

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА ЧАЧАК



мр Сања Јевтић, дипл.ел.инг.

ПРИМЕНА ЛАСЕРСКИХ ТЕХНИКА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ
ОПТИЧКИХ ПАРАМЕТАРА МАТЕРИЈАЛА

Докторска дисертација

Чачак, 2016.

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА ЧАЧАК

Ментор: др Небојша Митровић, редовни професор

ИДЕНТИФИКАЦИОНА СТРАНИЦА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ
I Аутор
Име и презиме: Сања Јевтић
Датум и место рођења: 12.11.1975. Београд
Садашње запослење: Водећи пројектант, Саобраћајни институт ЦИП, Београд
II Докторска дисертација
Наслов: ПРИМЕНА ЛАСЕРСКИХ ТЕХНИКА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ОПТИЧКИХ ПАРАМЕТАРА МАТЕРИЈАЛА
Број страница: 171
Број слика: 108
Број библиографских података: 162
Установа и место где је рад израђен: Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу
Научна област (УДК): 620.179: [(535.3+544.032.65+544.537)] (043.3)
Ментор: др. Небојша Митровић, редовни проф. Факултета техничких наука Чачак
III Оцена и одбрана
Датум пријаве теме: 23.05.2014.
Број одлуке и датум прихватања докторске дисертације: IV-04-560/5 од 15.10.2014. год.
Комисија за оцену подобности теме и кандидата: др Алекса Маричић, професор емеритус, Факултет техничких наука, Чачак др Небојша Митровић, редовни проф., Факултет техничких наука, Чачак др Слободан Ђукић, редовни проф., Факултет техничких наука, Чачак др Станко Остојић, ванредни проф., Технолошко-металуришки факултет, Београд
Комисија за оцену докторске дисертације: др Станко Остојић, ванредни проф., Технолошко-металуришки факултет, Београд др Слободан Ђукић, редовни проф., Факултет техничких наука, Чачак др Александра Калезић-Глишовић, доцент, Факултет техничких наука, Чачак
Комисија за одбрану докторске дисертације: др Станко Остојић, ванредни проф., Технолошко-металуришки факултет, Београд др Слободан Ђукић, редовни проф., Факултет техничких наука, Чачак др Александра Калезић-Глишовић, доцент, Факултет техничких наука, Чачак
Датум одбране дисертације:

Abstract

The influence of stimulated electromagnetic radiation in optical part of spectra (visible, UV and IR) to materials is for almost half a century the issue of research including a lot of unexplained processes and stances. From one point of view represents new form of source and from the other the relation to spontaneous sources in the same spectral area as well as the power. The issues could be divided into theoretical-experimental processes from biomodulation to destruction and to the area where coherent radiation is used in diagnostic methods for material study.

In this thesis the subject was approached from theoretical-experimental side. The observation of materials was forwarded through material response functions, meaning through their collective role expressed using optical characteristic materials. In experimental part of the thesis a series of experiments was conducted, determining certain optical parameters for chosen samples along with spectroscopic approach. That would be the first approach for following series of experiments in which plant samples namely seeds (wheat, corn, spinach, basil, thyme) were exposed to various types of laser beams (He-Ne, Nd³⁺:YAG, semiconductor) on basic transitions and according to laser possibilities at higher harmonics. The results of sample irradiation with given parameters, were monitored until the end of vegetation periods. The morphological characteristic of irradiated and nonirradiated samples were monitored as well as quantitative indicators of induced modifications. In given area of energy densities and exposition doses, almost all samples shown positive influence of coherent radiation. For some of the samples a change in FT-IR spectra was observed.

For use of lasers in main processes, occurring in metrology where linear and nonlinear characteristics of materials occurs, scattering, absorption and fluorescence of materials including materials of the live world (tissue, cells and their parts). These processes are observed and used for optical defining of objects, and from their values (characteristic) and from wavelength of the used light depends which effect will overcome including resonance. In the area of techniques based on static and dynamic scattering angular distributions play a considerable role in determination of objects by size and shape. So in this thesis, using chosen software, a number of angular distribution simulations was done for microorganisms, typical particles and water. Given approach could using data bases or newly measured values, without modifications, be used for other adequate samples, simplifying the experiments in advance including characteristic maxima at certain angles for chosen samples.

Ecological side of laser application viewed through accidental (fire) processes contains multitude of approaches from use of lidars to sensory role of much simpler systems. In this thesis the approaches to monitoring of certain area (ground, earth, different covers, water areas, atmosphere phenomena) are perceived through analysis of possible remote devices lidar based. It's a principal including fire processes here analyzed, searching for possibilities of software support, covering certain experimental settings. The nature of combustion products could be also viewed by simulation of scattering processes (propane and acetylene soot).

САДРЖАЈ

САДРЖАЈ	i
ПРЕДГОВОР.....	ii
1. УВОД	1
2. ТЕОРИЈСКИ ДЕО.....	6
1. Оптички параметри материјала	15
2. Оптичке методе засноване на кохерентној и некохерентној светлости.....	17
3. Улога ласера у дескрипцији и третману узорака различитих типова у циљу биомодулационих процеса.....	19
4. Оптичке константе и њихова улога у методама даљинске анализе, биомедицинским третманима, моделовању интеракције снопова са материјалима органског и другог порекла.....	20
5. Системи на бази лидарских техника.....	23
6. Линеарни и нелинеарни ефекти.....	44
7. Прагови специфичних процеса, материјали и модели.....	48
8. Испитивање узорака биљног порекла	50
9. Испитивање узорака животињског порекла.....	61
10. Испитивање узорака од интереса у екологији.....	73
11. Оптичке методе у раном откривању и мониторингу пожара	87
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО, РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА.....	101
1. Узорци биљног порекла	101
2. Узорци животињског порекла	141
3. Узорци од интереса у екологији и паралелне технике.....	148
4. ЗАКЉУЧАК.....	155
5. ЛИТЕРАТУРА.....	158

ПРЕДГОВОР

Докторска дисертација „Примена ласерских техника за одређивање оптичких параметара материјала“ посвећена је интеракцији кохерентног (стимулисаног) зрачења квантних генератора у дефинисаним опсезима густине снаге, различитих извора и времена експозиције са материјалима различитог порекла. Теза је продукт дугогодишњег рада у датој области.

Истраживања су у оквиру докторске дисертације урађена под непосредним руководством ментора проф.др Небојше Митровића, редовног професора Факултета техничких наука у Чачку, Универзитета у Крагујевцу, коме сам неизмерно захвална на помоћи, корисним саветима и коментарима, које ми је пружао током израде дисертације.

