

სითხეში ჩაძირული წრის და რკალების მცოცავი რეჟიმით გარსდენის კომპიუტერული მოდელირება

დ.კილურაძე, კ.გიბიტელაშვილი, ო.კილურაძე

სითხის ან აირის მოძრაობის კომპიუტერული მოდელირებისათვის გამოყენებულია პროგრამული პაკეტი FLUENT და GAMBIT.

განხილულია სითხეში ჩაძირული სხვადასხვა ფორმის ფიგურების (წრე, წრის 3/4, 1/2 და 1/4 რკალები) გლიცერინით, მცოცავი რეჟიმით გარსდენის კომპიუტერული მოდელირების სურათები. რეინოლდსის რიცხვის საშუალო მნიშვნელობაა $Re_L = 0.112$, ხოლო ნაკადი სიჩქარის დიაპაზონია 1-4.7 მმ/წმ. რკალების გარსდენისას დაფიქსირებულია თითო წყვილი გრივლი, რომელთა ცენტრებს შორის მანძილი შესაბამისობაშია ექსპერიმენტით მიღებულ მონაცემებთან (ნახევარ წრის გარსდენა). მცოცავი რეჟიმით დინებისას წრის და მისი სხვადასხვა რკალის ნაკადის რევერსი პრაქტიკულად გავლენას არ ახდენს დინების ჰიდროდინამიკურ სურათზე.

ჰიდროდინამიკური პროცესების ვიზუალური წარმოდგენა, პირველ რიგში, მნიშვნელოვანია სწავლების პროცესისათვის. ლექციებისა და სემინარების ჩატარების დროს ვიზუალური გამოსახულებები და ანიმაციური სურათები მნიშვნელოვნად ამაღლებენ მასალის ათვისების უნარს. ასევე საგულისხმოა მსმენელებში ჰიდროდინამიკური ინტუიციის ფორმირების ხელშეწყობა.

ჰიდროდინამიკური პროცესების დაკვირვებისათვის ნაკადის ვიზუალიზაციას უძველესი დროიდან ენიჭებოდა მნიშვნელოვანი როლი. იგი იძლეოდა მოვლენის ხარისხობრივი გაგებისა და ბოლო პერიოდში კი უკვე რაოდენობრივი შეფასების შესაძლებლობას.

ნაკადის დინების ერთ-ერთი სახეა მცოცავი რეჟიმი, რომელიც ხორციელდება ნაკადის ძალიან მცირე სიჩქარეების პირობებში (რეინოლდსის დაბალი რიცხვების პირობებში).

ვიწრო ღრეჩოში (ხელსაწყო Hele-Shaw) სხვადასხვა სხეულის გარსდენის სურათები ასეთი რეჟიმებისათვის როგორც თეორიულ, ასევე პრაქტიკულ ინტერესს იძენს.

[1]-ში მოცემულია აშშ-ის, ინგლისის, საფრანგეთის, იაპონიისა და სხვა ქვეყნების სპეციალისტების ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები სითხეებისა და გაზების სხვადასხვა პირობებში დინების ამსახველი ფოტოების სახით. ამ მასალების კლასიფიკაცია, დამუშავება და კომენტარები შესრულებულია ცნობილი ამერიკელი მეცნიერის მილტონ ვან-დაიკის მიერ. ეს წიგნი უნიკალურია იმითაც, რომ ჰიდროდინამიკის არსებობის ორნახევარი საუკუნის პერიოდში იგი ამ სახის ერთადერთი ნაშრომია.

ხელსაწყო Hele-Shaw წარმოადგენს ერთმანეთთან ძალიან ახლოს მდებარე (ერთეული მილიმეტრები) ორი პარალელური ფირფიტით შექმნილ ვიწრო ღრეჩოს შევსებულს სითხით, რომელიც მოძრაობაში მოდის ბოლოებს შორის მოდებული მუდმივი წნევითა სხვაობით. სითხეში ჩაძირულია სხვადასხვა სხეული- “წინაღობა”, რომლის გარსდენაც კვლევის ობიექტს წარმოადგენს. ხელსაწყოს შესასვლელ ნაწილში შეჰყავთ შემაფერადებელი ნივთიერება, რათა შესაძლებელი გახდეს ნაკადზე ვიზუალური დაკვირვება და ჰიდრაულიკური მოვლენების ფოტოგრაფირება.

ასეთი სახის ექსპერიმენტების ჩატარება დიდ ტექნიკურ სირთულეებთანაა დაკავშირებული, მაშინ როდესაც პროცესების კომპიუტერული მოდელირებით შედარებით მარტივად მიიღება ნაკადის სიჩქარისა და წნევის ძალწირების სურათები სხვადასხვა სხეულის გარსდენის შემთხვევებისათვის.

