

1. Raziskovalna organizacija:

Univerza v Ljubljani, *Fakulteta za strojništvo*

2. Ime in priimek mentorja:

doc. dr. Matjaž Perpar

3. Področje znanosti iz šifranta ARRS:

2.13.01

4. Kontaktni e-naslov mentorja:

matjaz.perpar@fs.uni-lj.si

5. Kratak opis programa usposabljanja:

Program usposabljanja mladega raziskovalca, začetek jesen 2015

Mladi raziskovalec se bo vpisal na doktorski študij na Fakulteti za strojništvo (FS) Univerze v Ljubljani. Zaposlil se bo v Laboratoriju za dinamiko fluidov in termodinamiko na FS in bo delal v okviru tematike raziskovalnega programa P2-0162 Tranzientni dvofazni tokovi na temi *prisilno mešanje* v mešalnih (reaktorskih) posodah.

Izhodišče raziskovalne naloge MR in njena povezava z raziskovalnim programom

Raziskave v programu *P2-0162 Tranzientni dvofazni tokovi* so predvidene v treh udarnih smereh, ki naslavljajo nekaj ključnih znanstvenih vprašanj. Ta so: principi kompleksne dinamike fluidov, fizični problemi povzročeni s tokovi in povezanost fluid-okoliška struktura. Binarne zmesi, kjer sobivata dve fazi (kot agregatno stanje): trdnina-kapljevina, trdnina-plin, kapljevina-plin in kapljevina-kapljevina imenujemo kompleksni fluidi. Ti kažejo nenavadne mehanske odzive pri obremenitvah oz. napetostih, ki jih povzroča sobivanje faz vsled geometrijskih omejitev. Mehanske lastnosti se izražajo v karakteristikah kot so visoka stopnja neurejenosti, omejevanje in grupiranje na večih krajevnih skalah. Pri vseh zgoraj naštetih dvofaznih fluidih se prepoznavne lastnosti kompleksnih sistemov izrazito pojavijo, ko je interakcija posameznih faz dovoljena in se le ta postopno povečuje. To se pri prisilnem mešanju, kot npr. pri dispergiranju plina v (majhni/veliki) mešalni posodi, ki so pogoste v industriji, izraža v zelo različnih oblikah; od izrazito nehomogene porazdelitve plinaste faze, različne velikosti mehurčkov do s tem povezane velikosti stične površine. Na lopaticah rotirajočega mešala se pojavljajo različno intenzivna podtlačna področja, ki se ob najmanjši prisotnosti plinaste faze zapolnijo s plinom in tvorijo t.i. plinske votline ter kombinacije različnih tipov plinskih votlin (strukture plinskih votlin). Te osnovne karakteristike struktur faznega stika ostajajo navzlic intenzivnim raziskavam mehanizmov v enostavnih geometrijah do določene mere nepojasnjene. Izračuni računalniške dinamike tekočin (CFD) nam trenutno kažejo sicer dober kvalitativen prikaz v omejenem režimu delovanja, vključitev in obravnava različnih plinskih votlin znotraj CFD ostaja nepojasnjeno.

Konkreten študij MR bo osredotočen na sistematične raziskave tranzientnih lastnosti dvofaznega toka pri vsiljenem mešanju.

Delovna hipoteza

Pri raziskovanju dispergiranja plinov v kapljevino vse večjo veljavo dobivajo metode računalniške analize CFD tokovnega stanja. S takšnim pristopom bi bilo možno predvideti vsaj nekatere osnovne plinske votline in eventualno nadaljnji razvoj struktur. CFD analiza že omogoča detajlen vpogled in vizualizacijo tokovnih razmer pri mešanju kapljevine v mešalni posodi ter določitev fizikalnih veličin in parametrov, kot so tlačno in tokovno polje, hitrostni profil ter sile na lopaticah mešala, medtem ko pri dispergiranju plina v kapljevino pri prisilnem mešanju, CFD obravnava plinasto fazo kot množico mehurčkov predpisane velikosti, tvorbo plinske votline in generacijo drobnih mehurčkov iz lete pa ostaja nepojasnjeno.

Metode dela

Napovedovanje lastnosti večfaznih tokov je precej omejeno tako pri povečevalnih kot tudi

pomanjševalnih metodah, kar predstavlja velik problem tako pri snovanju novih produkcijskih procesov, kot tudi pri optimizaciji obstoječih. Rešitev teh problemov pomeni možnost ekstrapolacije rezultatov dobljenih na pomanjšanih laboratorijskih postavitvah na kompleksne industrijske sisteme realnih dimenzij. Pri dispergiranju plina v kapljevino v posodi z mešali so namreč glavna težava nepričakovani pojavi, ki izhajajo pri nekaterih kritičnih velikostih ali območju parametrov, iz velikega števila disperznih elementov kot so mehurčki, kapljice ali delci. Raziskovali bomo nekaj pomembnih primerov, ki povzročajo tokovne nestabilnosti, gibanje na večjih skalah posledično v pričakovanem učinku tehnoloških procesov. Koncept je sledeč: izbrane prehodne pojave pri dvofaznem toku bomo obravnavali z vidika kompleksne dinamike fluidov in pri tem iskali prve principe. Edina umevna metodologija, ki vodi v uspešen znanstveni razvoj je koherentna in tesna integracija teorije, modeliranja in simulacije (TMS) z eksperimentom (E) in pridobljenih podatkov, kar predstavlja ključni princip predloženega programa.

Osrednje žarišče tega segmenta raziskav bo struktura faznega stika, pri čemer bomo uporabili eksperimentiranje na modelni napravi in ustrezne numerične simulacije. Tako bo v sklopu usposabljanja potekalo eksperimentiranje kot izvajanje CFD simulacij vezanih na to problematiko. V okviru predložene raziskovalne naloge je predvidena tudi CFD analiza na poenostavljenem modelu (zgolj ena lopatica mešala) z namenom identificirati značilne karakteristike, rezultati analize se ovrednotijo ter primerjajo z razpoložljivimi podatki meritev na osnovi vizualizacije s hitro kamero, zaznave lokalnega deleža plinaste faze, hitrostnega polja ter primerljivimi podatki po virih literature v kolikor bodo na voljo. Sočasno je s tem omogočena validacija CFD kode (npr. OpenFOAM) v iskanju generičnih principov simulacije kompleksne dinamike fluidov, da bi lahko ocenili domet uporabe v izbranem industrijskem problemu.

Cilji in predvideni rezultati

Osnovni cilj je v prispevkih k osnovni znanosti z iskanjem prvih principov v okviru navedene udarne smeri. Pričakujemo sistematične raziskave, ki bodo razkrile generične relacije pojavov, ki so pomembni za načrtovanje dispergiranja plinov v mešalnih posodah. Opirajo se možnosti uporabe omenjenih metod za izdelavo vzorčnih kartogramov z obsežno bazo fenomenoloških tokovnih režimov, tako imenovanih pametnih tokovnih kartogramov. Takšen "pametni" kartogram ne bo nudil samo informacije o tokovnih vzorcih, temveč bo imel vgrajene možnosti napovedi za druge pretočne lastnosti, kot so delež plinske faze, velikost mehurčkov, stična površina, itd za vsak hidrodinamski režim. Na osnovi tega bo možno na višji ravni napovedovati stanje disperznega sistema v mešalni posodi tudi na industrijski skali. V tem okviru slednje predstavlja reševanje določenih industrijskih problemov, ki so že definirani v pogodbah z industrijo, kjer so sistemi z večfaznimi tokovi odločujoči (Lek Farmaceutvska družba / Sandoz grupa).