Комисији: др Станку Остојићу ванредном професору Технолошко-металушког факултета, Универзитета у Београду, др Слободану Ђукићу, редовном професору Факултета техничких наука у Чачку, Универзитета у Крагујевцу, др Александри Калезић-Глишовић доценту Факултета техничких наука у Чачку, Универзитета у Крагујевцу се захваљујем на корисним сугестијама и коментарима.

Др Милеси Срећковић, редовном професору у пензији сам неизмерно захвална за помоћ и стрпљење, свих ових година.

Дисертација је захтевала различите приступе и карактеризације; акценат је стављен на оптичке особине материјала и улогу ласера у модулационим и дијагностичким приступима. Експерименти су вршени у више институција. Захвалност дугујем колегицима и колегама: др Вељку Зарубици (Analysis d.o.o.), др Сузани Полић (ЦИК), др Александеру Ковачевићу (Институт за физику), др Предрагу Јованићу (Институт за мултидисциплинарна истраживања).

Током свих истраживања, која су претходила докторату и водила ка њему велику помоћ сам добила и од колегицима и колега, од којих овде помињем само неке: др Светлана Пелемиш (Технолошки факултет Зворник, Универзитет Источно Сарајево) мр Александар Бугариновић (Телеком Српске, Бијељина) и др Аца Јанићијевић (Технолошко-металушки факултет, Универзитет у Београду).

Највећу захвалност дугујем читавој својој породици, а посебно својој деци Катарини и Исидори, мужу, мајци, оцу и брату на стрпљењу, разумевању, бодрењу и подрици. Било је узбудљиво као кад игра репрезентација.

„Породица је веза са нашом прошлошћу и мост ка нашој будућности” Алекс Хејли

1. УВОД

Материјали (у најширем смислу речи) неорганске и органске природе, укључујући живи свет су у нераскидивој спрези са зрачењем. Дејство електромагнетног зрачења је предмет многобројних проучавања, посебно у оптичком делу, који укључује видљиву, ултраљубичасту и инфрацрвену област. Савремени приступ може да буде и са становишта спонтане и стимулисане светлости, па је резултате и ставове на бази спонтаних извора потребно упоредити са резултатима добијеним стимулисаним дејством.

Светлост је од непроцењиве важности у савременим мерним методама. Системи са израженом динамиком, припадају релативно сложеној проблематици за моделовање. Њихово праћење и даљи развој моделовања, могу да се боље опишу уношењем оптичких параметара у једначине и алгоритме, који су у основи њиховог функционисања. Живи свет је у том смислу скуп разноликих *материјала*, који се уклапају у овакву филозофију размишљања. Без обзира да ли се проучава генерисање светлости, контрола ласерских и других светлосних извора, мерење светлосних величина, светлост као помоћни алат биолога или медицинара, дневна светлост, светлост у специфичној средини, итд., разумевање појава, линеарних/нелинеарних ефеката, параметара, *прагова* различитих дејстава, је пресудно за добре моделе и предикцију. Циљ је да се полазећи од микроплана и процеса (апсорпције, рефлексије, расејања, експозиције узорака светлосном зрачењу) боље разуме и контролише макроплан (даљинско препознавање, контрола великих површина под биљним покривачем, контрола квалитета великих водених и копнених површина, мониторинг шума у специфичним условима пожара и др.).

Изабрано карактеристично понашање и разлике везане за тип узорака, биће разматране у појединим деловима рада.

Квантни генератори, који раде у оптичкој области су одиграли и даље имају значајно место у проблематици интеракције кохерентног зрачења са материјалима. На бази ласера, постављено је много мерних техника, које представљају бесконтактне методе и захтевају само микроколичине узорака. Поред њих, постављено је и неколико мерних метода са минималним разарањима узорака, којима се може добити брзо и прецизно много квалитативних и квантитативних дијагностика. И интеракција и

метрологија путем ласера, се широко користе за модулацију карактеристика материјала, добијање нових типова материјала, остваривање хемијских реакција, које нису могуће класичнијим путемима и др. У метролошком прилазу, увођење извора кохерентне светлости у постојеће оптичке методе мерења (са спонтаним изворима), допринело је поједностављењу апаратуре, повећању резолуције, смањењу количине мерног узорка и др. Развијене су и методе, које нису могуће са изворима спонтаног зрачења (Hertzова спектроскопија).

У тези су разматране примене ласерских техника за одређивање оптичких параметара материјала и аспекти биомодулације на узорцима биолошког порекла и узорцима од интереса за екологију.

Докторска дисертација је формално изложена кроз уводни, теоријски и експериментални део.

У уводном делу су размотрене и анализиране међусобне спреге материјала и зрачења. Спонтано и стимулирано зрачење, немају исте последице на материјал, неорганског, органског порекла или материјал биолошког порекла. Концепција интеракције је третирана за узорке различитог порекла [1-7], на исти начин, кроз појмове процеса и њиховог моделовања, уз поштовање и увођење неопходних параметара, за њихово разликовање. Примена кохерентног зрачења доводи до низа резонантних ефеката, који проузрокују процесе, који се не уочавају са спонтаним зрачењем, због чињеница да долази до кохерентних, вишефотонских ефеката и ефеката нелинеарне оптике. Мерни део улоге квантних генератора даје много детаљнији опис материјала путем главних оптичких особина, које су шире дефинисане путем функција одзива материјала. Класичније улажење у биолошку проблематику није укључивало много оптичких особина, па се применом ласера и новоразвијених метода мерења добија мноштво параметара, којима је могуће разликовати - препознавати материјале.

Теоријски део је изложен кроз једанаест поглавља, која обухватају оптичке параметре материјала и оптичке методе засноване на кохерентној и некохерентној светлости (поглавља 1. и 2.). Улога ласера у дескрипцији и третману узорака различитих типова, сагледана је у циљу биомодулационих процеса (поглавље 3.). Познавање оптичких величина материјала, најразличитије врсте, укључујући и биолошке узорке је у савременој мерној техници важно, имајући у виду велики број различитих типова ласера, којима се покрива целокупна UV (ултраљубичаста), видљива и ИЦ (инфрацрвена) област и тиме омогућује разматрање дисперзије

материјала. Овај аспект улоге ласера је посебно од интереса за методе даљинске анализе, биомедицинске третмане и моделовање интеракције снопова са материјалима органског и другог порекла (поглавље 4.). Системима на бази лидарских техника, посвећено је поглавље 5. Зависно од интензитета ласерских снопова, појављују се нелинеарни ефекти, који су дефинисани специфичним прагом. У поглављу 6. су анализирани изабрани нелинеарни ефекти, њихово моделовање и допуна линеарних карактеристика материјала (поглавље 7.).