სითხის ან აირის მოძრაობის მოდელირებისათვის გამოყენებულია ჰიდროაეროდინამიკური პროგრამები FLUENT და GAMBIT. ეს პროგრამული პაკეტი ფართოდ გამოიყენება ისეთ

სფეროებში, როგორცაა: ავიაცია, ენერგეტიკა, საავტომობილო ინდუსტრია, ქიმია, ფიზიკა და სხვ. მათი მომხმარებლებია ისეთი ცნობილი ფირმები, როგორცაა BOING, BMW და სხვ.

FLUENT და GAMBIT პროგრამებთან მუშაობა მოიცავს სამ ძირითად ეტაპს [2]: 1) ბადის გენერირება პროგრამა GAMBIT-ში და ნახაზის გადატანა პროგრამა FLUENT-ში; 2) გამოთვლების ჩატარება და 3) შედეგების გამოტანა. პროგრამა FLUENT-ში გამოთვლების ჩატარება შესაძლებელია როგორც ორ, ასევე სამ განზომილებიან არეში (2D და 3D). მეორე ეტაპის წინ საჭიროა შევიტანოთ ნაკადის საწყისი მონაცემები: სიჩქარე, ტემპერატურა, წნევა, სიმკვრივე, დინების სახე და სხვ. ბოლო ეტაპზე შეიძლება განისაზღვროს ნაკადის სიჩქარე, სიჩქარის ვექტორი, წნევა. ტემპერატურა სასურველ წერტილებში და აგრეთვე ნაკადის ნებისმიერ კვეთში შეიძლება მივიღოთ სიჩქარისა და წნევის პროფილი.

ჰიდროდინამიკური პროცესების ვიზუალური წარმოდგენა, პირველ რიგში, მნიშვნელოვანია სწავლების პროცესისათვის. ლექციებისა და სემინარების ჩატარებისას ვიზუალური გამოსახულებები და ანიმაციური სურათები მნიშვნელოვნად ამაღლებენ თეორიის გაგების უნარს. კიდევ უფრო საგულისხმოა მსმენელებში ჰიდროდინამიკური ინტუიციის ფორმირების ხელშეწყობა.

სითხეში ჩაძირული სხვადასხვა ფორმის ფიგურებს: წრე, წრის 3/4; 1/2 და 1/4 რკალები, გარსდენის კომპიუტერული სურათები ნაჩვენებია ნახაზებზე 1-4. შესაბამის 1-4 ნახაზებზე მოცემულია სიჩქარის ძალწივები, ვექტორები და სიჩქარის მრუდები მახასიათებელ კვეთებში და ნაკადის რევერსის შემთხვევები.

გაანგარიშებები ჩატარებულია გლიცერინით მცოცავი რეჟიმით გარსდენის პირობებში: $\rho = 1266.5$ კგ/მ³; დინამიკური სიბლანტის კოეფიციენტი $\mu = 0.799$ პა.წმ და კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტი $\nu = 6.31 \cdot 10^{-4}$ მ²/წმ. დინების მახასიათებელი პარამეტრები მოცემულია იმ კვეთებში, რომლებიც მითითებულია ნახაზებზე პირობითი ნულიდან დაშორებულ მანძილებზე (პირობითი ნული დაშორებულია წრეწირის ცენტრიდან 100 მმ მანძილზე). ყველა სურათზე ნაკადის მოძრაობის მიმართულება არის მარცხნიდან მარჯვნივ, თუ სპეციალურად არ არის მითითებული მოძრაობის მიმართულების შესახებ.

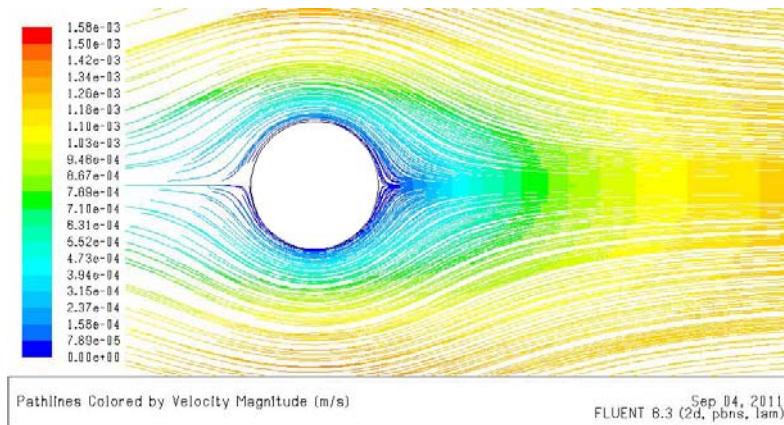
ნახ. 1.1. ნაჩვენებია წრის გარსდენა გლიცერინის ნაკადით. წრის დიამეტრია 20 მმ, ნაკადის სიჩქარეა 1 მმ/წმ და $Re_d = 0.0317$ და $Re_L = 0.0995$. ნაკადის გადაადგილება ხდება სითხის ცალკეული მოცულობების ბრუნვის (დაგრიგალების) გარეშე. დინების სურათი სიმეტრიულია.

