**Universitatea Politehnica Timişoara**

**Facultatea de Mecanică**

**Catedra Maşini şi Sisteme Hidraulice şi Pneumatice**

**ANALIZA EXPERIMENTALĂ**

**ŞI NUMERICĂ A FUNCŢIONĂRII POMPELOR CENTRIFUGE DE ACUMULARE**

**Rezumat**

**ing. Gheorghiţă GÎNGA**

Conducător ştiinţific: prof.univ.dr.ing Liviu Eugen ANTON

Referenţi ştiinţifici: prof.univ.dr. Anton ANTON

 CS 1 dr.ing. Sebastian MUNTEAN

 prof.univ.dr.ing. Romeo SUSAN-RESIGA

Ziua susţinerii tezei: 14.11.2012

Cuvânt înainte

 Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activităţii mele în cadrul Departamentului de Mecanică, Catedra de Maşini şi Sisteme Hidraulice şi Pneumatice din Universitatea „Politehnica” din Timişoara.

 Mulţumiri deosebite se cuvin conducătorului de doctorat Domnului Profesor Doctor Inginer Liviu Eugen ANTON pentru îndrumarea şi sprijinul acordat de-a lungul celor trei ani al stagiului doctoral. De asemenea sincere multumiri se cuvin Domnilor Prof.dr.ing. Alexandru BAYA, membru al catedrei de Maşini Hidraulice, şi CS 1 dr.ing. Sebastian MUNTEAN, membru al Centrului de Cercetare pentru Ingineria Sistemelor cu Fluide Complexe, pentru observaţiile şi sprijinul necondiţionat acordate în timpul stagiului doctoral. Ţin să amintesc şi să multumesc pentru sprijinul oferit membrilor catedrei de MH, Conf.dr.ing. Teodor MILOŞ şi Ş.L. Adrian STUPARU, membrilor centrului CCISFC, Prof.dr.ing. Romeo SUSAN-RESIGA şi CS 2 dr.ing. Şandor BERNAD, şi nu în ultimul rând colegilor din cadrul centrului de cercetare.

Dezvoltarea standului experimental, proiectarea şi testarea modelelor au fost realizate în cadrul colaborării cu S.C. Hidroelectrica S.A. Sucursala Hidroelectrica Râmnicu-Vâlcea în proiectul cu titlul “Cercetări şi experimentări privind îmbunătăţirea performanţelor energetice şi cavitaţionale ale pompelor PRO 10-195 de la SP Jidoaia”, etapa I-a contract nr. 97-113.03/16.10.2008, etapa a II-a contract nr. 72-113.03/05.11.2009, etapa a III-a contract nr. 175/30.12.2010, Beneficiar S.C. Hidroelectrica – Sucursala Râmnicu Vâlcea, Director proiect Prof.dr.ing. Liviu Eugen ANTON.

Teza de doctorat a fost realizată cu sprijin partial din grantul strategic POSDRU/88/1.5/S/50783, Proiect ID50783 (2009), cofinantat din Fondul Social European "Investeste in oameni", in cadrul Programului Operational Sectorial Dezvoltare Resurse Umane 2007-2013

Timişoara, Noiembrie 2012 Ing. Gheorghiţă GÎNGA

**ANALIZA EXPERIMENTALĂ**

**ŞI NUMERICĂ A FUNCŢIONĂRII POMPELOR CENTRIFUGE DE ACUMULARE**

**Rezumat**

Prezenta lucrare tratează investigarea experimentală şi numerică a funcţionării pompelor centrifuge de acumulare PRO 10-195. Totodată pe baza rezultatelor numerice şi experimentale efectuate cu scopul de a determina performanţele energetice şi cavitaţionale ale rotoarelor pompelor PRO 10-195 sunt propuse două metode inovative de îmbunătăţire a acestor performanţe.

