

Egyfázisú modellek alkalmazása hőmérsékletfüggő newtoni és nem newtoni nanofolyadékok áramlására lépcsős csatornában

Single-phase models for temperature dependent Newtonian and non-Newtonian nanofluid flows in backward facing step channel

KLAZLY, Mohamad¹, VADÁSZNÉ Dr. BOGNÁR Gabriella¹

doktorandusz hallgató, egyetemi tanár
Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet
3515 Miskolc-Egyetemváros, +36 46 565111
eng.klazly@gmail.com, v.bognar.gabriella@uni-miskolc.hu

Abstract

The use of Al_2O_3 and water nanofluids is analysed to enhance heat transfer in a rectangular backward facing step channel. The thermophysical properties depending on the volume fraction are considered. Experimental results are available for the two-dimensional flows when the lower wall is heated with a constant heat flow and the other walls are isothermal. The temperature rise within the recirculation zones was numerically analysed and compared with the experimental data. The change in the heat transfer is presented using single-phase models in the range of 280... 420 Reynolds numbers.

Keywords: nanofluid, volume fraction, backward facing step channel, recirculating zone, heat transfer

Kivonat

Al_2O_3 és víz nanofolyadék alkalmazását elemezzük a hőtadás fokozása érdekében téglalap alakú lépcsős csatornában. A termofizikai tulajdonságokat a térfogataránytól függően tekintjük. A nanorészecskék 0-8% térfogatarányait vesszük figyelembe. Kétdimenziós áramlásokra kísérleti eredmények állnak rendelkezésre, amikor az áramlásnál az alsó falat állandó hőárammal melegítik, a többi fal pedig izoterm. A recirkulációs zónákon belüli hőmérséklet emelkedést numerikusan elemezzük és összehasonlítjuk a kísérleti adatokkal. A hőtadás változását egyfázisú modellek segítségével mutatjuk be a 280...420 Reynolds-szám tartományban.

Kulcsszavak: nanofolyadék, térfogatarány, lépcsős csatorna, recirkulációs zóna, hőtadás

1. BEVEZETÉS

A lépcsős csatornában áramlás vizsgálata az elmúlt évtizedekben jelentős figyelmet kapott a szakirodalomban [1]. Ez a geometria a fűtési és hűtési rendszerekben az egyik leggyakoribb, mint például a hőcserélőkben és a kémiai berendezésekben. Armaly és mtsai. kísérletileg és elméletileg vizsgálták a lépcsős áramlást [2]. Munkájukban leírták a kétdimenziós áramlás előrejelzéseit, amelyeket numerikusan kaptak meg a tömeg és a momentum megőrzését leíró elliptikus differenciálegyenletek megoldásával. Az eredményeiket összehasonlították a különböző Reynolds-számokra kapott kísérleti eredményekkel, és az értékek jó egyezést mutattak. Gartling kifejlesztett egy numerikus módszert, amely kétdimenziós áramlásra egy Galerkin-alapú végesesemes módszerrel, $Re=800$ Reynolds-szám mellett adott szimulációs eredményeket [3]. Ezenkívül Kim és Moin numerikus módszerrel tanulmányozták a háromdimenziós áramlást időfüggő összenyomhatatlan áramlásokra. A módszerük frakcionált, időosztáson alapuló, közelítő faktoros technika [4]. Vradis és Nostrand másodrendű implicit véges különbség módszerrel vizsgálták a lamináris áramlás hőtadási problémáját egy csatornában. Számításaik különböző Reynolds-számokon alapultak, és arról számoltak be, hogy a falak mentén a tágulási sebesség növekedése a hőtadási együttható növekedését eredményezheti [5].

A dolgozat célja, hogy bemutassuk az Al_2O_3 és víz nanofluid áramlásának hidrodinamikai és termikus jellemzőinek numerikus szimulációs előrejelzéseit lépcsős csatornában, és elemezzük azokat a

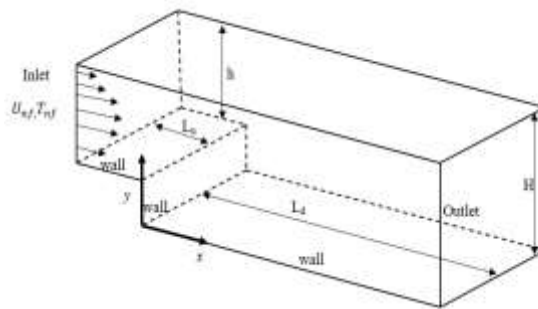
paramétereket, amelyekre hatással lehet a nanorészecskék térfogatarányának növelése. A sebességeloszlás, az átlagos hőátadási együttható, a fal nyírófeszültségének és a folyadék fizikai tulajdonságainak változásain keresztül mutatjuk be a nanorészecskék paraméterekre gyakorolt hatását.