ნახ. 2.1. ნაჩვენებია 20 მმ დიამეტრის წრის 3/4 რკალის გარსდენა. ნაკადის სიჩქარეა 1,6 მმ/წმ, $Re_L = 0.119$.

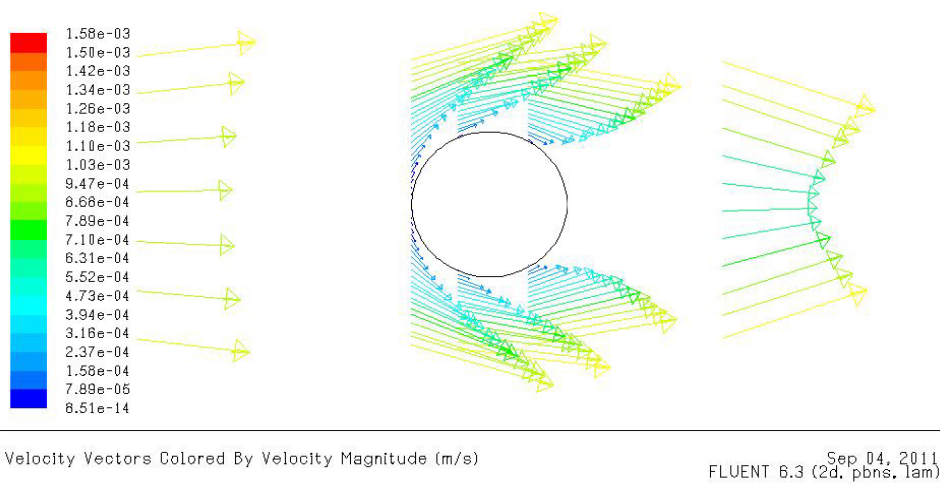
ნახ. 3.1. ნაჩვენებია 20 მმ დიამეტრის წრის 1/2 რკალის გარსდენა. ნაკადის სიჩქარეა 2,3 მმ/წმ, $Re_L = 0.114$.

ნახ. 4.1. ნაჩვენებია 20 მმ დიამეტრის წრის 1/4 რკალის გარსდენა. ნაკადის სიჩქარეა 4,7 მმ/წმ, $Re_L = 0.117$.

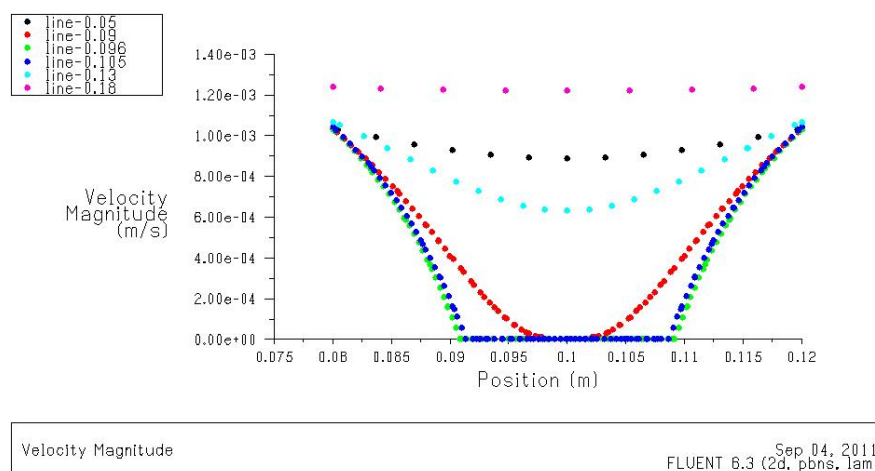
1.4, 2.4, 3.4 და 4.4 სურათები შეესაბამება ნაკადის რევერსის შემთხვევებს. პრაქტიკულად გარსდენის სურათები სიმეტრიულია.



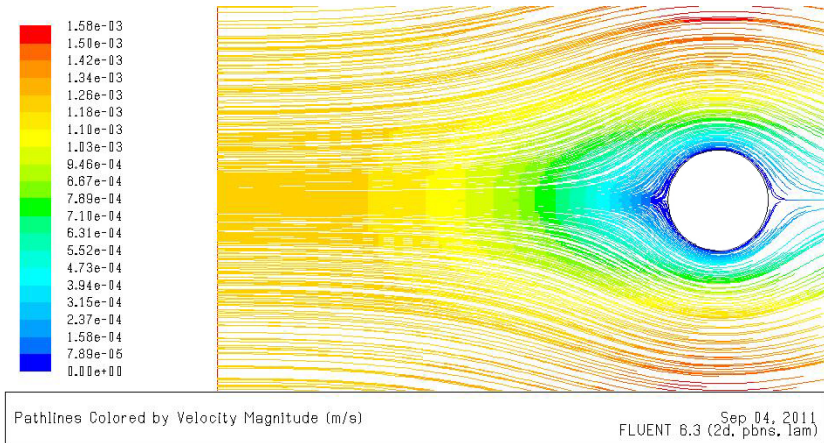
1.1. წრის გლიცერინით გარსდენის კომპიუტერული მოდელირება. სიჩქარის ძალწირები. $Re_d = 0.0995$



