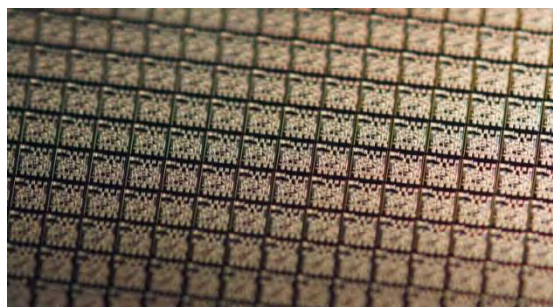


REOMETRIA FLUIDELOR COMPLEXE ÎN PREZENȚA SUPRAFEȚELOR STRUCTURATE



PN-II-ID-PCE-2012-4-0245

RAPORT SINTETIC INTERMEDIAR I

Etapa I – Decembrie 2013

Componența echipei științifice:

Prof. dr. ing. Corneliu Bălan (responsabil)

Conf. dr. ing. Diana Broboană

Asist. dr. ing. Nicoleta Tănase

Drd. Ioana Omoncea

Drd. Rodica Damian

Administrație proiect:

dr. ing. Sanda Osiceanu (Maiduc)

ing. Aurelia Gheorghe

Introducere

Așa cum a fost enunțat, scopul central al proiectului este investigarea, analiza și modelarea influenței suprafețelor structurate asupra caracterizării reologiei fluidelor complexe în teste reometrice.

Obiectivele primei etape au fost următoarele:

1. Alegerea fluidelor de lucru și stabilirea micro-geometriilor suprafețelor structurate;
2. Testarea și calibrarea platformei pentru studiul curgerii în micro-canale;
3. Caracterizarea reologică a fluidelor de lucru în prezența suprafețelor structurate;

În conformitate cu planul de realizare al proiectului, etapa I se finalizează cu prezentul raport și prin depunerea spre publicare a unei lucrări științifice¹ (atașată raportului).

În continuare se vor prezenta și comenta rezultatele activităților aferente obiectivelor enunțate. Raportul se va încheia cu concluzii și prezentarea obiectivelor anului viitor, prin prisma actualelor realizări.

Precizare

Pentru coerența prezentării și fluența expunerii, raportul nu este structurat în ordinea obiectivelor ci a problematicei științifice tratate în proiect (obiectivele, respectiv activitățile, se vor menționa pe parcursul raportului). De remarcat că Lucrările și Figurile citate/folosite și în aplicația proiectului sunt marcate cu albastru.

Definirea problemei

Fenomenul de alunecare la perete reprezintă nu numai una dintre problemele centrale ale hidrodinamicii aplicate, dar și o problemă de studiu fundamentală a mecanicii fluidelor newtoniene și complexe. Este de remarcat că în acest domeniu o contribuție importantă pentru progresul cercetărilor actuale a fost făcută în secolul trecut de chimistul roman Eli Ruckenstein, care a publicat o lucrare² de referință în anul 1983. Impactul științific al acestei lucrări a fost major, fiind unul dintre cele mai citate studii dedicate fenomenului de aderență-alunecare a fluidelor la perete.

Studiile referitoare la dinamica fluidelor în vecinătatea peretelui și a condițiilor la limită impuse au devenit de o importanță majoră în ultimul deceniu datorită aplicațiilor Lab-on-a-chip³ și a dezvoltării micro/nano tehnologiilor (se recomandă recenziile citate⁴). Nu cred că exagerăm dacă se

¹ Tănase N.O., Broboană D., Bălan C. *Free surface flow in vicinity of an immersed cylinder*, Proc. Romanian Academy series A, submitted, 2 December 2013 (**Obiectiv 3 - rezultat etapă**).

² Ruckenstein E., Rajora P. (1983) *On the no-slip boundary condition of hydrodynamics*, J. of Colloid and Interface Science 96, 488-491

³ Gau H. et al. (1999) *Liquid morphologies on structured surfaces: from microchannels to microchips*, Science 283, doi: 10.1126/science.283.5398.46

⁴ Lauga E., Brenner M.P., Stone H.A. (2007) *The no-slip boundary condition*, in *Handbook of experimental fluid dynamics*, Springer, 1219-1240

Rothstein J.P. (2010) *Slip on superhydrophobic surfaces*, Annu. Rev. Fluid Mech. 42, 89-109

Sochi T. (2011) *Slip at fluid-solid interface*, Polymer Reviews 51(4), 309-340

afirmă că măsurarea, predictibilitatea și controlul condițiilor la limită reprezintă scopul major al cercetărilor actuale din mecanica fluidelor.

În studiul aderenței/alunecării fluidelor la suprafețele solide, în particular al analizei și modelării hidrofobicității/hidrofilicității fluidelor complexe la perete, au devenit o practică curentă investigațiile și reprezentările la nivel molecular ale fenomenului⁵.

Așa cum a fost precizat în aplicație, metodologia de studiu în acest proiect se bazează pe modele continue, deci de origine macroscopică. Evident, se vor folosi și (sau se va face referință la) rezultate obținute prin investigații microscopice sau modele moleculare, însă structura teoretică și interpretările propriilor cercetări se face în spiritul mecanicii mediilor continue și al reologiei clasice.

Pe această direcție, lucrările publicate⁶ de Vinogradova, Bazant, Stone și Kamrin se consideră de referință, cel puțin din punct de vedere conceptual și al metodei de abordare a problematicii proiectului.

Această cercetare este dedicată reometriei fluidelor complexe și modului în care rezultatele obținute pot fi afectate de structura geometrică microscopică a pereților reometrelor (rotaționale sau de tip Poiseuille).

Întrebarea fundamentală la care dorim să găsim un răspuns la finalul studiului se poate formula astfel:

Poate reometria fluidelor simple și complexe să aducă un plus de informație asupra reologiei substanțelor și modelării constituie a acestora dacă măsurătorile se realizează în prezența unor suprafețe cu microstructuri de geometrie cunoscută?

Un prim pas spre aflarea răspunsului este definirea procedurii experimentale și a aparaturii folosite pentru efectuarea măsurătorilor, respectiv a alegerii celor mai indicate și reprezentative fluide de lucru.

Alături de reometrele capilare, reometrele rotaționale sunt astăzi cele mai comune instrumente pentru măsurarea caracteristicilor reologice ale fluidelor, în particular a lichidelor. Dacă teoria mișcărilor folosite în reometria clasică⁷ (bazată pe ipoteza că dinamica curgerii în geometriile de lucru este de tip Stokes și este asociată comportamentului liniar reologic al fluidelor testate) este bine definită, reometria în prezența inerției și/sau comportamentului neliniar al fluidului este încă un domeniu de cercetare⁸.

⁵ Bhushan B. et al. (2009) *Boundary slip study on hydrophilic, hydrophobic, and superhydrophobic surfaces with dynamic atomic force microscopy*, Langmuir 25(14), 8117–8121

Priezjev N.V. (2011) *Molecular diffusion and slip boundary conditions at smooth surfaces with periodic and random nanoscale textures*, J. Chem. Phys. 135, 204704.

⁶ Bazant M.Z., Vinogradova O.I. (2008) *Tensorial hydrodynamic slip*, J. Fluid Mech. 613, 125–134.

Kamrin K., Bazant M.Z., Stone H.A. (2010) *Effective slip boundary conditions for arbitrary periodic surfaces: the surface mobility tensor*, J. Fluid Mech. 658, 409–437.

Kamrin K., Six P. (2013) *Some exact properties of the effective slip over surfaces with hydrophobic patternings*, Phys. Fluids 25, 021703, doi: 10.1063/1.4790536

⁷ Walters K. (1975) *Rheometry*, Chapman and Hall, London.

⁸ Larson R. (1999) *The structure and rheology of complex fluids*, Oxford Univ. Press, New York.

Wang S-Q et al. (2011) *Homogeneous shear, wall slip, and shear banding of entangled polymeric liquids in simple-shear rheometry: A roadmap of nonlinear rheology*, Macromolecules 44, 183–190

Hyun K. Et al. (2011) *A review of nonlinear oscillatory shear tests: Analysis and application of large amplitude oscillatory shear (LAOS)*, Progress in Polymer Science 36, 1697–1753

Evident, alunecarea la peretele reometrelor rotaționale, și modul în care aceasta poate fi cunoscută în funcție de tipul testului reologic sau/și al geometriei suprafețelor a devenit un subiect important de studiu⁹.

