

Contractor: INCDIE ICPE-CA

Cod fiscal: 13827850 (anexa la procesul verbal de avizare interna nr.)

De acord,
DIRECTOR GENERAL
Dr. ing. Sergiu Nicolaie

Avizat,
DIRECTOR DE PROGRAM
Dr. Ing. Georgeta Alecu

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: PN 18240202

Proiectul: Sisteme de actionare, analiza si control pentru cresterea eficientei energetice a echipamentelor si instalatiilor industriale utilizate in inginerie electrica, mecatronica si fluidica

Faza: 3. *Proiectarea instalației experimentale pentru studiul amestecurilor bifazice, adaptată pentru măsurători cu tehnica PIV*

Termen: 15.05.2018.

1. Obiectivul proiectului:

Caracterizarea curgerilor bifazice prin tehnica PIV în vederea optimizării proiectării, realizării și funcționării echipamentelor hidraulice

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:

Realizarea unor **instalații pentru caracterizarea curgerilor bifazice prin tehnica PIV**, în vederea optimizării proiectării, realizării și funcționării echipamentelor hidraulice.

3. Obiectivul fazei:

Proiectarea instalației experimentale pentru studiul amestecurilor bifazice, adaptată pentru măsurători cu tehnica PIV

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

Documentatia de executie a instalației experimentale pentru studiul amestecurilor bifazice.

5. Rezumatul fazei: (maxim 5 pagini)

1. Introducere

Până la dezvoltarea tehnicilor optice, vizualizarea experimentală a fost principalul mod de vizualizare în studiul curgerii. Tehnicile de vizualizare experimentală sunt aplicate în mai multe scopuri:

- pentru a obține o primă imagine despre curgerea unui fluid în jurul unui model scalar al unui obiect real, fără nici un fel de calcule;
- ca sursă de inspirație pentru dezvoltarea unor noi teorii ale curgerii fluidului;
- pentru verificarea unei noi teorii sau unui nou model.

Deși sunt utilizate pe scară largă, aceste metode prezintă unele dezavantaje. În multe situații curgerea fluidului este perturbată de tehnica experimentală care necesită instalarea de sonde sau de captori care produc instabilități, astfel încât, reproducerea fenomenelor nu este fidelă. În plus, utilizarea sondelor necesită calibrare acestea fiind sensibile la factorii externi (temperatură, umiditate etc.) și nu toate fenomenele curgerii sau parametrii relevanți pot fi vizualizați prin tehnici experimentale. De asemenea, construirea de modele fizice la scară mică și echipamente experimentale, cum ar fi tunelurile eoliene sau standurile hidraulice, sunt costisitoare, iar experimentele sunt consumatoare de timp.

2. Tehnici optice de vizualizare - considerații teoretice

În majoritatea situațiilor întâlnite în practică în domeniul ingineresc, curgerile se desfășoară în regim turbulent astfel că rezolvarea ecuațiilor de mișcare rămâne destul de greu de realizat chiar și prin utilizarea programelor de ultima generație ce folosesc modele numerice avansate. În consecință, utilizarea tehnicii PIV, pentru determinarea diverșilor parametri ce caracterizează curgerea turbulentă oferă o soluție fiabilă în cadrul acestui tip de studiu, inclusiv pentru validarea datelor obținute prin alte metode. Cu ajutorul acestor tehnici, se pot determina câmpuri de viteză, de concentrație, de temperatură, de turbulență, dimensiuni ale particulelor, pentru ca utilizând softurile de procesare a datelor putându-se determina și alte mărimi statistice ce derivă din aceste cantități măsurabile.

Tehnica PIV este des utilizată în domenii în care trebuie măsurați sute sau chiar mii de vectori simultan și unde sunt redade câmpuri mari de viteze. Fiind o metodă de măsură neintruzivă, împreună cu tehnica laser Doppler, LDV, sunt folosite atunci când curgerea fluidului nu trebuie să fie influențată de factori exteriori: în aeronautică, domeniul biomedical, combustie, științe naturale, etc. Tot aceste metode sunt des utilizate și pentru validarea modelelor CFD (*Computational Fluid Dynamics*).

3. Concepție instalație experimentală pentru studiul curgerii amestecurilor bifazice

3.1 Aspecte generale privind studiul curgerii în amestecurile bifazice

Pentru caracterizarea completă a curgerilor din aplicațiile industriale este necesară determinarea câmpurilor de viteze instantanee ale fazelor componente și prelucrarea datelor experimentale obținute utilizând softuri specifice de procesare și postprocesare.