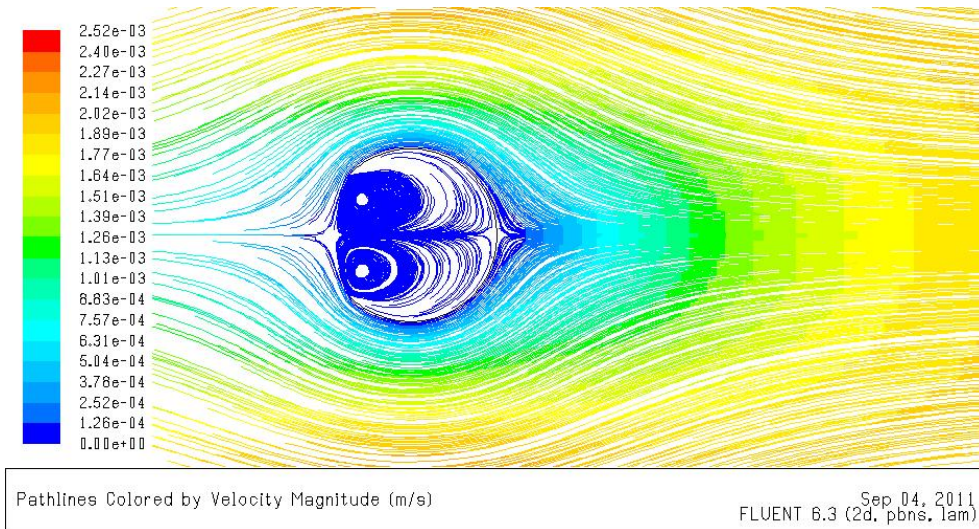
1.2. წრის გლიცერინით გარსდენის კომპიუტერული მოდელირება. სიჩქარის ვექტორები მახასიათებელ კვეთებში



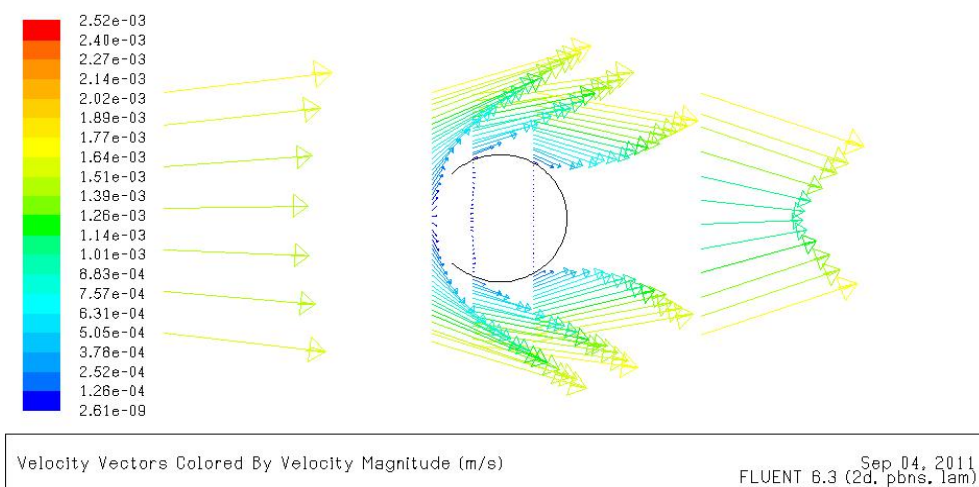
1.3. წრის გლიცერინით გარსდენის კომპიუტერული მოდელირება. სიჩქარის განაწილების მრუდები მახასიათებელ კვეთებში



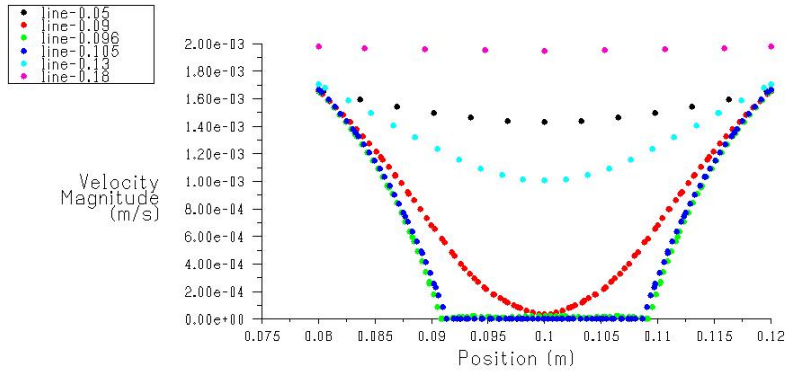
1.4. წრის გლიცერინით გარსდენის კომპიუტერული მოდელირება. ნაკადის რევერსი