2. MATEMATIKAI MODELLEZÉS

A kétdimenziós áramlás geometriáját az 1. ábra mutatja. A lamináris, kényszerített, hőátadásos áramlást numerikusan vizsgáljuk. A geometriai arányra a $H/h=1,9432$ értéket választottuk, hasonlóan a [2] irodalomban alkalmazott értékhez. A lefelé irányuló fal hossza L_d , a felfelé eső fal pedig L_u . H a csatorna magasságát jelöli lefelé, h pedig a beáramló csatorna magasságát jelöli. Jelen munkában az összes geometriai hosszúságot a csatorna magassága alapján választjuk meg, így $L_u=5h$, míg $L_d = 10h$. A fal hőmérséklete állandó T_w . A többi fal szigetelt. Az alkalmazott adatokat az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat A geometriai méretek

Jelölés	Érték [mértékegység]
L_d	10 [m]
L_u	5 [m]
H	1,9432 [m]
h	1 [m]
T_w	274 [K]
T_{nf}	300 [K]



1. ábra. A lépcsős áramlási tér

A nanofolyadékban a szilárd részecskék jelenlétét egyfázisú megközelítéssel vizsgáljuk. A hőátadás és a folyadékáramlás tulajdonságait kétdimenziós, állandó, lamináris áramlásban elemezzük a csatornában nem összenyomható folyadékokra. Az alapfolyadék fizikai tulajdonságai közül a hővezető képességet, a fajlagos hőkapacitást, a sűrűséget és a viszkozitást tekintjük hőmérsékletfüggőnek. A nanorészecskék fizikai tulajdonságait hőmérséklettől függetlennek tekintjük. A nanofolyadék áramlást meghatározó egyenletek:

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad (1)$$

$$(\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = -\frac{1}{\rho_{nf}} \nabla p + \frac{\mu_{nf}}{\rho_{nf}} \nabla^2 \mathbf{V} \quad (2)$$

$$(\mathbf{V} \cdot \nabla) \bar{T} = \alpha_{nf} \nabla^2 \bar{T} \quad (3)$$

ahol \mathbf{V} a sebességvektor, μ_{nf} a nanofolyadék dinamikai viszkozitása, ρ_{nf} a sűrűsége, α_{nf} a hődiffúziós tényezője és p a nyomás.

A víz hőmérséklet függő termofizikai tulajdonságait a (274 K, 300 K) hőmérséklet intervallumban [6, 7] szerint vesszük figyelembe. A nanofolyadék dinamikai viszkozitását a Brinkmann formulával számítjuk ki, a sűrűség, hőkapacitás és a hővezetőképesség meghatározására szolgáló képletek

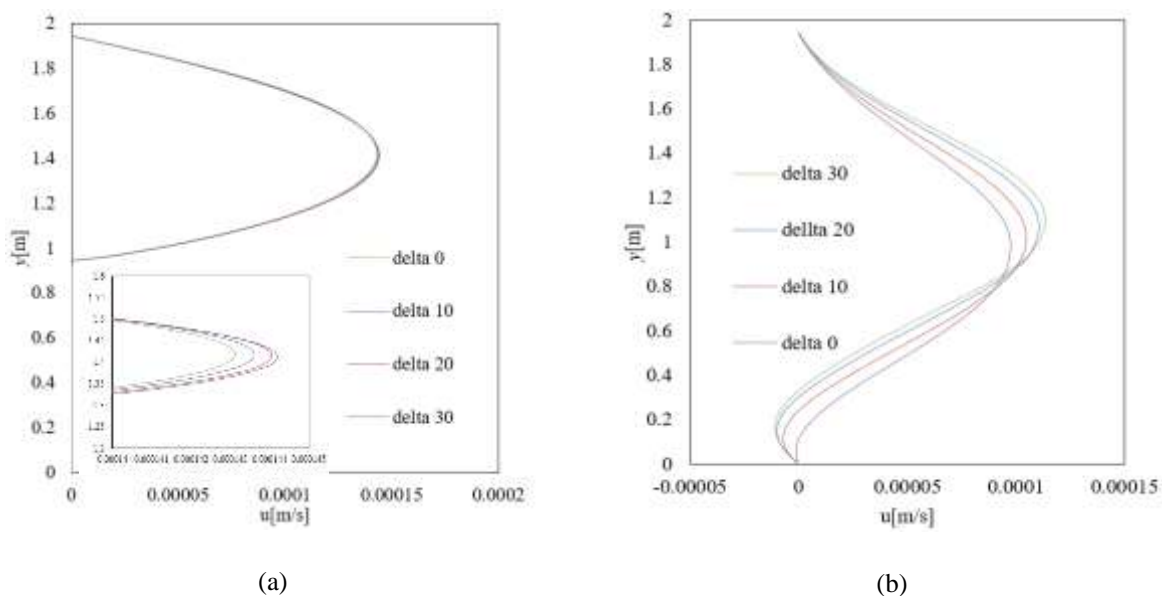
$$\rho_{nf} = (1 - \phi) \rho_b + \rho_p \phi, \quad C_{p,nf} = \frac{\phi(\rho C_p)_p + (1 - \phi)(\rho C_p)_b}{\rho_{nf}} \quad \text{és} \quad k_{nf} = k_b \frac{k_p + 2k_b - 2\phi(k_b - k_p)}{k_p + 2k_b + \phi(k_b - k_p)} \quad (4)$$

