

Raziskava vodnega udara pri hitri ustavitvi visokotlačne hidroelektrarne v pasu ekstremno visokih Reynoldsovih števil

Uroš Karadžić^{1,*} – Anton Bergant^{2,3} – Danica Starinac⁴ – Boško Božović⁵

¹ Univerza Črne gore, Fakulteta za strojništvo, Črna gora

² Litostroj Power d.o.o., Slovenija

³ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

⁴ Inštitut Jaroslav Černi, Srbija

⁵ EPCG, Črna gora

V prispevku obravnavamo prehodne pojave (vodni udar) v delno obnovljeni visokotlačni hidroelektrarni Perućica v Črni gori. Raziskujemo pojave pri hitri zapori hidroelektrarne, ko obratuje vseh sedem peltonovih turbin na največji moči. Obravnavana hitra zapora je spoznana kot kritično prehodno obratovalno stanje z vidika največjih tlačnih obremenitev sistema hidroelektrarne. Peltonove turbine so vgrajene v treh vzporednih jeklenih cevovodih, ki se napajajo iz razvejanja tlačnega tunela z izravnalnikom. Doprinos avtorjev je raziskava neustaljenega toka v pogojih ekstremno visokih Reynoldsovih števil (višja od 10^7) v razvejanem pretočnem sistemu. Dosedanje raziskave so zajemale relativno preproste pretočne sisteme v pasu Reynoldsovih števil do 10^6 .

Numerični model reševanja enačb vodnega udara (neustaljeni kapljevinski tok) temelji na metodi karakteristik. Neustaljeno stensko kapljevinsko trenje modeliramo s konvolucijskim modelom, ki zajema aproksimativne utežne funkcije v širokem pasu Reynoldsovih števil in časovnih diskretizacij. Model peltonove turbine zajema vpliv disipacijskih momentov v ohišju turbine (ventilacijske izgube) in ležajih agregata (trenje). Model hidroelektrarne zajema gorvodni bazen, tlačni tunel z izravnalnikom na dolvodni strani tunela, razvejanje s tremi vzporednimi jeklenimi cevovodi z vgrajenimi peltonovimi turbinami na njenih dolvodnih koncih in dvema odvodnima rovoma.

Izračun hitre istočasne zapore sedmih turbin iz največje skupne moči 303,5 MW poteka v dveh korakih. V prvem koraku izračunamo vodni udar v pretočnem sistemu, v drugem pa povečanje vrtilne hitrosti turbine. Šobe peltonovih turbin zapiramo linearno z dušenjem v zaključni fazi zapiranja. Nihanje vode v cilindričnem izravnalniku je dodatno krmiljeno z dušilko in prelivom. Raziskujemo vpliv neustaljenega stenskega kapljevinskega trenja na amplitudo in časovni potek tlaka (tlačne višine) na dolvodnih (pri turbinah) in gorvodnih (za razvejanjem) koncih vseh treh vzporednih cevovodov in na dolvodnem koncu tunela (pri izravnalniku). Iz primerjave rezultatov izračuna in meritev sledi, da je vpliv neustaljenega stenskega trenja na časovni potek tlakov za relativno počasno zapiranje turbin (počasna sprememba pretočne hitrosti v cevovodih in tunelu) zanemarljiv. Izračunane maksimalne in minimalne vrednosti tlačnih višin se odlično ujemajo. Razlike nastopijo pri časovnem poteku. Odstopanja v času so posledica neenakih začetnih pretokov in časov zapiranja v treh vzporednih cevovodih. Časovna odstopanja so zanemarljiva za nihanje vodne gladine v izravnalniku, ki je vgrajen v tunelu gorvodno od razvejanja. Odlično se ujemajo tudi največje izračunane in izmerjene prehodne vrednosti vrtilne hitrosti turbin. Odstopanja gradineta zmanjšanja vrtilne hitrosti pri neobnovljenih turbinah izvirajo iz povečanih ventilacijskih in trenjskih izgub, ki so posledica več kot šestdesetletnega neprekinjenega obratovanja teh turbin. Sklepamo, da je razviti model za izračun vodnega udara v razvejanih hidroenergetskih sistemih primeren za industrijsko uporabo v širokem pasu Reynoldsovih števil.

Ključne besede: vodni udar, visokotlačna hidroelektrarna, peltonova turbina, hitra zapora, ekstremno visoka Reynoldsova števila