2.1. წრის 3/4 რკალის გლიცერინით გარსდენის კომპიუტერული მოდელირება. სინქარის ძალწირები. $Re_L = 0.019$

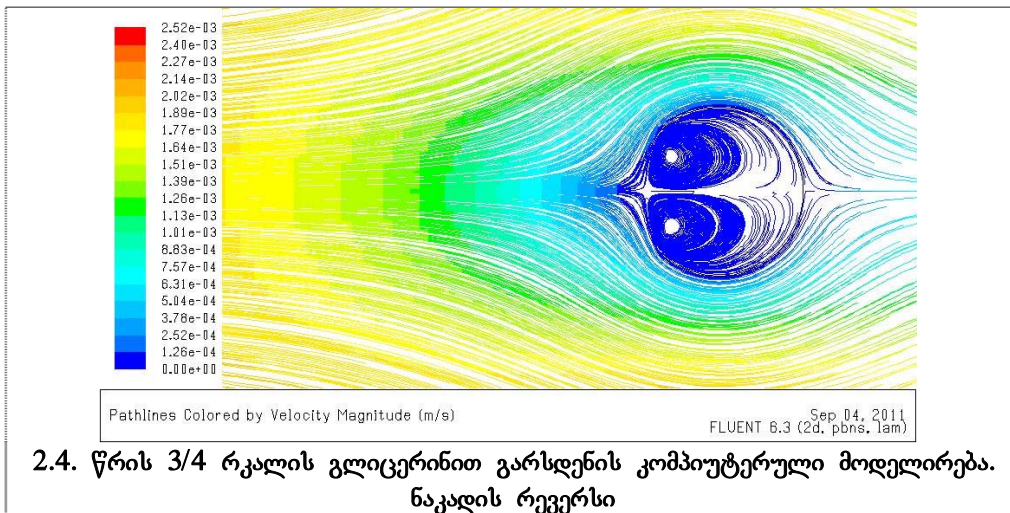


2.2. წრის 3/4 რკალის გლიცერინით გარსდენის კომპიუტერული მოდელირება. სინქარის ვექტორები



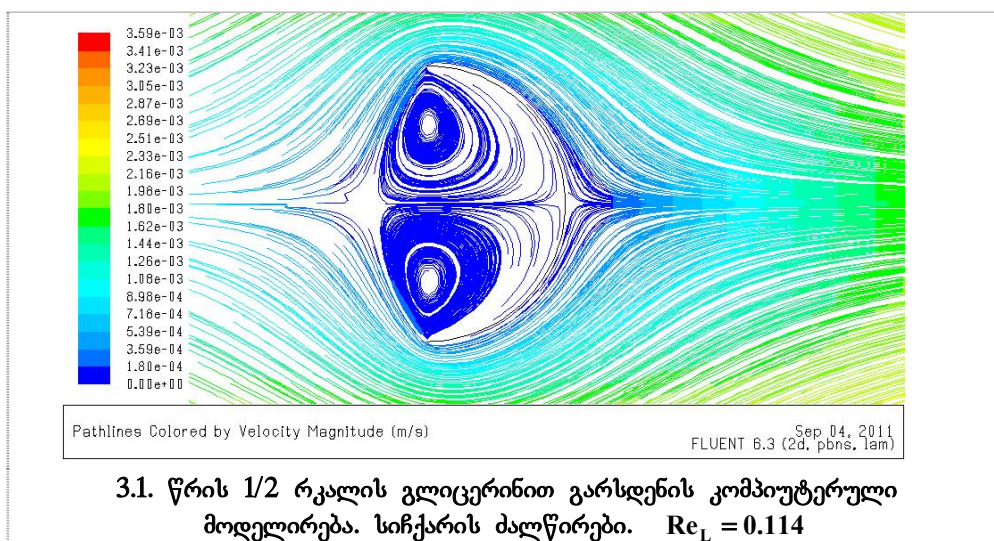
Velocity Magnitude Sep 04, 2011
FLUENT 6.3 (2d, pbns, lam)

2.3. წრის 3/4 რკალის გლიცერინით გარსდენის კომპიუტერული მოდელირება. სიჩქარის გრაფიკები