Pompele de acumulare cu dublu flux au în componenţa lor o cameră de aspiraţie simetrică sub forma unui pantalon cotit la 90° străbătut de arbore, denumit cot de aspiraţie. Geometria complexă a acestui cot generează neuniformităţi semnificative în câmpul hidrodinamic amonte de rotorul principal,[49] [50] [79] [116]. La debite mari de funcţionare acest cot generează două vârtejuri cavitaţionale contrarotative în spatele arborelui. Aceste vârtejuri sunt transportate şi ingerate de rotorul pompei. Consecinţa majoră a acestor fenomene hidrodinamice asupra funcţionării pompei de acumulare o reprezintă dezvoltarea fenomenului de cavitaţie. Prezenţa fenomenului de cavitaţie generează la rândul lui diminuarea performanţelor energetice ale pompei, vibraţii şi zgomot, erodarea şi chiar ruperea unor bucăţi de material din paleta rotorică.

Cazul test al acestei cercetări este reprezentat de pompa de acumulare PRO 10-195 care echipează SP Jidoaia, staţie de pompare existentă în sistemul hidroenergetic românesc. În cadrul unui contract de cercetare, în colaborarea cu, colectivul nostru, Dl.Prof. Anton A. de la UTCB a efectuat campanii de măsurători in situ cu scopul de a determina performanţele energetice reale în funcţionare ale pompelor din SP Jidoaia, Anton A. [11] [12]. În urma prelucrării datelor măsurate s-a constatat că pompele nu ating performanţele energetice de catalog, ba mai mult prezintă domenii de debite de exploatare diferite cu parametrii diferiţi (randament, putere absorbită). De asemenea rotoarele pompelor prezentau eroziuni de material şi chiar ruperi ale paletelor, acestea fiind efectele dezvoltării fenomenului de cavitaţie peste limitele acceptate tehnic.

Pentru îmbunătăţirea comportamentului cavitaţional şi a performanţelor energetice ale rotoarelor pompelor de acumulare PRO 10-195 din SP Jidoaia, au fost îndeplinite mai multe obiective, dintre care cele mai importante sunt:

* Analiza experimentală şi numerică a soluţiei constructive de rotor model existent în SP Jidoaia şi reproducerea cât mai fidelă a traseului hidraulic al pompei PRO 10-195.
* Proiectarea, realizarea şi investigarea experimentală a unor soluţii inovative de îmbunătăţire a performanţelor energetice şi a comportamentului cavitaţional al rotorului existent, prin reproiectarea rotorului cu metoda inversă de proiectare şi prin utilizarea unui anterotor, rotor impulsor, în faţa rotorului principal [13] [112].

Activitatea de cercetare ştiinţifică din cadrul tezei de doctorat a început prin proiectarea şi realizarea standului experimental de laborator destinat încercării pompelor centrifuge. Standul experimental este complex din inox pentru a permite investigaţii experimentale speciale aplicate pompelor centrifuge. Este dotat cu echipamente de măsură destinate determinărilor experimentale globale dar şi speciale. De asemenea standul proiectat este dotat cu un sistem automat de achiziţie de date comandat de un PC. Motorul electric care angrenează pompele ce se doresc a fi încercate, are o putere electrică de 37 KW şi este comandat prin intermediul unui convertizor de turaţie care permite reglarea turaţiei la arbore într-un interval de 500-3000rpm. Limitele hidraulice ale standul experimental permit investigarea pompelor centrifuge pe un domeniu larg de debite cuprins între 0-45 l/s cu înălţimi de pompare care depăşesc valoarea de 55 m la turaţie constantă de 3000 rpm. Domeniul de puteri absorbite 0-37 KW permite încercarea mai multor soluţii constructive de pompe centrifuge. Staţiunea este uşor manevrabilă ceea ce permite efectuarea unui mare număr de determinări experimentale într-un timp relativ scurt.

