

## Nestacionarni tok in tlačni impulzi v črpalki za hladilno vodo jedrskega reaktorja

Dan Ni\* – Minguang Yang – Bo Gao – Ning Zhang – Zhong Li

Univerza Jiangsu, Fakulteta za energetiko in elektroenergetiko, Kitajska

Črpalke za hladilno vodo jedrskega reaktorja (RCP), ki skupaj s sredico reaktorja in generatorji pare za prenos toplotne energije predstavljajo srce jedrskega reaktorja, poganjajo kroženje hladilne vode v primarnem krogu. Te črpalke so edini rotacijski del v jedrskem otoku, zato spadajo med komponente prvega razreda jedrske varnosti. Poleg tega so tudi glavni porabnik energije v jedrski elektrarni ter morajo zagotavljati dolgotrajno delovanje brez prekinitev in motenj. Notranji tokovi v črpalki za hladilno vodo jedrskega reaktorja z mešanim tokom so eden glavnih problemov pri razvoju teh črpalk za velike tlačne vodne reaktorje. Nestacionarni tokovi v črpalki, še posebej v določenih predelih, so zelo pomembni za varnostno analizo jedrskega reaktorja, saj lahko povzročijo vibracije, ki ogrožajo integriteto črpalke. Pri konstruiranju tovrstnih črpalk je zato nujna celovita analiza in napovedovanje tlačnih impulzov zaradi interakcij med rotorjem in statorjem. Za izboljšanje učinkovitosti in stabilno obratovanje črpalk za hladilno vodo jedrskih reaktorjev je nujen podroben opis zapletenih nestacionarnih struktur notranjih tokov.

Pri teh črpalkah gre za posebno konstrukcijo s sferičnim ohišjem, ki določa značilne in kompleksne tokovne strukture v črpalki. Članek predstavlja študijo notranjih nestacionarnih tokov v modelni črpalki RCP z mešanim tokom pri nazivnih pogojih na podlagi metode simulacije velikih vrtincev (LES) in eksperimentov. Merilna mesta za merjenje tlačnih impulzov in nestacionarnega toka so bila postavljena na vhodu kolesa, v kanalih difuzorja in na sferičnem ohišju. Podatki o tlačnih impulzih in zapletenih tokovnih strukturah so bili nato združeni za opis nestacionarnega toka v črpalki.

Notranje tokovne strukture so težko določljive in zapletene zaradi posebnosti sferičnega ohišja teh črpalk. Raziskava je pokazala, da se tokovne strukture pri nazivnem pretoku v različnih kanalih občutno razlikujejo in da so tesno povezane s položajem kanala difuzorja glede na šobo. V kanalih difuzorja v bližini šobe prihaja do ločevanja toka in do povratnih tokov. Na predel levo od praznilne šobe ohišja pomembno vplivajo intenzivne interakcije med rotorjem in statorjem. Desno in na sredini šobe ohišja pa so nestacionarne tokovne strukture bolj zapletene kot drugje zaradi obsežnega ločenega toka (prehodni in krožni tok) in močnega vrtinčenja. Ugotovljeno je bilo, da imajo vrtinčni in tlačni spektri praktično enake vzbujalne frekvence. Tlačni impulzi v določenih predelih so tako odvisni od odlepljanja vrtincev na zadnjem robu lopatice difuzorja modelne črpalke za hladilno vodo jedrskega reaktorja.

Nadaljnje raziskave bodo usmerjene v odvisnosti med nestacionarnimi tokovnimi strukturami in tlačnimi impulzi v zadevnih črpalkah v vseh delovnih pogojih, uporabljene pa bodo tehnike merjenja tlačnih impulzov in PIV.

**Ključne besede:** črpalka za hladilno vodo jedrskega reaktorja, nestacionaren tok, tlačni impulzi, sferično ohišje, vrtinčenje, obsežen ločeni tok, nestacionarne tokovne strukture