

# Numerična analiza sistema dvostopenjskega ejektorja-difuzorja na osnovi konstantne hitrosti sprememb kinetične energije

Virendra Kumar<sup>1</sup> – Anil Kumar<sup>2</sup> – Surendra Kumar Yadav<sup>3</sup> – Anshul Yadav<sup>4</sup> – Lalta Prasad<sup>5</sup> – Jerzy Winczek<sup>6,\*</sup>

<sup>1</sup> Kolidž za inženiring in tehnologijo Noida, Indija

<sup>2</sup> Inštitut za tehnologijo Kamla Nehru, Indija

<sup>3</sup> Univerza K R Mangalam, Gurugram, Indija

<sup>4</sup> CSIR - centralni inštitut za raziskave soli in morskih kemikalij, Indija

<sup>5</sup> Nacionalni inštitut za tehnologijo Uttarakhand, Indija

<sup>6</sup> Tehniška univerza v Čenstohovi, Poljska

Preprosta zgradba in zanesljivost sta glavna razloga pogoste uporabe ejektorjev za črpanje, induciranje, mešanje in/ali rekomprimiranje primarnega/pogonskega in dveh sekundarnih/induciranih tokov. Uporabljajo se v industrijskih aplikacijah hlajenja, klimatizacije, sistemih za desalinizacijo morske vode, kemičnih laserjih, gorivnih celicah itd. Konvencionalni enostopenjski ejektorji (SSE) izkoriščajo načeli mešanja s konstantnim presekom (CAM) in mešanja s konstantnim tlakom (CPM). Slabost ejektorjev je nizek izkoristek zaradi izgub v mešalni komori in termodinamičnega šoka v difuzorju konstantnega preseka. Raziskovalci so se lotili omenjenega problema s fizikalnim enodimenzionalnim plinskodinamičnim pristopom konstantne hitrosti spremembe gibalne količine (CRCM) in s pristopom konstantne spremembe kinetične energije (CRKEC). Zasnova ejektorjev tako danes prehaja iz enostopenjske v dvo- oz. večstopenjsko. Dvostopenjska kompresija je drug način za zmanjšanje izgub zaradi dušenja in za izboljšanje učinkovitosti sistema. Enostopenjski ejektor ima vhod za primarni tok, vhod za sekundarni/inducirani tok, mešalno komoro in difuzor. Drugi inducirani/nošeni tok vstopa pri dvostopenjskih ejektorjih na izhodu mešalnega odseka SSE. Na ta način je bolje izkoriščeno praznjenje odvečne gibalne količine na izhodu mešanja prve stopnje ejektorja. Sistem ima običajno en vhod za pogonski tok in dva vhoda za inducirani tok (primarni in sekundarni). Sekundarni inducirani tok pospešuje kombinirani (primarni pogonski in inducirani) tok iz prve stopnje. Proces izmenjave gibalne količine med pogonskim in induciranim tokom pogosto imenujemo odnašanje. Stopnja odnašanja je globalni zmogljivostni parameter, predstavlja pa razmerje med masnima pretokoma inducirane in pogonskega toka. Opisani pristop omogoča zmanjšanje termodinamičnega šoka v difuzorju ejektorja v projektirani delovni točki.

V predstavljeni študiji je bil uporabljen enodimenzionalni plinskodinamični pristop CRKEC za projektiranje SSE in dvostopenjskega ejektorja (TSE) za vodno paro. Geometrijske koordinate posameznih komponent SSE in TSE so bile izračunane lokalno v programskem paketu MATLAB z malim korakom ( $dx = 0,5$  mm). Izračunana geometrija ejektorjev je bila numerično analizirana s komercialno programsko opremo ANSYS Fluent. Problem za numerično analizo je dvodimenzijski osnosimetrični stacionarni turbulentni stisljivi tok. Mreža računske domene je bila oblikovana s strukturiranimi četverorobnimi elementi. Za točnejše rezultate je bilo uporabljenih več celic v predelih z višjim hitrostnim gradientom. Za analizo neodvisnosti rezultatov od mreže je bil uporabljen standardni model turbulence  $k-\epsilon$ . Relativna razdalja izhodnega položaja šobe (NXP) od mešalne komore za primarno šobo je bila nastavljena na nič. Predstavljena je primerjava zmogljivosti dvostopenjskega ejektorja in pretočnih lastnosti v primerjavi z enostopenjskim ejektorjem. Ugotovljeno je bilo, da je rekuperacija tlaka na izhodu enostopenjskega ejektorja večja kot pri dvostopenjskem ejektorju. Globalni zmogljivostni parameter stopnja odnašanja ( $\omega$ ), ki je izračunan kot razmerje med induciranim in pogonskim masnim pretokom, se izboljša za 70 % z vključitvijo druge stopnje. Ugotovljeno je bilo tudi zmanjšanje tlačnih nihanj zaradi mešanja primarnega nadzvočnega toka in sekundarnega podzvočnega toka v primerjavi z enostopenjskim ejektorjem. Pristop CRKEC pomaga pri računanju geometrijskega profila in pretočnih karakteristik z malimi koraki. Za podrobnejšo analizo zmogljivosti bodo potrebni še preskusi delovanja prototipov TSE, narejenih po pristopu CRKEC, zunaj projektirane delovne točke.

**Ključne besede:** ejektor, CRKEC, dvostopenjski ejektor, enostopenjski ejektor, CFD, curkovna črpalka, CRMC