

# Vpliv hrapavosti na izkoristek centrifugalnih črpalk

Andrej Lipej<sup>1</sup> – Simon Muhič<sup>1,\*</sup> – Duško Mitruševski<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fakulteta za tehnologije in sisteme, Slovenija

<sup>2</sup> SM Črpalke, Slovenija

Industrijski razvoj obsega veliko število novih energetskih strojev, pri katerih je izkoristek zelo pomembna karakteristika energijskih pretvorb. V procesu razvoja se uporabljajo številne teoretične, eksperimentalne in numerične metode. Pri energetskih strojih je ena od pomembnejših metod numerična dinamika tekočin (Computational Fluid Dynamics, CFD). Za doseganje točnih rezultatov je pomembno natančno definirati geometrijo, ki jo želimo analizirati, uporabiti primeren matematični model in kakovostno računsko mrežo ter zagotoviti realne robne pogoje. Običajno je zelo pomembna izbira ustreznega turbulentnega modela. V večini CFD analiz se upošteva samo hidravlično gladke stene, brez upoštevanja hrapavosti površin. Poleg vseh zgoraj naštetih vplivnih veličin pa je prav hrapavost eden od pomembnih vzrokov napak pri numeričnih analizah.

Črpalke so zelo pomembni energetski stroji, ki zaradi velikega števila strojev v obratovanju rabijo ogromno količino električne energije. Zato je pomembno posvetiti veliko raziskovalnega časa razvoju črpalk, ki posledično obratujejo z zelo visokim izkoristkom.

Tok tekočin ob hrapavih površinah je popisan teoretično zelo dobro. Na omenjenem področju lahko najdemo veliko raziskovalnih rezultatov in druge literature za preproste geometrijske oblike. Za poljubne prostorske geometrije pa je vedno potrebno uporabiti eno izmed numeričnih metod.

Pri CFD analizah, kjer želimo upoštevati hrapavost površin, je možno izvesti numerične analize na dva načina. V prvem primeru lahko generiramo natančno geometrijo hrapave površine, kar vodi do zelo gostih računskih mrež in posledično do dolgih računskih časov, kar ni primerno za industrijske aplikacije. Druga metoda ni tako računsko zahtevna, saj lahko uporabimo parametre, ki nam definirajo hrapavost površine.

V članku je predstavljena analiza vpliva koeficienta 'sand grain equivalent', ki predstavlja hrapavost površin, na izgube v centrifugalnih črpalkah. V literaturi ni na voljo veliko rezultatov raziskav s tega področja. Odločili smo se analizirati vpliv hrapavosti pri numeričnih analizah na natančnost napovedi izgub v centrifugalnih črpalkah. Raziskava je bila osredotočena na vpliv velikosti računske mreže v bližini stene.

V prvem delu članka je predstavljen vpliv brezdimenzijskega parametra  $y^+$  na natančnost numeričnih analiz s primerjavami teoretičnih in numeričnih rezultatov. Teoretične analize predstavljajo tok ob ravni plošči in v cevi. Predstavljeni so rezultati, ki pokažejo veliko odstopanje med numeričnimi in teoretičnimi rezultati, če je uporabljena premajhna vrednost  $y^+$  ( $y^+ < 5$ ). Pravilna uporaba parametra  $y^+$  je pomembna zaradi povečanja strižnih napetosti zaradi hrapavosti površin.

Drugi del članka obravnava numerično analizo in napoved energijskih karakteristik centrifugalnih črpalk z uporabo nestacionarnih numeričnih analiz za različne vrednosti hrapavosti. Iz rezultatov je razvidno, da vpliv hrapavosti na izkoristek ni zanemarljiv in ga je potrebno upoštevati, če hočemo dobiti natančne rezultate. Glavni problem predstavljene analize je v natančni določitvi parametra 'sand grain equivalent' glede na realno hrapavost površin in uporabi primerne velikosti parametra  $y^+$  za različne obratovalne pogoje, kjer se spreminja pretok skozi črpalko.

Končni rezultati predstavljajo primerjavo numeričnih rezultatov energijskih karakteristik črpalke z rezultati meritev, kjer je bila v prvem primeru pri numeričnih analizah upoštevana hrapavost sten in v drugem primeru brez upoštevanja hrapavosti. Rezultati z upoštevanjem hrapavosti se bistveno bolje ujemajo z rezultati meritev.

**Ključne besede:** črpalka, numerična dinamika tekočin, hrapavost, turbulenca