În cadrul acestui proiect, măsurătorile și studiile experimentale se vor realiza în următoarele configurații: (i) placă-placă (reometre rotaționale), v. Fig. 1, (ii) curgeri Poiseuille între plăci plane, v. Fig. 2 și (iii) curgeri gaviționale în jurul unui cilindru, v. Fig. 3.

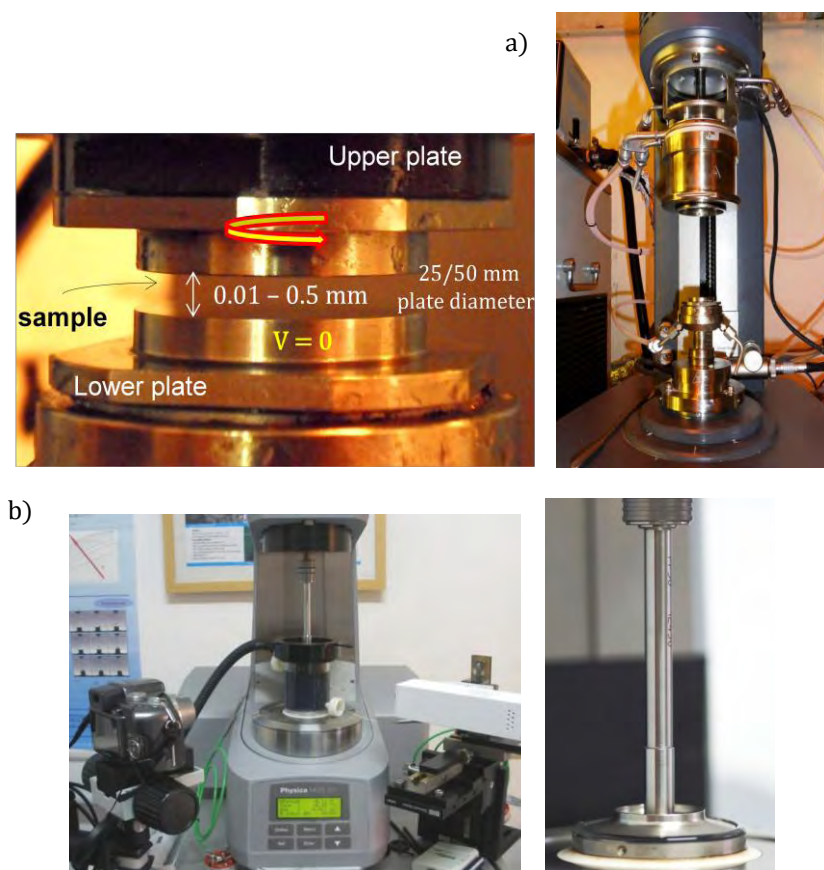
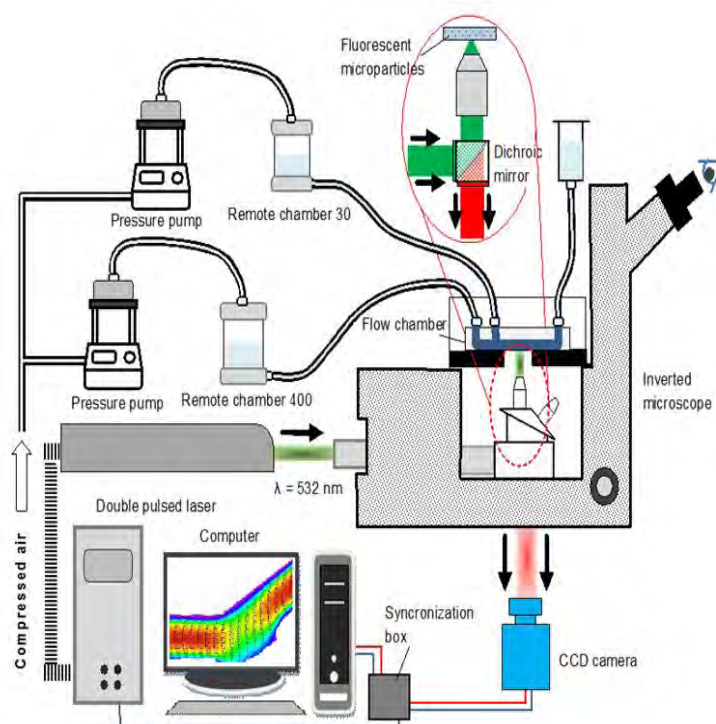


Figura 1 Reometrele rotaționale folosite în măsurători și un detaliu cu o geometrie de măsură: a) Reometrul G2 - TA Instruments (TU Darmstadt, partener în proiect), b) Reometrul Paar-Physica MC301 (Laborator REOROM, UPB). Teste reologice se vor efectua și în alte laboratoare specializate.

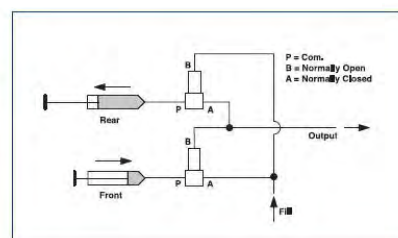
⁹ Graham M.D. (1995) *Wall slip and the nonlinear dynamics of large amplitude oscillatory shear flows*, J. Rheol. 39(4), 697-712

Lee D.J. et al. (2012) *Liquid slip on a nanostructured surface*, Langmuir 28, 10488–10494

Lista lucrărilor care studiază alunecarea în reometre este practic nelimitată. Lucrare lui Graham este citată deoarece asociază pentru prima dată fenomenul cu procedura LAOS, tehnică care va fi aplicată și în acest proiect. A doua lucrare este citată deoarece redă practic identic rezultatele pe care grupul REOROM le-a introdus în aplicația la prima competiție a programului IDEI din anul 2011 (proiect nefinanțat, dar evaluat și de specialiști coreeni din grupul autorilor lucrării). Aceste rezultate au fost comunicate de membrii grupului nostru la mai multe conferințe internaționale în perioada 2011 – 2012, dar din păcate au rămas nepublicate.



Sistem de alimentare format din pompe siringă și traductoare – achiziție proiect



This pump has high pressure capability, TTL and RS-232 interface for data acquisition and computer control. The communication ports enable daisy-chaining of up to 100 pumps.

Figura 2 Dispozitivul micro-PIV folosit pentru studiul curgerilor Poiseuille (se va lucra pe 2 micro-PIVuri, aflate în Laboratorul REOROM și la IMT București, partener în proiect). Dispozitivul va fi echipat cu sisteme de alimentare și control al debitului de ultimă generație (pompe siring tip Harvard) achiziționate în această etapă (**Obiectivul 2 – activitățile 2.1 și 2.2**). Noile dispozitive vor fi disponibile începând cu mijlocul lunii decembrie. Detalii asupra procedurii și tehnicii de lucru sunt date în literatură citată¹⁰.

¹⁰ Wereley S.T. and Carl D. Meinhart C.D. (2010) *Recent advances in micro-particle image velocimetry*, Annu. Rev. Fluid Mech. 42, 557–576

Westerweel J., Elsinga G.E., Adrian R.J. (2013) *Particle image velocimetry for complex and turbulent flows*, Annu. Rev. Fluid Mech. 45, 409–436

