

## Napoved kavitacijske in nekavitacijske vrtnične cevi v sesalni cevi Francisove turbine z numerično analizo toka

Dragica Jošt\* – Andrej Lipej  
Turboinštitut, Ljubljana, Slovenija

*Članek obravnava napoved pojava vrtnične cevi v sesalni cevi Francisove turbine z numerično analizo toka. Vrtnična cev se pojavlja predvsem pri delnih pretokih. Intenziteta vrtnice je odvisna od obratovalnega režima, specifične hitrosti turbine in predvsem od oblike kanala in lopatic gonilnika. Posledice pojava vrtnice so oscilacije tlaka, vibracije in nihanje moči turbine. Zato je pomembno vnaprej napovedati pojav vrtnice ter velikost in frekvenco oscilacije tlaka, to pa je v fazi oblikovanja gonilnika in sesalne cevi mogoče le z numerično analizo toka. V večini člankov s tega področja je predstavljen izračun vrtnice le v eni ali največ dveh obratovalnih režimih z enim turbulentnim modelom. Računske mreže so bile pogosto zelo redke, računski čas pa prekratek, da bi dobili zanesljive rezultate. Raziskava, predstavljena v tem prispevku, je veliko bolj kompleksna. Namen članka je pokazati vpliv različnih turbulentnih modelov, gostote mreže, časovnega koraka ter časa računanja in upoštevanja kavitacije na natančnost in zanesljivost numeričnih rezultatov za različne obratovalne režime.*

*Numerične rezultate smo primerjali z rezultati meritev na modelu Francisove turbine. Meritve so bile opravljene v skladu z mednarodnim standardom IEC 90193. Rezultati meritev so frekvence in amplitude oscilacij tlaka in posnetki vrtnične cevi, ki je dobro vidna le, ko je v toku zaradi kavitacije prisotna določena količina vodne pare. Ker je bila pri meritvah prisotna kavitacija, so bili numerični izračuni v drugem delu raziskave izvedeni tudi s kavitacijo.*

*Vsi izračuni so bili narejeni s programskim paketom ANSYS-CFX z metodo končnih volumnov. Rezultati stacionarnih izračunov so bili uporabljeni kot začetni pogoji za nestacionarne izračune. Raziskava je potekala v dveh delih za dve Francisovi turbini. Za prvo turbino smo izračunali tok v štirih obratovalnih točkah s turbulentnim modelom SAS-SST na različno gostih računskih mrežah z od 3,3 milijona do 25 milijoni vozlišč. Območje računanja je bila cela turbina od vstopa v spiralo do izstopa iz sesalne cevi. Računali smo s časovnimi koraki, ki so ustrezali  $1^{\circ}$ ,  $3^{\circ}$  in  $6^{\circ}$  vrtenja gonilnika. Za drugo turbino so bili izračuni narejeni le za eno obratovalno točko s tremi turbulentnimi modeli (SAS-SST, RSM in LES) brez modela kavitacije in s kavitacijo. Pri izračunih s kavitacijo smo uporabili homogeni dvofazni model, referenčni tlak na izstopu iz sesalne cevi pa smo dobili iz meritev. Pri turbulentnih modelih SAS-SST in RSM je bilo računsko območje cela turbina, mreža pa je vsebovala 5,6 milijona vozlov, od tega 3,4 milijona v sesalni cevi. Časovni korak je ustrezal  $2^{\circ}$  vrtenja gonilnika, v primeru RSM s kavitacijo pa smo ga zmanjšali na  $1^{\circ}$ . Turbulentni model LES zahteva gostejšo mrežo, zato smo tu območje računanja skrčili na sesalno cev, računsko mreža je vsebovala 23,5 milijona vozlov, časovni korak pa je ustrezal  $0,5^{\circ}$  vrtenja gonilnika. Na vstopu v sesalno cev smo podali komponente hitrosti, dobljene iz izračuna cele turbine.*

*Rezultati prvega dela raziskave so pokazali, da z numerično analizo toka lahko napovemo pojav in obliko vrtnične cevi v sesalni cevi Francisove turbine za različne obratovalne režime. Pomembno je, da izračun traja dovolj dolgo, saj se med izračunom vrtnična cev šele oblikuje, vrednost frekvence nihanja tlaka pa se ustali po 30 do 40 vrtljajih gonilnika, oziroma po petih vrtljajih vrtnične cevi. Izračunana frekvenca oscilacij tlaka se od izmerjenih vrednosti razlikuje za približno 1 %. Numerični izračun pravilno napove, v kateri obratovalni točki so oscilacije tlaka največje, izračunane amplitude pa so manjše od izmerjenih, a se z zgostitvijo računskih mreže natančnost napovedi zelo izboljša. Drugi del raziskave je pokazal, da so turbulentni modeli SAS-SST, RSM in LES primerni za napoved pojava vrtnične cevi in da se rezultati glede na uporabljeni turbulentni model pri izračunih brez kavitacije bistveno ne razlikujejo. Pri izračunih s kavitacijo se z meritvami najbolje ujemajo rezultati, dobljeni s turbulentnim modelom LES.*

©2011 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

**Ključne besede:** vodne turbine, Francisova turbina, vrtnična cev, kavitacija, pulzacije tlaka, turbulentni modeli

\*Naslov avtorja za dopisovanje: Turboinštitut,  
Rovšnikova 7, 1210 Ljubljana, Slovenija, dragica.jost@turboinstitut.si