Unul dintre domeniile în care studiul curgerii multifazice se realizează prin metode optice este curgerea indusă de rotoare în rezervoarele de amestecare/omogenizare.

Majoritatea problemelor legate de amestecare apar la procesările solid-lichid. Studiul experimental al proceselor de amestecare se desfășoară cu dificultate datorită problemelor întâmpinate la realizarea modelelor experimentale care să aproximeze cu cât mai mare acuratețe instalațiile industriale, dar și datorită lipsei unor metode adecvate de măsurare. Perfecționarea din ultimele două decade a tehnicilor optice de tipul LDV și PIV a făcut posibilă utilizarea acestora la caracterizarea curgerilor multifazice, în anumite condiții, respectiv suspensii diluate și instalații experimentale transparente, astfel încât razele optice să poată străbate întreaga secțiune de curgere.

Amestecarea este un proces complex a cărui eficiență depinde în principal de modelul de curgere generat de rotor. Cerințele de amestecare variază în funcție de problema ce trebuie rezolvată. Prin urmare, selectarea unui rotor adecvat pentru un anumit tip de amestec este determinată în primul rând de modele de curgere și profilurile de viteză pe care acesta este capabil să le genereze.

Problemele legate de studiul proceselor de amestecare sunt tratate atât în cadrul centrelor universitare cât mai ales în centrele de cercetare și proiectare ale producătorilor de echipamente. La nivel internațional există firme de prestigiu, specializate în domeniul echipamentelor de amestecare: STELZER Rührtechnik International și EKATO Group din Germania, Dynamix inc din Canada, CHEMINEER și SPX FLOW din SUA, etc. Aceste firme au propriile departamente de cercetare/proiectare care dezvoltă noi modele în funcție de solicitările pieții.

3.2. Aplicații ale tehnicii PIV în rezervoare de amestecare

Progresele recente ale tehnicilor optice de măsurare, precum tehnologia PIV, oferă avantaje mari în măsurarea parametrilor curgerii debitului, cum ar fi precizie ridicată, non-intruzivitate, rezoluție spațială mare, etc.

Măsurătorile PIV pot fi utilizate pentru:

- validarea predicțiilor CFD
- optimizarea proiectării rezervorului cu agitator prin selecția geometriei rezervorului dar și tipul, dimensiunea, locul de amplasare și viteza de rotație a rotoarelor
- amplasarea optimă a prizei de alimentare a rezervorului în regim discontinuu sau continuu

3.3. Concepție instalație experimentală

În vederea studierii modelelor de curgere generate de rotoare în rezervoare de amestecare a fost concepută o instalație experimentală pornind de la sistemul de măsurare a vitezelor în fluide existent în ICPE-CA.

Sistemul Particle Image Velocimetry (PIV) permite măsurarea neintruzivă a câmpurilor de viteze instantanee și a liniilor de curent în curgeri mono și bifazice, turbulente și laminare, utilizând mijloace optice, pentru o serie de aplicații științifice, dintre care enumerăm: evoluția vortexurilor, validare CFD, dinamica bulelor, curgeri prin canale și conducte, curgeri cavitaționale, mașini hidraulice curgeri în amestecătoare industriale.

Principii de funcționare a echipamentului PIV

Se consideră spre exemplificare o singura particulă în curgere (figura 1):

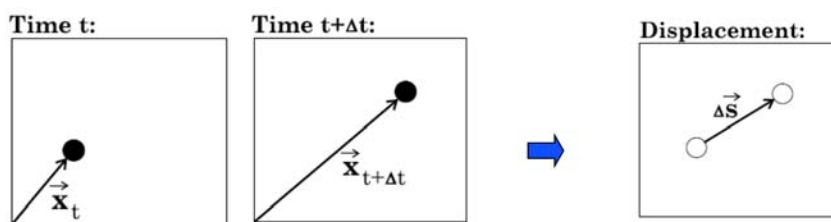


Fig. 1, Principiul de bază pentru determinarea unui vector de viteză

Dacă t este suficient de scurt, deplasarea particulei Δs este suficient de mică astfel încât direcția și magnitudinea vitezei particulei în intervalul Δt sunt considerate constante, adică accelerația este neglijabilă. Viteza locală a fluidului se estimează

$$u \approx \frac{x_{t+\Delta t} - x_t}{\Delta t} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Ideea descrisă anterior este extinsă în campania de măsurători la un câmp întreg.

