

Izboljšanje napovedi izkoristka Kaplanove turbine z naprednimi turbulentnimi modeli

Dragica Jošt^{1,*} – Aljaž Škerlavaj¹ – Andrej Lipej¹

¹Turboinštitut, Slovenija

Numerična analiza toka je v minulih dvajsetih letih pomembno prispevala k razumevanju pojavov v aksialnih vodnih turbinah in k izboljšanju njihovih karakteristik. Dokaj natančno lahko napovemo vpliv sprememb hidravličnih oblik na izkoristek turbine, manj točna pa je napoved same vrednosti izkoristka. Namen tega članka je pokazati, zakaj lahko s stacionarnimi izračuni dobimo napačne rezultate in kako jih s časovno odvisnimi izračuni in naprednimi turbulentnimi modeli bistveno izboljšamo.

V ta namen smo numerično analizirali tok v 6-lopatični Kaplanovi turbini za srednje padce. Model turbine je bil preizkušen na merilni postaji v Turboinštitutu v skladu z mednarodnimi standardi IEC 60193. Obravnavali smo tri kote gonilnih lopatic pri konstantnem padcu. Rezultati preračuna so navor na gredi turbine, izgube v posameznih delih turbine in izkoristek ter pretok ali padec. Kadar je podan padec, je rezultat preračuna pretok, in obratno. Numerične rezultate, razen izgub, smo primerjali z izmerjenimi vrednostmi.

Stacionarni izračuni z dvoenačbenimi turbulentnimi modeli ($k-\varepsilon$, $k-\omega$, BSL, SST) in z modelom Reynoldsovih napetosti SSG RSM niso dali zadovoljivih rezultatov. Pri dveh manjših kotih gonilnika razlike med izračunanim in izmerjenim izkoristkom niso bile velike, vendar je podrobnejša analiza rezultatov zlasti pri najmanjšem kotu gonilnika pokazala znatna odstopanja pretoka in navora. Izredno slabi pa so bili rezultati pri največjem kotu gonilnika, kjer je bil izračunani izkoristek turbine zaradi precenjenih izgub v sesalni cevi in premajhnega navora za več kot 4% manjši od izmerjene vrednosti.

Časovno odvisni izračuni s tremi turbulentnimi modeli (SST, SAS, ZLES) in dvema shemama za diskretizacijo advektivnega člena (HRS – angl. High Resolution Scheme in BCDS – angl. Bounded Central Differential Scheme) so bili izvedeni v eni obratovalni točki pri največjem kotu gonilnih lopatic. Primerjava izračunanih tokovnih razmer je pokazala, zakaj smo s stacionarnimi izračuni dobili precenjene izgube v sesalni cevi. Zaradi pogoja zamrznjenega gonilnika (angl.: frozen rotor condition) so pri stacionarnih izračunih sence za gonilnimi lopaticami ves čas na istem mestu. Iz teh senc nastanejo vrtinci, ki so vzrok za velike izgube v sesalni cevi. Pri časovno odvisnih izračunih zaradi vrtenja gonilnih lopatic prihaja do mešanja toka, sence za gonilnimi lopaticami so manj izrazite, njihov položaj pa se ves čas spreminja. Pri časovno odvisnih izračunih dobimo popolnoma drugačne in veliko manjše vrtinčne strukture v toku. Z modeloma SAS in ZLES je vrednost turbulentne viskoznosti veliko manjša kot pri modelu SST. Zaradi naštetega so izračunane izgube v sesalni cevi manjše, ujemanje z meritvami pa boljše. Z modeloma SAS in ZLES v kombinaciji s shemo BCDS smo pri podanem pretoku dobili odlično ujemanje izkoristka, navora in padca, napaka je bila pri vseh treh veličinah manjša od 0,1%. Primerjava rezultatov časovno odvisnih izračunov s SST HRS, SAS HRS in SAS BCDS je pokazala, da je vpliv sheme diskretizacije na izgube v gonilniku in na navor celo večji kot vpliv uporabe modela SAS namesto SST. Da je model ZLES primeren tudi za druge obratovalne režime, smo potrdili z izračunom toka v več obratovalnih točkah za vse tri kote gonilnih lopatic. Povsod je bilo odstopanje izračunanega izkoristka od izmerjenih vrednosti manjše od 1%.

V članku je pojasnjena povezava med turbulentnimi modeli, vrtinčnimi strukturami in velikostjo turbulentne viskoznosti na eni strani, ter izračunanimi izgubami v sesalni cevi na drugi strani. Pri drugih avtorjih nismo zasledili uporabe modela ZLES v celotni turbini. Prvič je prikazan tudi vpliv sheme diskretizacije na tok v gonilniku.

Ključne besede: vodna turbina, aksialna turbina, napoved izkoristka, računalniška dinamika tekočin, turbulentni modeli, ZLES