

Numerična analiza z eksperimentalno validacijo enofaznega toka tekočine v kanalu ploščnega prenosnika toplote z jamičasto strukturo

Urban Močnik^{1,2} – Bogdan Blagojevič³ – Simon Muhič^{1,4,*}

¹Univerza v Novem mestu, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

²Danfoss Trata d.o.o., Slovenija

³Plinovodi d.o.o., Slovenija

⁴SIMUTEH s.p., Slovenija

Ploščni prenosnik toplote z jamičasto strukturo grelna plošče (ang. dimple pattern ali tudi micro plate heat exchanger) vsebuje, v nasprotju s prevladujočo obliko grelnih plošč z obliko ribje kosti (ang. chevron plate heat exchanger), veliko število jamic. Število jamic in njihova oblika neposredno definirajo karakteristike prenosnika toplote. Pri jamičasti strukturi lahko jasno določimo element iz katerih je sestavljen celoten volumen prenosnika toplote skozi katerega teče tok tekočine. Tak element imenujemo celica. Kljub temu, da se prenosniki toplote z jamičasto strukturo vse bolj uveljavljajo, pa je poznavanje tokovnih razmer v tem tipu prenosnika toplote slabo raziskano. Dobro poznavanje stanja toka tekočine v ploščnih prenosnikih toplote z jamičasto strukturo grelna plošče (MPHE) pa je ključnega pomena za uspešen in učinkovit razvoj novih produktov.

Analitični modeli za popis karakteristik ploščnih prenosnikov toplote se razvijajo že vrsto desetletij, vendar nam ti praviloma dajejo integralne rezultate za celoten prenosnik toplote. Za poglobljeno analizo stanja je treba poznati značilnosti toka tekočine na mikro nivoju, v celici MPHE. Tok tekočine na mikro nivoju je zaradi majhnih dimenzij celic in razgibane strukture v MPHE relativno težko opazovati. Nekatere značilnosti MPHE sicer lahko povezujemo z analitičnimi rezultati, kakovostnejši popis tokovnih razmer pa omogoča aplikacija numerične dinamike tekočin (ang. computational fluid dynamics; CFD). Za doseganje zanesljivih rezultatov s pomočjo aplikacije CFD je potrebno primarno določiti ustrezno geometrijo, ki jo želimo obravnavati, uporabiti primerno računsko mrežo, ustrezen fizikalni in matematični model ter prave robne pogoje. Prav tako je pomembno, da rezultate validiramo s kakovostnimi rezultati laboratorijskih eksperimentov. V članku je predstavljena analiza pri kateri smo z numerično dinamiko tekočin in laboratorijskimi eksperimenti raziskali stanje enofaznega toka vode v MPHE. Izvedli smo več laboratorijskih meritev kanala, ki sestavlja MPHE. Zasnovali smo nov način izvedbe laboratorijskih meritev MPHE kanala s tako imenovanimi velikimi posodami. S to merilno metodo smo dobili rezultate, ki jih lahko neposredno primerjamo z rezultati numeričnih preračunov.

Z metodami vzvratnega inženiringa smo izdelali 3D model celice s katerim smo izdelali različne geometrije numeričnih modelov, uporabljene v analizi. Izkazalo se je namreč, da je rezultat pri različnih numeričnih modelih lahko zavajajoč v kolikor ni uporabljena numerična domena ustrezne velikosti. Numerična analiza je bila izvedena s komercialno programsko opremo za numerično dinamiko tekočin, z dvema modeloma turbulence, in sicer Realizable $k-\varepsilon$ modelom z uporabo izboljšanih stenskih funkcij (ang. Enhanced wall treatment; EWT) in $k-\omega$ SST modelom. Prvi model turbulence napove nekoliko manjšo tlačno razliko, drugi model turbulence pa nekoliko večjo v primerjavi z rezultati laboratorijskih meritev. Rezultati opravljene analize sicer izkazujejo dobro ujemanje rezultatov numeričnih preračunov z rezultati laboratorijskih meritev. Izvedena je bila tudi analiza vpliva gostote mreže na numerični rezultat. Izbrana je bila računsko mreža, ki predstavlja dobro razmerje med točnostjo numeričnih rezultatov in uporabljeno računsko močjo. Ugotovili smo, da se v kanalu, kljub relativno majhni hitrosti tekočine pojavi turbulentni tok, ki je posledica njegove oblike. Prav tako smo ugotovili, da v kanalu MPHE nastaneta dva različna tokovna režima. Prvi je živi režim, ki prevladuje pri prenosu toplote, drugi pa mrtvi, kjer se za lotno točko pojavi recirkulacijsko območje, ki zmanjšuje površino za prenos toplote. Velikost mrtvega režima se s hitrostjo tekočine v obravnavanem območju bistveno ne spreminja. Ugotovili smo tudi, da je pri stacionarnih simulacijah bolj primerna uporaba Realizable $k-\varepsilon$ modela turbulence z uporabo EWT kot pa uporaba $k-\omega$ SST turbulentnega modela. Analiza, prikazana v članku, omogoča razumevanje tokovnih razmer v kanalu MPHE, ki so ključnega pomena pri načrtovanju novih in učinkovitejših geometrij prenosnikov toplote.

Prihodnje raziskave bodo zajele izvajanje časovno odvisnih simulacij in uvedbo energijskih enačb za popis prenosa toplote pri numeričnem delu ter nadgradnjo laboratorijske testne proge na način, ki bo omogočal tudi merjenje prenosa toplote v MPHE.

Ključne besede: prenosnik toplote, jamičasta struktura, tlačni padec, CFD, model turbulence