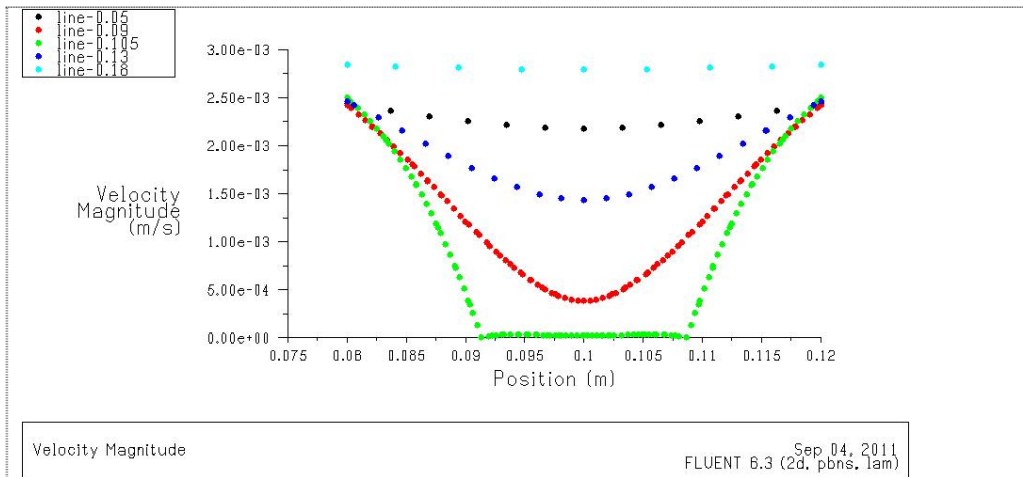
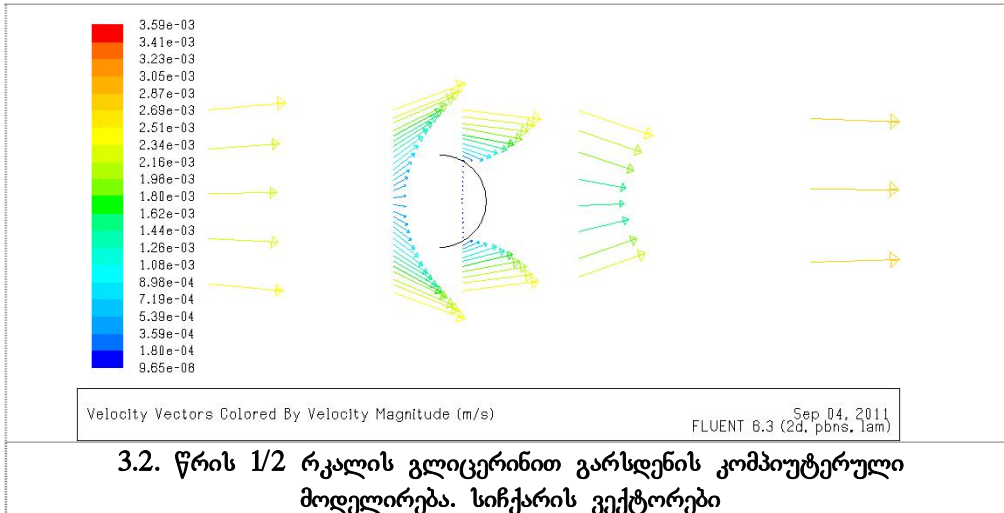
Pathlines Colored by Velocity Magnitude (m/s) Sep 04, 2011
FLUENT 6.3 (2d, pbns, lam)

2.4. წრის 3/4 რკალის გლიცერინით გარსდენის კომპიუტერული მოდელირება. ნაკადის რევერსი