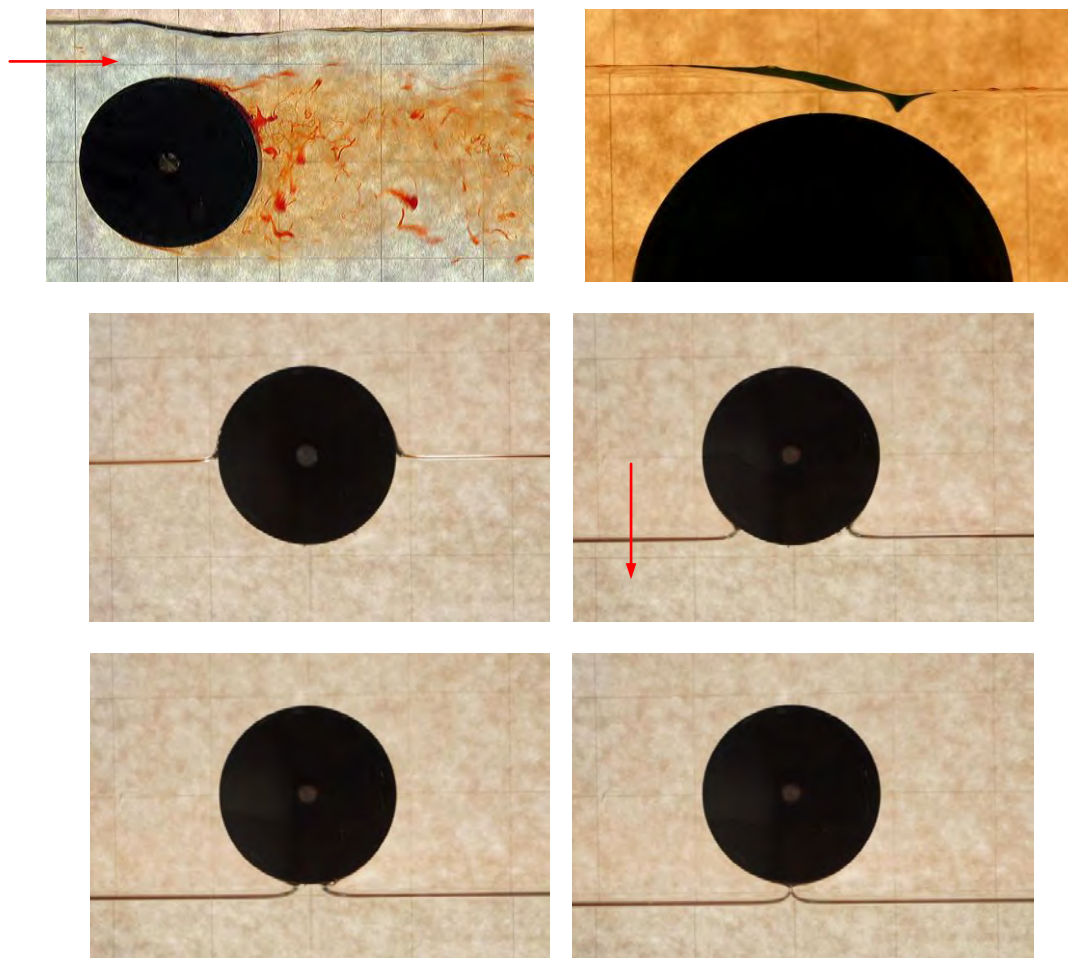


Figura 3 Mișcări gravitaționale cu suprafață liberă în jurul unui cilindru (Laboratorul REOROM): a) curgeri în prezența saltului hidraulic¹, b) curgeri pur gravitaționale. Se va studia influența micro-structurilor de pe cilindru asupra curgerilor prezentate.

Principiul ce stă la baza studiilor experimentale, indiferent de configurația folosită, este exemplificat pentru mișcarea între două plăci paralele ce are loc în reometrul rotațional, v. Fig. 4.

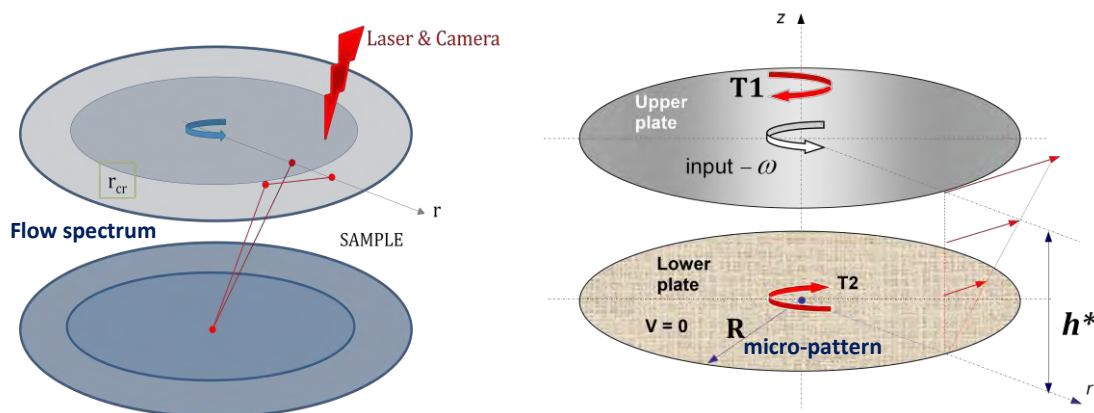


Figura 4 Geometria rotațională placă-placă și mărimile ce urmează a fi controlate/măsurate: spectrul curgerii și micro-geometria suprafețelor, respectiv viteza ω și momentele de frecare $T1$ și $T2$.

Domeniul spațial ce definește mișcarea este format din suprafețe plane netede sau/și suprafețe pe care se realizează diferite micro-structuri cu geometrie cunoscută. Pentru un fluid cu proprietăți reologice date, considerând o dinamică inițială izotermă a mișcării cu parametrii de input controlați (debit/viteză, respectiv diferență de presiune/moment de frecare) într-o configurație spațială cu aceleași coordonate spațiale macroscopic, diferențierea în măsurarea mărimilor de output față de suprafețele netede hidrofobe este dată de modificarea comportamentului reologic al fluidului la suprafața structurată, respectiv de apariția fenomenului de alunecare.

Analiza și interpretarea acestor diferențe între configurația cu suprafețe netede și configurația cu suprafețe micro-structurate va conduce la concluzii relevante și utile asupra comportamentului reologic al fluidelor analizate. Aceste concluzii urmează să fie coroborate cu o structură teoretică specific teoriei mecanicii și termodinamicii mediilor continue¹¹, rezultatele fiind aplicate în dezvoltarea unor noi tehnici reometrice de caracterizare reologică a fluidelor simple și complexe.

Alegerea geometriilor structurate (Obiectivul 1 – activitatea 1.2)

Alegerea materialelor și geometriei suprafețelor structurate depinde de doi factori: (i) posibilitatea realizării fizice a suprafeței, a controlului și reproducerii acesteia, (ii) micro-geometria trebuie să ofere posibilitatea unei soluții analitice (exacte sau aproximative) de tip Stokes¹², respectiv a unei analize CFD complete, fără dificultăți majore de construcție a mesh-ului. Din păcate, până în prezent, nu s-a putut găsi în România o companie capabilă să execute geometriile structurate dorite de noi. Avem speranța că această problemă se va rezolva în prima jumătate a anului viitor.

Dacă controlul/măsurarea suprafețelor plane rugoase nu prezintă astăzi o problemă dificil de rezolvat, fabricarea la parametrii dați a unei suprafețe plane cu micro-structuri nu este un proces tehnologic facil. Este cunoscut că fabricarea unor suprafețe hidrofobe¹³, la care se poate controla fenomenul de aderență/alunecare, implică existența unor suprafețe structurate cu dimensiuni riguroase respectate la cel puțin două scări spațiale diferite: (i) macroscopică, prin condițiile de planeitate și poziționare a suprafețelor, și (ii) microscopic, definirea și execuția exactă a micro-geometriilor.

Procedeele actuale de execuție ale micro-structurilor sunt diverse (electro-chimice, fotolitografie, tehnică laser și/sau mecanică) aplicarea lor realizându-se pe suport de plăci de siliciu, material plastic, metale sau plăci ceramice. Alegerea procedurii se face în funcție de materialul plăcii, iar materialul este ales în funcție de aplicație.

În acest proiect nu sunt cerințe speciale pentru materialul plăcilor/suprafețelor, condiția este ca micro-structura realizată să fie în conformitate cu cea stabilită și să poată fi asamblată în

¹¹ Brenner H. (2011) *Beyond the no-slip boundary condition*, Phys. Rev. E 84, 046309 (vezi și articolele aceluiași autor publicate în perioada 2009 – 2013)

Bucur D. et al. (2010) *Boundary behavior of viscous fluids: influence of wall roughness and friction-driven boundary conditions*, Arch. Rational Mech. Anal. 197, 117–138

Bonnivard M., Bucur D. (2013) *Microshape control, riblets, and drag minimization*, SIAM J. Appl. Math. C. 73(2), 723-740

¹² Schönecker C., Hardt S. (2013) *Longitudinal and transverse flow over a cavity containing a second immiscible fluid*, J. Fluid Mech. 717, 376-394.

¹³ Xue Y. et al. (2012) *Importance of hierarchical structures in wetting stability on submerged superhydrophobic surfaces*, Langmuir 28, 9440–9450

Bottiglione F., Carbone G. (2013) *Role of statistical properties of randomly rough surfaces in controlling superhydrophobicity*, Langmuir 29, 599–609

Emami B. et al. (2013) *Predicting longevity of submerged superhydrophobic surfaces with parallel grooves*, Phys. Fluids 25, 062108; doi: 10.1063/1.4811830

Karatay E. et al. (2013) *Control of slippage with tunable bubble mattresses*, PNAS 110(21), 8422-8426

configurația macro-geometrică de testare. De asemeni, este foarte important ca micro-geometriile ce urmează a fi stabilite pentru experiențe să fie și “realiste tehnologic” pentru condițiile de fabricație la care avem acces.

