



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Факультет біомедичної інженерії
Кафедра біомедичної інженерії



ЗВІТ

з напрямку підготовки – 163 «Біомедична інженерія»
на тему: «Персоніфіковане моделювання штучного кришталіка ока людини на
основі біометра»

Виконав:

Аспірант 3 курсу,
ФБМІ, гр. БМ-81ф
Поліщук О.С.

Керівник:

к.м.н., доц. каф. БМІ Козяр В.В.

Київ – 2021 р.

Актуальність роботи

Катаракта в світі є причиною слабобачення в 33% випадків і в 51% - загальної сліпоти, причому 82% всіх сліпих складають люди більше 50 років.

Імплантація інтраокулярних лінз (ІОЛ) не є повноцінною заміною нативного кришталіка і супроводжується рядом ускладнень. Тому створення ІОЛ з кращими характеристиками є на теперішній час актуальним.

Мета

Підвищення якості результатів заміни нативного кришталика ока завдяки застосуванню розроблених ІОЛ.

Задачі

- ✓ Запропонувати об'ємозамінну модель ІОЛ;
- ✓ Провести оптичні розрахунки;
- ✓ Розробити технічний підхід проти розвитку вторинної катаракти, провести комп'ютерний аналіз її функціонування та есперимент;
- ✓ Дослідити механічні властивості ІОЛ та її мультифокальність, провести експеримент;
- ✓ Змоделювати ІОЛ з плівкою ПТФЕ, дослідити оптичні параметри;
- ✓ Нанести ПТФЕ на ІОЛ відповідно до розрахунків
- ✓ Перевірити оптичні показники ІОЛ з ПТФЕ

Проблеми після імплантації ІОЛ

- Тремтіння райдужки (іридодонез)
- Нерівномірний локальний натяг капсули кришталика
- Дислокація лінзи, пошкодження (втрата) гаптик
- Розрідження скловидного тіла та відшарування сітківки
- Дзеркальне відбиття, блукаюча скотома, глер та гало ефекти
- Розвиток вторинної катаракти
- Відсутність головної функції кришталика (акомодації)
- Сферична аберація

Розрахунок фізичних параметрів ІОЛ

Френелівське відбиття для акрилової гідрофобної лінзи: $R_0 = \frac{(1,55-1,33)^2}{(1,55+1,33)^2} = 0,0055$

Залежність відбиття від поверхні лінзи $R = R_0(1 - 8\pi^3 R_a^2 / \lambda^2) \Rightarrow 1 - 8\pi^3 R_a^2 / \lambda^2 = 0$,

$$R_a = \sqrt{\lambda^2 / 8\pi^3}$$

Для довжини хвилі видимого світла $\lambda = 550$ нм, $R_a = 35$ нм при $\lambda = 750$ нм, $R_a \approx 50$ нм.

Величина області середовища, яке містить промені, що здатні створити феномен світіння

$$F(x) = 1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + 0,25}}, \text{ де}$$
$$x = \frac{h}{d}$$

