

Vodni udar in pretrganje kapljevinskega stebra povzročena s hkratnim in zakasnelim zapiranjem dveh ventilov

Uroš Karadžić^{1,*} – Marko Janković² – Filip Strunjaš³ – Anton Bergant⁴

¹ Univerza Črne gore, Fakulteta za strojništvo, Črna gora

² Elektro podjetje Črne gore, Črna gora

³ Kone, Črna gora

⁴ Litostroj Power d.o.o., Slovenija

Prispevek obravnava vodni udar in pretrganje kapljevinskega stebra povzročena s hkratnim in zakasnelim zapiranjem dveh ventilov (eden od ventilov zapira z zakasnitvijo glede na zapiranje drugega) izvedenih v laboratorijski preizkusni postaji Univerze v Črni gori, Podgorica. Raziskave zapiranja dveh ventilov so doprinos avtorjev raziskavam zapiranja z enim ventilom, ki so jih objavili v tej reviji leta 2014. Glavni cilj teoretičnih in eksperimentalnih raziskav je bil ugotoviti, kako sočasno in časovno zakasnelo zapiranje ventilov vpliva na fiziko tlačnega valovanja v sistemu.

Teoretični model bazira na enčbah neustaljenega kapljevinskega toka v ceveh. Transformacija postavljenih parcialnih diferencialnih enačb hiperboličnega tipa z uporabo metode karakteristik da navadne diferencialne enačbe, ki jih rešujemo s pomočjo numeričnih metod. V deltoidno mrežo metode karakteristik je vgrajen Zielkejev kovolucijski model neustaljenega stenskega trenja z uporabo zmogljivih računalniških orodij. Vgradnja plinskih kavitacij v numerična vozlišča da diskretni plinski kavitacijski model. Eksperimentalna postaja je sestavljena iz horizontalnega jeklenega cevovoda, ki je vgrajen med gorvodni tlačni kotel in dolvodni ventil z iztokom v atmosfero. Dolžina jeklenega cevovoda je 55,37 m, notranji premer je 18 mm, debelina stene cevi je 2 mm. Prehodni pojav je povzročen s hkratnim in zakasnelim zapiranjem dveh kroglastih zasunov, ki sta vgrajena pri gorvodnem rezervoarju in dolvodno pri iztoku v atmosfero. Tlačne spremembe med prehodi zasledujemo s pomočjo štirih hitro odzivnih zaznaval, ki so vgrajeni vzdolž cevovoda. Na osnovi velikosti Ghidaijevega števila in Duanevega parametra z upoštevanjem značilik pri različnih pretočnih pogojih ugotovimo, da se eksperimentalna postaja nahaja v področju, kjer neustaljeno trenje prevladuje.

V laboratorijskem cevem sistemu smo izvedli številne preizkuse za bolj poglobljeno razumevanje fizike neustaljenega kapljevinskega toka, ki ga povzroči zaprtje dveh ventilov. Frekvenca zajemanja podatkov za vsako kontinuirano izmerjeno veličino je bila $f_s = 3,000$ Hz. Rezultati izračuna so primerjani z rezultati meritev za dva fizikalno različna tlačna odziva: (1) vodni udar, kjer je tlak med prehodom večji od parnega tlaka kapljevine (voda) in (2) pretrganje kapljevinskega (vodnega) stebra med prehodom, ko tlak pade na parni tlak kapljevine. Pretrganje stebra je v osnovi prehodni kavitacijski tok, ki zajema popolno pretrganje kapljevinskega stebra z veliko kavitacijsko praznino (mehurjem) in kontinuiran kavitacijski tok pri parnem tlaku kapljevine (kapljevina z parnimi mehurčki (fluid)). Izkaže se, da zakasnelo zaprtje drugega ventila lahko vodi do dolgotrajne vzpostavitve parnega tlaka fluida v cevovodu. Rezultati izračuna dobljeni z razvitim plinskim diskretnim kavitacijskim modelom in rezultati meritev se dobro ujemajo za obravnavana primera. Temu sledi originalna parametrična teoretična analiza tlačnih valov povzročenih z zapiranjem dveh ventilov brez in z upoštevanjem kapljevinskega trenja ter prehodne kavitacije. Pokazalo se je, da neustaljeno stensko trenje vpliva na obliko in dušenje tlačnih valov, nima pa večjega vpliva na njihov časovni potek. Vpliv prehodne kavitacije na potek tlaka (oblika, dušenje, časovni potek) je veliko večji, ker so v pojavu zajeti pretrganje stebra, kontinuiran kavitacijski tok, udarni valovi in šoki (kondenzacija pare).

V bližnji prihodnosti avtorji načrtujejo vgradnjo računalniško krmiljenih ventilov. Na ta način bo omogočeno nadzorovano hkratno in sekvenčno zapiranje dveh ventilov, ki bo temelj nadaljnjim raziskavam na področju računalniškega krmiljenja dveh in več ventilov v cevnih sistemih.

Ključne besede: cevni sistemi, dva ventila, hkratno in zapoznelo zaprtje dveh ventilov, vodni udar, prekinitev kapljevinskega stebra, preizkusna postaja, neustaljeno stensko trenje