În principiu, ar fi interesant pentru studiu să se investigeze micro-geometrii ca în Figura 5, însă fabricarea lor implică dificultăți majore, în special în companiile din România. Nu excludem însă posibilitatea de testare în alte laboratoare a acestor familii de suprafețe.

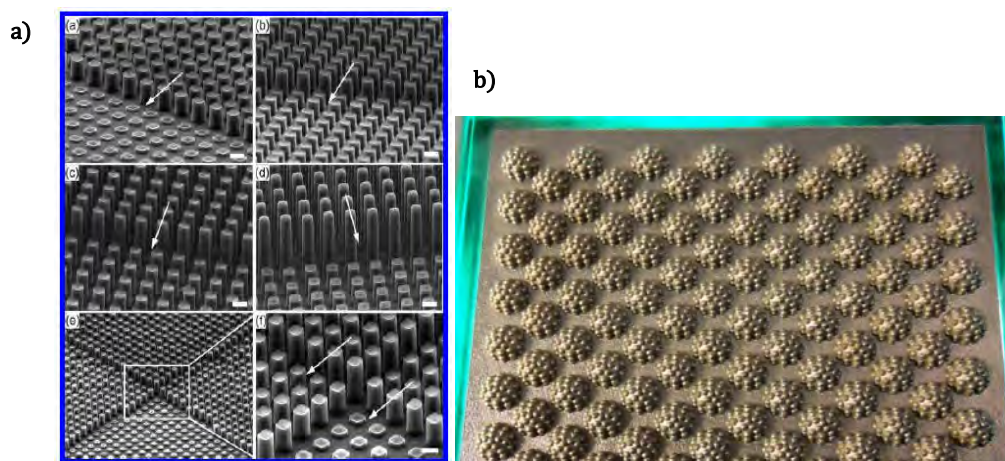


Figura 5 Micro-structuri spațiale construite pe suprafețe plane din familia micro-pilonilor¹⁴.

Pentru geometriile de testare s-au ales micro-geometrii de forma canalelor, respectiv a micro-structurilor rezultate din intersecția acestor canale, v. Tabelul 1. Procedeele de realizare sunt mecanice (pe plăci metalice), v. și Fig. 6, prin tehnica laser (plăci din materiale plastice), respectiv litografie laser și/sau jet de plasmă (plăci de siliciu), **Obiectivul 1 – activitatea 1.2.**

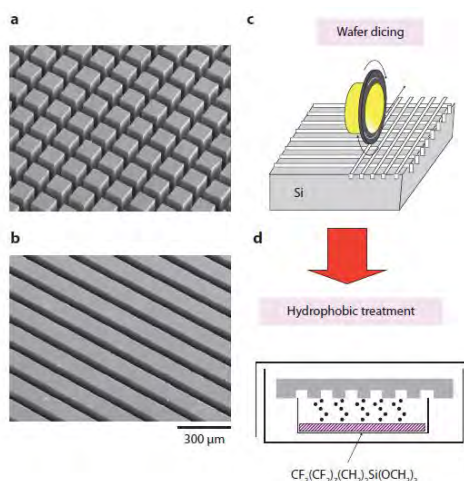


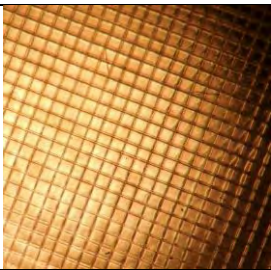
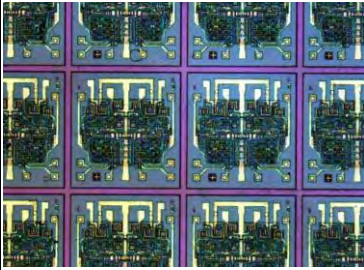
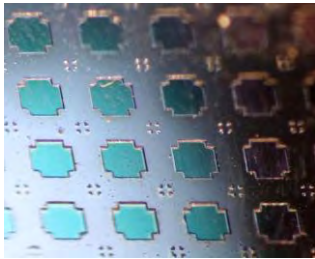
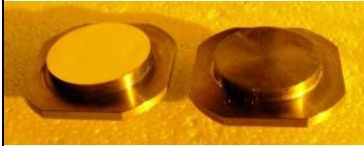
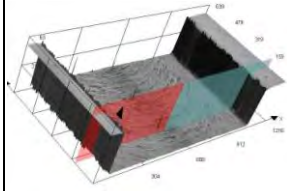
Figura 6 Realizarea micro-canalor prin procedee mecanice, urmate de tratarea chimică a suprafețelor¹⁵.

¹⁴ a) Li X. Et al. (2013) *Electrically modulated microtransfer molding for fabrication of micropillar arrays with spatially varying heights*, Langmuir 29(5), 1351–1355

b) micro-structură realizată experimental la TU Darmstadt și KIT, Germania.

¹⁵ Nakajima A. (2011) *Design of hydrophobic surfaces for liquid droplet control*, NPG Asia Mater. 3 49–56 (DOI: 10.1038/asiamat.2011.55)

Tabelul 1 Geometrii (discuri) cu suprafețe micro-structurate (pe bază de micro-canale) realizate și testate în prima etapă a proiectului.

Material	Geometrie		Observații
Plastic	G1. Cercuri concentrice	G2. Spirală	G1/G2. Lățimea canalului: 0.5 mm Adâncimea: 0.5 mm
			
	G3. Suprafață structurată prin intersecția microcanalelor		G3. Mărimea pătratelor (nominală): 300 μm; Lățimea canalelor: 40 μm; Adâncimea: 20 μm
Placă siliciu	G4. Micro-structuri cu două scări spațiale	G5. Micro-structură tip piloni	G4. Mărimea pătratelor: 825 μm; lățimea canalelor: 50 μm adâncimea canalelor: 40 μm Microstructura din interiorul pătratelor este complexă (chip-uri)
			G5. Mărimea structurilor (pilonilor): 1 mm; adâncimea: 40 μm distanța dintre structuri: 700 μm.
Oțel inox	G6/G7. Suprafață rugoasă vs. suprafață netedă diametrul plăcii: 25 mm	G8. Micro-canal diametrul plăcii: 25 mm	Profilul canalului Lățimea canal: 1 mm Adâncime: 50 μm
			

Având în vedere colaborarea grupului REOROM cu Institutul de Știința Materialelor de la TU Darmstadt, s-a avut în vedere și folosirea pentru experiențe a unor suprafețe structurate pe plăci ceramice. Procedeele folosite în prezent la TU Darmstadt implică acoperiri ale suprafețelor de ordinul de mărime nanometric, adâncimea canalelor fiind de cel mult 1 micron. La dimensiuni mai mari (peste 5 micrometri), canalele ceramice prezintă fisuri, tehnica nefiind încă dezvoltată pentru teste la nivelul unor micro-structuri cu geometrie controlată, v. Fig. 7.

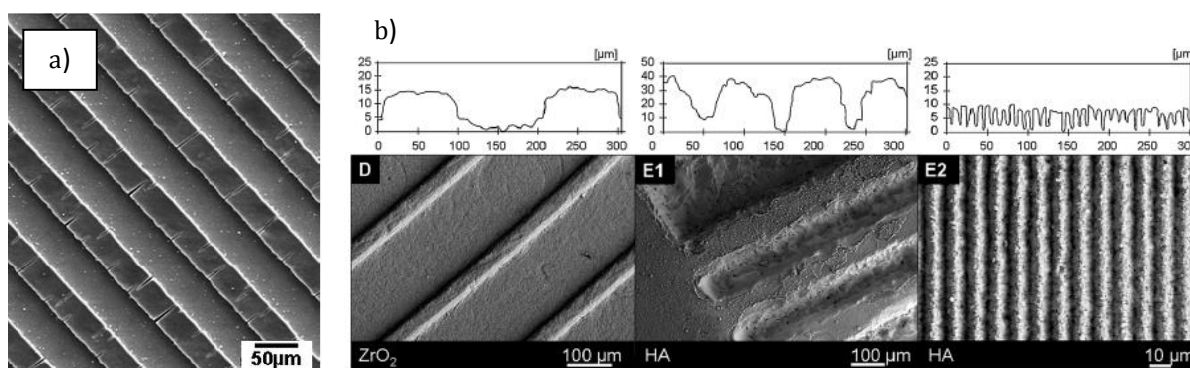


Figura 7 Microcanale realizate din materiale ceramic¹⁶.

