Experimental model to study the water flow to a sewer pipe

Marius Iliescu¹, Elena Iatan¹, Mihnea Sandu¹

¹ Universitatea Tehnică de Construcții București Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Bd. Pache Protopopescu, nr.66, București, România E-mail: *marius.iliescu.utcb@gmail.com*

> **Rezumat.** În aceasta lucrare se prezinta modelul experimental realizat în laboratorul Facultății de Inginerie a Instalațiilor din cadrul Universității Tehnice de Construcții București cu ajutorul căruia se realizează curgerea într-o conductă de canalizare cu depuneri de sedimente la partea inferioară a conductei. Curgerea în interiorul conductei se face gravitațional, cu suprafață liberă. Cu ajutorul unei vane de reglaj se poate fixa debitul de apă canalizat, în timp ce debitmetrul cu ultrasunete oferă posibilitatea reglării cu acuratețe a acestuia. Rezultatele preliminare, obținute în urma determinărilor PIV pe acest model, sunt coerente, comparabile cu alte valori din literatură.

> **Cuvinte cheie:** model experimental, curgere gravitațională peste o frontieră rugoasă, tehnica de măsurare PIV

Abstract. This paper is presenting an experimental model conceived în the Building Services Faculty Laboratory, part of the Technical University of Civil Engineering Bucharest, in order to experimentally study the flow in a sewage pipe with deposition. The flow inside the pipe is by gravity, with free surface. A setting valve is used to set the flow of the drained water, while a ultrasonic flowmeter offers the possibility to set the flow with accuracy. The preliminary results, which are obtained using the PIV method on this model, are coherent, and comparable to values presented în literature.

Key words: experimental model, garvity flow over a harsh surface, PIV method

1. Introducere

Dezvoltarea rapida a zonelor urbane a atras în decursul anilor extinderea rețelelor de alimentare cu apă și implicit a condus la suprasolicitarea rețelelor existente de canalizare. În timp, acestea din urma nu își mai păstrează caracteristicile de transport proiectate datorită apariției depunerilor de sedimente consolidate. Pentru proiectarea rețelelor de canalizare, calculul vitezei de curgere a apei se realizează fără a ține cont de depunerile de sedimente în decursul timpului. Toate calculele de dimensionare se bazează pe coeficienți obținuți empiric în cazul curgerii apei curate prin conducte noi. De aceea am considerat importantă studierea curgerii printr-o conductă de canalizare cu depuneri pentru determinarea unor coeficienți ce caracteriză rugozitatea conductei. În aceasta lucrare se prezintă modelul fizic conceput la Facultatea de Inginerie a Instalațiilor din cadrul UTCB.

2. Modelul experimental

Se considera un sistem în care se simulează curgerea gravitațională cu suprafața liberă într-o conductă de canalizare de secțiune circulară și cu depuneri la partea inferioară a conductei. Conducta este realizata din plexiglas are diametrul Dn150 (Di=144mm) și o lungime de 3,9m constituită din două tronsoane egale. Îmbinarea celor două tronsoane s-a realizat cu o flanșă confecționată special tot din plexiglas și garnitură de cauciuc. Suprafața garniturii de cauciuc a fost pe cât posibil netezită pentru ca prezența acestei îmbinări să nu introducă perturbații suplimentare în curgere. Circuitul hidraulic, cuprinzând rezervor, pompă, debitmetru și conducte este reprezentat pe scurt în Figura 1.



Figura 1- Circuitul hidraulic al modelului experimental

Depunerile din interiorul conductei au fost simulate cu ajutorul unor placi confecționate ce reprezintă o rugozitate artificială. Pentru realizarea rugozităților dispuse bidimensional am amplasat la partea inferioară a conductelor rugozități de forma unor semisfere cu diametrul de 4,5 mm care să simuleze depunerile de sedimente consolidate la partea inferioară a curgerii. Pentru realizarea rugozităților s-au achiziționat bile calibrate care au fost introduse în plăcuțe de plexiglas perforate în acest scop. Pentru precizie plăcuțele de plexiglas au fost decupate cu un sistem laser. În figura 2 sunt prezentate plăcuțele perforate și plăcuțele cu rugozitățile artificiale. Lipirea bilelor calibrate în decupajele circulare s-a făcut cu o soluție de acetonă și di-cloretan.

Diametrul golurilor realizate cu laser a fost de 4,2 mm deoarece soluția utilizată pentru lipire dizolvă local materialul de plexiglas. Diametrul de 4,2 mm a fost stabilit prin încercări astfel încât în urma topirii locale a materialului bila calibrată să rămână pe jumătate în relief. Cantitatea de soluție utilizată pentru lipire a fost introdusă controlat cu o seringă. Modalitatea de dispunere a elementelor de rugozitate a fost aleasă pentru compararea cu alte date experimentale similare.