Узорцима биолошког порекла (биљног и животињског), главним показатељима интеракције са ласерским сноповима, разликама и заједничким основама, посвећена су поглавља 8. и 9. Екологија, која данас покреће велики део истраживања користи примене ласерских техника у много еколошких проблема, па је тој проблематици посвећено поглавље 10. Од посебног значаја је проблематика у вези са применом ласера уз софтверску подршку у раном откривању и мониторингу пожарних процеса.

Литература, у домену интеракције ласера са материјалом и разних метролошких прилаза, где су ласери у основи метода за дескрипцију материјала, већ дуго је актуелна и обухвата широко мултидисциплинарно поље истраживања. Због свега тога, иако је главна теза, да су деловања кохерентног зрачења везана за настајање ефеката, који се не могу добити спонтаним зрачењем, постоји мноштво неусаглашености и дивергенције резултата озрачивања материјала, поготово за узорке биолошког порекла.

Експериментали део ове тезе је посвећен изабраном кругу експерименталних поставки, које су биле посвећене специфичим типовима биљака, али и неким узорцима или фамилијама узорака, које се могу чешће наћи у литератури. Тражене су што прецизније методе извођења експеримената уз анализу параметара, о којима се често не води рачуна. У метролошком приступу, биране су могуће методе за оцену оптичких параметара у линеарној и нелинеарној области и тражени су разлози због којих може доћи до различитих интерпретација истих излаза експеримената извршених под сличним условима. Примењени су системи, који су у датим техничко-технолошким условима били могући, као и избор других паралелних техника мерења, од којих неке не постоје у Србији.

У циљу проучавања озрачивања материјала различитим типовима ласера, експериментални део је подељен на рад са узорцима биљног порекла, животињског порекла и узорцима материјала од интереса у екологији. Паралелне технике

истраживања су увек биле анализиране. Овај материјал је распоређен у три одговарајућа поглавља. Много експеримената, које би требало спровести за дефинисан проблем, у принципу, захтева и много експерименталних часова, мање или веће сложености и знатно време рада квантних генератора. У циљу одабира погодних параметара за експерименте са расејањима и трансмисијом, односно имерзионим техникама и др., у овом делу тезе, извршене су и бројне симулације, које ће се везати за скраћење времена предикције и добијање релативно брзих одговора о оптималним геометријским и другим параметрима везаним за узорке, поставке експерименталних компоненти и др.

У првом поглављу, који се бави експериментима са резултатима и дискусијом су бирани узорци различитог порекла за анализу проблематика, о којима је било речи у теоријском делу. Описани су експерименти са пшеницом, кукурузом и спанаћем, и експерименти са ароматичним биљкама (босиљком и мајчином душицом). Озрачивања семена пшенице и кукуруза су припадали вишегодишњем праћењу различитих серија узорака, у различитим годишњим добима, уз праћење вегетативних периода. За прва два типа узорака, референце су са разних страна потврђивале позитивна дејства озрачивања семена и општи тренд је ишао на већу продуктивност. Ароматичне биљке су мање третиране у референцама и чини се да на њима треба даље радити за добијање поузданих података о експозиционим и апсорпционим дозама и унетим променама (морфолошке, органолептичке и евентуално нежељене мутагених ефеката).

Експерименти су детаљно представљени (за ароматичне биљке су временски знатно краћи), а главни циљ је био одабир и праћење објективних параметара за поређења узорака са аспекта биолошко-морфолошких модулација. Уочава се и могућност примене за предвиђање резултата ирадијације у изабраном режиму рада квантних генератора у видљивом и ИЦ делу спектра.

Резултати мерења су дати у табеларном и графичком приказу, дискутоване су карактеристичне величине, параметри и методе оцене. Литература је релативно мало заступљена са спектроскопским подацима, који прате семена биљака изложених и неизложених кохерентном зрачењу. За потребе ове тезе, изабрана је FT-IR спектроскопија за ароматичне биљке: босиљак и мајчину душицу. Експеримент показује разлике спектра узорака, који су подвргнути различитим експозиционом дозама.

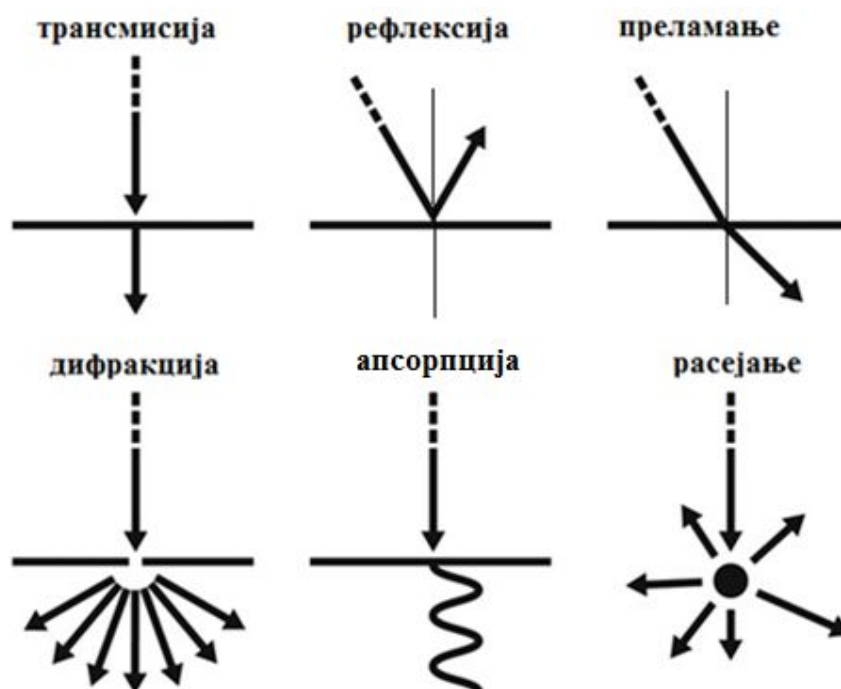
Узорци животињског порекла су испитивани преко параметара познатих из литературе. Вршене су симулације расејања, праћене су матрице расејања и њихови нормализовани чланови. Дискутоване су ангуларне расподеле у више нотација параметара и димензија. Као паралелна анализа, дате су ангуларне расподеле добијене на аналитичко-нумерички начин.

Симулације продуката пожара, за случај ацетиленске и пропанске чађи су приказали методе за разликовање узорака од интереса у екологији. Дате су њихове ангуларне расподеле за претпостављене услове озрачивања и дате су матрице расејања. Расејање о овакве честице доприноси познавању пожарних процеса. Симулације расејања о полистиренске узорке доприноси провери калибрационих особина куглица, које се често користе за калибрацију динамичких и статичких система.

