

Optimizacija konstrukcije mehanskega ventila za pomivalni stroj na podlagi minimizacije tlačnih izgub

Furkan Kılavuz^{1,2} – Binnur Gören Kırıl^{3,*}

¹ Univerza Dokuz Eylül, Visoka šola za naravoslovne in uporabne vede, Turčija

² Arçelik A.Ş., Turčija; ³ Univerza Dokuz Eylül, Oddelek za strojništvo, Turčija

Cilj pričujoče študije je optimizacija konstrukcije ventila za pomivalni stroj, ki ga uporablja proizvajalec bele tehnike, za varčevanje z energijo in trajnostno delovanje. Tlačne izgube v sistemu mehanskega ventila so pomemben dejavnik celotne učinkovitosti pomivalnega stroja. Namen študije je poiskati optimalno konstrukcijo rotorja za minimalen tlačni padec na izhodni strani in največjo zmogljivost.

Najprej so bile v programskem paketu MATLAB R2023a modelirane lopatice rotorja z Bézierjevimi krivuljami 4. reda. β_1 in β_2 kot osnovna parametra za določitev omenjenih krivulj sta vgradni vstopni in izstopni kot rotorja. Po preučitvi omejitev pri modeliranju in literature so bili določeni profili lopatic v razponu $\beta_1 = 10^\circ$ do 30° in $\beta_2 = 10^\circ$ do 40° v korakih po 5° . Z Bézierjevimi krivuljami so bili nato v programski opremi SOLIDWORKS 2021 ustvarjeni tridimenzionalni polni modeli rotorjev z različnimi profili oz. števili lopatic. Obravnavanih je bilo 50 modelov s šestimi števili lopatic in petimi materiali. Za množično proizvodnjo rotorjev, ki so predmet te študije, se uporablja polioksimetilen (POM). S postopki ciljnega nalaganja (FDM) in stereolitografije (SLA) so bili izdelani tudi rotorji iz materiala PLA (polilaktična kislina), čiste smole in smole, ojačene z 0,1 ut. % borovega nitrida in grafena. Površina rotorskih lopatic je bila preiskana pod optičnim mikroskopom za opredelitev vpliva hrapavosti površin na tokovne razmere. Opravljena je bila tudi numerična analiza tokov s polnimi modeli v programskem paketu ANSYS CFD za določitev tlačnih izgub. Pred izdelavo polnih modelov so bili z orodjem Design of Experiment (DOE) v Minitabu določeni konstrukcijski parametri in nato so bili z njimi ustvarjeni modeli. V naslednjem koraku je bila na podlagi podatkov, pridobljenih v analizi tokov, z orodjem ANOVA Response Optimizer določena optimalna konstrukcija. Numerični analizi sta sledila izdelava lopatic po metodi 3D-tiska in eksperimentalna meritev tlakov na izstopu. Za meritev tlaka na izhodu mehanskega ventila je bil pripravljen poseben eksperiment. Na podlagi rezultatov numerične analize je bil ustvarjen model z umetno nevronske mreže in napovedana je bila učinkovitost pri optimalnih parametrih. Končno je bil izdelan rotor z optimalno konstrukcijo po postopku FDM in eksperimentalno je bil izmerjen tlak na izstopu.

Preiskava slik površine rotorskih lopatic je pokazala, da je najbolj hrapava lopatica iz materiala PLA. Največja razdalja med spodnjo površino in zgornjo točko je znašala približno 70 μm . Tako objavljeni članki kot rezultati pričujoče študije so pokazali, da imajo geometrijski parametri večji vpliv na tlačne izgube kot hrapavost.

V prvem koraku eksperimentalnih študij je bila izmerjena razlika med vstopnim in izstopnim tlakom obstoječega rotorja, ki je v množični proizvodnji. S postopki 3D-tiska so bili izdelani tudi rotorji iz materiala PLA, čiste smole ter smole, ojačene z borovim nitridom in grafenskimi nanoploščicami. Najnižji izstopni tlak za vsa števila lopatic je bil zabeležen pri rotorju iz smole, ojačene z grafenskimi nanoploščicami, medtem ko je bil najnižji tlačni padec zabeležen pri rotorjih iz materiala PLA. Rezultati eksperimentov in analize CFD nakazujejo pomembno vlogo števila lopatic.

V naslednjem koraku je bil preučen vpliv kotov, ki so osnovni parametri Bézierjevih krivulj. Izkoristek rotorja je obratno sorazmeren s tlačno izgubo, zato se izkoristek rotorja povečuje z zmanjševanjem kota β_1 , povečevanjem kota β_2 in številom lopatic. Optimalne vrednosti za število lopatic, vstopni kot β_1 in izstopni kot β_2 so bile določene po statistični analizi v Minitabu. Optimalni konstrukcijski parametri po analizi CFD, pridobljeni z analizo optimizatorja odziva, so $\beta_1 = 10^\circ$, $\beta_2 = 40^\circ$, število lopatic je 8. Pri rotorju z optimalno konstrukcijo je bilo v primerjavi z rotorjem iz množične proizvodnje doseženo izboljšanje izstopnega tlaka za 6,5 %. Izkoristek rotorja se je povečal s 59,77 % na 86,57 %. Ko je bila nevronska mreža naučena na celotni podatkovni bazi za največjo točnost napovedi, je bila na podlagi modela izračunana napoved izkoristka rotorja pri optimalnih parametrih. Napoved izkoristka rotorja, za $\beta_1 = 10^\circ$, $\beta_2 = 40^\circ$ in število lopatic je 8, po tem modelu ANN znaša 82,62 %. Rezultati se ujemajo z rezultati analize CFD in optimizatorja odgovora.

Sledi sklep, da je izkoristek rotorja mehanskega ventila pomivalnega stroja odvisen od profila in števila lopatic. Rezultati raziskav bodo uporabni za izboljšanje zmogljivosti pomivalnih strojev ter lahko prispevajo k razvoju učinkovitejših in zanesljivejših gospodinjskih aparatov. Rezultate bo mogoče potrditi s praktičnimi preizkusi v realnih scenarijih uporabe pomivalnih strojev.

Ključne besede: pomivalni stroj, varčevanje z energijo, optimizacije oblike lopatic rotorja, statistična analiza, umetna nevronska mreža