Fluidul de lucru este însămânțat cu particule trasoare și planul de lucru este iluminat de o sursă laser. Lumina emisă de particule (particle images) este apoi înregistrată într-o matrice CCD la două momente diferite de timp separate de Δt . Imaginile sunt împărțite în sub-zone mici, așa-numite regiuni de interogare (8 to 64 pixels) și fiecare regiune este analizată printr-o metodă de corelare pentru a găsi vectorul local de deplasare Δs și pentru a calcula câmpul vectorului de viteză. Funcția cross-correlation pentru un anumit punct de interogare, cu dimensiunea $p \times q$ pixeli poate fi reprezentată ca:

$$\Phi(x, y) = \sum_{j=1}^q \sum_{i=1}^p f(i, j) \cdot g(i + x, j + y)$$

unde $f(i, j)$ și $g(i, j)$ sunt distribuțiile nivelurilor de gri la prima și a doua expunere, respectiv $\Phi(x, y)$ este valoarea funcției de corelație pentru un vector de deplasare $s = \delta(x, y)$.

Calculul corelației este de obicei accelerat folosind Transformata Fourier rapidă (FFT), pentru obținerea ulterioară a câmpurilor instantanee de viteze

$$R(i, j) = f(i, j) \otimes g(i, j) \Leftrightarrow FFT(R(i, j)) = F(u, v) \cdot G^*(u, v)$$

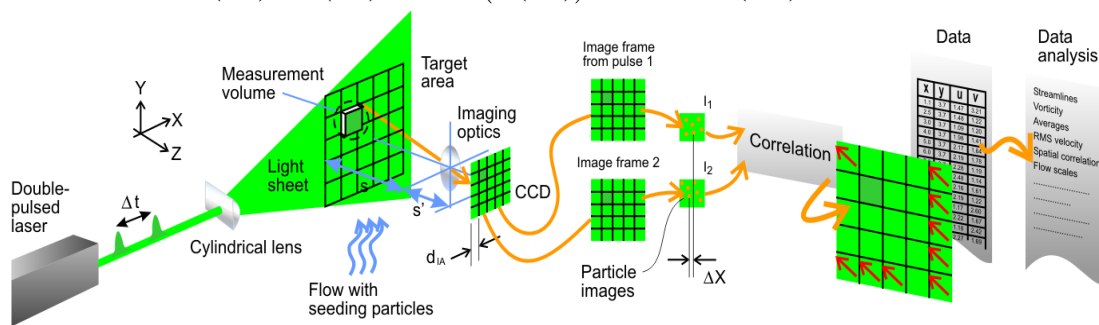


Fig. 2, Principiul de bază al funcționării PIV

Calibrarea imaginii se face cu ajutorul unei mire, pentru a defini funcția de transfer între cadrul camerei foto și sistemul de referință al planului de măsură. Atât planul laser cât și camera sunt focalizate în planul mirei, care va deveni planul de măsură ulterior. Acesta este situat de obicei în axa de simetrie.

Un exemplu de calibrare a imaginii este prezentat în figura. 3, în cazul unei curgeri cu generare de vârtje cavitațional.