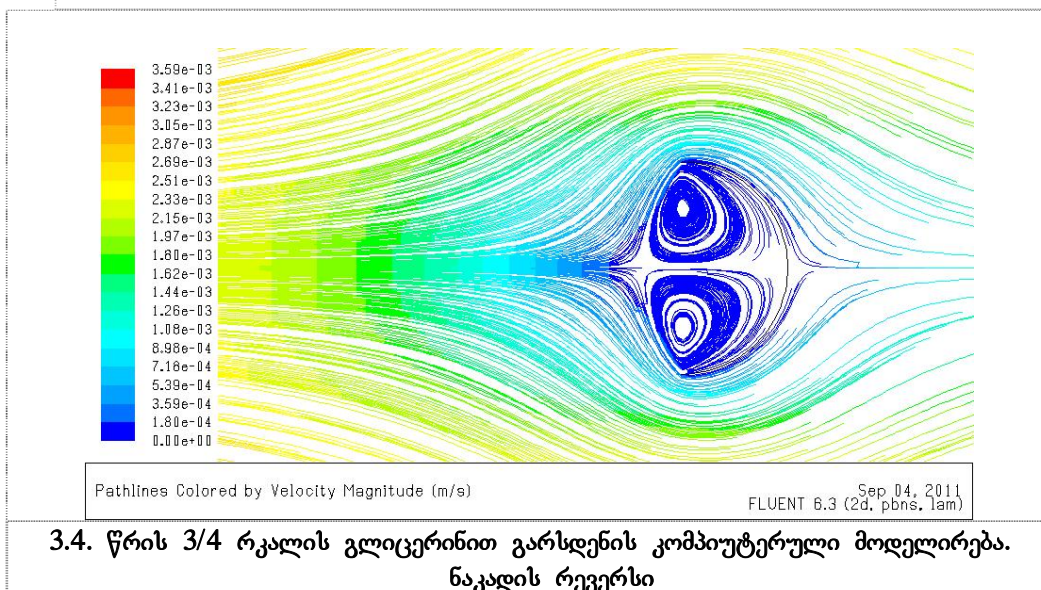


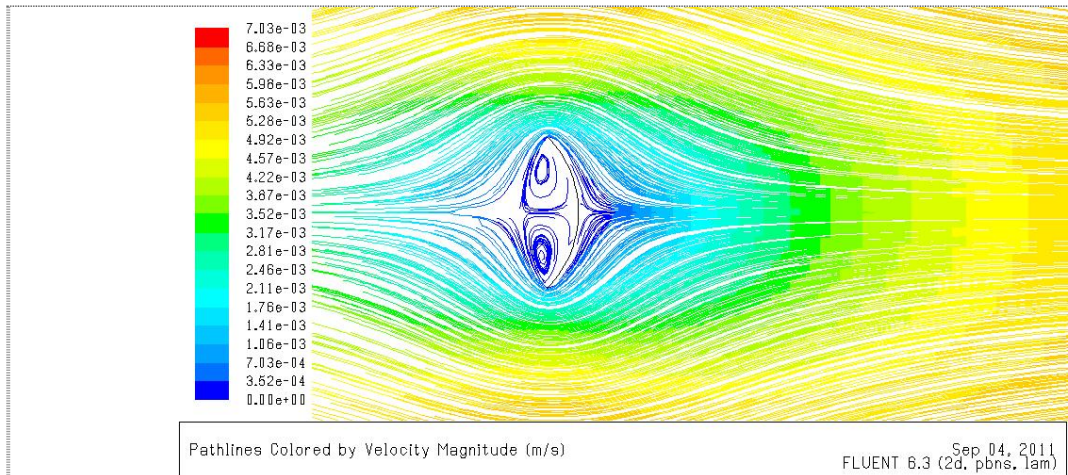
Pathlines Colored by Velocity Magnitude (m/s) Sep 04, 2011
FLUENT 6.3 (2d, pbns, lam)

3.1. წრის 1/2 რკალის გლიცერინით გარსდენის კომპიუტერული მოდელირება. სიჩქარის ძალწირები. $Re_L = 0.114$

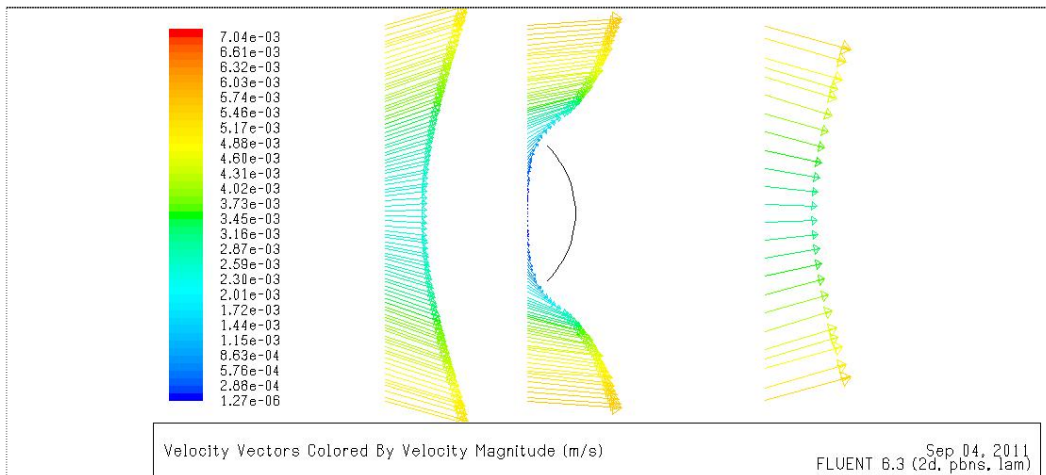


3.3. წრის 1/2 რკალის გლიცერინით გარსდენის კომპიუტერული მოდელირება. სიჩქარის გრაფიკები

