

Prehodni kapljevinski tok v plastičnih ceveh

Kamil Urbanowicz^{1,*} – Huan-Feng Duan² – Anton Bergant^{3,4}

¹ Tehnološka univerza Zahodne Pomoranske, Fakulteta za strojništvo in mehatroniko, Poljska

² Politehniška univerza v Hong Kongu, Fakulteta za gradbeništvo in okoljsko inženirstvo, Kitajska

³ Litostroj Power d.o.o., Slovenija

⁴ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

Plastične cevi se v vse večji meri uporabljajo v industrijski praksi, na primer v vodovodnih sistemih. Dinamične analize cevni sistemov narekujejo uporabo teoretičnih modelov, ki zajemajo viskoelastične lastnosti plastičnih (polimernih) materialov cevi. Viskoelastičnost plastičnih cevi močno poveča dušenje amplitud tlaka med prehodnimi pojavi (vodni udar). Temu ni tako v jeklenih cevovodih z elastičnimi lastnostmi materiala cevi.

Teoretični model bazira na enačbah neustaljenega stisljivega kapljevinskega toka v plastičnih ceveh, kontinuitetni in gibalni enačbi. Za viskoelastičen material Hookov zakon ne velja. Plastični material se odzove kombinirano: elastično (trenutno kot na primer jeklo) in zaostalo (vpliv viskoznosti). Vpliv viskoelastičnosti materiala cevi je zajet v kontinuitetni enačbi; elastični del v izrazu za hitrost širjenja tlačnih valov v elastični cevi, viskozni del pa v členu, ki upošteva zaostale napetosti v steni cevi. Obravnavani viskozni člen zapišemo kot konvolucijo časovne spremembe tlaka in viskozne utežne funkcije, ki popiše materialne lastnosti polimerne cevi. Na podoben način je obravnavano neustaljeno stensko trenje v gibalni enačbi. Popišemo ga z ustaljenim členom (Darcy-Weisbachova enačba) in členom, ki zajema vpliv pospeška kapljevine na trenjske izgube ob steni cevi. V tem prispevku je uporabljen Zielkejev model, ki zajame neustaljenost toka v konvoluciji časovne spremembe pretočne hitrosti in trenjske utežne funkcije. Transformacija postavljenih parcialnih diferencialnih enačb hiperboličnega tipa z uporabo metode karakteristik da navadne diferencialne enačbe, ki jih rešujemo s pomočjo diferenčne numerične metode. V pravokotno mrežo metode karakteristik sta vgrajena nov poenostavljeni model viskoznega člena polimera in Urbanowiczev model približka neustaljenega kapljevinskega trenjskega člena. Vpeljani aproksimativni utežni funkciji zagotovita računsko učinkovito konvolucijo z uvedbo eksponentnih funkcij na rekurzivni način.

Postavljeni numerični model, ki zajema vpliva viskoelastičnosti cevi in neustaljenega stenskega trenja, je validiran z odgovarjajočimi meritvami izvedenimi v evropskih raziskovalnih ustanovah v Londonu (Velika Britanija), Cassinu (Italija) in Lyonu (Francija). Vse tri preizkusne postaje so v osnovni sistemi tipa tlačna posoda-plastični (polimerni) cevovod-ventil. Dolžine (L) in premeri cevovodov (D) so naslednji: (1) London: $L = 271,7$ m; $D = 50,6$ mm; (2) Cassino: $L = 203,3$ m; $D = 44$ mm; (3) Lyon: $L = 43,1$ m; $D = 41,6$ mm. Prehodni pojavi so vzbujeni s hitrim zapiranjem ventila v širokem pasu začetnih Reynoldsovih števil. Primerjave izračuna in meritev so upodobljene v brezdimenzijski obliki. Tak način je posebej prikladen za obravnavo tokov v lamniarnem področju.

Za obravnavane primere se rezultati izračuna in meritev opazno razlikujejo, ko v teoretičnem modelu uporabimo ustaljeni model kapljevinskega trenja ob steni cevi. Iskaže se, da ta model nezadostno duši tako nizkofrekvenčne kot visokofrekvenčne tlačne spremembe (pulze). To pomanjklivost smo odpravili z vpeljavo konvolucijskega modela neustaljenega stenskega trenja. V prispevku je pokazan tudi vpliv temperature na viskoelastične lastnosti plastičnih cevi. Temperature v preizkuševališčih, kjer pridobimo viskozne lastnosti materiala cevi, se lahko znatno razlikujejo od temperatur na terenu. Ta vpliv je potrebno ovrednotiti pri preizkusih. Novi model je dva- do trikrat računsko bolj učinkovit od modelov iz literature. Za izračun posebej hitrih prehodov v plastičnih ceveh priporočamo uporabo računsko učinkovitih konvolucijskih modelov, ki zajemajo vpliv viskoelastičnosti materiala cevi (polimeri) in neustaljenega kapljevinskega trenja ob steni cevi.

Ključne besede: plastične cevi, viskoelastičnost, vodni udar, prehodni tok, metoda karakteristik, neustaljeno stensko trenje