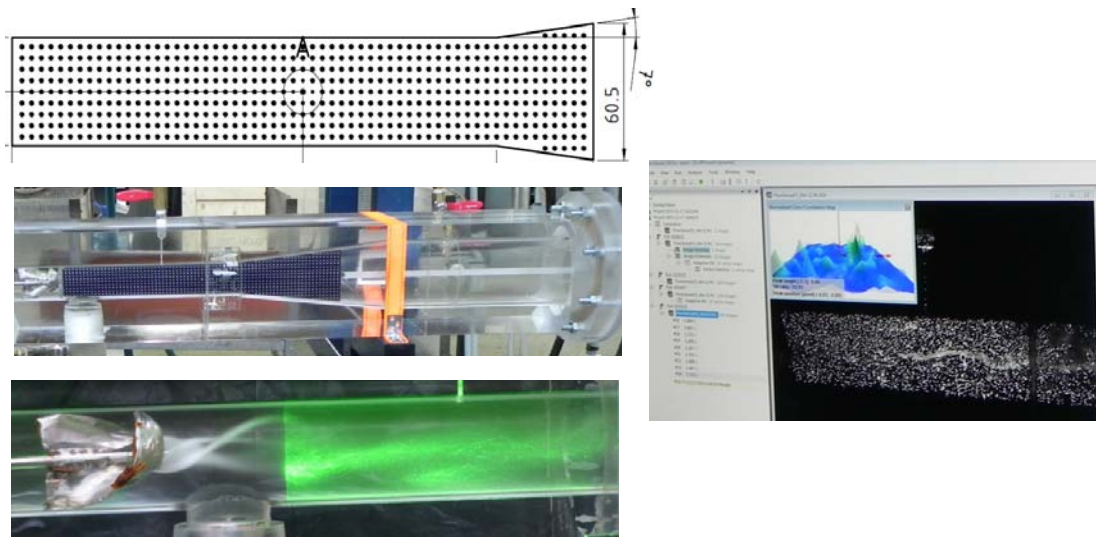


Fig. 3, Utilizarea mirei la calibrarea imaginii

3.4. Proiectare instalație pentru studiul dinamicii în rezervoare de amestecare

Pornind de la echipamentul de măsurare a vitezelor în fluide (PIV) existent în ICPE-CA s-a conceput o instalație în care poate fi vizualizată curgerea indusă de rotoare în vase cilindrice de tipul reactoarelor utilizate în industria chimică, alimentară, farmaceutică, energetică, etc. La conceperea instalației s-au luat în considerare aspecte constructive specifice desfășurării activităților experimentale de laborator, respectiv

- pentru a permite o bună vizualizare a fenomenelor hidrodinamice din interior, rezervoarele sunt realizate din plexiglas transparent
- pentru a putea reproduce cât mai multe tipuri de curgeri caracteristice proceselor industriale, instalația permite modificarea anumitor cote de montaj (cota de montaj a rotorului), sau de funcționare (înălțimea și diametrul coloanei de lichid, turația rotorului).

Instalația experimentală a fost proiectată în două variante, varianta 1 (figura 4), cu rezervor $\varnothing$ 300 mm și înălțimea $H = 500$ mm și varianta 2 (figura 5), cu rezervor $\varnothing$ 650 mm și înălțimea $H = 390$ mm. În vederea minimizării distorsiunilor optice introduse de curbura rezervoarelor cilindrice s-a conceput un bazin rectangular, realizat din plexiglas transparent, în care vor fi introduse cele două rezervoare cilindrice. Inducerea curgerilor în cele 2 rezervoare se va realiza cu un motor de curent continuu cu turație variabilă în gama 15÷2000 rpm, prevăzut cu indicator digital pentru turație și cuplu. Motorul este echipat cu 8 rotoare interschimbabile de diferite tipuri și dimensiuni și se fixează pe capacul rezervorului prin suport prin asamblare cu șuruburi. Axul motorului poate fi deplasat pe verticală, astfel încât rotoarele să funcționeze la diferite cote în interiorul rezervorului.

Pentru elaborarea documentației de execuție a instalației a fost necesar să se creeze mai întâi modelul 3D al instalației. Astfel, s-a procedat la elaborarea modelelor 3D ale tuturor componentelor instalației, la crearea subansamblurilor menționate mai sus, precum și la crearea ansamblului general al instalației, în ambele variante, cu rezervor $\varnothing$ 300 și cu rezervor $\varnothing$ 650. Modelele 3D au fost elaborate cu ajutorul software-ului parametrizat SolidWorks 2017, care permite evidențierea dimensiunilor reperelor componente, a materialelor din care acestea se vor executa, precum și evidențierea tuturor componentelor standardizate care trebuie achiziționate. Modelarea 3D permite ca, înainte de execuția efectivă a produselor, să se verifice corectitudinea soluțiilor constructive adoptate.

Pe baza modelelor 3D realizate s-a procedat la elaborarea desenelor de execuție care să permită lansarea ulterioară în fabricație a instalației. Documentația de execuție conține desenele tuturor reperelor și subansamblelor care intră în componența instalației și anume:

- desenul de ansamblu al instalației în varianta cu rezervor $\varnothing$ 300;
- desenul de ansamblu al instalației în varianta cu rezervor $\varnothing$ 650;
- desenul subansamblului bazin;
- desenul subansamblului rezervor $\varnothing$ 300;
- desenul subansamblului rezervor $\varnothing$ 650;
- desenul subansamblului suport motor;
- desenele de execuție ale tuturor reperelor care intră în componența subansamblelor și a ansamblelor generale menționate, repere ce necesită realizarea integrală prin diverse procedee de prelucrare sau necesită efectuarea unor anumite operațiuni de prelucrare mecanică asupra unor semifabricate sau componente standardizate.