Plăcuțele au fost aliniate la partea inferioară a modelului din plexiglas astfel încât generatoarea inferioară a conductelor transparente să fie paralelă cu linia mediană trasată la nivelul plăcuțelor. Ele au fost prevăzute cu "piciorușe", poziționate la extremități, care au fost decupate astfel încât să urmărească curbura conductei. În zona acestor "piciorușe" s-a utilizat silicon pentru a realiza fixare de conducta de plexiglas. Pentru anularea efectului introdus în curgere de muchia ce apare în lateralul plăcuțelor, la îmbinarea cu conducta de plexiglas s-a rotunjit muchia cu ajutorul unui strat de silicon rezistent la apă.







Pentru asigurarea unui debit constant în circuitul standului experimental s-a montat o pompă de circulație marca DAB, tipul A 110/180XM.



Figura 3- Pompa circulație DAB model A110/180XM; Rezervor tampon deschis 3001

Rezervorul tampon montat pe aspirația pompei de circulație este de tip Valrom, cu un volum total de 300 l. Dimensiunile acestuia sunt L x l x H = 880mm x 680mm x 950mm.

Pentru reglarea debitului s-a utilizat o vană de reglaj cu debitmetru, Dn 2", marca CALEFFI 132, prezentată în fig.4. Aceasta vană s-a montat pe circuitul conductelor de cupru care asigura recircularea volumului de apa din sistemul descris. Se urmărește realizarea măsurărilor pentru diferite valori ale debitului.

Vana de reglaj cu debitmetru are o plaja de fixare a valorilor între 50 și 200 l/min.



Figura 4- Poziția vanei de reglaj cu fluxometru CALEFFI în cadrul modelului experimental

Pentru măsurarea exactă a debitului s-a folosit un debitmetru cu ultrasunete de tip SIEMENS SITRANS F (Figura 5). Acesta s-a montat pe conducta din cupru Dn11/4", în amonte de vana de reglaj cu fluxometru, la o distanță de peste șase diametre față de orice fiting sau organ de reglaj pentru a evita erorile de măsurare (Figura 5).





Figura 5- Debitmetru cu ultrasunete SIEMENS SITRANS F; Montaj debitmetru cu ultrasunete

Pentru a simula curgerea gravitațională într-un sistem de canalizare s-a folosit un cămin de liniștire. Acesta este de tip Valrom 200/160, cu o înălțime H=1130 mm. Curgerea se face pompat din rezervorul tampon până în căminul de liniștire, iar de aici, mai departe, gravitațional prin conductele de plexiglas.

3. Principii de funcționare

Modelul experimental reprezintă o curgere cu suprafață liberă cu depuneri consolidate la partea inferioară a curgerii. Depunerile sunt simulate cu ajutorul unor semisfere cu diametrul de 4,5mm fixate pe plăci lise din material plastic.

Rezervorul tampon de 300 l și căminul de liniștire se umplu cu apa pâna când aceasta ajunge la nivelul cotului Dn150 din partea superioara a căminului de liniștire.

Standul experimental prezintă un circuit închis al apei. În conductele din Cu Dn11/4" apa curge sub presiune, debitul fiind asigurat de pompa de circulație. Pentru a trece de la curgerea sub presiune la o curgere gravitațională cu suprafața liberă, se montează un cămin de liniștire.

În momentul în care nivelul apei depășește nivelul inferior al cotului de la intrarea în sistemul de conducte din plexiglas, curgerea devine gravitațională. Debitul evacuat prin conducta de plexiglas este egal cu debitul vehiculat în interiorul conductei de Cu Dn11/4".

Pentru a regla și măsura debitul s-a folosit o vana de regalare cu fluxostat Dn50. Acestea funcționează după următorul principiu: se stabilește debitul dorit și se închide / deschide treptat vana de reglaj până în momentul în care valoare citită a debitului corespunde valorii setate.

Prin utilizarea standului experimental descris mai sus se obține o curgere gravitaționala stabilă în interiorul conductelor. Pentru a nu influența în vreun fel curgerea gravitaționala (eventuale vibrații datorate funcționarii pompei de circulație) sistemul de conducte gravitaționale este izolat din punct de vedere al suporți lor și susținerilor fata de restul conductelor din cupru și echipamentelor montate.



