

Algoritem na osnovi metode robnih elementov za URANS simulacije toka preko kvadratne ovire

Janez Lupše* – Leopold Škerget – Jure Ravnik
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

Danes so numerične metode za preračun toka tekočin v industriji v vsakodnevni uporabi. Vendar pa je večina industrijsko pomembnih tokovnih problemov računsko zahtevnih, kar je povezano z velikimi računskimi zmogljivostmi in s tem veliko porabo časa in energije. Večina današnjih metod v uporabi deluje na principu »surove sile«, kjer z zelo gostimi numeričnimi mrežami opisujemo fizikalno dinamiko pojavov. Glavna prednost metode robnih elementov (MRE), v primerjavi z večino ostalih numeričnih metod, je vključitev fizikalnih mehanizmov toka že med samim postopkom diskretizacije, kar vodi v zmanjšanje potreb po gosti numerični mreži, hkrati pa poveča stabilnost numeričnega algoritma.

V članku predstavljamo numerični algoritem, osnovan na metodi robnih elementov, za računanje nestacionarnih tokov v direktnem in URANS načinu. Algoritem je osnovan na hitrostno-vrtinčnem zapisu Navier-Stokesovih enačb. Tak zapis uporabljajo tudi drugi najbolj učinkoviti algoritmi za izvajanje direktnih numeričnih simulacij. Pomemben del algoritma je določitev robnih vrednosti vrtinčnosti, kjer se uporaba MRE izkaže. Izračun območnih vrednosti mora biti opravljen globalno na celotni domeni reševanja, kar pripelje do reševanja polnih sistemov enačb in s tem velike uporabe računalniškega spomina ter posledično praktičnih omejitev pri velikosti numeričnih mrež. Delno se da problem omiliti z raznoraznimi metodami stiskanja polne matrike, saj se izkaže, da imajo členi, ki ležijo daleč stran od diagonale, zanemarljiv vpliv na natančnost rešitve, ali pa z uporabo drugačne oblike vodilnih enačb. Zaradi lastnosti Greenovih funkcij, uporabljenih kot utežne funkcije v obravnavani metodi, je možno uporabiti relativno redke numerične mreže v primerjavi z drugimi metodami. Hkrati so del rešitve tudi normalni odvodi funkcij polja, kar zmanjša napake pri računanju le-teh in je pomembno npr. pri natančni določitvi Nusseltovega števila.

Algoritem je nadgradnja našega algoritma, razvitega za RANS modele z integracijo do zida. Ker so ti modeli nezadostni v primeru, ko je tokovni problem že v sami osnovi nestacionaren, smo v predloženem članku algoritem razširili še za URANS simulacije. Preverjanje algoritma je izvedeno na primeru toka okoli kvadratne ovire v ravnem kanalu, pri čemer je bilo razmerje med širino ovire in širino kanala 1:8. Tok postane nestacionaren že pri Reynoldsovem številu med 54 in 70, kar omogoča preverjanje algoritma že v laminarnem režimu. V laminarnem režimu smo izvedli numerične simulacije pri Reynoldsovih številih 100, 150, 200 in 250 ter v nizko turbulentnem režimu pri Reynoldsovem številu 1000. Simulacije laminarnega toka pokažejo dobro ujemanje rezultatov z rezultati izračunov iz literature za komponento hitrosti v smeri toka in tudi za Strouhalovo število ter koeficient upora. V nizko turbulentnem režimu obravnavamo tok s pomočjo kvazi-direktno numerične simulacije in s Spalart-Allmarasovim modelom turbulence v URANS načinu, kjer primerjamo rezultate za oba integralna parametra z rezultati iz literature. Zaradi dušenja toka z modelirano viskoznostjo v URANS simulaciji ne vidimo manjših struktur v toku, kar se pozna tudi pri obeh izračunanih parametrih, tok pa postane navidezno podoben laminarnemu. V nasprotju pa pri kvazidirektni simulaciji tega dušenja nimamo in so simulirane strukture omejene z velikostjo mreže, kar se kaže v veliko bolj bogatem spektru struktur v toku.

Ključne besede: metoda robnih elementov, numerični algoritem, hitrostno-vrtinčna oblika, turbulentni tok nestisljive tekočine, URANS, kvadratna ovira