Documentația de execuție elaborată conține toate informațiile tehnice și tehnologice necesare pentru ca instalația care face obiectul proiectului să fie realizată în conformitate cu cerințele impuse. Aceste informații includ dimensiunile de gabarit și de montaj ale ansamblelor și subansamblelor, toate cotele necesare pentru execuția reperelor componente, toleranțele dimensionale, de formă și de poziție, materialele care trebuie utilizate și calitatea suprafețelor reperelor componente.

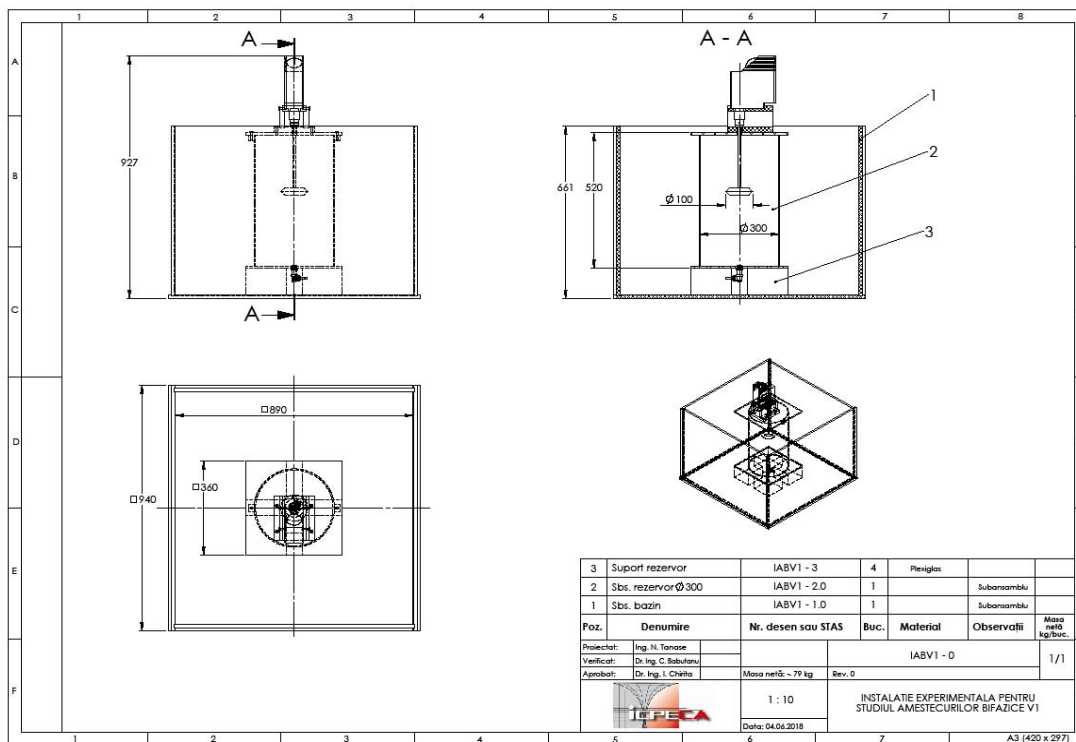


Fig. 4, Instalație experimentală pentru studiul amestecurilor bifazice V1

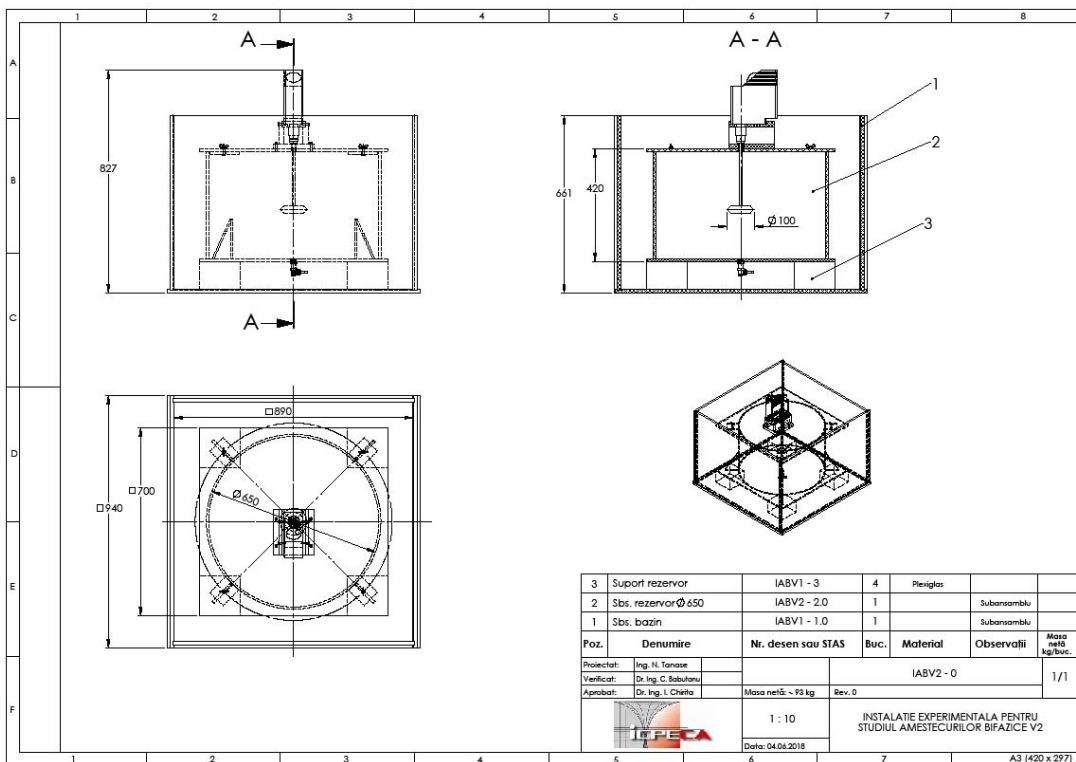


Fig. 5, Instalație experimentală pentru studiul amestecurilor bifazice V2

6. Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului (se vor preciza stadiul de implementare a proiectului, gradul de indeplinire a obiectivului cu referire la tintele stabilite si indicatorii asociati pentru monitorizare si evaluare).

În cadrul acestei faze a fost concepută și proiectată o instalație destinată studiului curgerilor induse de rotoare în rezervoare cilindrice.

Instalația se compune din două rezervoare cilindrice cu diametru de 300mm, respectiv 650mm și un bazin rectangular de forma pătrată cu latura de 900mm în care vor fi introduse cele două rezervoare pentru a minimiza efectele de distorsiune optică induse de curbura acestora. Ambele rezervoare și bazinul sunt realizate din plexiglas transparent pentru a permite vizualizarea fenomenelor din interior.