У закључку су сумирани резултати докторске дисертације, подвучени су закључци из појединих експеримената дискутованих у посебним поглављима. Изнети су планови даљих истраживања, којима би се употпунила и продубила извршена мерења. Истакнут је утицај појединих параметара ласера на последице интеракције и узорака.

2. ТЕОРИЈСКИ ДЕО

Интеракција светлости са материјалима различитог порекла у својој основи увек има сличан скуп законитости, различитих формулација. Материјал на који делујемо светлошћу у суштини ремети простирање светлости (рефлексија и преламање, апсорпција и расејање слика 2.1). У непровидним медијима ефекат преламања је тешко раздвојити услед апсорпције и расејања.



Слика 2.1. Геометрија трансмисије, рефлексије, преламања, дифракције, апсорпције и расејања.

Који од ефеката је доминантан – рефлексија, апсорпција или расејање зависи од типа материјала и таласне дужине упадне (инцидентне) светлости.

Неки од узорака, који ће бити предмет овог рада најчешће су у облику честица, или су у својој првој апроксимацији сферног облика. Најуопштенији макроскопски приступ је одређивање апсорпције и расејања електромагнетног таласа о честицу [8, 9]. То значи да је логичан почетак теоријског решења проблема систем Maxwell-ових једначина:

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho_F \quad (2.1)$$

$$\nabla \times \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0 \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.3)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}_F + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad (2.4)$$

где су $\vec{D}$, $\vec{E}$, $\vec{H}$ и $\vec{B}$ вектори електричног помераја, електричног поља, магнетног поља и магнетне индукције, редом. Овај систем једначина постаје потпун, када се допуни следећим једначинама:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}, \quad (2.5)$$

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}, \quad (2.6)$$

$$\vec{J}_F = \sigma \vec{E}, \quad (2.7)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2.8)$$

$$\vec{P} = \varepsilon_0 \chi \vec{E}, \quad (2.9)$$

где су $\vec{J}_F$, $\vec{P}$ и $\vec{M}$ густина струје, електрична поларизација и магнетизација (усредњени диполни моменат по јединици запремине), ε_0 , μ_0 , μ , σ и χ електрична пермеабилност вакуума, магнетна пермеабилност вакуума, магнетна пермеабилност материјала, специфична електрична проводност и електрична сусцептибилност, респективно. За велики број случајева се претпоставља да су σ , μ и χ независни од поља (линеарност медијума), независни од позиције (медијум је хомоген) и независни од правца (медијум је изотропан). Решења система једначина зависе и од координата и од времена. Претпоставка је да се зависност може разложити на следећи начин:

$$E(z, t) = E_z(z)E_t(t) = E_z E_t. \quad (2.10)$$

Општа решења ове једначине имају следећи облик:

$$E_z = C_1 e^{i(\omega/v)z} + C_2 e^{-i(\omega/v)z} \quad (2.11)$$

$$E = D_1 e^{i\omega t} + D_2 e^{-i\omega t} \quad (2.12)$$

Константе C_1 , C_2 , D_1 и D_2 су одређене граничним условима. Из претходног је решење:

$$E(z, t) = E_z(y)E_t(t) \sim e^{\pm i(\omega/v)z} e^{\pm i\omega t} = e^{\pm i[(\omega/v)z \mp \omega t]} \quad (2.13)$$

У систему, где је смер таласа усвојен (нпр. с'лева на десно) преостаје једно решење:

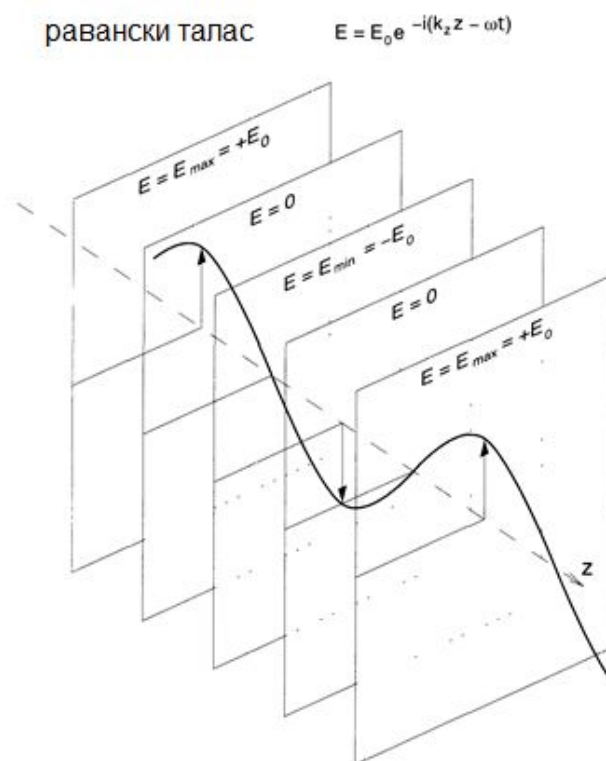
$$E(z, t) = C e^{i(k_z z - \omega t)} \quad (2.14)$$

где је k_z пропагациона константа, тј. таласни број дефинисан као:

$$k_z = \frac{\omega}{v}. \quad (2.15)$$

где је ω - кружна учестаност а v - је брзина.

Дато решење представља талас, који за сваку вредност z има исту амплитуду за све вредности x и y (равански талас у простору) - слика 2.2.



Слика 2.2. Дијаграм раванског таласа електричног поља.

Како је амплитуда вектора електричног поља вектор, који лежи у равни нормалној на правац кретања, амплитуда се може разложити на две ортогоналне компоненте, које одговарају осама x и y .

$$E(z, t) = E_0 e^{-i(k_z z - \omega t)} \quad (2.16)$$

$$\mathbf{E} = E_{0x} \hat{\mathbf{i}} e^{-i(k_z z - \omega t)} + E_{0y} \hat{\mathbf{j}} e^{-i(k_z z - \omega t + \phi)} \quad (2.17)$$

Угао Φ уопштава случај, када две одвојене компоненте нису у фази. У случају када је угао нула, комбиновани таласи представљају један талас, чији је вектор амплитуде увек оријентисан у истом правцу (равански талас). Остале вредности угла, представљају случајеве, када вектор амплитуде формира циркуларну или елиптичну поларизацију у ширем смислу (па се ради о циркуларно, тј. елиптично поларисаној светлости).