Alegerea fluidelor și determinarea reologiei acestora (Obiectivul 1 – activitatea 1.1; Obiectivul 3 – activitățile 3.1 și 3.2)

În paralel cu alegerea și caracterizarea reologică a fluidelor de lucru, s-a efectuat măsurarea unghiului de udare a acestora pe suprafețele micro-structurate prezentate în Tab. 1. Aceste investigații au rolul de a stabili caracterul static hidrofil, respectiv hidrofob, al fluidelor pe suprafețele ce urmează să fie testate, v. Fig. 8 și Tab. 2. Unghiul de udare reprezintă o caracteristică importantă al ansamblului fluid-suprafață solidă, fiind considerat o măsură cantitativă a aderenței fluidului la structura/geometria peretelui¹⁷.

¹⁶ Holthaus M.G. et al. (2011) *Comparison of micropatterning methods for ceramic surfaces*, J. Europ. Ceramic Soc. 31, 2809-2817

a) Nghiem Q.D. (2006) *Fabrication of porous SiC-based ceramic microchannels via pyrolysis of templated preceramic polymer*, J. Mater. Res. 21(6), 1543-1549

b) Salamon D. et al. (2010) *Surface texturing inside ceramic macro/micro channels*, J. Europ. Ceramic Soc. 30,1345-1350

¹⁷ de Gennes P.G. (1985) *Wetting: statics and dynamics*, Rev. Modern Physics 57(3), 827-863

Smyth K.M. (2010) *Wetting hysteresis and droplet roll off behavior on superhydrophobic surfaces*, PhD thesis, MIT

Choi W. (2009) *Micro-textures surfaces for omniphobicity and drag-reduction*, PhD thesis, MIT

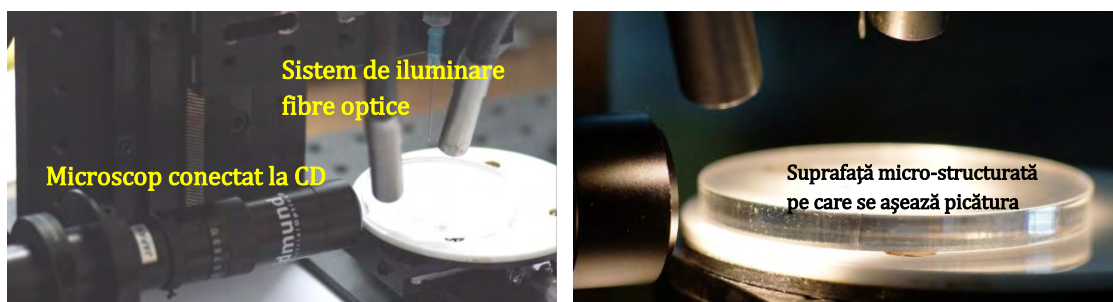
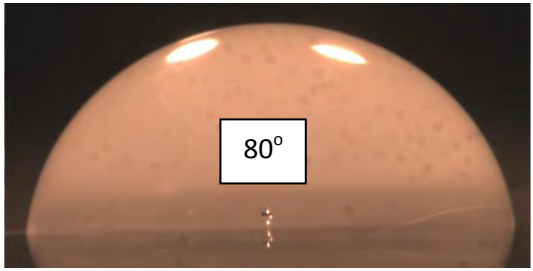
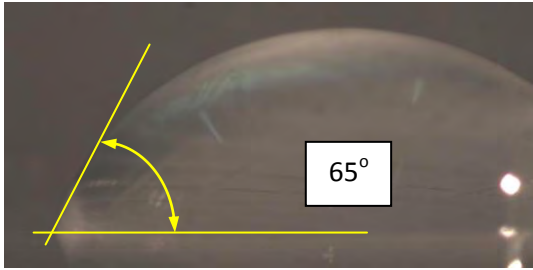
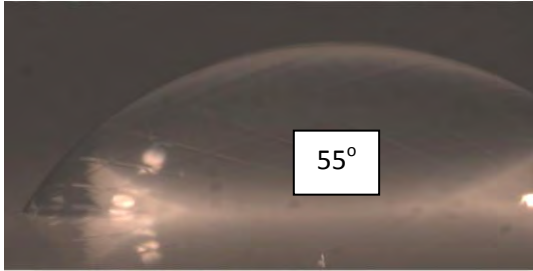


Figura 8 Dispozitivul microscopic folosit pentru obținerea imaginii picăturii (măsurarea și prelucrarea a fost făcută cu un soft grafic specializat).

Tabelul 2 Unghiurile de udare ale apei și soluției de polimeri pe suprafețe netede și structurate - G3, v. Tab. 1. (temperatura 20° C). Toate fluidele testate pe suprafețele netede și structurate au un caracter hidrofil, unghiul de udare fiind mai mic de 90°C.

Fluid	Suprafață	Poză - Unghiul de udare [°]
Apă deionizată	suprafață netedă de referință (plastic)	
Apă deionizată	Plastic cu suprafață structurată - G3	
Soluție polimeri PAA-M18-1	Plastic cu suprafață structurată - G3	

În continuare se prezintă caracterizarea reologică a fluidelor de lucru. Fluidele de lucru se clasifică în trei categorii: (1) Fluide newtoniene stabile (uleiuri siliconice și glicerină); (2) Fluide cvasi-newtoniene (uleiuri de motor slab aditivate), (3) Fluide complexe, soluții de polimeri la diferite concentrații și mase moleculare: PAA (poliacrilamidă în apă), PIB (polizobutilenă în ulei).

Testele sunt realizate la temperatura de 20° C, pe geometria placă-placă, la diferite distanțe h între plăci; discul mobil (superior) este neted, discul inferior (fix) poate fi o suprafață netedă sau structurată. O atenție specială este dată testului de oscilație în regim de LAOS, test ce va fi ulterior folosit în stabilirea procedurii experimentale de caracterizare reologică a fluidelor în vecinătatea suprafețelor structurate.

1. Fluide newtoniene

1.1. Ulei siliconic cu viscozitatea nominală de 0.75 Pas (proba S0.75); geometrie placă-placă cu diametrul de 25 mm v. Fig. 9.

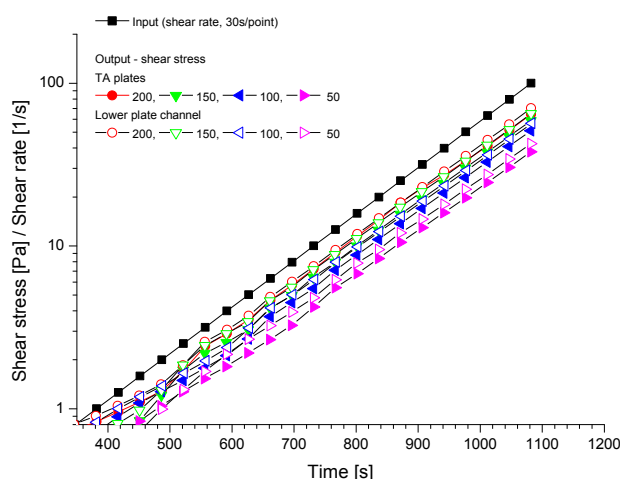


Figura 9 Variația efortului de frecare pentru geometriile G7 (TA plates) și G8 (plate channel), la diferite distanțe între discuri (proba S0.75). Efortul de frecare măsurat pe placa cu canal (geometria G8) este mai mare decât pentru placa normală (pentru toate distanțele h la care s-au realizat experiențele).

