagok definiálására is. Ezek után kell megadni a kezdeti- és peremfeltételeket, összerendelni a periodikusan ismétlődő felületeket, illetve beállítani a kívánt outputokat.

### 4. AZ ANALÍZIS

Egy, a bayonet típusú szerkezet hőátviteli vizsgálatával foglalkozó cikk [3] rámutat, hogy az átadott hőmennyiség független a hűtővíz áramlás irányától. Amennyiben rendelkezésre állnak a hőátadási tényezők értékei, a probléma kisebb elhanyagolásokkal egydimenziós feladatra redukálható, azaz a hőmérséklet-eloszlás a cső mentén analitikusan számolható.

Ez alapján egy hűtővíz mennyiséghez tartozó hőmérséklet-lefutás sémát mutat be a 3. ábra. Az ábrából látható, hogy a reaktortérből közvetlenül hőt a külső cső és a belső cső közti körgyűrűben áramló hűtővíz von el, miközben hőt ad le a belső csőben áramló hűtővíznek.



3. ábra. Hőmérséklet eloszlás a cső mentén

A CFD szimulációval hét eset került modellezésre, esetenként eltérő hűtőközeg áramokkal (0,25-20 t/h), minden más input paraméter változatlan.

A szimuláció során stationer üzemiállapotban kerül meghatározásra a hőmérséklet-, nyomás- és sebesség eloszlás a teljes számítási tartományban, valamint a hőátadási tényezők értéke a hőátadó felületek mentén. Így az SC/Tetra számítási moduljai közül kiválasztásra került hőtani (termodinamikai) modul, áramlástan (tömeg- és impulzus-megmaradás) modul, RANS (Standard k- $\epsilon$ ) turbulencia modul valamint a periodikus határfelülethez szükséges modul.

A számítások során alkalmazott peremfeltételek:

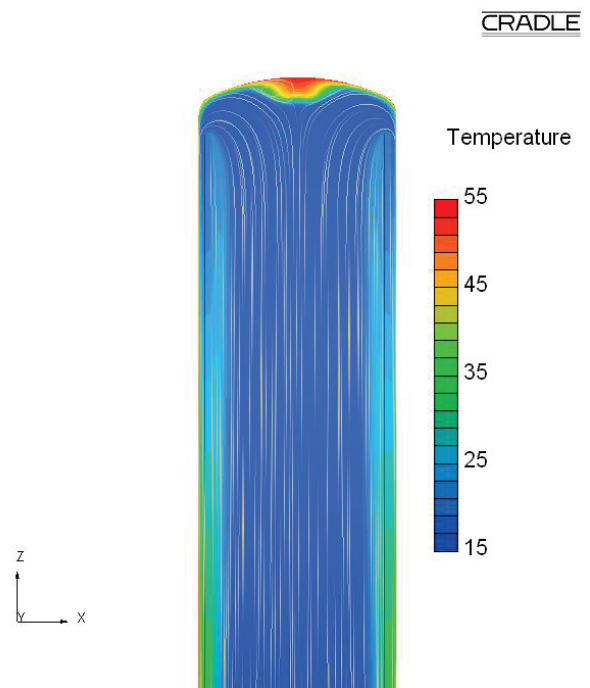
- $T_{be}=15\text{ }^\circ\text{C}$
- $p_{ki}=0\text{ bar}_g$
- $v_{be}=0,0025\text{-}0,2\text{ m/s}$  ( $m_{be}=0,25\text{-}20\text{ t/h}$ )
- $t_{fal\_k}=55\text{ }^\circ\text{C}$
- $\alpha_{fal\_k}=2500\text{ W/m}^2\text{K}$

## 5. EREDMÉNYEK

A szimuláció eredményeinek megtekintésére rendkívül sok lehetőséget van, a szoftver alkalmas grafikai megjelenítésre (pl. hőmérséklet színskála, sebesség vektorok, nyomvonalak, izofelületek, stb), vagy a kívánt outputok diagramként is megjeleníthetők, de képes az adatok táblázatos formába történő mentésére is.