У систему у коме се вектор пропагације не поклапа са неком од оса решење садржи све три координате x, y, z :

$$E(x, y, z, t) = E_0 e^{-i(k_x x + k_y y + k_z z - \omega t)} \quad (2.18)$$

$$E(x, y, z, t) = E_0 e^{-i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)} \quad (2.19)$$

$$\vec{k} = k_x \vec{i} + k_y \vec{j} + k_z \vec{k} \quad (2.20)$$

$$\vec{r} = x \vec{i} + y \vec{j} + z \vec{k} \quad (2.21)$$

У претходним једначинама $\vec{k}$ је вектор пропагације, а $\vec{r}$ је вектор положаја. Ако се зависност $\exp(-i\omega t)$ претпостави за сва поља, основне релације се трансформишу у

$$\nabla \cdot (\epsilon \vec{E}_c) = 0 \quad (2.22)$$

$$\nabla \times \vec{E}_c = i\omega \mu \vec{H}_c \quad (2.23)$$

$$\nabla \cdot \vec{H}_c = 0 \quad (2.24)$$

$$\nabla \times \vec{H}_c = -i\omega \epsilon \vec{E}_c \quad (2.25)$$

где је комплексна пермеабилност дата следећим изразом [8, 9]:

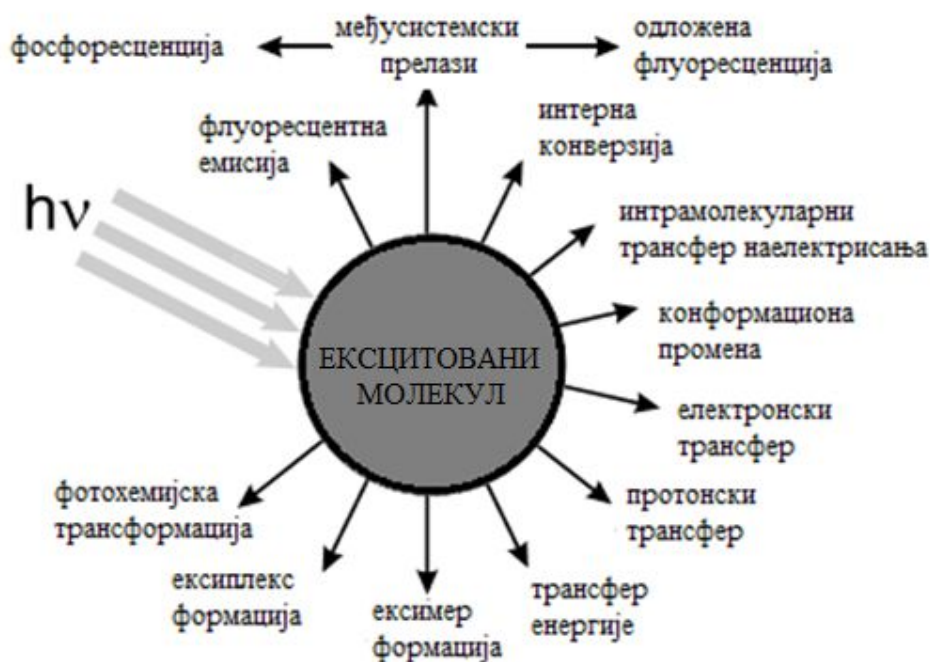
$$\epsilon = \epsilon_0 (1 + \chi) + i \frac{\sigma}{\omega} \quad (2.26).$$

Простирање светлости у материјалу (апсорпција и расејање). Најједноставнији случај је када снап пада на медијум, који апсорбује (нема расејања). У спектрофотометрији, рефлексија се најчешће из ових израза уклања тако, што се пореде узорци са референтним киветама (са приближно истом рефлексивношћу, као и кивета узорка). На дубини x у узорку, ирадијанса ће бити дата изразом

$$I_x = I_0 e^{-iKx}, \quad (2.27)$$

где је K линеарни коефицијент апсорпције. Ова релација је позната као Lambert-ов закон и добија се из услова да се светлост простире у правцу x осе и да је вероватноћа апсорпције фотона иста свуда у узорку. У спектрофотометрији, коришћењем Веер-овог закона може се под одређеним условима наћи K и то као производ моларних концентрација супстанце, која апсорбује и њених моларних коефицијената (или у случају више супстанци које апсорбују, као сума неколико производа). У случају простирања светлости у живим ткивима, интензивно расејање изазива различите утицаје на конструкцију система за мерење, а квантитативно тумачење расејања је компликовано толико да у мноштву случајева није могуће издвојити корисне информације. Поједностављена теорија, која је дата као прва апроксимација је Kubelka-Munk теорија, корисна само за макро-хомогене објекте (на макро скали хомогене и изотропне објекте са коефицијентима апсорпције и параметрима расејања, које је могуће утврдити). Seyfried и Fukshansky [10] (цитирано у [11] стр.10) су показали да је могуће модификовати теорију за објекат, који се састоји од неколико хомогених слојева. Модел је довољно добар да се њим могу акцентовати основна својства светлости, која се простире кроз медијум, који и апсорбује и расејава светлост [11].