1.2. Ulei siliconic cu viscozitatea nominală de 0.12 Pas (proba S0.12), v. Fig. 10.

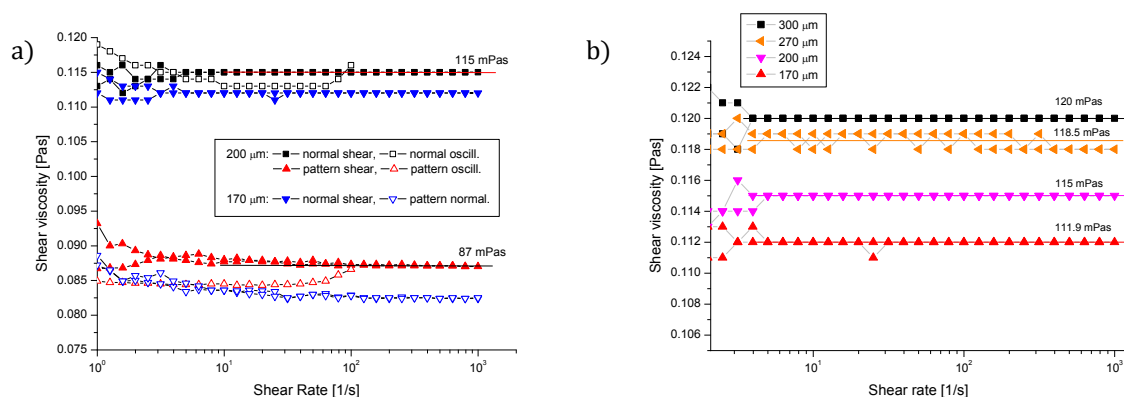


Figura 10 Caracterizare reologică a probei S0.12; a) mișcarea de forfecare pe placa netedă și pe suprafața microstructurată G5; b) variația viscozității în funcție de distanța h dintre cele două discuri (plăci netede).

Pentru această probă s-a efectuat și testarea în regim de expulzare (squeezing), v. Fig. 11. Mișcarea de expulzare are loc între discuri paralele, prin deplasarea pe direcția verticală a discului superior. Distanța dintre suprafețe se modifică în timp, $h = h(t)$, în funcție de viteza impusă plăcii superioare și se măsoară forța normală F (proporțională cu viscozitatea fluidului). Detalii referitoare la mișcarea de expulzare se pot găsi în teza citată¹⁸. Prezentele teste urmează să fie completate cu rezultatele pentru proba G1.2 și pentru suprafața micro-structurată G3, rezultatele urmând să fie înaintate spre publicare în etapa a 2-a a proiectului.

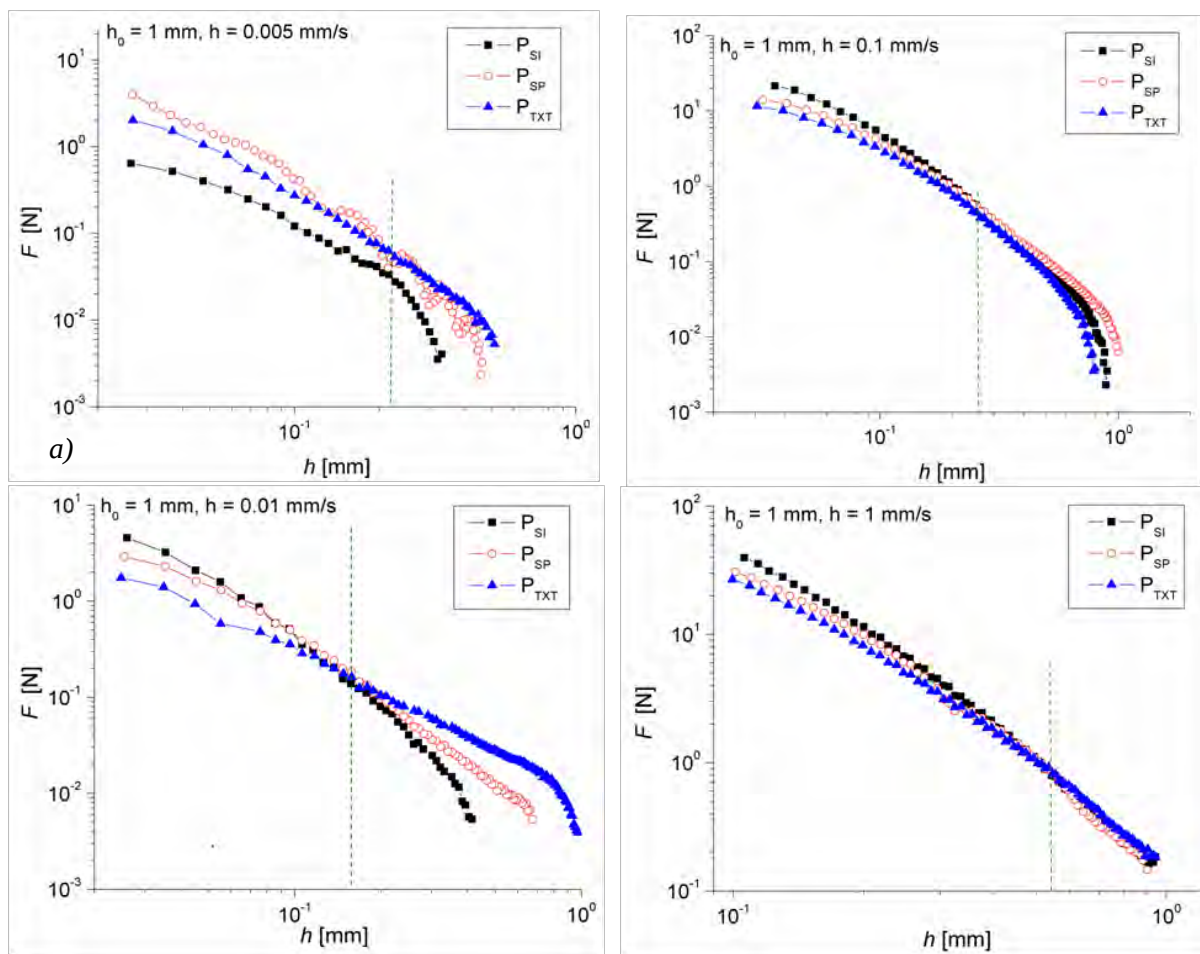
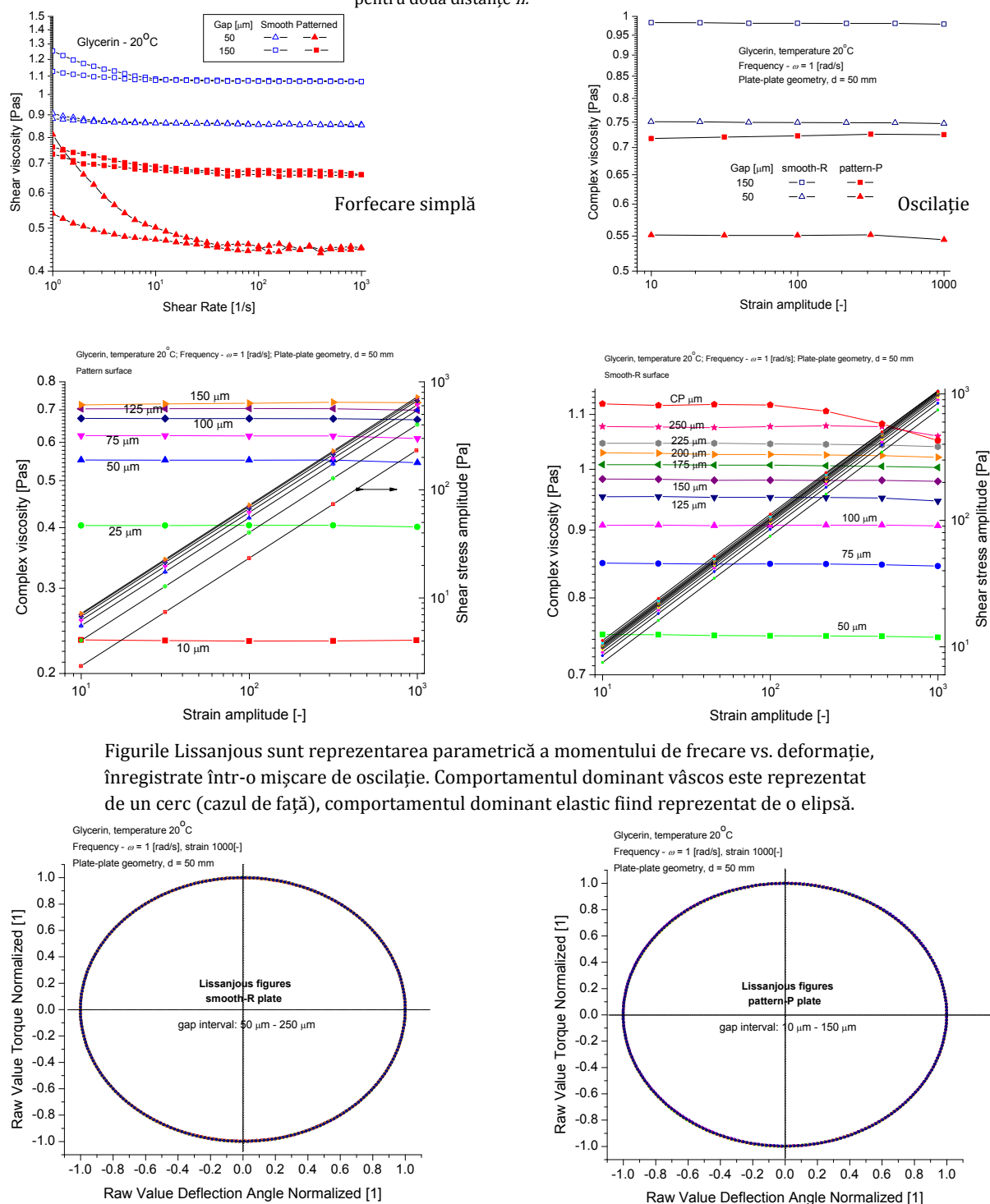