Для $h=1$ мм, а $d=3$

$$F(x) = 0,45$$

Для $h=4$ мм, а $d=3$

$$F(x) = 0,0636$$

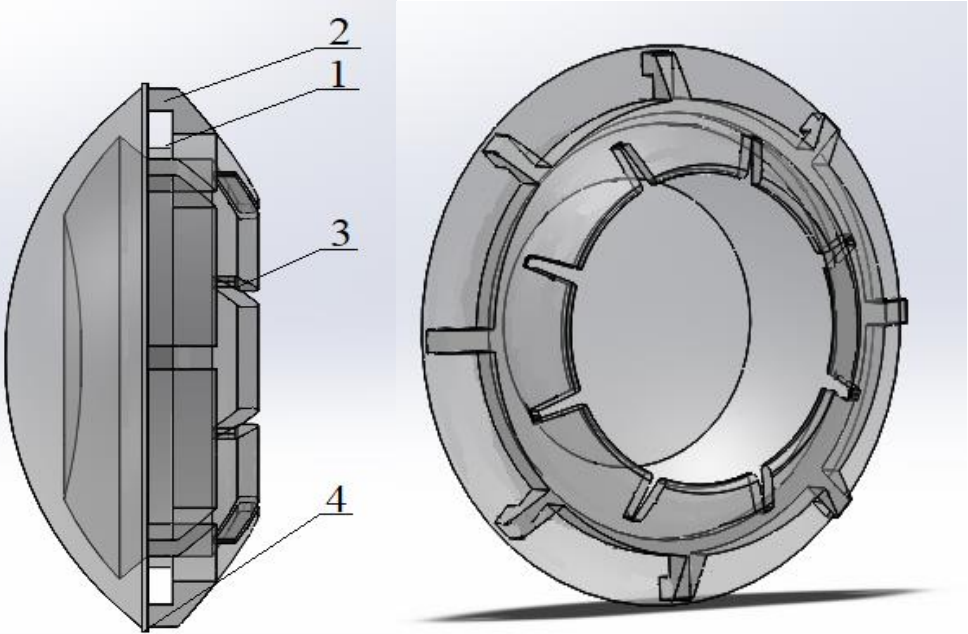


Рис.1. Модель ІОЛ в середовищі Solidworks

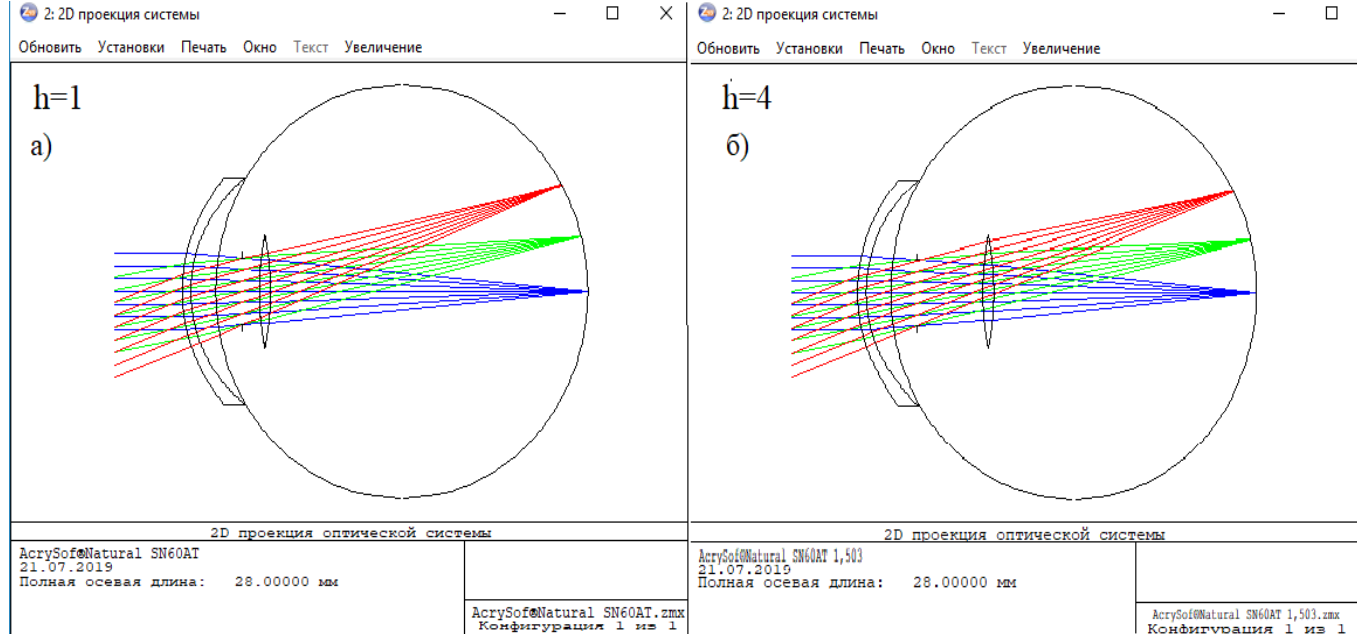


Рис.2. 2D проекція оптичної системи в Zemax

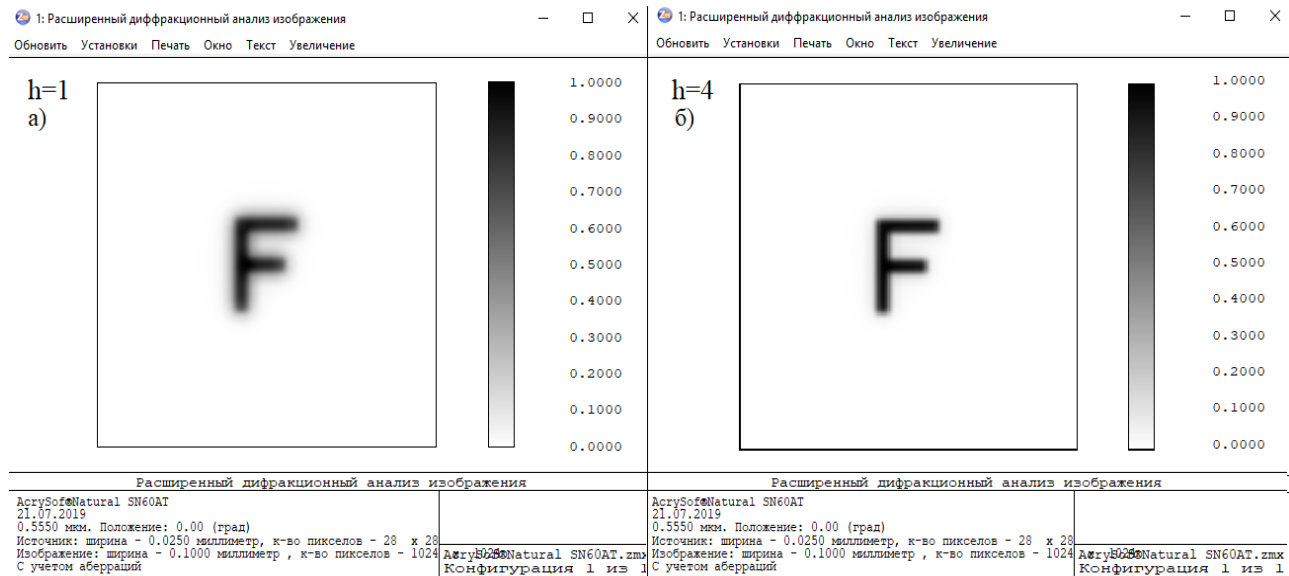


Рис.3. Дифракційний аналіз зображень отриманих оптичними системами

Дослідження гаптики ІОЛ

Прийнявши, що ширина кільцеподібного циліарного м'яза дорівнює 2 мм, а його товщина - 1 мм, то поперечний переріз складе 2 мм². Сила скорочення циліарного м'яза може дорівнювати 0,011 Н. Вектор сили спрямований до центра кола.