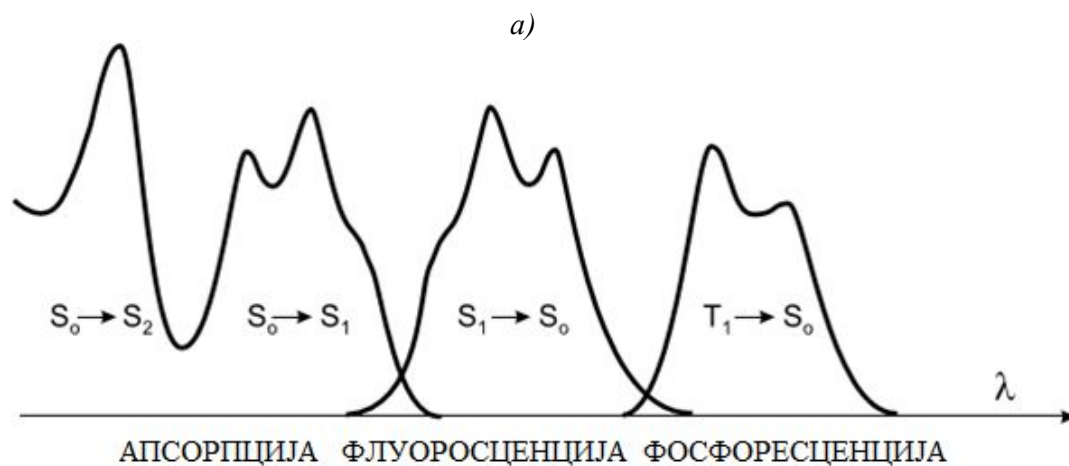
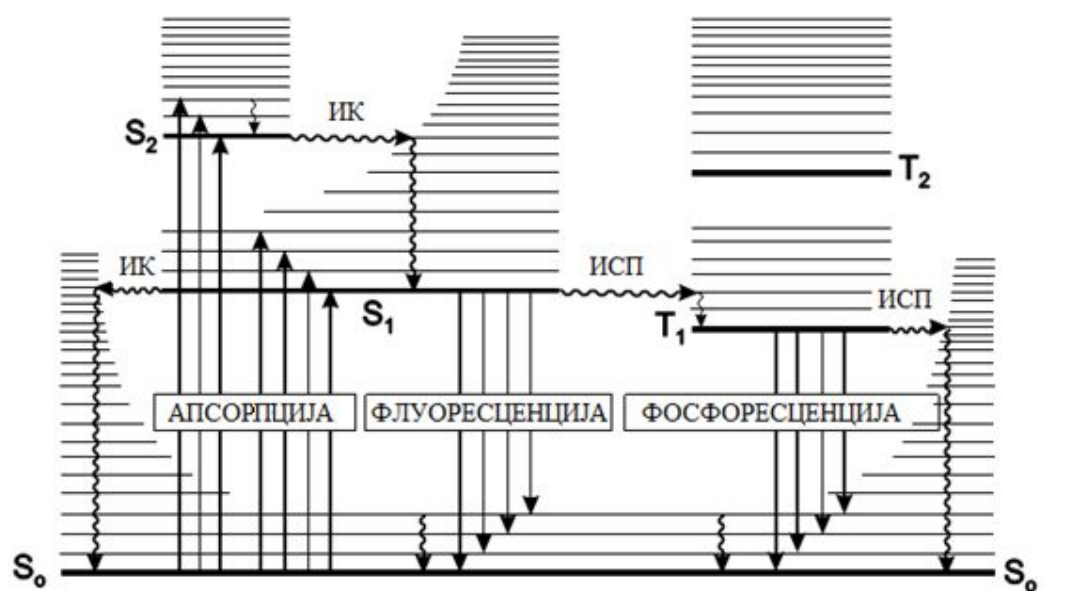
Флуоресценција. Екситовани молекул може да изгуби део своје енергије на различите начине у облику светлости (деекситација) - флуоресценција или фосфоресценција. Губитак енергије је могућ и кроз предају енергије суседним молекулима, хемијским процесима; пад на основни ниво праћен је и међупрелазима (често праћени фосфоресценцијом), итд., слика 2.3. Ови процеси деекситације се употпуњују са флуоресценцијом на временској скали (у поређењу са просечним временом живота током којег молекул остаје у екситованом стању). То средње (*просечно*) време представља *експериментални временски прозор* за мониторинг динамичких процеса (таб.2.1). Карактеристике флуоресценције (спектар, квантни допринос, време живота), на које утиче било који процес у екситованом стању, који укључује интеракције екситованог молекула са његовим окружењем, могу да пруже значајне информације о таквом микроокружењу [12].



Слика 2.3. Могући деексцитациони механизми ексцитованог молекула.

За емисију фотона, која прати релаксацију $S_1 \rightarrow S_0$, треба нагласити да се често јавља флуоресценција сем у пар случајева када се јавља са S_1 стања. Тада њена карактеристика не зависи од таласне дужине ексцитације (постоји само једна линија основног стања). Прелаз 0-0 је обично исти за апсорпцију и флуоресценцију. Ипак, спектар флуоресценције је лоциран на нижим фреквенцијама (нижа енергија) у односу на апсорпциони спектар, јер долази до губитка енергије у ексцитованом стању услед вибрационих релаксација. У складу са Stokes-овим правилом (емпиријско посматрање настало пре Perrin-Jablonski дијаграма слика 2.4), таласна дужина (фреквенција) флуоресцентне емисије увек треба да је дужа (а фреквенција нижа) од оне везане за апсорпцију.

У мноштву случајева се апсорпциони и флуоресцентни спектри преклапају (део светлости је на нижим фреквенцијама од апсорбоване светлости). Овакав закључак је, на први поглед у контрадикцији са принципом конзервације енергије. Овај дефект је компензован (први је указао Einstein) чињеницом да је на собној температури мали део ансамбла молекула у вибрационом стању вишем од 0 (дистрибуција је у складу са Boltzmann-овим законом).



б)

Слика 2.4. а) Perrin-Jablonski дијаграм и б) приказ релативне позиције апсорпционог, флуоресцентног и фосфоресцентног спектра [12].

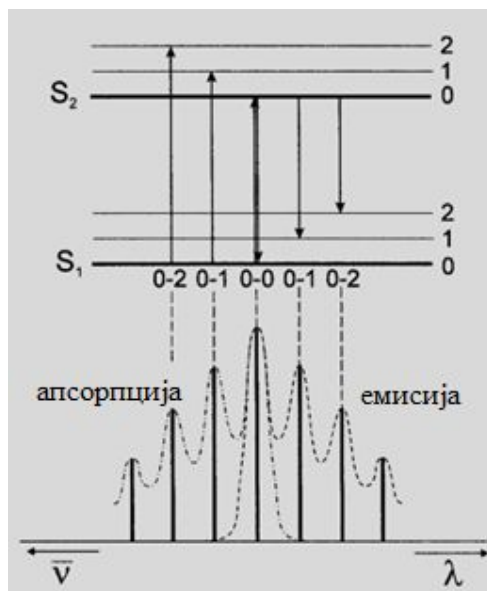
Табела 2.1. Карактеристична времена процеса [12].

КАРАКТЕРИСТИЧНА ВРЕМЕНА					
апсорпција	10^{-15}s				
вибрациона релаксација	$10^{-12}\text{-}10^{-10}\text{s}$				
време живота ексцитованог стања S_1	$10^{-10}\text{-}10^{-7}\text{s}$	→		флуоресценција	
интерсистемски прелаз	$10^{-10}\text{-}10^{-8}\text{s}$				
интерна конверзија	$10^{-11}\text{-}10^{-9}\text{s}$				
време живота ексцитованог стања T_1	$10^{-6}\text{-}1\text{s}$	→		фосфоресценција	

Однос броја молекула N_1 и N_0 на 1 и 0 вибрационом нивоу (нпр. слика 2.5) са нивоима енергије E_1 и E_0 по Boltzmann-овом закону је

$$\frac{N_1}{N_0} = \exp[-(E_1 - E_0)/kT], \quad (2.28)$$

где је k Boltzmann-ова константа и износи $1,3807 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$, док је T апсолутна температура.