Cot Dn150 la partea superioară a căminului de liniștire



Elemente de susținere ale conductelor în care curgerea se realizează gravitațional

Figura 6- Stand experimental - Cămin de liniștire și elemente de susținere a componentelor

Pentru determinarea câmpurilor de viteze se injectează la partea inferioară a conductei un amestec de apă cu particule trasoare. Acestea sunt sfere cu pereți subțiri din sticla, îmbrăcate în argint, cu diametrul D50 egal cu 10 μ m. Pentru o evaluare a înregistrărilor PIV este necesară prezența unui număr suficient de mare de particule trasoare în zona de interes.

Pentru realizarea măsurărilor PIV se propune următoarea configurație a echipamentelor de măsură:



Figura 7 - Schema de principiu pentru măsurările PIV

La Laboratorul de Instalații din cadrul Facultății de Inginerie a Instalațiilor, a Universității Tehnice de Construcții București sunt disponibile la ora actuală două sisteme optice de măsură:

Un sistem PIV clasic, compus dintr-o cameră de înalta sensibilitate FlowSense MKII 4M, cu captor CCD, având o rezoluție de 4 * 106 pixeli și dintr-un laser Litron de 200mJ, ce produce un plan luminos cu lungimea de undă de 532nm. Frecvența de achiziție a sistemului este de 7.5Hz.

Un sistem PIV rapid, compus dintr-o cameră Nanosense, cu captor CMOS, de rezoluție 512 * 512 pixeli, și dintr-un laser Nanopower ce produce un plan luminos cu o lungime de 765nm. Frecvența maximă de achiziție a acestui sistem este de 3.5 KHz.

4. Sistemul PIV utilizat

Sistemul PIV utilizat a fost cel cu camera de tip Nanosense MKII, cu un obiectiv Nikon cu o distanță focală de 50 mm și o deschidere de 1.2. Această cameră are o frecvență de achiziție de 5000 Hz pentru o imagine de 512 x 512 pixels. Imaginile sunt realizate pentru frecvențe de 300, 500 și 1000 Hz. Numărul imaginilor înregistrate variază între 1000 și 3000. Imaginile stocate pe memoria internă a camerei sunt transferate la finalul fiecărei achiziții pe PC. Pentru iluminarea particulelor trasoare din cadrul curgerii (particulele sunt sfere de diametru 10 μ m) se folosește un laser cu infraroșu Nanopower, având puterea de 4W producând o lungime de undă de 795 nm.

Alegerea noastră s-a îndreptat către acest sistem dată fiind posibilitatea de surprindere a dinamicii curgerii studiate datorită frecvențelor de achiziție importante. Sistemul PIV clasic disponibil la centrul de cercetare CAMBI, a fost utilizat în cadrul tezei de doctorat al dnei. Dr. Ing. Elena Iatan [1].

Cea mai comună metodă a tehnicilor PIV este de a înregistra două imagini consecutive asupra curgerii fluidului. În lichidul de lucru se introduc particule trasoare care urmăresc mișcarea locală a fluidului, fără o influență majoră a acestuia. Între cele două imagini există un timp de decalare, Δt , foarte mic, ce poate varia intre câteva zeci și câteva sute de μ s. Imaginile ce conțin câmpul de particule trasoare sunt împărțite în zone elementare (de obicei pătrate cu latura de 32 pixeli) pentru o determinare probabilistică a deplasării locale a particulelor. Prima estimare a vitezei locale a fluidului este obținută astfel:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

În cadrul măsurărilor s-au folosit ca particule trasoare sfere cu pereți subțiri din sticla, îmbrăcate în argint, cu diametrul D50 egal cu 10 µm. Pentru o evaluare a

înregistrărilor PIV este necesara prezenta unui număr suficient de mare de particule trasoare în zona de interes.

În general, pentru măsurările PIV, controlul cantității de particule introduse în curgere reprezintă un aspect delicat pentru că pe lângă omogenitatea însămânțării trebuie asigurată o densitate de particule de minim 8 particule pe celula de interogare. Mai mult, întotdeauna trebuie examinat numărul mediu de pixeli asociați unei particule. Astfel, odată ce obiectivul camerei și câmpul de măsură sunt fixate, trebuie verificat dacă particula măsoară în jur de 2 x 2 pixeli. Într-adevăr, cu cât numărul de pixeli este mai mare, vârful de corelare este amplificat și precizia de deplasare medie a particulelor poate fi alterată. Cu cât numărul este mai mic, fenomenul de « blocaj de vârf » poate apărea, ceea ce introduce erori de calcul în metodele de evaluare sub-pixel [2,3].