Figura 11 Variația forței normale în funcție de grosimea filmului fluid, rezultate pentru ulei mineral (proba S0.12) obținute în teste de expulzare cu viteză constantă $\dot{h} \in [0.005 \div 1]$ mm/s, la temperatura de 20°C și înălțime inițială a discului mobil de $h_0 = 1$ mm. Influența microstructurii suprafețelor de contact asupra forței de expulzare: placă netedă de siliciu (P_{SI}), placă micro-structurată G5 (P_{TXT}) și placă de siliciu cu microcanale spiralate (P_{SP}). Măsurătorile pun în evidență, pentru viteze medii și mari, scăderea forței măsurate pentru placa micro-structurată. Aceste rezultate sunt în concordanță cu testele în regim de forfecare simplă, v. fig. 10.

¹⁸ Coblaș D. (2012) *Proceduri pentru caracterizarea comportamentului reologic neliniar al fluidelor complexe în mișcări de forfecare și expulzare*, teză de doctorat (conducător: prof. Corneliu Bălan), UPB

1.3 Glicerină cu viscozitatea nominală de 1.2 Pas (proba G1.2), v. Fig. 12.

Influența micro-structurii asupra măsurătorilor,
pentru două distanțe h .



Figurile Lissanjous sunt reprezentarea parametrică a momentului de frecare vs. deformație, înregistrate într-o mișcare de oscilație. Comportamentul dominant vâscos este reprezentat de un cerc (cazul de față), comportamentul dominant elastic fiind reprezentat de o elipsă.

Figura 12 Caracterizarea reologică a probei G0.12 în testul de forfecare simplă și de oscilație (frecvență constantă 1 rad/s, amplitudine variabilă 10 - 1000 [-]). Se prezintă pentru placa netedă și placa structurată - G3 influența distanței dintre plăci în măsurarea viscozității complexe. Figurile Lissanjous adimensionale nu pun în evidență diferențe calitative între tipul de placă și nici nu reflectă influența distanței h între plăci.

2. Fluide cvasi-newtoniene

2.1 Ulei de motor (slab aditivat) cu viscozitatea nominală 0.25 Pas (proba USA0.25), v. Fig. 13.

Influența micro-structurii asupramăsurătorilor, pentru două distanțe h .
Comparativ cu proba G1.2 se remarcă un slab comportament de fluid pseudoplastic - scăderea viscozității cu creșterea vitezei de deformare, respectiv cu amplitudinea deformăției.

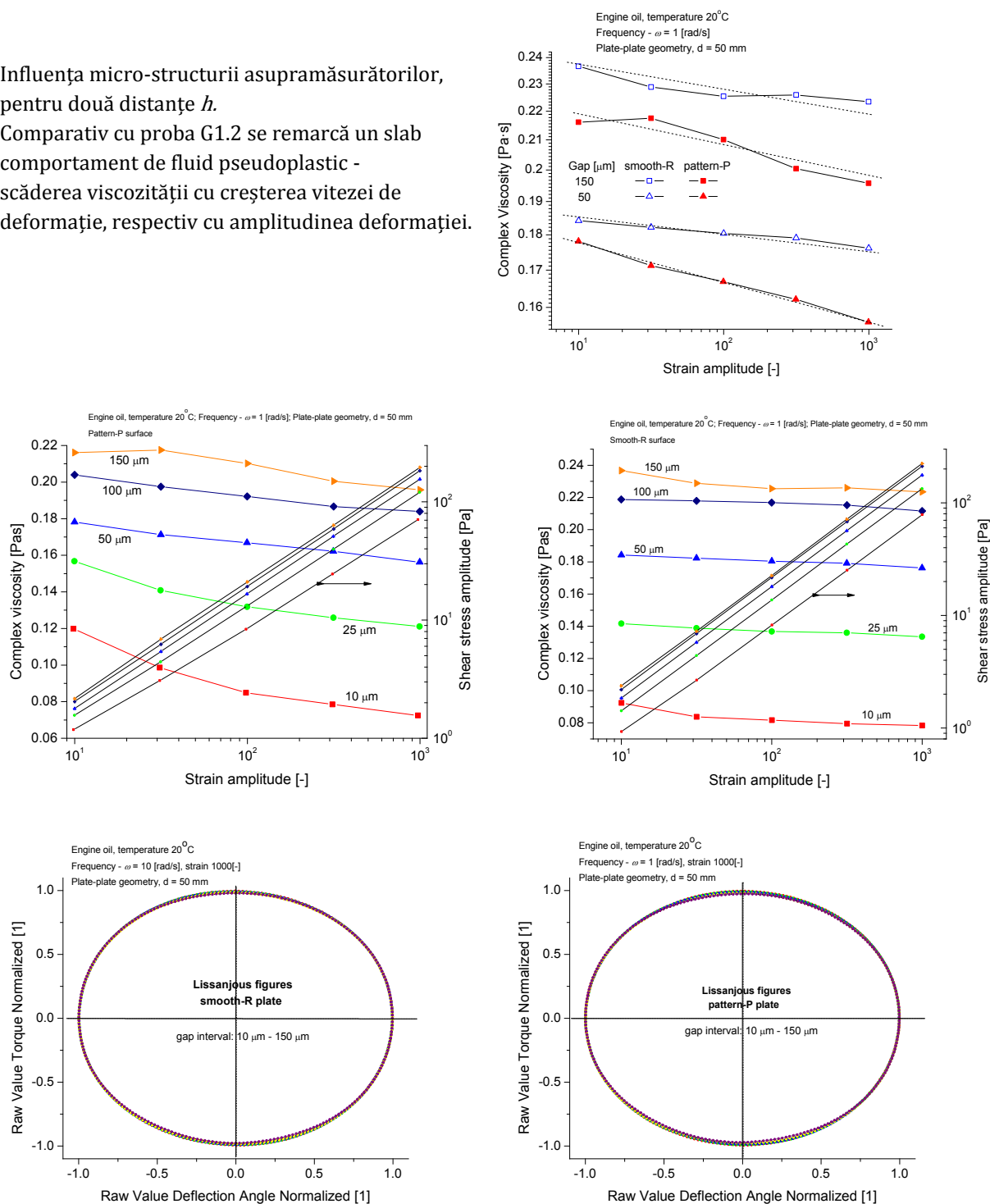


Figura 13 Caracterizarea reologică a probei USA0.25 în testul de oscilație (frecvențe constante de 1 și 10 rad/s, amplitudine variabilă 10 - 1000 [-]). Se prezintă pentru placa netedă și placa structurată - G3 influența distanței dintre plăci în măsurarea viscozității complexe. Figurile Lissajous adimensionale nu pun în evidență diferențe calitative între tipul de placă, însă reflectă minor influența distanței h între plăci, v. Fig. 14.