Слика 2.5. Приказ вибрационих опсега у апсорпционом и флуоресцентном спектру ароматичних хидрокарбона (хидроугљеника) [12].

Разлике између нивоа су сличне у основном и ексцитованим стањима, тако да флуоресцентни спектар често подсећа на први апсорпциони опсег. Размак (изражен у таласним бројевима) између максимума првог апсорпционог опсега и максимума флуоресценције, Stokes-ов померај, даје корисне информације.

Емисија и апсорпција фотона је реда $\sim 10^{-15} \text{ s}$, али ексцитовани молекули остају у S_1 стању од неколико делова ps до неколико стотина ns, у зависности од типа молекула и медијума, пре него што се емитује фотон или се активира неки други деексцитациони процес. После ексцитације популације молекула кратким светлосним импулсом интензитет флуоресценције опада експоненцијално са карактеристичним временом, које карактерише време живота молекула у S_1 ексцитованом стању. Овај процес је спонтани процес. Под одређеним условима, могуће је изазвати и стимулисану емисију (ласери на бојама) [12].

У мноштву ситуација молекула се понаша као засебан систем. Описује са константама брзине првог реда, као сума више ових константи за различите процесе.

$$k = k_f + k_{th} + k_{ic} + k_{ch}, \quad (2.29)$$

где индекси означавају, редом флуоресценцију, термалну деексцитацију, интерсистемски прелаз и хемијску деексцитацију. Под константном илуминацијом долази до стабилне конфигурације, па брзина апсорпције фотона постаје једнака тоталној брзини деексцитације. Однос броја фотона емитованих кроз процес флуоресценције у односу на број апсорбованих фотона је

$$\Phi_f = k_f/k = k_f/(k_f + k_{th} + k_{ic} + k_{ch}). \quad (2.30)$$

Квантни допринос флуоресценције Φ_f се, дакле, изражава као део укупне деексцитације. Различити процеси деексцитације учествују у укупној деексцитацији у одређеним процентима. Флуоресценција хлорофила код биљака, која је уобичајено на ниском нивоу и најчешће *невидљива*, расте уколико додамо у систем адитив, који спречава фотосинтезу [12].

1. Оптички параметри материјала

Оптичка својства материјала. Оптичка својства материјала су нераскидиво везана за главне функције одзива, односно за диелектричне, проводне и магнетна својства и подлежу класичној Maxwell-овој теорији у подручју линеарне оптике и семикласичног прилаза. За случај првог прилаза нелинераној оптици примена истог прилаза тражи развоје по главним величинама Maxwell-овог прилаза у степене редове.

Полазећи од процеса који описују интеракцију електромагнетног зрачења са материјалом најчешће се спомињу: рефлексија, расејање, апсорпција, фотолуминисценција, флуоресценција и др. [13], а то важи и за простирање светлости у биолошком ткиву. Према изабраном прилазу, који описује интеракцију светлости и материјала бирају се величине од интереса у макроскопском и микроскопском опису и међу њима су:

- Индекси преламања $n(\lambda)$ - релативни и апсолутни; и ова и друга оптичка својства, имају јачи или слабији дисперзиони карактер,
- Ефикасни пресеци (расејања, апсорпције,...) σ_s, σ_a ,
- Диференцијални пресеци (расејања разних врста еластичних и нееластичних, апсорпције,...) $d\sigma_{si}/d\Omega$,
- Коефицијенти слабљења и појачања,
- Величине, које описују поларизационо стање светлосног снопа и његове трансформације.

Ефикасни пресеци квантификују (на разне начине) својствену (унутрашњу) вероватноћу да дође до неког процеса, када упадни (инцидентни) сноп пада на објекат састављен од дискретних честица (најчешће). Ефикасним пресецима се описују квантитативне мере којима се предвиђа нека интеракција. Кроз њихове ангуларне зависности се спреже и стање поларизације одабраног снопа. Диференцијални и тотални ефикасни пресеци представљају суштинске информације о интерној структури честице мете.

Постоје ставови, да су само изотропни системи, системи у којима је могуће решавати задате параметре. Савремени теоријски и експериментални прилази са квантним генераторима уз мноштво класичних и нових процеса са фотонима, управо служе да се и анизотропни системи могу детаљно изучавати (детаљни опис експеримента, претпоставке и апроксимације су важне за могућност поређења резултата различитих аутора). Увођење посматрања биолошких материјала путем

дефинисаних параметара, којима се квантификују сви услови експеримента су управо правци на којима се данас ради [13].

Својства ткива. Индекс преламања (апсолутни-релативни). Индекс преламања медијума дефинише брзину простирања светлости (односно диелектрична и магнетна својства материјала), али промене индекса преламања, континуалне или нагле (гранични услови), указују на настајање процеса расејања, преламања, рефлексије и др. Како су ткива хетерогена по саставу, неопходно је знати индексе преламања различитих конституената ткива (тј. прорачун својстава расејања) или *усредњене* вредности за ткиво као целину (кашњење *балистичких* фотона). Ефективни индекс преламања ткива је најчешће апроксимиран као средња вредност по запремини у зависности од вредности за конституенте, што је у мноштву случајева разумна процена. Вода чини значајан проценат већине ткива, а њен индекс преламања ($n = 1,33$, најчешће коришћења средња вредност на NaD таласној дужини) представља минималну вредност за флуиде и конституенте меког ткива. Међу осталим компонентама меког ткива, честице меланина, које се могу наћи у епидермалном слоју коже су на супротном крају скале индекса преламања са вредностима датим у литератури и изнад 1,6 [13].

Својства ткива. Својства расејања.

За оптички нехомогени медијум, изрази за квантитативну анализу се могу извести из једначина изведених за оптичко проучавање површина са дифузном рефлектансом. Преласком од модела са два дифузна флукса, који се простиру у различитим правцима кроз гас, и посматрајући укупну уназад расејану светлост, модел је даље унапређен и тренутно је у основи мноштва нових модела. Kubelka-Munk (K-M) представља низ корисних једначина, које обезбеђују основу за даље проучавање апсорпције, расејања и процеса луминисценције у медијуму, који показује дифузно расејање у медијуму [13].

Поменути оптички параметри су само врх *леденог брега*. Моделовање узорака доноси са собом одлуку о типу апроксимације. Примена ограничава модел на одређену област и параметри (потребан број и тип), које користимо се намећу самим проблемом.

