

# Uporaba hevrističnih optimizacijskih tehnik pri konstruiranju cikloidnih reduktorjev: primerjalna študija

Furkan Korkmaz<sup>1,\*</sup> – Serkan Dereli<sup>1</sup> – Durmuş Karayel<sup>2</sup> – Ahmet Kolip<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerza za aplikativne vede v Sakaryji, Poklicna fakulteta, Turčija

<sup>2</sup>Univerza za aplikativne vede v Sakaryji, Tehniška fakulteta, Turčija

Cikloidni prenosniki imajo zaradi svoje kompaktne zgradbe in visokega izkoristka pomembno vlogo v različnih mehanskih sistemih. Z zmanjšanjem mase teh komponent se lahko znatno izboljšata zmogljivost in učinkovitost celotnega sistema. Pričujoča študija obravnava uporabo hevrističnih optimizacijskih algoritmov za zmanjšanje mase cikloidnih prenosnikov na minimum ob upoštevanju vseh zahtev. Uporabljena sta bila optimizacijski algoritmi z rojem delcev (PSO) in optimizacijski algoritmi z rojem kvantnih delcev (QPSO). V študiji je bila opravljena tudi primerjava učinkovitosti omenjenih naprednih optimizacijskih tehnik in tradicionalnih pristopov h konstruiranju cikloidnih prenosnikov, ki zaradi odsotnosti standardnih konstrukcijskih parametrov pogosto temeljijo na domnevah.

Cikloidni reduktorji so zobniški prenosniki, ki se običajno uporabljajo za prenos velikih vrtilnih momentov pri nizkih vrtilnih frekvencah. Razširjeni so posebej pri industrijskih robotih, strojih za natančno obdelavo in avtomatizacijskih sistemih. Masa pa omejuje njihovo energijsko učinkovitost in uporabnost za nekatere namene. Namen pričujočega dela je optimizacija mase in s tem znižanje stroškov ter izboljšanje zmogljivosti cikloidnih reduktorjev na podlagi hevrističnih algoritmov. Navdih za hevristične algoritme so naravni sistemi, še posebej učinkoviti pa so pri reševanju kompleksnih optimizacijskih problemov. Omenjeni algoritmi so hitrejši od tradicionalnih optimizacijskih metod. Pri optimizaciji so bili upoštevani parametri mehanske konstrukcije reduktorja (npr. izbira materiala, velikost zobnikov, geometrija konstrukcije). Ustrezna optimizacija omenjenih parametrov mora zagotoviti zmanjšanje mase ob ohranitvi kritičnih lastnosti reduktorja, kot sta trdnost in obstojnost. V tem kontekstu so potrebne rešitve na področju analize trenutnega stanja, določitve ciljev optimizacije, izbire optimizacijskih parametrov in analize rezultatov. Uporaba hevrističnih algoritmov prinaša pomemben prispevek z inovativnimi in učinkovitimi pristopi pri reševanju tehničnih izzivov.

Postopek se začne s pripravo začetne zasnove cikloidnega reduktorja po standardni inženirski praksi. Glavni parametri pri optimizaciji so ekscentričnost, premer referenčnega kroga valjčkov, premer valjčkov in debelina cikloidnega zobnika. Omenjeni parametri so ključni za zmogljivost reduktorja ter so bili optimizirani po algoritmih PSO in QPSO. Algoritma sta bila uporabljena vsak posebej na konstrukcijskem problemu za analizo in primerjavo učinkovitosti pri optimizaciji mase. Po optimizaciji je bila opravljena analiza po metodi končnih elementov (MKE) za validacijo optimalnih parametrov in preverjanje napetosti v območjih kontakta na profilu cikloidnih zobnikov. Temu je sledila primerjava rezultatov.

Optimizacija po metodi PSO je prinesla 33,3-odstotno zmanjšanje mase cikloidnega reduktorja v primerjavi z začetno konstrukcijo. Z metodo QPSO je bilo doseženo nekoliko večje zmanjšanje mase (33,8 %). Rezultati analize po MKE so pri obeh algoritmih potrdili strukturno togost optimizirane konstrukcije, ki je primerna za pričakovane obremenitve med obratovanjem. Sledi sklep, da metodi PSO in QPSO omogočata učinkovito optimizacijo mase cikloidnih reduktorjev, pri čemer je metoda QPSO nekoliko učinkovitejša. Primerjava algoritmov je pokazala, da so rezultati metode QPSO stabilnejši kot pri metodi PSO.

Ena od omejitev raziskave je zanašanje na simulacije in teoretične modele, ki ne zajemajo vedno vseh praktičnih vidikov. V prihodnje raziskave bo mogoče vključiti preizkušanje optimiziranih konstrukcij za validacijo vedenja v realnih obratovalnih pogojih. Rezultate optimizacije bi bilo poleg tega mogoče izboljšati z vključitvijo drugih hevrističnih algoritmov oz. hibridnih pristopov. Študija tako predstavlja osnovo za intenzivnejše raziskave uporabnosti naprednih optimizacijskih tehnik pri konstruiranju.

Članek predstavlja prispevek na področju optimizacije mehanskih konstrukcij z uporabo PSO in QPSO za zmanjšanje mase cikloidnih reduktorjev. Uporaba hevrističnih algoritmov na tem področju je razmeroma nova, novost pa je tudi v primerjavi učinkovitosti obeh algoritmov. Praktični pomen študije je v pristopu h konstruiranju lažjih in učinkovitejših cikloidnih reduktorjev. Rezultati bodo v tem kontekstu uporabni za različne mehanske sisteme, kjer sta ključnega pomena masa in izkoristek. Študija je pomembna tudi zato, ker predstavlja izhodišče za uporabo najnovejših tehnik na področju konstruiranja in optimizacije mehanskih sistemov.

**Ključne besede:** cikloidni reduktor, analiza po metodi končnih elementov, optimizacija z rojem delcev, optimizacija z rojem kvantnih delcev, hevristični algoritmi, optimizacija