ahol b az alapfolyadékra, p a részecskékre vonatkozó index.

3. NUMERIKUS EREDMÉNEK

Ebben a munkában az (1)-(3) egyenleteket numerikusan oldottuk meg az Ansys Workbench R18.1 alkalmazásával. Az Al_2O_3 nanofolyadékok különböző ϕ térfogatarányának termikus tulajdonságait egy forráskód C nyelven történő megírásával vezettük be az ANSYS programba. Az ICEM CFD az az eszköz, amelyet a geometria előállításához használtunk. A hálórendszer nem egyenletes négyzög rács. A 'blocking' módszert alkalmaztuk az áramlási tartomány előállításához.

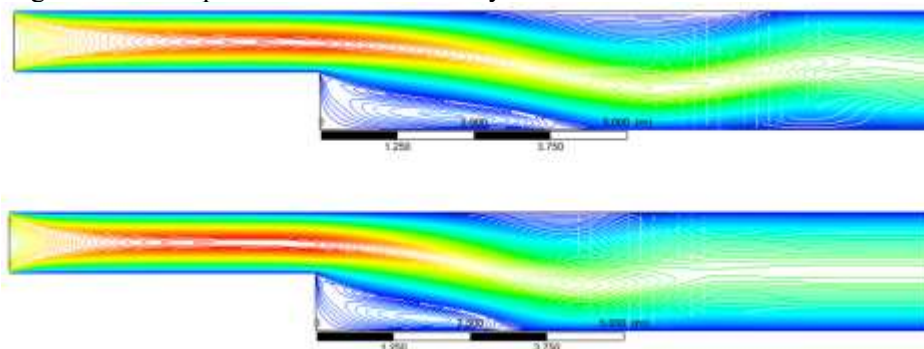
A hálóparaméterek 0,005 maximális méret és 1,15 a képarány volt. A beömlőnyílást és az összes többi párhuzamos élt 80 osztásra állítottunk be. A L_u áramlási szél 80 osztással, a lefelé áramlási él 120 osztással. Ötféle háló rácsfüggetlenségi eredményt $\text{Re}=100$ értéknél vizsgáltuk. A hálófüggőségi teszt megakadályozhatja a hálótól való függést. A választott háló 25 241 csomópontból és 24 885 négyzögből áll. Armaly kísérleti adataival való összehasonlítást végeztünk. A szimulációnk eredményeit úgy validáltuk, hogy összehasonlítottuk az eredményeket a recirkulációs hossza publikált kísérleti és numerikus eredményekkel. $\text{Re}=800$ esetén az eredmények kiválóan egyeznek más numerikus munkákkal. Eredményeink jobb becslést mutatnak be a recirkulációs hosszról, mint más numerikus munkák a kísérletekkel összehasonlítva [2].



2. ábra. (a) A sebességeloszlás Al_2O_3 nanofolyadékra az $x=0$ helyen, (b) az $x=3$ helyen $\phi=8\%$

Numerikus szimulációval a nanofolyadék áramlásának és hőtadásának fokozását tanulmányoztuk, hőmérsékletfüggő termofizikai tulajdonságokkal, lépcsős csatornában. Három térfogatarány koncentrációt vizsgáltunk: 0%, 4% és 8%.