Suprapunerea curbelor obţinute cu sistemul de achiziţie de date, sistem care echipează noul stand experimental, peste curbele obţinute anterior în colectivul nostru, relevă buna funcţionare a aparatelor de măsură, a sistemului de achiziţie de date şi a circuitului hidraulic al standului experimental.

A doua etapă a cercetării a fost realizarea şi testarea rotorului model al pompei PRO 10-195 care echipează SP Jidoaia. Pe baza desenelor de execuţie al rotorului prototip instalat în pompa nr.2, s-a reconstruit geometria rotorului la scara 1:1. O dată reconstruit rotorului la scara 1:1, acesta a fost modelat la o scară geometrică favorabilă de 1:5.7, cu scopul de a fi testat (energetic, cavitaţional şi dinamic) într-o carcasă de pompă centrifugă existentă în Laboratorul de Pompe UPT.

Înălţimea de pompare a rotorului model determinată experimental atinge la debite mici de funcţionare (0-25 l/s) o valoare de peste 50 m; la debitul optim de funcţionare Qn=33.5 l/s, reuşind o înălţime de pompare de cca. 45 m. Randamentul rotorului model, la debitul nominal de funcţionare (Qn=33.5 l/s), atinge o valoare de 73% la o putere absorbită de 20 kW. Punctul optim de funcţionare se regăseşte la un debit cu 10% mai mare decât debitul nominal de funcţionare, unde Qopt=36.8 l/s>Qn=33.5 l/s. Aici randamentul total atinge valoarea de 75% la o înălţime de pompare de 43 m şi o putere absorbită de 20.5 KW.

Din punct de vedere cavitaţional, curba de sensibilitate la cavitaţie la încercarea rotorului model de pompă de la SP Jidoaia (NPSHc), indică prezenţa fenomenului de cavitaţie la debite mai mari decât debitul nominal, acolo unde Q>33 l/s şi valoarea parametrului NPSHc este de 3.2 m. Funcţionarea fără cavitaţie se regăseşte la debite cuprinse între 0-33 l/s, curba parametrului NPSHc situându-se sub curba disponibilă a standului NPSHd.

Analiza experimentală globală a funcţionării rotorului model în pompa echipată cu cotul de la aspiraţie, relevă faptul că prezenţa cotului nu aduce modificări majore performanţelor energetice şi cavitaţionale ale rotorului model. Cuantificarea modificărilor generate de prezenţa cotului este imposibilă deoarece acestea se regăsesc în limitele echipamentelor de măsură. Valorile performanţelor energetice transpuse de la model la prototip se regăsesc în banda de erori de măsurare. Înălţimea de pompare maximă transpusă este de 203 m la debitul de 1 m3/s; însă la debitul optim de funcţionare de 4.2 m3/s comparativ cu, curba de catalog a pompei PRO 10-195 şi a datelor măsurate in situ, înălţimea de pompare transpusă are valoarea de 178 m idem cu valoarea măsurată in situ şi cu 9% mai mică faţă de curba de catalog.

Puterea absorbită transpusă la debitul nominal se înscrie în domeniul de exploatare al pompei industriale, valorile acesteia suprapunându-se peste valorile determinate in situ (Pabs=8.4 MW). Randamentul transpus de la model la prototip la debitul optim este de 87% idem şi de randamentului măsurat in situ şi cu 2 procente mai mic decât randamentul din curba de catalog de, 89%.

Din punct de vedere cavitaţional se observă, că prezenţa cotului de la aspiraţie are la debite mici o influenţă majoră asupra curbei de sensibilitate la cavitaţie, existând o rezervă de presiune mai mare cu aprox. 25%. Prezenţa cotului de la aspiraţie induce un comportament cavitaţional asemănător cu cel obţinut în lipsa acestuia încă din vecinătatea debitului nominal de funcţionare. Astfel, în vecinătatea debitului nominal de funcţionare, unde Qn= 33.5 l/s, valoarea parametrului NPSHc este de 3.2 m. Peste debitul nominal de funcţionare, valorile care definesc curba NPSHc depăşesc valorile curbei disponibile a standului NPSHd, indicând o funcţionare în regimuri cavitaţionale dezvoltate.