$$URES = |\vec{U}| = \sqrt{(U_x)^2 + (U_y)^2 + (U_z)^2}$$

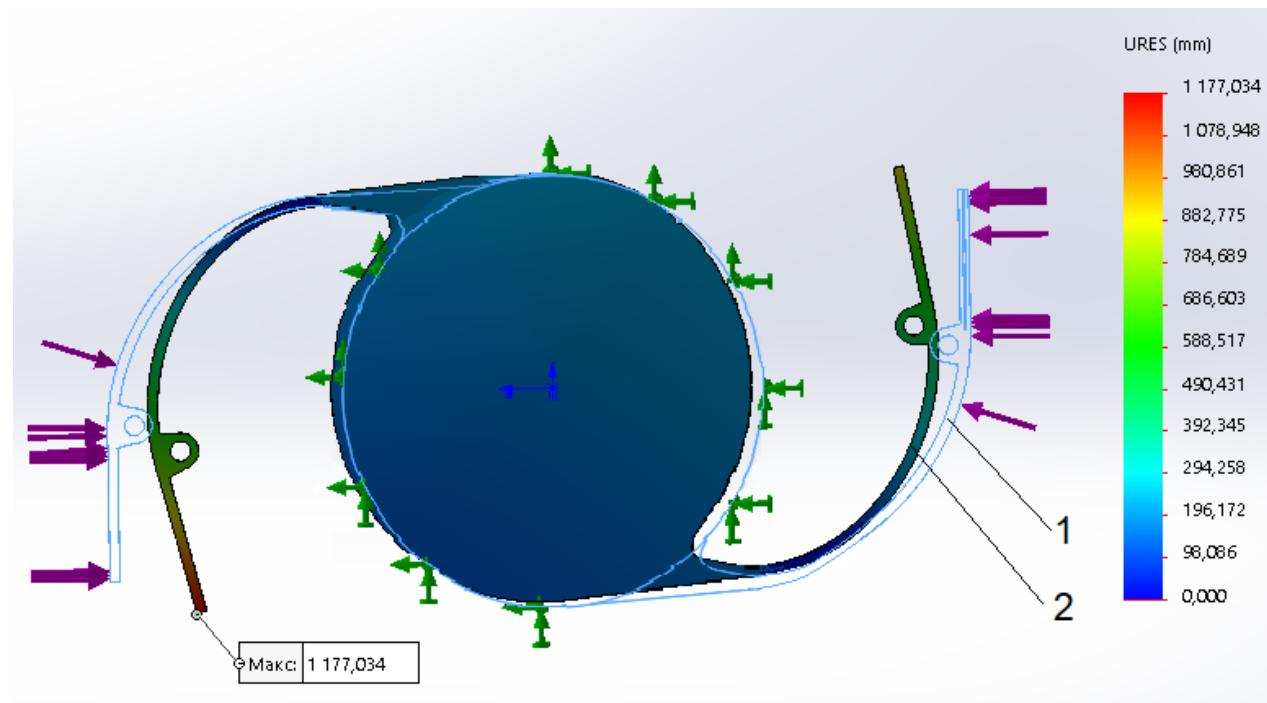


Рис.4. Переміщення гаптики та ІОЛ під дією сили

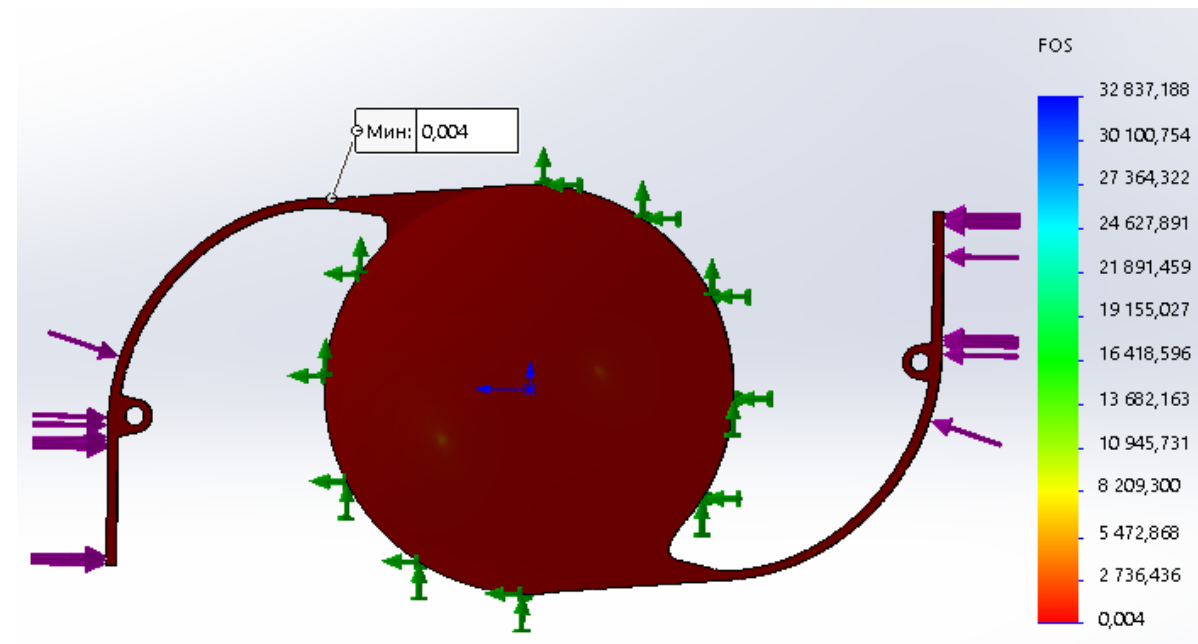


Рис.5. Запас міцності ІОЛ під дією сили

Дослідження пружніх властивостей

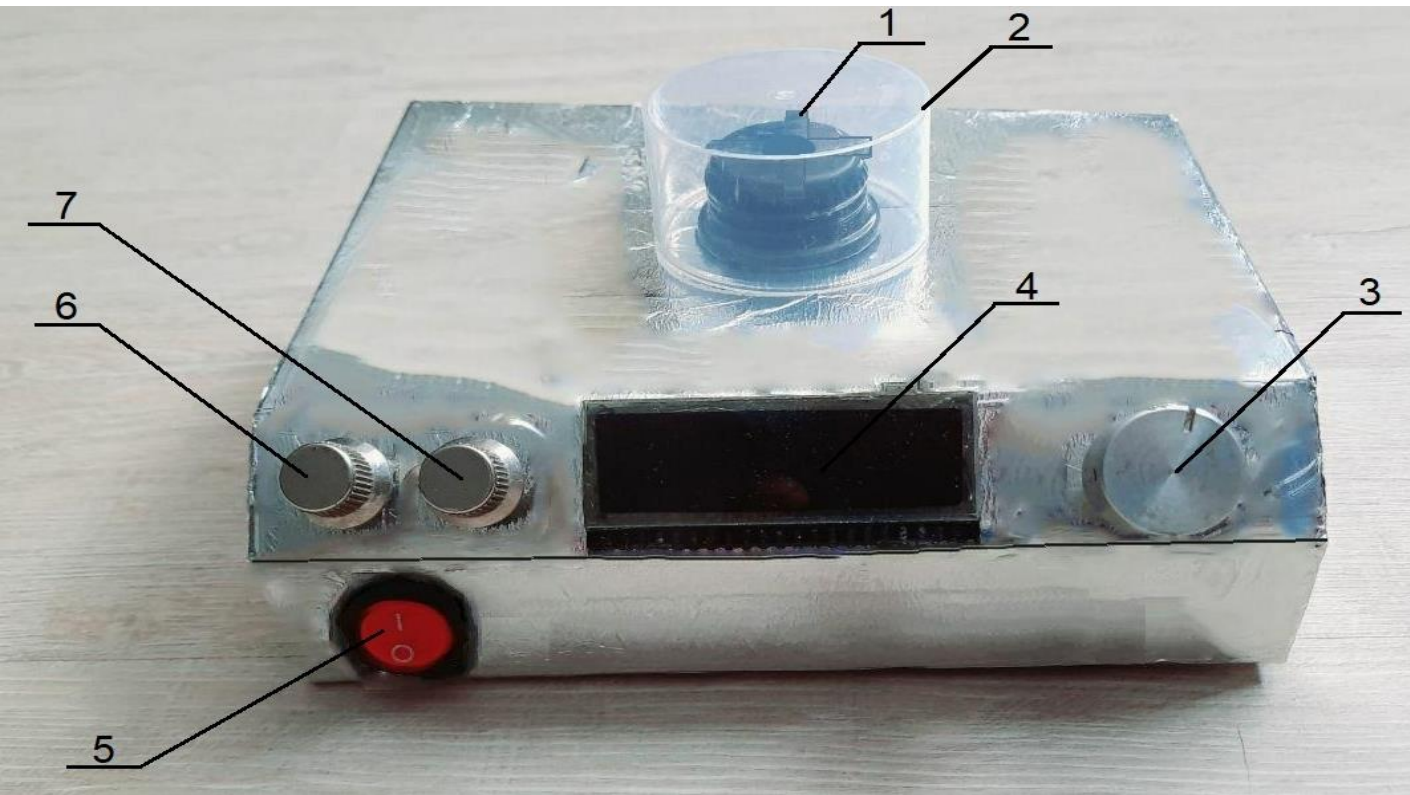


Рис.6. Пристрій для дослідження пружніх властивостей інтраокулярних лінз

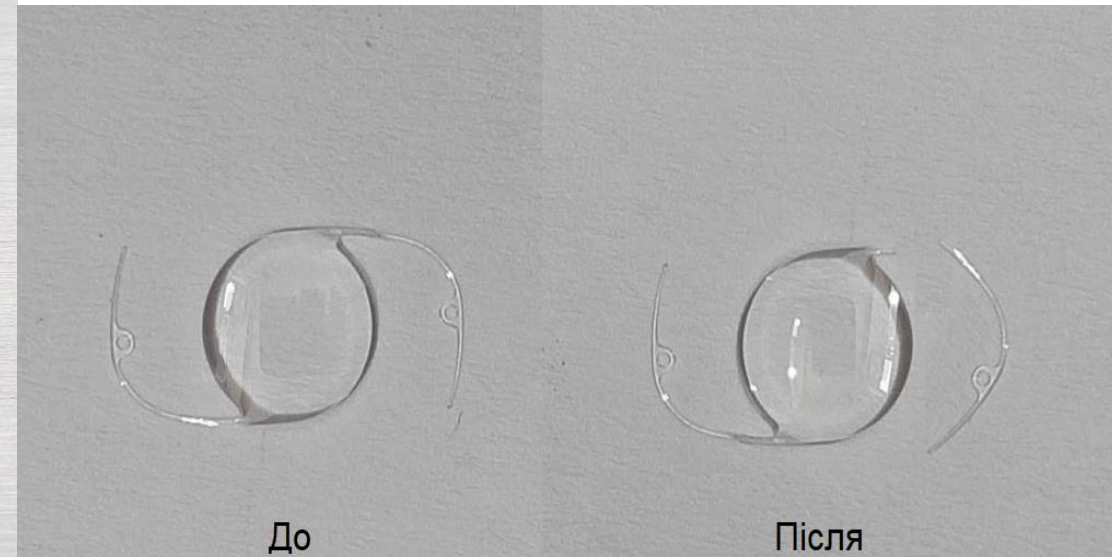
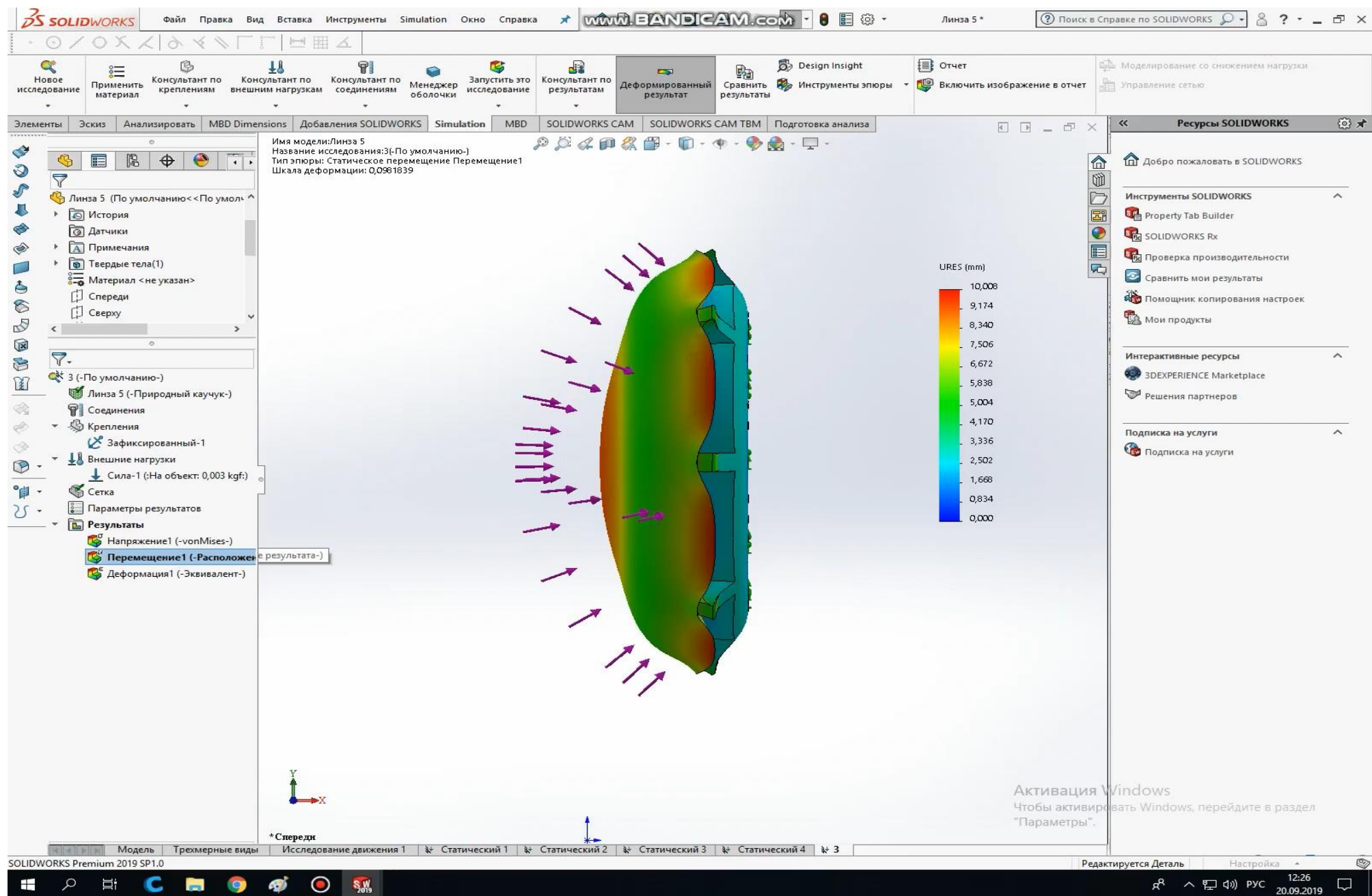