A numerikus szimuláció alapján a részecskék koncentrációjának és a ΔT hőmérséklet-különbségek hatásairól az áramlásra és a hőterekre (l. 2. ábra). Az eredmény azt mutatja, hogy a lépcső után van egy elsődleges recirkulációs régió. A sebességprofilokat a $\text{Re}=200$, valamint a különféle hőmérséklet-különbségek esetén a lépcső után különböző helyeken elemeztük.



3. ábra. A sebességkontúrok a csatorna hosszában, a felső ábrán $\Delta T=30\text{K}$, az alsó ábrán $\Delta T=0\text{K}$ esetén

Az áramlás hidrodinamikai és termikus jellemzőit úgy elemeztük, hogy bemutattuk a részecske koncentrációjának és a hőmérséklet-változásnak a nanofluid fizikai tulajdonságokra gyakorolt hatását. Az eredmények a sűrűség, a viszkozitás és a hővezető képesség növekedéséről, valamint a hőkapacitás és a Prandtl-szám csökkenéséről számoltak be a térfogatarány növekedésével. A viszkozitás és a sűrűség a hőmérséklet növekedésével csökken. A folyadék áramlási viselkedése a lépcső után elsődleges recirkulációs zónát mutat és a zóna méretét jelentősen befolyásolta a hőmérséklet-különbség, ahol a magasabb hőmérséklet-különbségű zóna nagyobb recirkulációs zónát jelent (3. ábra). A recirkulációs zónát a részecskék koncentrációja is befolyásolja, ahol kisebb recirkulációs zóna jelenthető nagyobb térfogatarány esetén. A lépcső után egy másodlagos recirkulációs zóna is megfigyelhető volt, és a zóna méretét a hőmérséklet-különbség és a nanorészecskék koncentrációja is befolyásolta.

A nanofolyadékok termikus tulajdonságainak javulását figyeltük meg az áramlási csatorna mentén. Az eredmények azt mutatják, hogy a hővezető képesség növekedése jelentős volt ϕ és a hőmérséklet változása miatt, ahol a hővezető képesség a térfogatarány növekedésével nő. Az átlagos hőátadási tényező a különböző térfogatrészekre és a különböző ΔT értékekre a hőteljesítmény javulásáról számol be a részecske koncentrációjának növekedésével. A 8% -os térfogatarányú nanofluid a hőátadási értéket jelentette a lépcsőtől a kiömlésig. Az átlagos hőátadás jelentős növekedése figyelhető meg az recirkulációs ponton, ahol a hőátadásnak figyelemre méltóan növekvő csúcsa van. Sőt, egy nagyobb hőmérséklet-különbségű áramlásnak magasabb a hőátadási tényezője.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS



A dolgozat első szerzőjének munkája az ÚNKP keretein belül íródott az „Innováció és Technológiai Minisztérium”, a „Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal” és az ÚNKP támogatásával. (A dolgozat pályázati azonosító: ÚNKP-20-3). A publikáció az NKFIH által támogatott K_18 129257 projekt keretében készült.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Mohammed, H, A; Al-Aswadi, A, A; Shuaib, N, H; Saidur, R, Convective heat transfer and fluid flow study over a step using nanofluids: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2011**, 15, 2921–2939.
- [2] Armaly, B, F; Dursts, F; Pereira, J, C, F; Schönung, B, Experimental and theoretical investigation of backward-facing step flow. *J. Fluid Mech.* **1983**, 127, 473–496.
- [3] Gartling, D, K, A test problem for outflow boundary conditions—flow over a backward-facing step. *Int. J. Numer. Methods Fluids.* 1990, **11**, 953–967.
- [4] Kim, S, J; Moin, P. Application of a Fractional -step method to Incompressible Navier -Stokes Equations *J. Comput. Phys.* **1985**, 59, 308–323.
- [5] Vradis G; C; Van Nostrand, L, Laminar Coupled Flow Downstream an Asymmetric Sudden Expansion. *J. Thermophys. Heat Transf.*, vol. **6**, 288–295, (1992)
- [6] Klazly, M, M; Bognár, G, Investigation of convective heat transfer enhancement for nanofluid flow over flat plate, *J. Phys. Conf. Ser.* **2020**, 1564.
- [7] Brinkman, H, C, The viscosity of concentrated suspensions and solutions. *J. Chem. Phys.* **1952**, **20**, 571.