O alta etapă din partea experimentală a constat în măsurarea pierderii de presiune pe cot şi a pulsaţiilor de presiune pe secţiunea de ieşire a cotului de la aspiraţie. Măsurătorile sau realizat cu ajutorul a doi traductori de presiune piezorezistivi pentru un număr de nouă regimuri de funcţionare, de la 0.5, 0.6…1.3 din debitul nominal de funcţionare Qn. După mai multe seturi de măsurători s-a ajuns la concluzia că la funcţionarea până la debite de 1.2Qn există o repetabilitate a măsurătorilor atât în valoarea presiunii medii cât şi a transformatei Fourier FFT.

Din achiziţionarea semnalelor de presiune nestaţionară s-a evaluat în primă fază căderea de presiune pe tronsonul de aspiraţie al pompei model. Astfel s-a calculat coeficientul de pierderi hidraulice în cotul de la aspiraţie al pompelor cu dublu flux. Valorile coeficientului de pierderi hidraulice se încadrează în limitele 0.5…1.3, limite regăsite în literatură pentru un cot de 90° cu diametru constant. Aceste similarităţi conduc la supoziţia că, deşi această cameră de aspiraţie simetrică prezintă o geometrie complexă, geometria interioară a acestuia a fost special profilată pentru a realiza de la o anumită valoare a numărului Reynolds (Re=3.2x104 pentru acest caz), valori acceptabile ale coeficientului de pierderi hidraulice.

Din analiza preliminară pulsaţiilor de presiune (spectrul FFT) s-au identificat, pentru acest caz, frecvenţele fenomenelor care apar în curgere. Astfel la frecvenţa de 50 Hz, cu amplitudinea asociată, se regăseşte frecvenţa fundamentală a de rotaţie a rotorului, armonicile superioare regăsindu-se la frecvenţe multiple de 50 Hz. În primă fază, neidentificate sunt frecvenţele care se regăsesc în funcţie de debit, în intervalul 0…50 Hz. După o analiză calitativă a câmpului hidrodinamic, s-a constatat că aceste frecvenţe aparţin instabilităţilor generate de cotul de la aspiraţie.

Pentru cuantificarea instabilităţilor generate de cotul de la aspiraţie, cu frecvenţe cuprinse între 0…50 Hz, semnalele pulsaţiilor de presiune au fost filtrate cu un filtru trece jos şi reeşantionate la pas constant de timp. O dată realizată reconstrucţia semnalului la pas constant de timp, s-au determinat amplitudinile echivalente şi frecvenţele dominante ale acestor instabilităţi. Amplitudinea cea mai ridicată a pulsaţiilor de presiune are valoarea de 4.5 KPa la frecventa de aprox. 20 Hz, se regăseşte la cel mai mic debit investigat (0.5Qn), acesta fiind totodată şi cel mai nefavorabil regim de funcţionare. În jurul debitului nominal de funcţionare, 0.8Q…1.1Qn, amplitudinile au valori similare ceea ce indică o stabilizare a curgerii în zona cotului de la aspiraţie. Peste debitul de 1.1Qn există o mică creşte a amplitudinii în limita a 9% pentru restul domeniului de debite investigate.

De asemenea frecvenţele asociate instabilităţilor induse de cotul de la aspiraţie, instabilităţi sub forma vârtejurilor cavitaţionale contrarotative, scad o dată cu creşterea debitului de funcţionare., de la valoarea maxima de aprox. 29 Hz la 0.5Qn la 13 Hz la 1.3Qn-cel mai mare debit investigat.