Рис.7. ІОЛ до дослідження пружніх властивостей та після



Дослідження лінзи на мультифокальність в середовищі Solidworks

Попередження розвитку вторинної катаракти

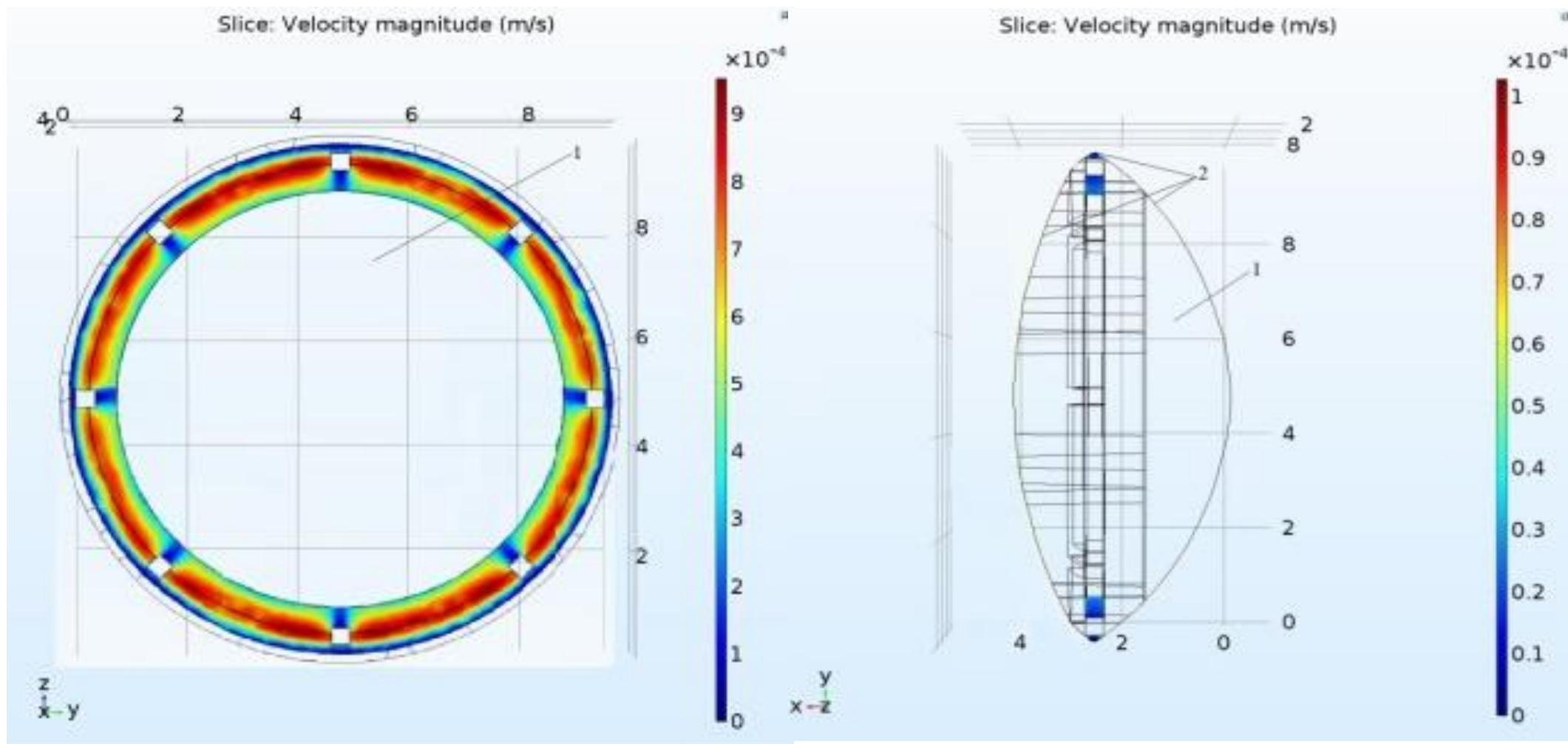


Рис.8. Дослідження руху епітеліальних клітин в середовищі Comsol

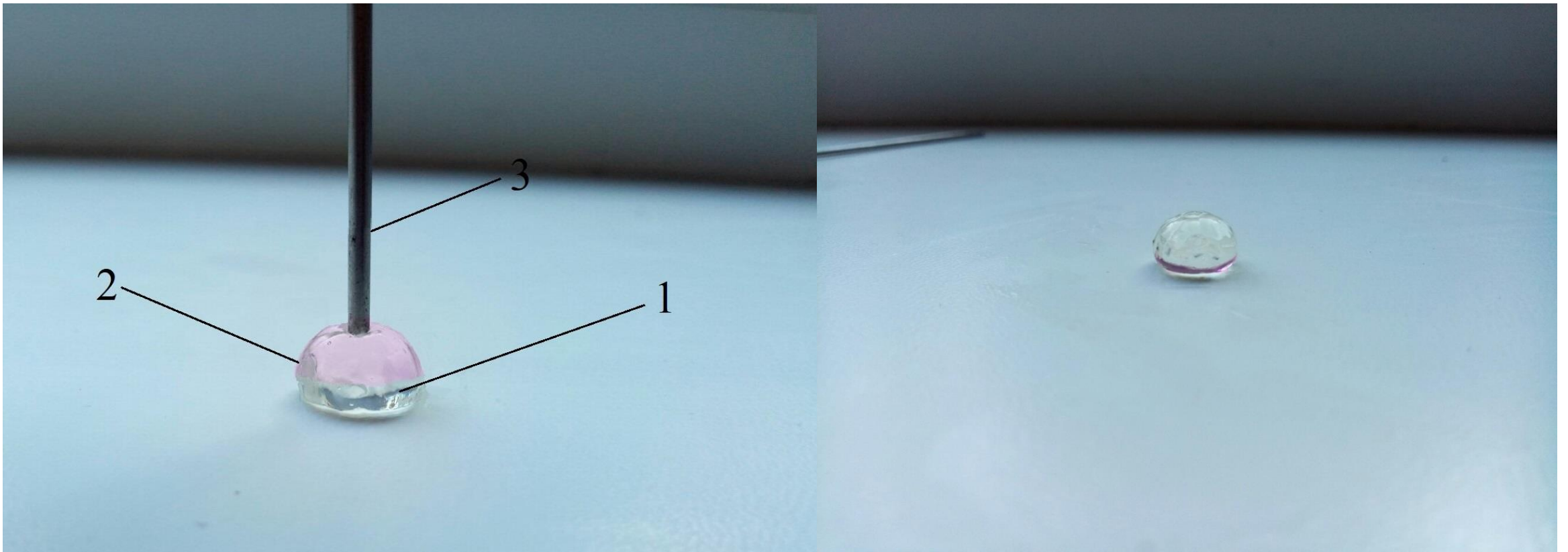


Рис.9. Імітація руху епітеліальних клітин за допомогою контрастної рідини

- 1-Лінза
- 2-Контрастна рідина
- 3- Трубка подачі рідини

Дослідження оптичних показників

ІОЛ товщиною $l = 1\text{ мм}$, показником заломлення 1,55, покрита шаром тефлону, шорсткістю $R_a = 35\text{ нм}$ з показником заломлення $n_{01} = 1,42$, розташована в очі людини на відстані від райдужки $h = 4\text{ мм}$

