

# Optimizacija samozbujenega curka zrak-voda na osnovi metode odzivnih ploskev

Yong Wang<sup>1</sup> – Xiaolin Wang<sup>1</sup> – Zilong Zhang<sup>1</sup> – Yu Li<sup>1</sup> – Houlin Liu<sup>1,\*</sup> – Xiang Zhang<sup>2</sup> – Marko Hočevar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jiangsu univerza, Raziskovalni center za strojništvo, tekočinske stroje in tehnologijo, Kitajska

<sup>2</sup>Univerza Xihua, Ključni laboratorij za tekočinske in pogske stroje, Kitajska

<sup>3</sup>University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering, Slovenia

Uporaba samozbujenega curka zrak-voda za čiščenje površin ima številne prednosti pred kontinuirnim curkom, zato se pojavlja v številnih praktičnih in industrijskih aplikacijah. Samozbujeni curek zrak-voda je novost, ki združuje prednosti različnih vrst curkov. Njegova najpomembnejša značilnost je namesto kontinuirne kvazi-periodično dovajanje mase vode na čiščeno površino. Periodičen dvofazni tok samozbujenega curka zrak-voda nastane v nihajni komori zaradi pojava mejne in strižne plasti, sesanja zraka iz lukenj v steni komore, oblikovanje turbulentnih vrtincev dvofaznega toka zraka in vode ter trganja zračnih mehurčkov in mešanja zraka z glavnim tokom. Občasni in kvazi-periodični udar samozbujenega curka zrak-voda temeljiteje odstrani madeže na čiščeni površini. Njegova prostorska porazdelitev je široka in enakomerna, kar bistveno izboljša čistilni učinek.

Da bi bolje razumeli postopek delovanja samozbujenega vodnega curka, smo izvedli postopek eksperimentalne analize in statističnega modeliranja z metodo odzivnih ploskev. S tem smo optimirali delovanje samozbujenega curka zrak-voda preko parametrov dolžine nihajne komore, višine nihajne komore in premera šobe ter modelirali spremenljivki povprečno udarno silo in fluktuacijo udarne sile.

Metodologija dela je vsebovala načrtovanje in izdelavo merilne postaje, izvedbo meritev v izbranih delovnih točkah, vrednotenje rezultatov in eksperimentalno modeliranje z metodo odzivnih ploskev. Glavni deli merilne postaje so oskrba in priprava vode, šoba, sistem za vrednotenje čiščenja, merjenje sile, vizualizacija toka s hitro kamero in nadzorni sistemi. Učinkovitost čiščenja smo vrednotili z razmerjem očiščene površine. Slike preostale umazanije smo posneli periodično vsakih 10 s. Razmerje očiščene površine je bilo izračunano iz posnetih slik s pomočjo programske opreme za analizo slik s pomočjo predhodne obdelave, sivenja, segmentacije slik, kalibracije in izračuna površine. Eksperiment je bil izveden v 17 delovnih točkah. Metoda odzivnih ploskev omogoča vrednotenje spremembe posameznega vhodnega parametra na izbrani izhodni parameter, kar določa povezavo med vodnimi in izhodnimi spremenljivkami. V prispevku je bila uporabljena Box-Behnkenova metoda drugega reda. Izvedena je bila analiza variance, ki je ena od tehnik podatkovnega rudarjenja. Da bi ocenili učinek posamezne spremenljivke, smo celotno varianco modela razstavili na prispevek vsake spremenljivke in na njihove interakcije. Ta metoda se uporablja za prepoznavanje nepotrebnih izrazov v funkciji modela.

Model odzivnih ploskev in analiza variance sta za povprečno udarno silo sta pokazali, da imata vstopni premer šobe ( $A$ ) in dolžina komore ( $B$ ) kot dva posamezna dejavnika zelo pomemben vpliv na velikost povprečne udarne sile. Vrstni red vpliva posameznih dejavnikov na povprečno udarno silo je dolžina komore ( $B$ ) > vstopni premer spodnje šobe ( $A$ ) > višina komore ( $C$ ). Vrstni red vpliva interakcije posameznih spremenljivk na povprečno udarno silo je višina dolvodne šobe in komore ( $AC$ ) > dolžina komore in višina komore ( $BC$ ) > dolžina dolvodne šobe in komore ( $AB$ ). Podane so optimirane vrednosti za optimizacijske parametre in za izhodne spremenljivke.

Izvedena je bila vizualizacija curka. Zaradi nestabilnosti toka v curku in površinske napetosti vode, se v curku izoblikujejo zgoščenine, ki sčasoma povzročijo nastanek kapljic različnih velikosti. Rezultati kažejo, da z optimizacijo samozbujenega curka zrak-voda kapljice nastanejo mnogo bližje šobi, to je že na razdalji 12 cm stran od šobe.

Postopek statističnega modeliranja z metodo odzivnih ploskev je bil uporabljen za modeliranje nastanka samozbujenega curka zrak-voda za čiščenje površin. Rezultat modeliranja je množica parametrov za spremenljivke procesa in sicer premer šobe, dolžina komore in višina komore. Na ta način se je izboljšalo čiščenje in sicer se je očiščena površina po 50 s delovanja povečala za 22 %.

Čeprav je bila večparametrična optimizacija samozbujenega curka zrak-voda uspešna, je bilo v model vključenih omejeno število ključnih optimizacijskih parametrov. V prihodnosti bo mogoče izvesti večparametrsko optimizacijo za dodatne spremenljivke kot so velikost odprtin in kot nagiba vstopa in izstopa iz mešalne komore, ter velikost odprtine šobe.

**Ključne besede:** večfazni tok, udarna sila, curek, učinek čiščenja, optimizacija, metoda odzivnih ploskev