Descompunerea semnalelor de presiune reconstruite au evidenţiat că, componenta piston a curgerii din traseul hidraulic al rotorului model este cea dominantă, în detrimentul celei rotative care prezintă valori mici şi este neglijabilă.

Simularea numerică a curgerii 3D staţionară turbulentă în traseul hidraulic al pompei de acumulare model, a scos în evidenţă structura complexă a câmpului hidrodinamic amonte de rotor. Pentru cuplarea domeniilor 3D de analiză s-a folosit un algoritm de cuplare, denumit „mixing interface”, [88].

Se remarcă structura neuniformă a câmpul hidrodinamic de pe suprafaţa de ieşire a cotului de la aspiraţie, prezentând variaţii pronunţate ale coeficienţilor componentelor vitezei pe toate cele trei secţiuni investigate. Variaţia coeficienţilor componentelor de viteză pe cele trei secţiuni este similară pentru toate debitele investigate însă prezintă domenii diferite ale valorilor coeficienţilor componentelor de viteză. Variaţia cea mai pronunţată, o are coeficientul componentei tangenţiale de viteză. Prezenţa mai multor vârtejuri contra-rotative pe suprafaţa de ieşire a cotului de la aspiraţie indică un câmp de curgere neuniform amonte de rotorul pompei. Variaţia pe cele trei secţiuni a unghiului relativ de curgere β, indică modificarea continuă a valorii acestui unghi în timpul unei mişcări de revoluţie a rotorului. Aceasta provoacă o variaţie continuă a valorii unghiului de incidenţă Neuniformităţile din câmpul hidrodinamic de pe suprafaţa de ieşire a cotului sunt generate de geometria complexă a acestuia.

Prezenţa vârtejurilor cavitaţionale generate de cotul de la aspiraţie la funcţionarea cu debite mai mari decât debitul nominal au fost surprinse şi evidenţiate prin suprafeţe de iso-presiune şi linii de curgere şi în simularea numerică a curgerii 3D staţionară vâscoasă în cotul de la aspiraţie.

Comparaţia performanţelor energetice obţinute numeric cu cele obţinute experimental, realizată cu scopul validării rezultatelor numerice, a permis pentru acest caz, cuantificarea incertitudinilor induse de algoritmul de cuplare a curgerii. În cazul înălţimii de pompare incertitudinea este de 15% iar pentru randamentul hidraulic, determinat cu ajutorul relaţiilor statistice prin eliminarea randamentului mecanic şi a celui volumic, valoarea incertitudinii este de 3%. Discrepanţele apărute sunt cauzate de acest algoritm de cuplare care utilizează valori mediate circumferenţial ale profilelor de viteze şi presiuni, eliminând/mixing/amestecând astfel dârele hidrodinamice şi orice ale neuniformităţi circumferenţiale generate în curgere. Eliminarea neuniformităţilor a condus în final la minimalizarea pierderilor hidraulice şi supraaprecierea presiunii totale obţinute numeric.

Din punct de vedere cavitaţional, din prelucrarea datelor numerice s-au evidenţiat zonele de pe paleta rotorică cu valori ale parametrului NPSHc cele mai ridicate. Valorile ridicate ale parametrului NPSHc indică zonele paletelor rotorice unde presiune statică este cea mai scăzută. Poziţionarea pe intradosul şi extradosul paletei rotorice a zonelor cu presiunii statice scăzute, indica suprafeţele în care riscul apariţiei şi dezvoltării fenomenului de cavitaţie este cel mai ridicat.

Proiectarea şi testare de soluţii inovative în cazul pompelor de acumulare cu scopul de a le îmbunătăţi performanţele energetice şi cavitaţionale a constituit o alta etapă a cercetării. Pentru îmbunătăţirea comportamentului cavitaţional al pompei s-a instalat un impulsor în faţa rotorului principal şi s-au determinat experimental performanţele energetice şi cavitaţionale ale acestuia; în timp ce pentru îmbunătăţirea performanţelor energetice şi în acelaşi timp şi a comportamentului cavitaţional s-a recurs la proiectarea unui nou rotor prevăzut cu impulsor.