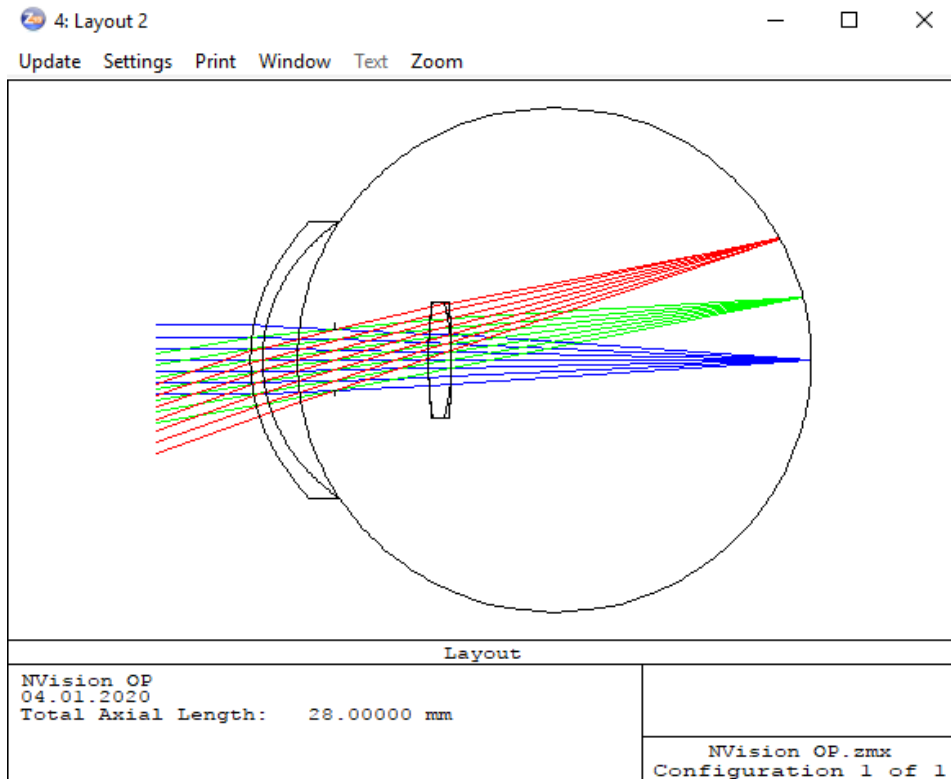


Рис.10. 2D проекція оптичної системи з заданими параметрами

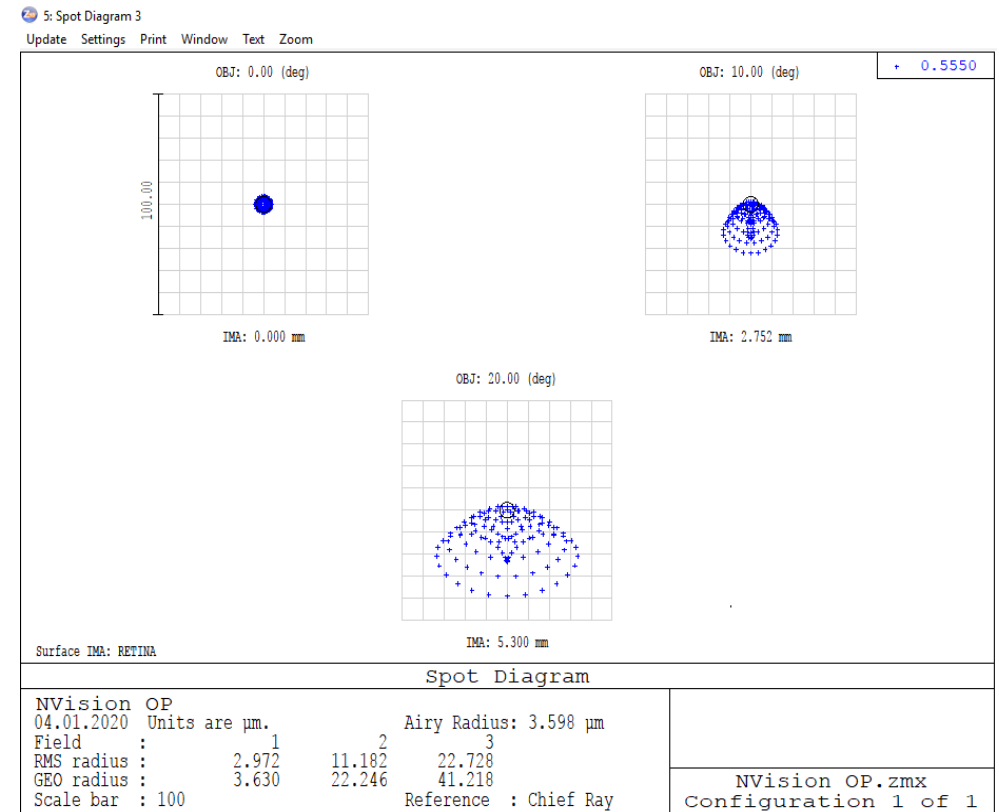


Рис.11. СКВ радіусу плями в середовищі Zemax

Напилення покриття ПТФЕ



Рис.12. Вакуумна установка УВН-74

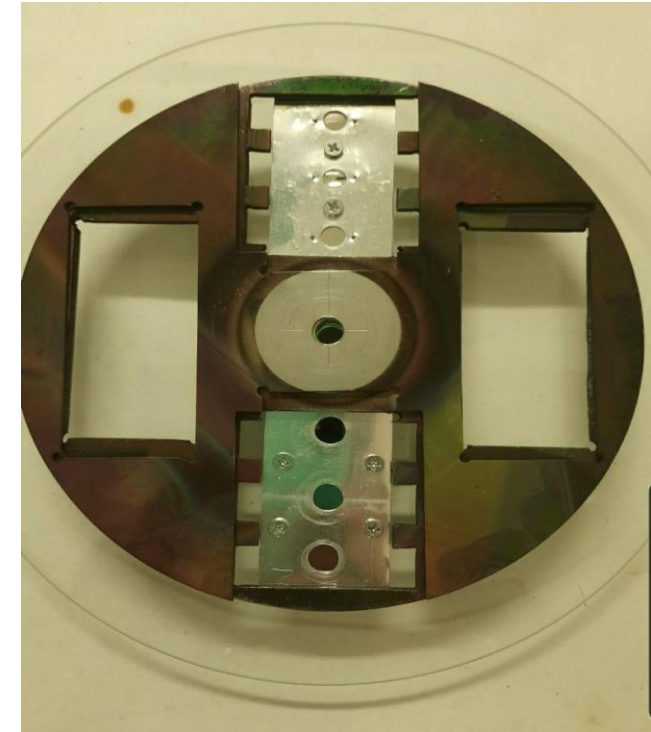


Рис.13. ІОЛ та 3-ри свідки після напилення

Σ Input Readings					
	Rate (A/s)	Thick (kÅ)	Freq. (Hz)	Life (%)	Control
Sensor 1	.06	0.736	5970592.4	97.1	NONE
Sensor 2	.13	1.787	5945101.1	94.5	NONE
Sensor 3	.28	1.649	5895771.9	89.6	PTFE
Sensor 4	.00	0.000	Fail	?	None

Рис.14. Параметри напилення

21.05 0,8 кВ 1 мА 368°C $6,8 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.



Рис.15. Оптична лава

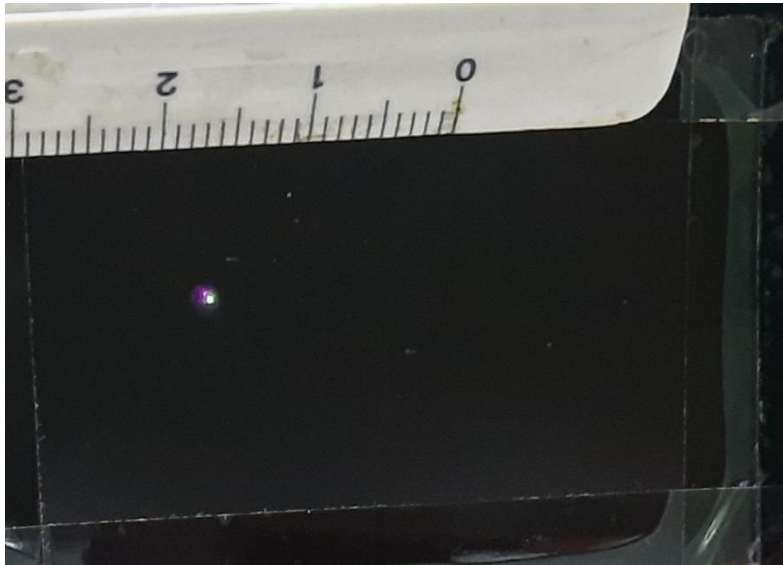


Рис. 16. ІОЛ без напиленого ПТФЕ
ПТФЕ

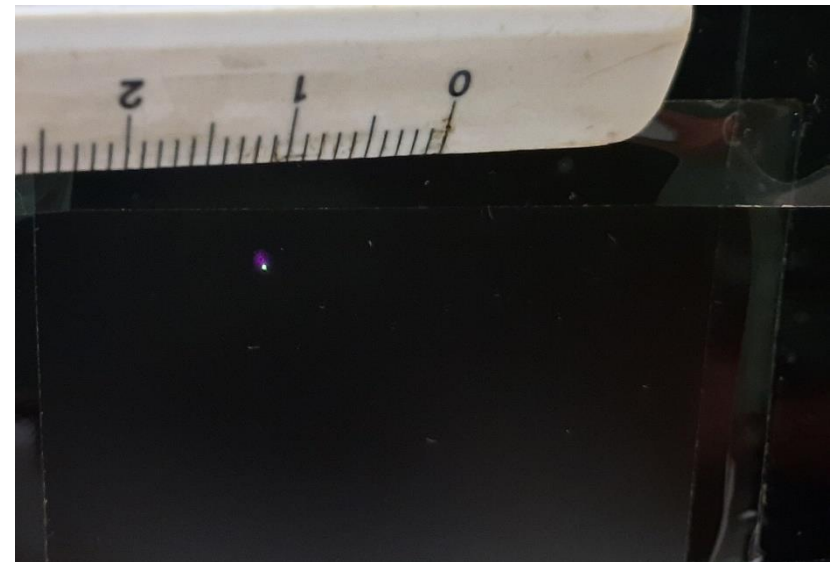


Рис. 17. ІОЛ з напиленням

Як результат, лінза, з напиленням політетрафторетилена має діаметр фокусної плями 110 мкм, при порівнянні з лінзою без напилення, діаметр плями, якої становить 380 мкм