Pentru realizarea experimentelor instalația este prevăzută cu un motor de curent continuu cu turație variabilă în gama 15÷2000 rpm, prevăzut cu indicator digital pentru turație și cuplu, fixat pe capacul rezervorului. Motorul este echipat cu opt rotoare interschimbabile de diferite tipuri și dimensiuni.

De asemenea, pentru a putea reproduce cât mai multe tipuri de curgeri caracteristice proceselor industriale, instalația permite modificarea anumitor cote de montaj (cota de montaj a rotorului), sau de funcționare (înălțimea și diametrul coloanei de lichid, turația rotorului).

A fost elaborată documentația de execuție a instalației experimentale pentru studiul amestecurilor bifazice, care cuprinde:

- 2 desene de ansamblu: „Instalație experimentală pentru studiul amestecurilor bifazice V1” și „Instalație experimentală pentru studiul amestecurilor bifazice V2”
- 4 desene de subansamblu: „Subansamblu rezervor Ø 300”, „Subansamblu rezervor Ø 650”, „Subansamblu bazin” și „Subansamblu suport motor”
- 14 desene de execuție

Documentația de execuție a instalației conține informațiile tehnice și tehnologice necesare pentru realizarea acesteia.

Obiectivul acestei faze a fost realizat în totalitate.

Având în vedere activitățile realizate în cadrul acestei etape, se propune continuarea cercetărilor în vederea efectuării campaniei de măsurători utilizând tehnologia Particle Image Velocimetry.

Responsabil proiect
Dr. ing. Ionel Chiriță

Responsabil obiectiv,
Dr. ing. Florentina Bunea