Din punct de vedere energetic, înălţimea de pompare a noului rotor prototip este mai mare cu aprox. 10% decât cea a rotorului prototip originar pe întreg domeniul de exploatare al acestuia, atât la funcţionarea cu impulsor cât şi fără. De asemenea se observă că înălţimea de pompare a rotorului reproiectat prototip depăşeşte în limita a 3% înălţimea de pompare de catalog a pompei PRO 10 195.

Rotorul reproiectat prezintă un randament mai mare cu aprox. 2% decât rotorul prototip existent, în ambele cazuri de funcţionare investigate. Aşa cum s-a menţionat anterior, rotorul reproiectat are valori ale randamentului similare cu cele de catalog, valoarea maximă a randamentului total fiind de 90% la debitul nominal de funcţionare.

Îmbunătăţirile energetice prin creşterea înălţimii de pompare şi a randamentului aduse de noul rotor proiectat cu impulsor au condus la un consum de energie mai ridicat. Puterea absorbită de noul rotor prototip atinge la debitul nominal de funcţionare al rotorului existent în centrală valoarea de 10 MW, atât la funcţionarea cu impulsor cât şi fără. Aici, puterea absorbită de noul rotor prototip este mai mare cu 15% decât curba determinată in situ şi cu 8% mai mare decât curba de catalog. Chiar şi la debitul de proiectare al noului rotor, Qp=1.2Qn\*rotor originar, puterea maximă absorbită este de 10.4 MW, valoare care se înscrie în domeniul de exploatare al motorului electric care angrenează pompa prototip din staţia de pompare Jidoaia(PmaxME=10.5 MW)

Din punct de vedere cavitaţional, curbele de sensibilitate la cavitaţie sunt comparate pentru modele deoarece nu există relaţii de transpunere de la model la prototip. În cazul funcţionării fără impulsor şi la debite mici rotorul reproiectat prezintă un comportament cavitaţional asemănător cu cel al rotorului existent. O dată cu creşterea debitului, comportamentul rotorului reproiectat se înrăutăţeşte datorită absenţei impulsorului prevăzut la proiectare.

Pentru ambele soluţii constructive de rotor se observă că, includerea impulsorului în faţa rotoarelor model îmbunătăţeşte semnificativ comportamentul cavitational ale acestora. Prezenţa impulsorului extinde domeniul de debite de funcţionare fără cavitaţie cu 23% pentru rotorul originar şi cu aprox. 26% pentru rotorul nou, reproiectat cu impulsor. Scopul proiectării noului rotor prevăzut cu impulsor este de a îmbunătăţi performanţele energetice ale soluţiei originare în timp ce impulsorul protejează rotorul principal de efectele nedorite ale fenomenului de cavitaţie.

Instalarea impulsorului în faţa rotorului de la SP Jidoaia, va îmbunătăţi comportamentul cavitaţional al rotorului. Îmbunătăţirea comportamentului cavitaţional va conduce la reducerea costurilor de exploatare şi întreţinere a pompelor care echipează SP Jidoaia. Această îmbunătăţire conduce şi la o exploatarea mai extinsă a volumului lacului de la SP Jidoaia, adică la pomparea unui volum mai mare de apă datorită modificării cotei minime a lacului din spatele barajului staţiei de pompare Jidoaia.