Дослідження отриманої ІОЛ

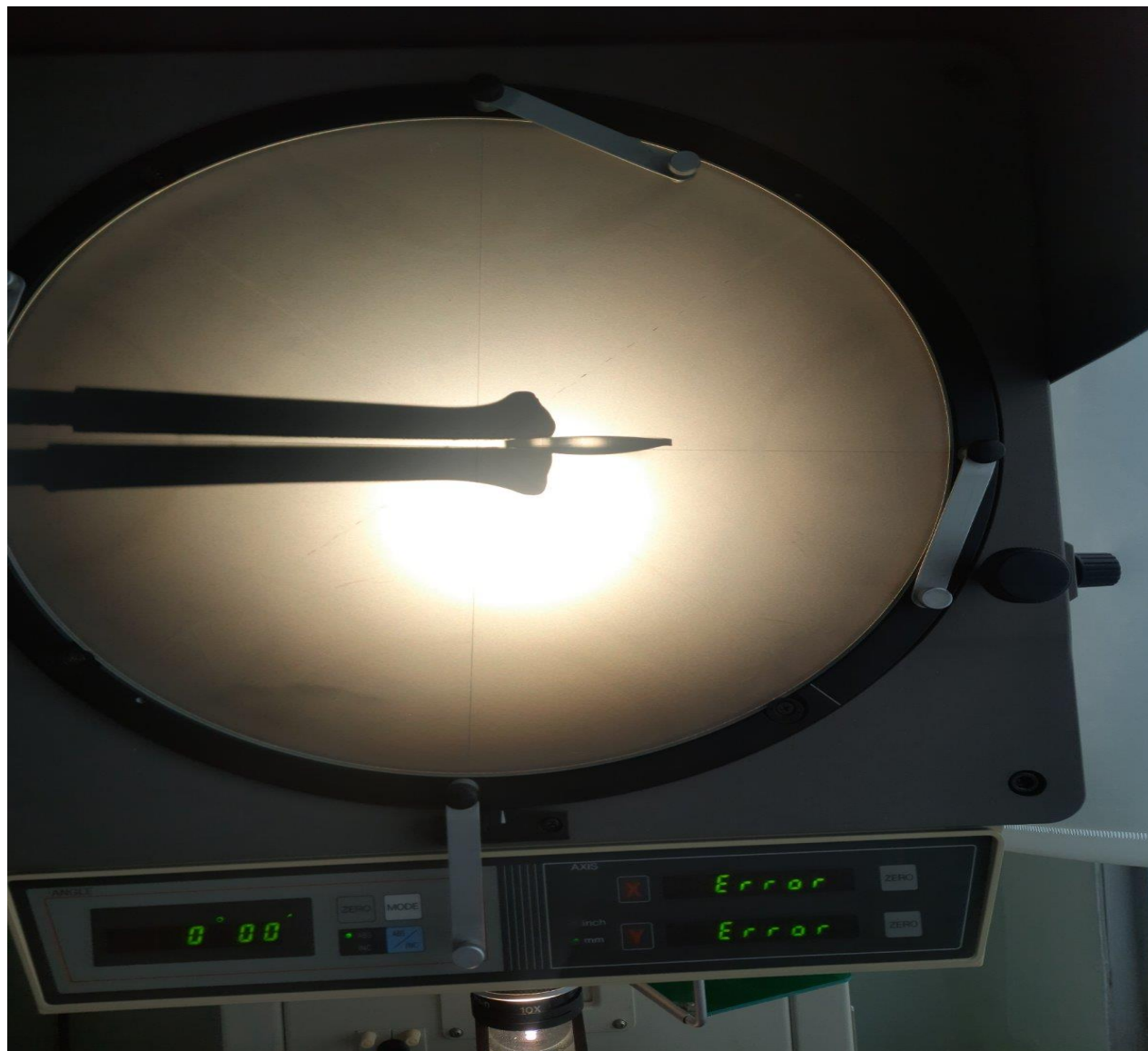


Рис. 18. Дослідження ІОЛ на оптичному компараторі

Дослідження отриманої ІОЛ

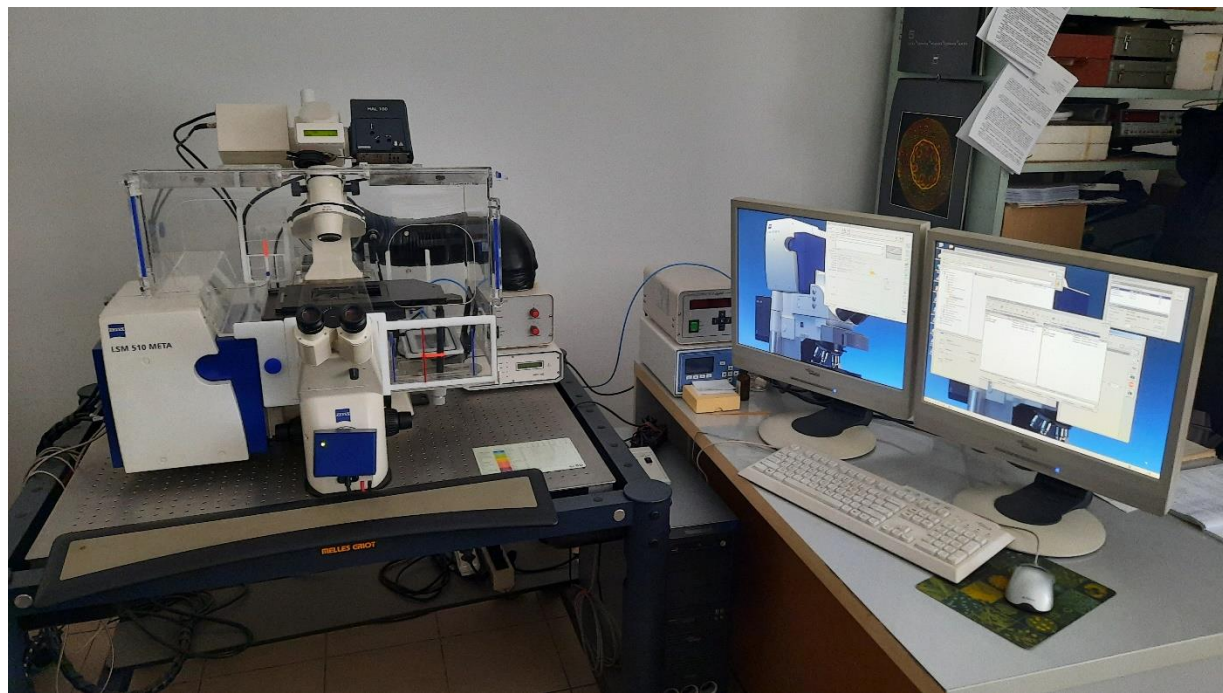


Рис. 19. Конфокальний лазерний скануючий мікроскоп

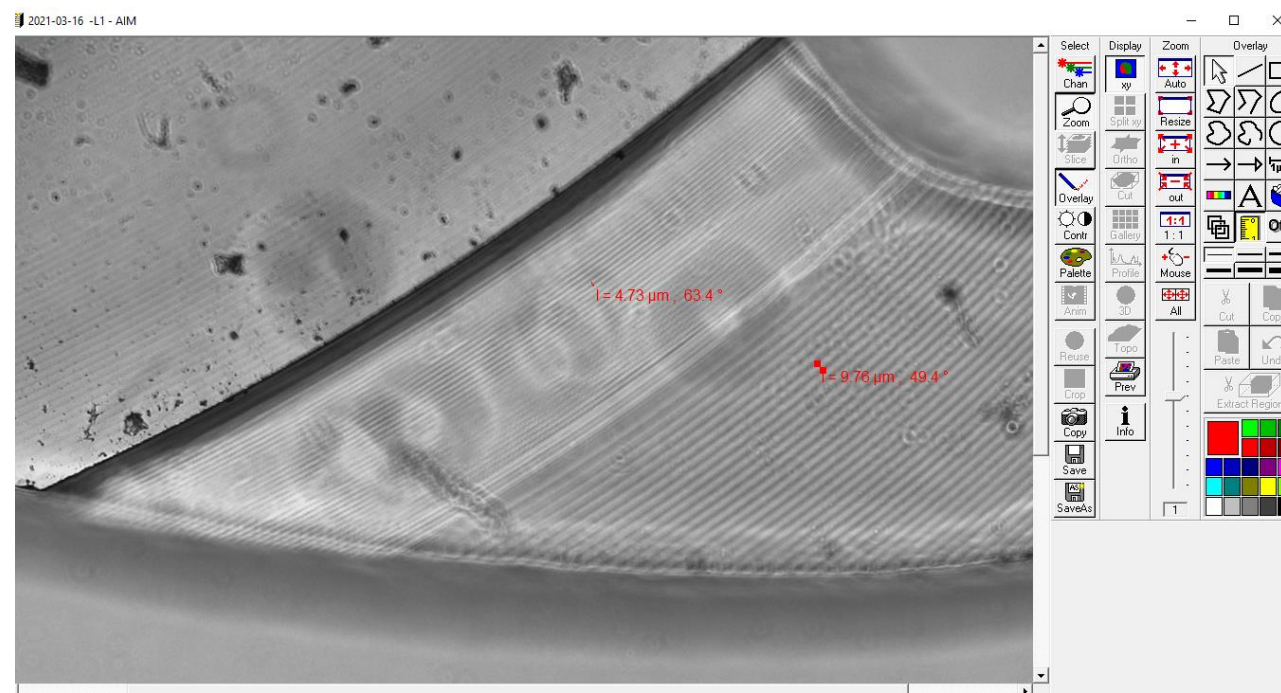
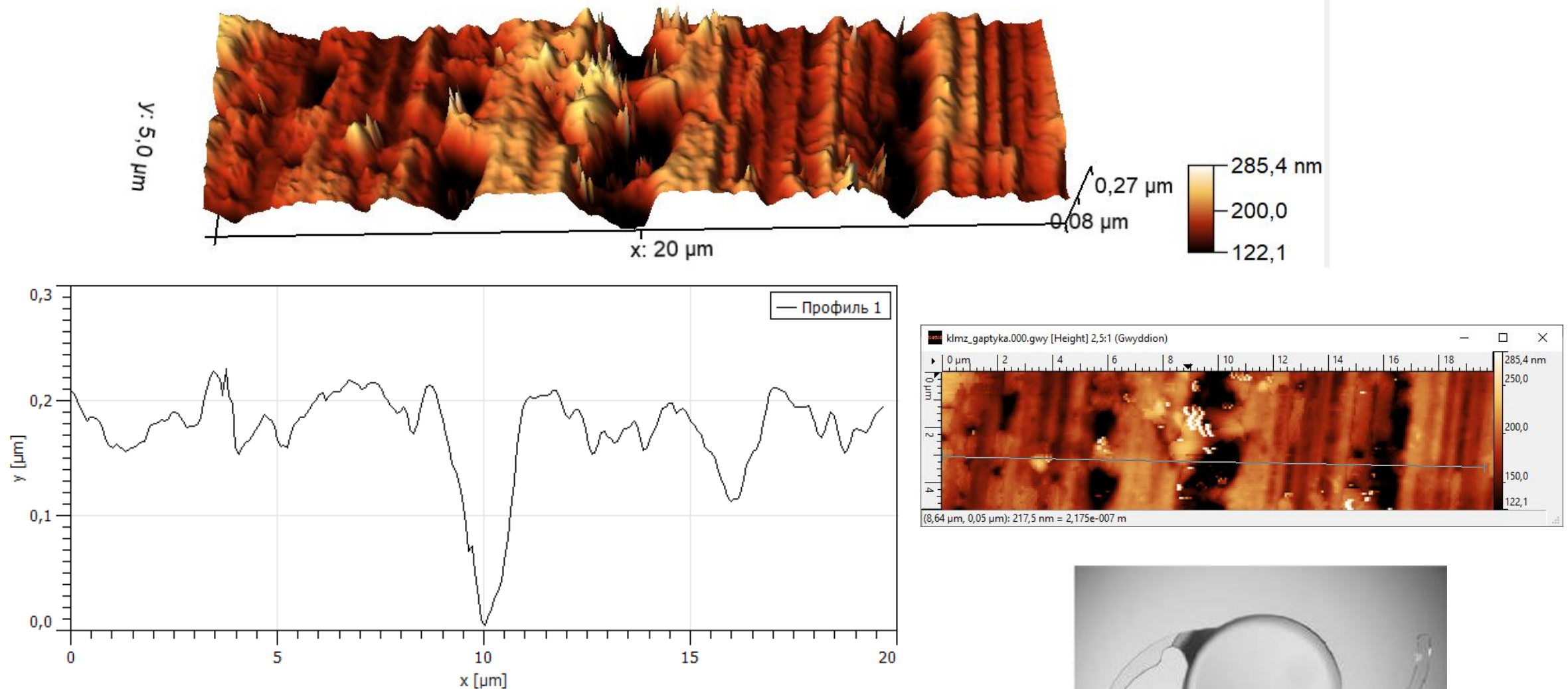


Рис. 20. Результат дослідження ІОЛ на КЛСМ

Дослідження на АСМ

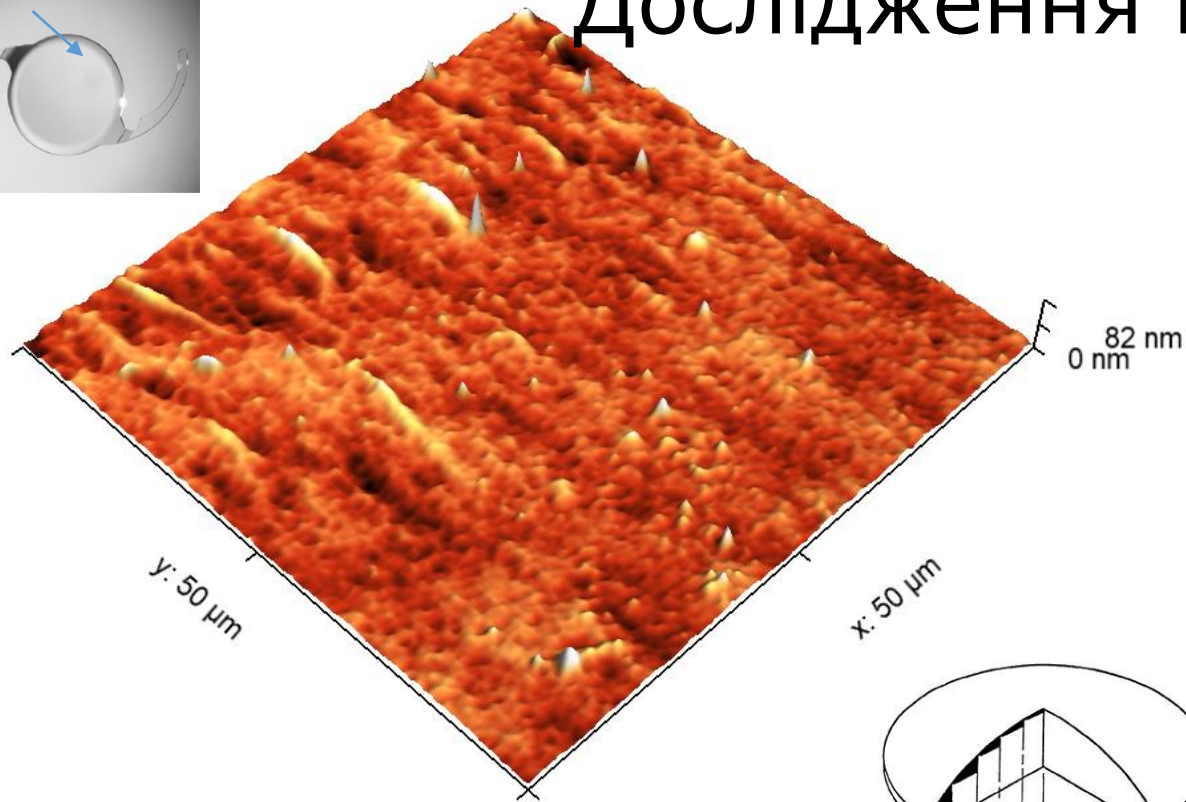
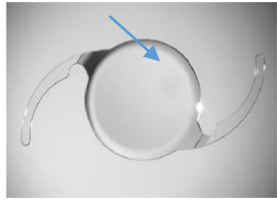


АСМ зображення фрагменту поверхні «гаптики».
Паралельні аперіодичні бороздки висотою біля 20 нм на відстані 500-800 нм.



Рис.21. Дослідження ІОЛ на АСМ

Дослідження на АСМ



Среднеквадратичная шероховатость (S_q): 3,319 nm

АСМ зображення фрагменту поверхні лінзи.
Крупно масштабних фрагментів рельєфу не виявлено.
Ймовірно структура зверху вкрита шаром пластику.