Lehetőség van több modellezett rész egy képen történő megjelenítésére is, vagy pl. a szimmetria miatt kimetszett modellrészek teljes egészésként ábrázolhatóak.

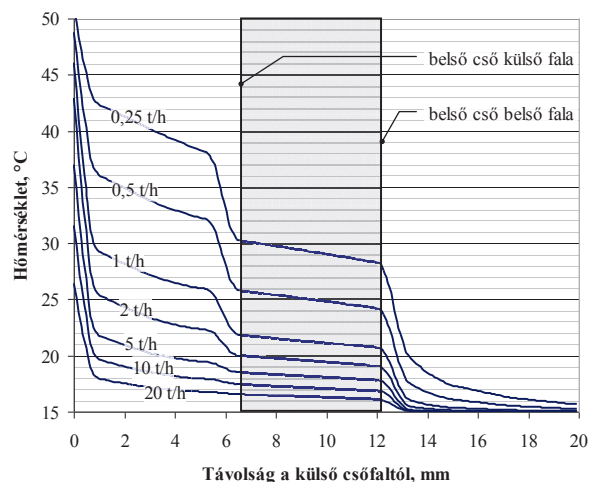
A 4. ábra a hőcserélő felső részének metszetét ábrázolja, a hőmérséklet-eloszlás látható a legkisebb hűtővíz tömegáram esetén. Észrevehető a fordulókamra tetején kialakult kisebb holtter, ahol a hűtővíz hőmérséklete lokálisan megnőtt. Az ábrán érdekességképpen látható még néhány nyomvonal-görbe, amelyeket egyébként látványos mozgókép felvételeken is rögzíteni lehet.



4. ábra. Hőmérséklet eloszlás

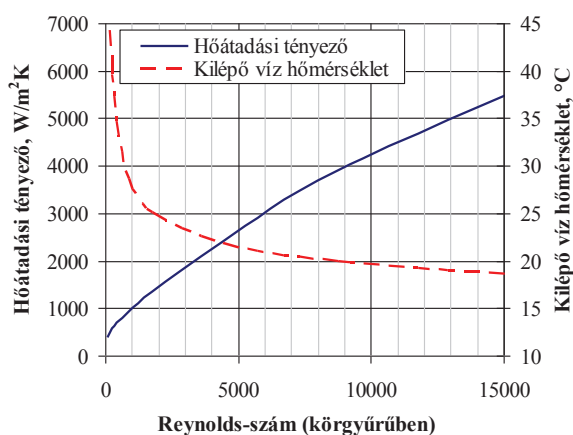
A falhőmérsékletek illetve a hőmérséklet profilok meghatározásához metszősíkok mentén felvett adatsorok kerültek lementésre, melyekből táblázatkezelő szoftver segítségével készült diagram az 5. ábrán látható.

A diagram a különböző futtatási esetekhez tartozó lokális hőmérséklet görbéket mutatja meg a hőcserélő egyik alsó pontján felvett síkon (közel a kilépési ponthoz). A görbék szépen mutatják a belső cső két oldalán történő hőátadást (és filmelméletből ismert – a falak mentén kialakuló – határrejteget) valamint a csőfalon keresztül történő hővezetést.



5. ábra. Keresztmetszeti hőmérséklet profilok a szerkezet alsó részén

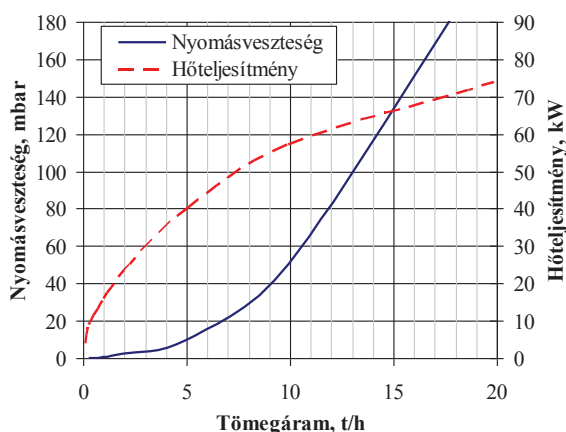
A belső csőfalban látható hőmérséklet profilok szemmel láthatóan nem párhuzamosak, mivel a hűtővíz tömegáramának növelésével a kilépő hűtővíz hőmérséklete (ezáltal a környűri és a belső cső között hőátvitel hajtóereje is) csökken.