Constribuţiile originale sunt preyentate în cele ce urmează:

1. Contribuţii la proiectarea (calcul hidraulic, întocmirea documentaţiei de execuţie), realizarea şi dezvoltarea noului stand experimental destinat încercărilor globale şi speciale aplicate pompelor centrifuge;
2. Calibrarea echipamentelor de măsură instalate şi efectuarea testelor preliminare cu rotorul etalon pentru stabilirea domeniului de analiza pentru mărimile investigate împreună cu determinarea incertitudinilor aferente acestor mărimi;
3. Proiectarea şi implementarea tronsonului de la aspiraţie (cotul de la aspiraţie) specific pompelor centrifuge de acumulare cu dublu flux pe standul experimental;
4. Evaluarea experimentală a influenţei cotului de la aspiraţia pompelor de acumulare asupra performanţelor energetice şi cavitaţionale ale rotoarelor pe întreg domeniul de operare şi determinarea coeficientului de pierderi hidraulice în camera de aspiraţie;
5. Vizualizarea pe standul experimental a vârtejurilor contrarotative generate de tronsonul de la aspiraţie (cotul) şi evaluarea cantitativă a nestaţionarităţii câmpului hidrodinamic de la intrarea în rotoarele pompelor de acumulare. Astfel, am discriminat contribuţia vârtejurilor contrarotative în spectrul Fourier şi am cuantificat contribuţia acestora în amplitudinea echivalentă şi frecvenţa fundamentală pentru fiecare regim investigat. În consecinţă, am determinat tendinţele de evoluţie a celor două mărimi care cuantifică nestaţionaritatea generată de tronsonul de aspiraţie pentru întreg domeniul de operare;
6. Determinarea prin simularea numerică a curgerii tridimensionale turbulente a structurii câmpului hidrodinamic generat de tronsonul de la aspiraţie amonte de rotor şi identificarea vârtejurilor contrarotative vizualizate pe standul experimental;
7. Cuantificarea incertitudinilor algoritmului “mixing interface” la cuplare curgerii absolute tridimensionale staţionare din tronson de aspiraţie cu cea tridimensională relativă staţionară din rotor pentru situaţii în care există variaţii semnificative ale componentei tangenţiale a vitezei, prin compararea rezultatelor numerice cu datele experimentale.
8. Instalarea şi testarea experimentală în laborator a soluţiei impulsor-rotor şi determinarea cantitativă a îmbunătăţii comportamentului cavitaţional faţă de soluţia doar cu rotor pentru întreg domeniul de operare;

Proiectarea unui nou rotor prototip în doua variante (cu paletaj lung respectiv paletaj lung şi scurt) prevăzut cu impulsor la aspiraţie şi alegerea variantei cu performanţele energetice şi cavitationale cele mai bune obţinute prin simularea numerică tridimensională turbulentă. Implementarea noului rotor model pe standul experimental şi determinarea cantitativă a îmbunătăţirii performanţelor energetice în raport cu rotorul existent.

Pentru continuarea cercetărilor se propun următoarele direcţii de cercetare:

* Extinderea investigaţiilor asupra câmpului hidrodinamic generat de tronsonul de aspiraţie la intrarea în pompă prin măsurarea neinvazivă a componentelor vitezei cu sistem LDV. Utilizarea acestor date pentru cuantificarea erorilor rezultatelor numerice faţa de datele experimentale la nivel de câmpului de viteză. Determinarea experimentală a limitelor de variaţie în timp a unghiului curentului la intrarea în rotor se aşteaptă să conducă la noi soluţii pentru îmbunătăţirea comportamentului cavitaţional;
* Determinarea cu un grad mai mare de precizie a performanţelor energetice şi cavitaţionale prin simularea numerică a curgerii implică utilizarea algoritmului nestaţionar de cuplare dintre tronsonul de aspiraţie şi rotor în loc de algoritmul ”mixing interface” utilizat în cadrul tezei. Ca urmare, se preconizează o îmbunătăţire a preciziei rezultatelor cu peste 10% dar având ca şi preţ o creştere cu peste un ordin de mărime a timpilor de rulare şi prelucrare a datelor precum şi a volumului de stocare. Totuşi, în acest caz se va putea evalua numeric şi neuniformitatea nestaţionară generată de cot validându-se rezultatele obţinute cu datele experimentale.