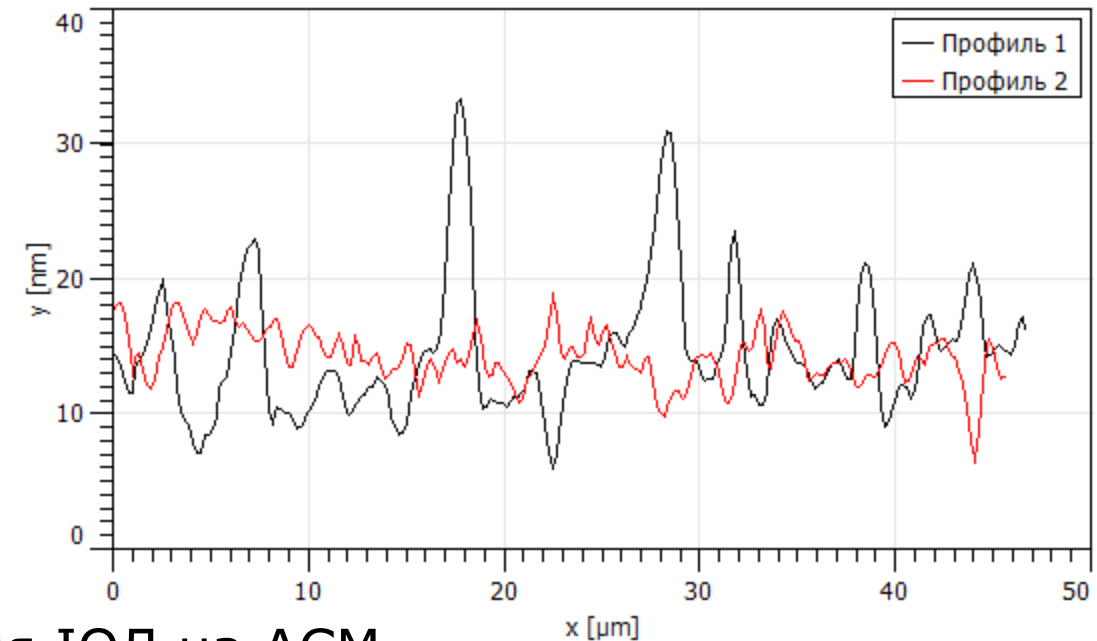
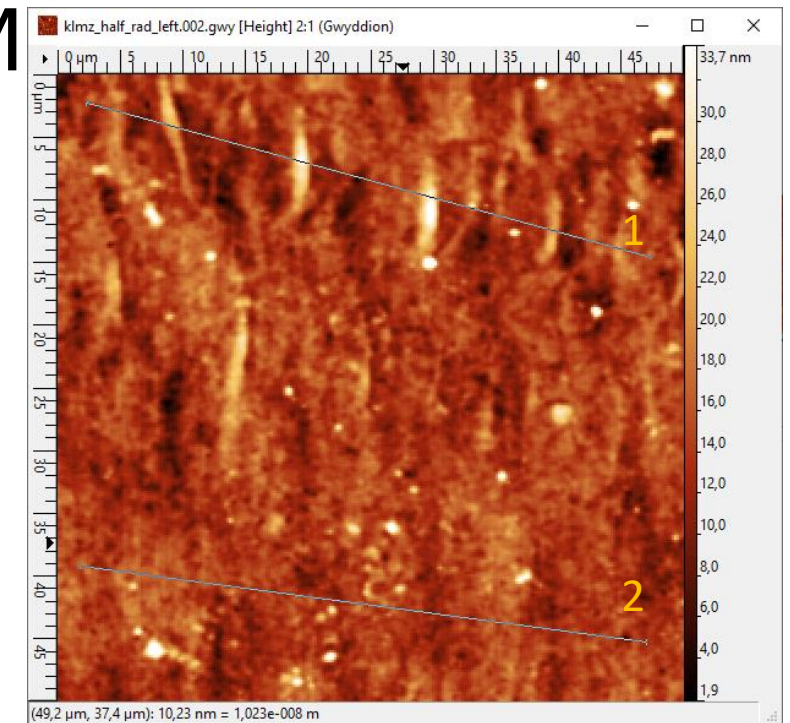


Рис.22. Дослідження ІОЛ на АСМ

Результати

- Для вирішення існуючих проблем запропонована оригінальна модель ІОЛ;
- Розрахований метод зменшення фотичних феноменів;
- В програмному середовищі Zemax отримано значення СКВ радіусу плями (2.972) та більш чітке дифракційне зображення, що є в фокусі;
- В середовищі Comsol підтверджено достовірність застосування запропонованого технічного підходу проти розвитку вторинної катаракти;
- Проведений експеримент працездатності канавки-пастки;
- Досліджено гаптику існуючих ІОЛ на основі чого запропоновано свою модель;
- Аналіз розробленої моделі лінзи в Solidworks підтвердив її мультифокальність;
- Нанесено плівку ПТФЕ на ІОЛ;
- Проведено експеримент отриманої ІОЛ з ПТФЕ
- Виконано 13 публікацій з них 4 патенти

Публікації

1. Поліщук О.С., Козяр В.В. Вибір оптимального варіанту діагностичних проекцій на око при кератометрії. Біомедична інженерія і технологія. 2018, № 1, с. 86-92.
2. Поліщук О.С., Козяр В.В. Порівняльна характеристика існуючих афакічних інтраокулярних лінз. Monografia pokonferencyjna "Science, Research, Development № 12". Belgrade (Serbia), Poland, 2018, p. 34-36.
3. Поліщук О.С., Козяр В.В. Око, як оптична система : збірник /О.С.Поліщук, В.В. Козяр// Advanced of science #12 –Карлові Вари (Чехія) , 2018. — С. 28-37.
4. Поліщук О.С., Рубанець О.М. Персонифіковане моделювання штучного кришталика ока людини для імплантації // Філософські засади креатосфери у контексті творчості: між.конф. (Київ, 30 травня 2019). Київ: ТОВ НВП “Інтерсервіс”, 2019. С. 138-140.
5. Поліщук О.С., Козяр В.В. Аналіз гаптичних елементів інтраокулярних лінз : збірник / О. С. Поліщук., В.В. Козяр — Київ: ФБМІ НТУУ «КПІ», 2019. №2. С.9-14. DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-8974.2019.2.184707>
6. Пат. **UA 137306 U** Україна, **МПК A61F 2/16, 9/00**. Гнучка моноблочна мультифокальна інтраокулярна лінза “Support OP”/Поліщук О.С, Козяр В.В; заявл. 22.04.2019 ; опубл. 10.10.2019, Бюл. № 19
7. Поліщук О.С., Козяр В.В. Конструктивні рішення для попередження розвитку вторинної катаракти після імплантації інтраокулярних лінз. Innov Biosyst Bioeng, 2020, vol. 4, no. 1, 36–44. DOI: <https://doi.org/10.20535/ibb.2020.4.1.187310>
8. Пат. **UA 141280 U** Україна, **МПК G01L 1/00, G01B 5/00, A61F 9/00**. Пристрій для дослідження пружних властивостей інтраокулярних лінз/Поліщук О.С.; заявл. 29.10.2019 ; опубл. 25.03.2020, Бюл. № 6
9. Пат. **UA 142651 U** Україна, **МПК A61F 2/16, 9/00; G02B 3/00** Спосіб корекції оптичних аберацій лінз/Поліщук О.С.; заявл. 29.10.2019 ; опубл. 25.06.2020, Бюл. № 12
10. Пат. **UA 142801 U** Україна, **МПК A61F 2/16, 9/00** Гнучка об’ємозамінна мультифокальна інтраокулярна лінза “NVision OP”/Поліщук О.С., Козяр В.В; заявл. 30.01.2020 ; опубл. 25.06.2020, Бюл. № 12
11. Поліщук О.С. Дослідження пружних властивостей гаптики інтраокулярних лінз // Біомедична інженерія та електроніка, 2020, № 2(25), 1-22. DOI: [10.6084/m9.figshare.12781772](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12781772)
12. Поліщук О.С., Козяр В.В. Кератометр, як перший етап імплантації інтраокулярної лінзи: збірник наукових праць. Інформаційні системи та технології в медицині» (ICM–2020), 2020 — С. 209-211
13. Поліщук О.С., Козяр В.В., Жабосдов Д.Г. Зменшення фотичних феноменів і фонового засвічення сітківки при використанні інтраокулярної лінзи // Innov Biosyst Bioeng, 2020, vol. 4, no. 4, 199–210. DOI: <https://doi.org/10.20535/ibb.2020.4.4.214806>

Дякую за увагу