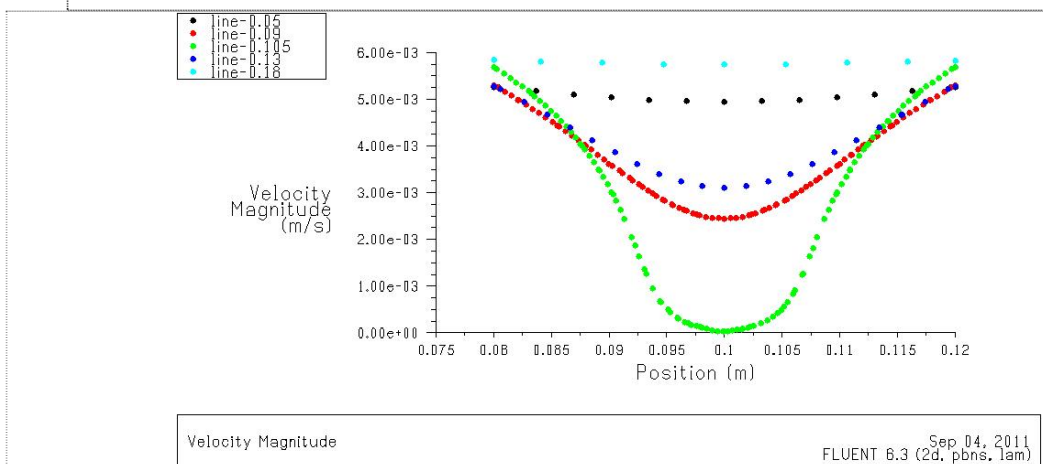




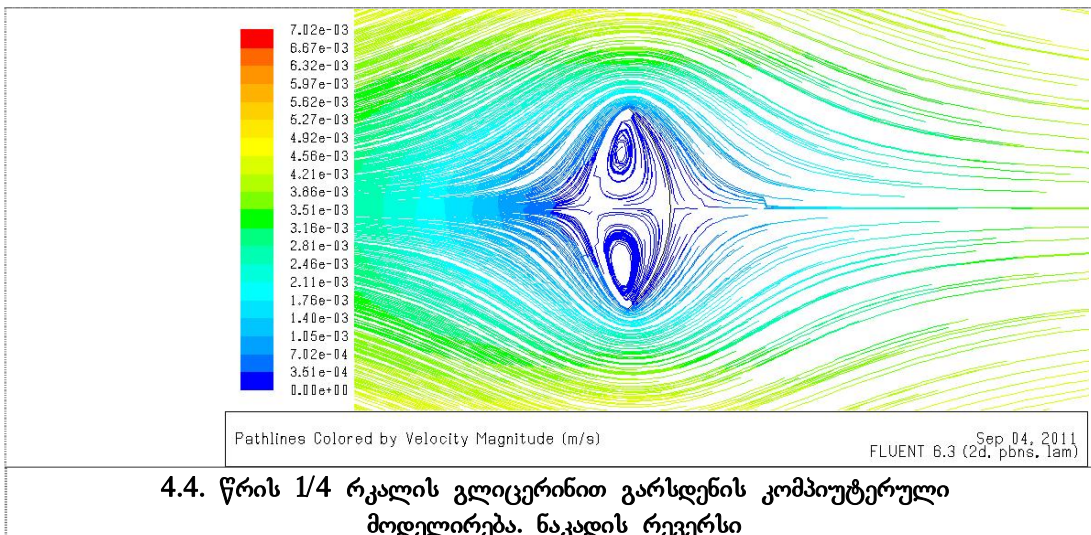
4.1. წრის 1/4 რკალის გლიცერინით გარსდენის კომპიუტერული მოდელირება. სიჩქარის ძალწირები. $Re_L = 0.117$



4.2. წრის 1/4 რკალის გლიცერინით გარსდენის კომპიუტერული მოდელირება. სიჩქარის ვექტორები.



4.3. წრის 1/4 რკალის გლიცერინით გარსდენის კომპიუტერული მოდელირება. სიჩქარის გრაფიკები



რკალების შიდა ნაწილში, როგორც მოსალოდნელი იყო, აღინიშნება ერთი წყვილი გრიგალი, რომელთა ცენტრებს შორის მანძილები ნახაზების მიხედვით ტოლია, მმ: ნახ. 1.1. - 8,4; ნახ. 2.4. - 8,3; ნახ. 3.1. - 11,5; ნახ. 3.4. - 11,3; ნახ. 4.1. - 7.8 და ნახ. 4.4. - 7,9. ანუ წრის დიამეტრზე დაყვანილი სიდიდეებია: 0.42, 0.57 და 0.39 შესაბამისად და ანალოგიურად რკალის სიგრძეზე დაყვანილი კი - 0.176, 0.360 და 0.509 შესაბამისად.

[1]-ში მოცემულია ნახევარ წრის ალუმინის ფხვნილით დისპერგირებული გლიცერინით გარსდენის ($Re_d = 0.031$) წყვილ გრიგალებს შორის ექსპერიმენტულად განსაზღვრული მანძილი - $0.52d$. ამ უკანასკნელის გადახრა კომპიუტერული მოდელირებით მიღებულ სიდიდისაგან შეადგენს 9%, რაც შესაძლებელია დაკავშირებულია გლიცერინის თბოფიზიკური მახასიათებლებისა და რეინოლდსის რიცხვების განსხვავებებთან.

ლიტერატურა

1. Альбом течений жидкости и газа/Пер. с англ./Сост. М.Ван-Дайк. М.:Мир. 1986.
2. გიგიტელაშვილი კ., კილურაძე დ., კილურაძე ო. სითხის ნაკადის რეჟიმების მოდელირება თანამედროვე პროგრამული პაკეტების გამოყენებით//ენერჯია. 2011. №3 (59). თბილისი.