Figura 8- Sistem utilizat pentru măsurările PIV

Sistemul PIV este folosit în cadrul lucrării pentru determinarea distribuțiilor de viteze, identificarea punctului de desprindere a stratului limită și determinarea liniei suprafeței libere.

Pentru măsurarea distribuțiilor de viteze s-a folosit un număr de 350 perechi de imagini înregistrate cu frecvența de 1000 Hz.

Etapele în post-procesarea înregistrărilor PIV sunt următoarele:

- 1. Achiziționarea de imagini succesive la un interval de timp Δt ;
- 2. După achiziționare este necesară îndepărtarea imaginilor foarte luminoase și a imaginilor cu puține particule;
- 3. Zonele de neinteres se vor "masca", astfel se va oferi procesarea cu mai puține erori;
- 4. Analiza se bazează pe mai multe imagini (350 de perechi de imagini);
- 5. Imaginile sunt împărțite în zone egale. Aceste zone au o rezoluție de 16 x 16 pixeli, unde sunt urmărite deplasările particulelor;
- 6. Se obțin 360 de câmpuri instantanee de viteza;
- 7. Se calculează media statistica a câmpurilor de viteza, obținându-se vectorii medii precum și abaterile pătratice (rms) ale acestora.

Etalonarea imaginilor a rezultat într-o rezoluție spațială de 0.07mm/pixel ceea ce corespunde unui câmp de vizualizare de 36mm × 29mm. Cele 350 perechi de imagini au fost procesate cu ajutorul unui algoritm de corelare adaptați-vă pe mai multe niveluri de grilă ținând cont de deformarea celulelor și deplasarea sub-pixel. Grila finală este compusă din celule de 16×16 pixeli cu 75% acoperire ceea ce poate fi tradus ca fiind un vector la fiecare 4.12 pixeli sau, o rezoluție spațială de 0.36 mm.

În ambele cazuri metoda de corelare a fost validată la fiecare nivel dacă valoarea SNR a corelării este mai mare față de un prag fixat la 1.1. În medie, mai puțin de 2% din vectori au fost detectați ca fiind invalizi. Aceștia au fost corectați printr-o interpolare biliniară. O inspecție sistematică a histogramelor de deplasare a particulelor arată o distribuție bimodală bine discretizată (fără prezența « blocajului de vârf ») [4].

Precizia algoritmilor de corelare din în cadrul software-ului Dynamic Studio utilizat, a fost evaluată de Calluaud [5] plecând de la o imagine reală a unei curgeri în particule solide au fost injectate cu traiectorie impusă. care Pentru algoritmii "conventionali" de corelare ce au fost utilizati în cadrul acestui studiu, s-a găsit o rezoluție de aproximare sub-pixel de ordinul a 1/64 pixeli. Pentru estimarea erorii sistematice pentru măsurările PIV cu acest sistem a fost utilizată ca referință o tehnică LDV (Laser Doppler Velocimetry) a cărei precizie a fost prealabil validată. Acest studiu a fost realizat în cadrul unor lucrări anterioare [6]. Astfel eroarea relativă nu depășește 3% pentru component de viteza în lungul directiei principale a curgerii. Pentru cealaltă component de viteza, date fiind valorile foarte mici, eroarea poate atinge 35%.

5. Protocolul de măsură

S-au realizat măsurări în condiții de laborator utilizând standul experimental și sistemul de măsură descrise în paragraful precedent. Configurațiile studiate și planurile în care s-au realizat măsurătorile PIV sunt prezentate în Figura . Sensul curgerii este în lungul axei X iar axa Y este perpendiculară pe sensul curgerii.



Figura 9. Configurații studiate pentru poziția rugozităților artificiale

Tabelul 1

În tabelul 1 sunt prezentate valorile celor 3 debite la care s-au realizat măsurările PIV.

Așa cum precizam mai devreme, pentru determinarea câmpurilor de viteza prin metoda PIV este necesară introducerea particulelor de argint în volumul de apa. Metoda de măsura PIV se bazează în mod indirect pe vizualizările obținute prin iluminarea acestor particule cu ajutorul sursei laser. Aceasta sursă este prevăzută cu un modul optic realizat din lentile speciale ce generează o pânză fină de lumină.



Figura 10. - Principul de injecție a particulelor în domeniul de măsură

Pentru realizarea vizualizărilor au fost injectate particule la partea inferioara a colectorului așa cum este arătat în Figura 10. Pentru configurația cu rugozități artificiale, au fost studiate cele două planuri longitudinale din Figura 10 pentru cele trei debite din Tabelul 1, respectiv 0,7 l/s, 0,9 l/s și 1,1 l/s.