6. ábra. Kilépő hűtővíz hőmérséklet és környűrűben jellemző hőátadási tényező a Reynolds-szám függvényében

A tömegáram növelése a környűrűben drasztikus sebesség növekedést eredményez, ezzel párhuzamosan a (környűrűvel egyenértékű csőátmérővel számolt) Reynolds-szám értéke is növekszik. A 6. ábrán a hőcserélőből kilépő hűtővíz hőmérséklete és a belső cső külső falára jellemző hőátadási tényező értéke látható a Reynolds-szám függvényében.

A 7. ábra a berendezés nyomásvesztését mutatja meg a hűtővíz tömegáramának függvényében, illetve ki- és belépő hűtővíz hőmérséklet különbségéből számolt időegység alatt elvont hőmennyiséget.



7. ábra. Nyomásvesztés és időegység alatt elvont hő a hűtővíz tömegáramának függvényében

A CFD-vel meghatározott eredményeket összefoglalóan az 1. táblázat tartalmazza.

Ssz.	m, t/h	$T_{be}$ , °C	$T_{ki}$ , °C	Q, kW	$\alpha_{kgy}$ , W/m <sup>2</sup> K	dp, mbar
1.	0,25	15	40,4	8,8	~580	0,08
2.	0,5	15	34,7	11,4	~700	0,15
3.	1	15	28,6	15,8	~930	0,8
4.	2	15	25,1	23,3	~1340	2,3
5.	5	15	21,9	39,8	~2400	9,7
6.	10	15	19,9	57,3	~3900	50,4
7.	20	15	18,2	73,9	~6100	218,6

1. táblázat. Eredmények

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben egy bayonet csöves hőcserélő berendezés numerikus szimulációja illetve a modellezés során alkalmazható elhanyagolások kerültek bemutatásra. A futtatások eredményei (hőmérséklet-, nyomás- és sebesség eloszlás, hőátadási tényezők és az elvont hőmennyiség a tömegáram függvényében) grafikus és táblázatos formában is rendelkezésre állnak. További kutatási cél a hőcserélő szerkezeti optimalizálása, a külső cső átmérőjének-, a környűri méretének és a hőcserélő hosszának hatása a hőátadásra és a nyomásvesztésre.

## 7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## 8. IRODALOM

- [1] T. O'DOHERTY, A.J. JOLLY, C.J. BATES, Analysis of a bayonet tube heat exchanger, Applied Thermal Engineering 21 (2001) 1-18.
- [2] SC/Tetra V9 User's Guide, Operation Manual, Software Cradle Co., Ltd. (2011) 2/3-2/27.
- [3] VENCZEL G., Hőátvitel vizsgálata Bayonet típusú szerkezetben, Miskolci Egyetem Doktoranduszok Fóruma, Gépészmérnöki Kar szekciókiadványa, Miskolc (2004) 60-64.
- [4] T. O'DOHERTY, A.J. JOLLY, C.J. BATES, Optimisation of heat transfer enhancement devices in a bayonet tube heat exchanger, Applied Thermal Engineering 21 (2001) 19-36.
- [5] A.J. JOLLY, Development and validation of a computer code for bayonet tube heat exchanger analysis, Ph.D. thesis, University of Wales, 1998.
- [6] R.L. WEBB, Principles of Enhanced Heat Transfer, Wiley, New York, USA, 1994.