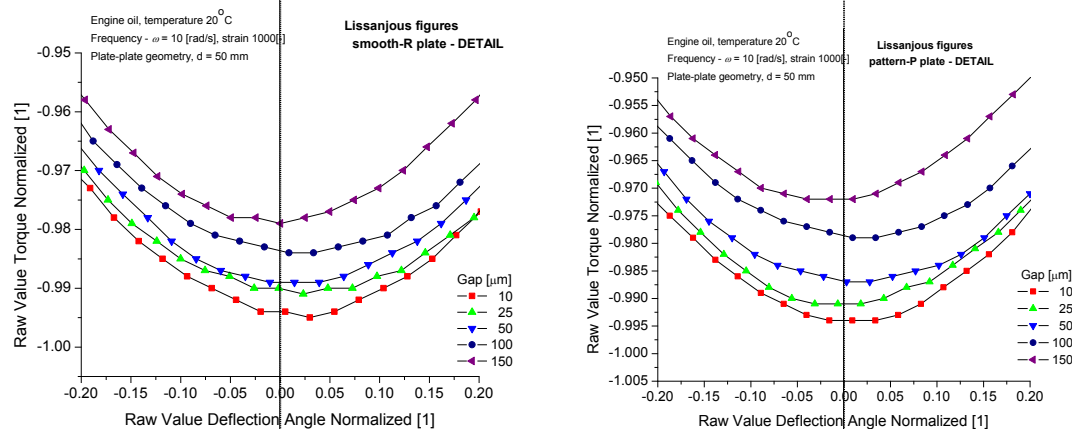


Figura 14 Detalii ale figurilor Lissajous, v. Fig. 13, care pun în evidență influența distanței h între plăci asupra comportamentului reologic. Nu se remarcă însă influența calitativă a micro-structurii G3 asupra măsurătorilor.

3. Soluții de polimeri

3.1 Poliacrilamidă în apă (proba PAA-M18-15), masa moleculară M18, concentrație 15000 ppm, v. Fig. 15; masa moleculară M18, concentrație 1000 ppm, proba PAA-M1-1, v. Fig. 14.

3.2 Poliisobutilenă în ulei - proba USA0.25 (PIB-MO5-1), masa moleculară M0.5, concentrație 1000 ppm, v. Fig. 16.

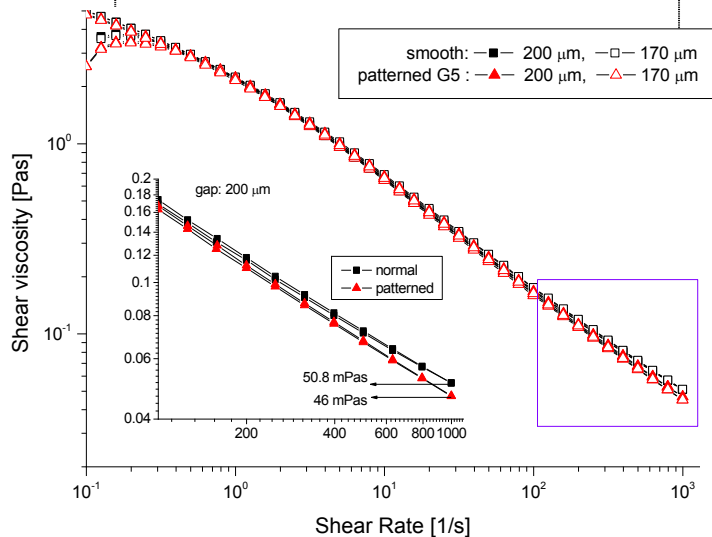


Figura 15 Funcția de viscozitate a probei PAA-M18-15 în mișcare de forfecare (geometrie netedă și geometrie micro-structurată G5). Se remarcă puternicul caracter pseudo-plastic al probei și influența neglijabilă a micro-structurii (evidențiată numai în zona vitezelor mari de forfecare).

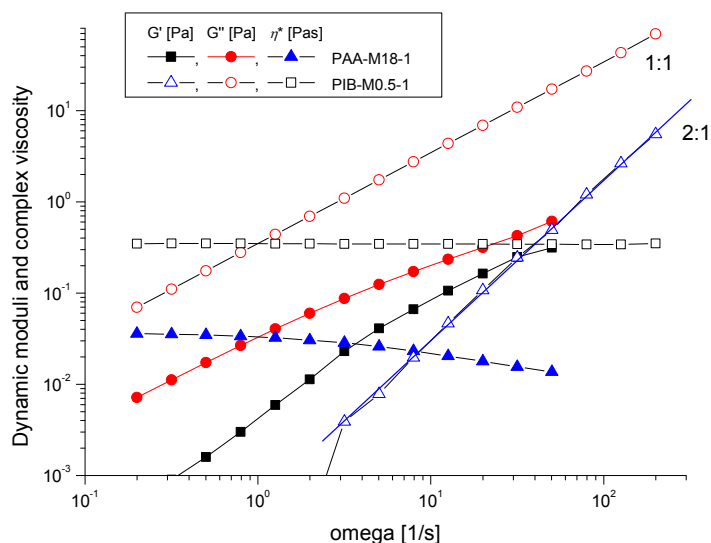


Figura 16 Caracterizarea în mișcarea de oscilație (amplitudine constantă - 0.1 [-] și frecvență variabilă) a probelor PAA-M18-1 și PIB-M0.5-1, geometrii netede. Se remarcă caracterul slab elastic și slab pseudo-plastic al probei PAA-M18-1 și caracterul viscoelastic liniar de tip fluid Boger al probei PIB-M0.5-1 (fluidul de tip Boger are viscozitatea constantă - $G'' \sim \omega$, dar modulul de elasticitate variază cu pătratul frecvenței - $G' \sim \omega^2$; un astfel de fluid este descris de relația constitutivă Oldroyd^{8,1}). Influența suprafețelor structurate asupra măsurătorilor urmează să se facă în etapa următoare a proiectului.

Concluzii

Obiectivul principal al acestei etape a fost de a stabili micro-geometria suprafețelor structurate și alegerea fluidelor de lucru. Rezultatele prezentate dovedesc că suprafețele structurate induc modificări cantitative remarcabile în măsurătorile reologice, v. măsurătorile comparative din Fig. 9 - Fig. 13, însă schimbările calitative nu sunt evidente. Aceste rezultate urmează să fie investigate în detaliu în etapele următoare ale proiectului, atât în testele reologice de oscilație (regim LAOS), cât și în curgerile Poiseuille în micro-canale cu pereti structurați.

În privința fluidelor de lucru se va opta pentru fluide cu reologie stabilă și controlabilă. La categoria de fluide newtoniene se optează pentru glicerină și uleiuri siliconice (de diverse viscozități), iar ca fluide complexe se vor folosi soluții de poliizobutilenă în ulei.

Pompele de alimentare și control a curgerilor Poiseuille au fost achiziționate, urmând să se instaleze în dispozitivul micro-PIV după recepția produselor.

Se consideră că toate obiectivele acestei etape au fost îndeplinite, existând condițiile îndeplinite pentru începerea activităților prevăzute în planul de realizare al etapei a-II-a (în condițiile finanțării conform bugetului propus).

În etapa a 2-a a proiectului, pe lângă realizarea programului de studii și cercetări experimentale, o atenție deosebită se va acorda structurii teoretice și modelării fenomenelor macroscopice asociate alunecării la perete sau a modificării comportamentului reologic al fluidelor în vecinătatea peretelui.

În urma investigațiilor efectuate și a testelor prezentate s-au stabilit următoarele:

1. Suprafețele ce urmează să fie folosite în experimente sunt caracterizate de o geometrie formată de microcanale drepte paralele, respectiv prin intersecție de microcanale drepte. Microcanalele vor avea adâncimi în domeniul 10 - 50 microni și lățimi variabile, dimensiunea laterală maximă fiind de 1000 microni. Microcanalele de secțiune dreptunghiulară se vor realiza pe suprafețe paralele netede din plastic, metal sau siliciu. Tipurile de micro-geometrii ce urmează să se folosească se încadrează în familia de suprafețe G3 și G8, v. Tabelul 1.

Microcanalele se vor executa pe plăci cu diametrul corespunzător reometrului folosit, pe suprafețe dreptunghiulare folosite ca perete în micro-canale, respectiv pe suprafața laterală a cilindrului imersat (v. Fig. 3).

2. Testele se vor efectua cu trei tipuri de fluide:

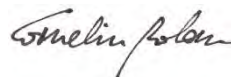
2.1 Două fluide (probe) newtoniene: (2.1) Glicerină - proba G1.2; (2.2) Uleiuri siliconice; probe S0.01 - S0.2 (uleiuri siliconice cu viscozități cuprinse între 0.01 Pas și 0.2 Pas, la temperatura de 20 C); (2.3) soluții PAA în cazul mișcării în jurul cilindrului imersat.

2.2 Soluție de polimer PIB, similară probei PIB-M0.5-1, obținută prin amestecul solventului (ulei) cu poliizobutilenă de mase moleculare diferite și concentrații diferite.

2.3 Soluții PAA, similare probei PAA-18M-1, în cazul mișcării în jurul cilindrului imersat.

02. Decembrie. 2013

Director de proiect,



Prof. Corneliu Bălan