Planul luminos generat de sursa laser a fost amplasat, inițial în planul 1 de măsură, adică în planul median al canalului, ceea ce revine la o configurație de măsură între două rânduri de semisfere. Intr-o a doua etapă planul a fost repoziționat în configurația 2 de măsură pe primul rând de semisfere adiacent planului median.



Figura 11 - Subdivizarea zonei de măsură în două regiuni cu parametri de corelare diferiți

Așa cum era de așteptat, din literatură și pe baza studiile anterioare ale dr. ing. Elena Iatan [1], dinamica curgerii peste semisfere este una foarte complexă. Sistemul PIV utilizat, având o rezoluție mai mică decât cel din studiile anterioare, necesită pentru operațiunile de corelare a imaginilor de particule, subdivizarea câmpului vizualizat în două regiuni în care parametrii de corelare să fie ușor diferiți. Această împărțire este prezentată în Figura 11.

Prezentăm în cele ce urmează (Figurile 12 - 14) distribuții tipice ale celor două componente medii ale vitezei în planurile de măsură pentru diferitele configurații studiate. Vectorii sunt colorați în funcție de magnitudinea lor.

Vectorii de viteza sunt reprezentați în figurile de mai jos, atât pentru spațiul cuprins intre doua sfere, cat și pentru zona de deasupra sferelor, pentru cele trei valori ale debitelor, respectiv 0,7 l/s, 0,9 l/s și 1,1 l/s. De asemenea, sunt reprezentați vectorii de viteza în sensul curgerii apei pentru cele doua planuri de măsură, deasupra sferelor și în plan median, intre sfere.



Figura 12. – Configurația 1 – Plan 2 - Vectori de viteza pentru debitul de 0,7l/s în zona de deasupra semisferelor; Vectori de viteza pentru debitul de 0,7l/s în zona dintre semisfere



Figura 13– Configurația 1 – Plan 2 - Vectori de viteza pentru debitul de 0,91/s în zona de deasupra semisferelor; Vectori de viteza pentru debitul de 0,91/s în zona dintre semisfere



Figura 14 – Configurația 1 – Plan 2 - Vectori de viteza pentru debitul de 1,11/s în zona de deasupra semisferelor; Vectori de viteza pentru debitul de 1,11/s în zona dintre semisfere





Figura 15 - Configurația 1 – Plan 1 - Vectori de viteza pentru debitul de 0.7 l/s, 0.9 l/s și 1.1 l/s pentru tot planul de măsură





Figura 16 – Configurația 2 – Plan 1 - Vectori de viteza pentru debitul de 0.7 l/s, 0.9 l/s și 1.1 l/s pentru tot planul de măsură

În figurile anterioare se pot observa vectorii viteza pentru diferite viteze de curgere intr-un canal cu rugozități. Liniile de câmp, în zona de deasupra sferelor, sunt paralele în sensul de curgere al apei. În zona dintre sfere se observa formarea vârtejurilor și o circulație în sens opus curgerii în canal.

6. Concluzii

Scopul lucrării este de a prezenta realizarea unui model cu ajutorul căruia să se simuleze curgerea cu suprafață liberă printr-o conductă de canalizare, peste o suprafață rugoasă. Modelul de laborator asigura posibilitatea controlului exact al debitului de apa canalizat. Acest model are rolul de a permite validarea rezultatelor obținute cu ajutorul simulărilor numerice. Prin înlocuirea plăcuțelor de pe generatoarea inferioară a conductei, se poate simula curgerea peste suprafațe cu diverse rugozități sau curgerea peste o frontieră netedă.

7. Bibliografie

1. Iatan, E., *Contribuții la studiul efectelor poluării accidentale în retele urbane de canalizare*, în *Facultatea de Hidrotehnica*, *U.T.C.B.* 2012.

2. Huang, H., D. Dabiri, and M. Gharib, *On errors of digital particle image velocimetry*. Measurement Science and Technology, 1997. **8**: p. 1427-1440.

3. Lecordier, B., et al., *Estimation of the accuracy of PIV treatment for turbulent flow studies by direct numerical simulation of milti-phase flow.* Meas Sci Technol, 2001. **12**: p. 1382-1391.

4. Raffel, M., et al., Particle Image Velocimetry A Practical Guide, ed. Springer. 2007.

5. Calluaud, D. and L. David, *Stereoscopic particle image velocimetry measurements of the flow around a surface-mounted block*. Experiments în Fluids, 2004. **36**(1): p. 53-61.

6. Nastase, I., *Analyse des jets lobés en vue de leur intégration dans les Unités Terminales de Diffusion d'air.* 2007, Université de La Rochelle: Ph.D. Thesis.