2. Оптичке методе засноване на кохерентној и некохерентној светлости

Спектроскопије – Спектроскопски прилаз материјалима свих агрегатних стања пружа много више информација од посматрања у уској спектралној области. Данас постоји више подела спектроскопија: спектроскопија са спонтаним и стимулисаним зрачењем, спектроскопија са кохерентном и некохерентном светлошћу, класична спектроскопија са оптичком решетком и призмом, све до спектроскопија са процесима избијања фотона (Херцова спектроскопија). Међу савременим техникама посебну улогу имају спектроскопије, које траже минималне количине узорака или које су повезане са минималном деструкцијом материјала, као што су LIBS, LAMMA, и др. Савремене експерименталне могућности пружају спрегу електронске микроскопије са спектроскопијом времена пролета и сл. За поједине процесе расејања, апсорпције, флуоресценције, већ одавно постоји низ комерцијалних уређаја, који имају вишегодишњу традицију [14]. За даљинске технике мерења, предуслов је да постоји широка база података снимљених у лабораторијским условима. Паралелизам компаративних и комплементарних техника и вишеструке повезаности разних особина материјала су данас више него икад, могуће.

Технике везане за инфрацрвене спектре, инфрацрвено зрачење су предмет проучавања у много области истраживања и у свакодневној примени, а инфрацрвени спектри се могу директно поредити са резултатима Raman-овог расејања. Анализа материјала биљног порекла, на бази инфрацрвеног зрачења, се широко користи; према изабраном биоузорку, зависи припрема узорка (коришћење хемијских средстава и модификација зидова ћелија). Биљке се састоје од до 80% суве материје (угљени хидрати), где су међу најважнијим: целулоза, скроб, пектини и шећери (глукоза и сахароза). Средња инфрацрвена област за просечну биљку носи следеће информације дате у Табели 2.2.1.

Блиска инфрацрвена област (па и спектроскопија) је добар алат за испитивање ткива биљака. Као и у средњој инфрацрвеној области, биљке показују *активност* у овој области услед присуства угљених хидрата. Анализа са више променљивих блиске инфрацрвене области различитих врста биљака, може се искористити за разлучивање узорака [15], тј. препознавање. Апарати за препознавање биљака са ласерским техникама су одавно у стању да разликују и више од 80 врста листова, што може да буде од интереса у екологији, контроли стања усева, индустрији хране, итд.

Табела 2.2.1. Главне области апсорпције у средњој инфрацрвеној области спектра за угљене хидрате биљака ([16]цитирано у [15], [17] цитирано у [15]).

Тип угљених хидрата	Таласни број (cm ⁻¹)
α-D глюкоза	915, 840
β-D глюкоза	915, 900
Целулоза	1170-1150, 1050, 1030
Лигнин	1590, 1510
Хемицелулоза	1732, 1240
Пектин	1680-1600, 1260, 955

Елипсометрија – Елипсометрија припада класичнијим оптичким методама мерења, које су са увођењем квантних генератора, аутоматизације и увођења рачунара у online обраду измерених података прерасле у сложен мерни систем, који пружа важне податке о узорку, независно од порекла. Постоје и ту различите модификације главних метода извођења, али је комплетност методе везана за формализам развијен Stokes-овим векторима и Müller-овим матрицама.

Лидарска мерења (LIDAR - Light Detection and Ranging). Даљинске контроле и мерења су везана са једне стране за разматрање снопних техника, где су заједнички фотони различитих енергија и порекла и честице укључујући нуклеарне, акустичке снопове и друго. Са друге стране оваква мерења се везују за примену оптичких процеса при одређивању квантитативних показатеља мете, (коју погађа сноп квантног генератора) или података о процесима, које снопови проузрокују током свог простирања кроз атмосферу, а која се у земаљским условима (терестричким, на растојањима карактеристичним за лидаре) мери величинама километарских растојања [18, 19, 20].

Према принципу рада постоји више подела међу којима су DIAL, LADAR, COLIDAR, (Differential Absorption Lidar, LAsER Detection And Ranging, Coherent LIDAR) лидар са белом светлошћу, лидари са континуалним снопом или импулсног типа, са неколико карактеристичних ширина импулса. Могу да буду моностатични и бистатични, али морају да имају формиране професионалне оптичке системе за формирање излазног снопа и детекцију враћених фотона, који су претрпели разне процесе на оптичкој стази и систем који предвиђа дефинисану обраду сигнала за добијање корисних података о мети или о путу снопа.

3. Улога ласера у дескрипцији и третману узорака различитих типова у циљу биомодулационих процеса.

Интеракција ласера са материјалом се разматра кроз различите формализме, који обухватају третмане класичном физиком и квантномеханичким теоријама. Зато је и потребно имати дефинисане величине узорка кроз оптичке величине, макроскопског или микроскопског типа, према изабраном моделу. Изазвани процеси иду од реверзибилних и неревверзибилних процеса, до деструкције материјала зависно од осетљивости узорка и његове отпорности на изабрани стимулирани снап. Примена ласера у мерењу и дескрипцији узорака, првенствено подразумева ласере мале снаге и недеструктивне процесе, али савремене мерне методе укључују и процесе минималних деструкција материјала у циљу његовог описа. Тиме се шири број типова и опсег енергија (снага), фреквенција квантних генератора, који су од интереса за проучавање (истраживање) у подручју интеракције са биоансамблима. Деловање ласера се посматра кроз деловање на микроскопском нивоу (ћелија и њени делови) и на макроскопском нивоу (интеракција са ткивом, представљеним са еквивалентним параметрима материјала: коефицијент рефлексије, коефицијент трансмисије, термална проводност, коефицијент слабљења и др.). Према интензитету и дужини трајања импулсног снопа, разликује се неколико типова модела и неколико типова природе дејстава. Један од најчешћих прилаза су термални модели, код којих је за биомедицину и биологију од интереса биотермална једначина. У делу, где се ласерски снап користи као сонда, која (макроскопски/микроскопски) описује мету – узорак, постоји богата литература о опису бактерија, вируса, саставних компоненти крви и др. [21]. Покретљивост, димензије, динамика кретања се скоро пола века описују путем корелационих техника. Макроскопске промене, које укључују промену температуре, изазивање фотохемијских реакција и др. према интензитету зрачења могу да се заврше са процесима стерилизације и деструкције и у широкој су употреби у савременој биомедицини. Ту се традиционално говори о биостимулационом, дијагностичком, хируршком утицају снопова квантних генератора, али и о *технолошкој* страни, где се они користе у протетичке сврхе или за промену својстава материјала у смислу бољег прихватања од стране ткива [22].

4. Оптичке константе и њихова улога у методама даљинске анализе, биомедицинским третманима, моделовању интеракције снопова са материјалима органског и другог порекла

У процесу одређивања оптичких константи, као и код мерења параметара од интереса у екологији, у процесима предвиђања и праћења у реалном времену, неопходно је формирати моделе (Табела 2.4.1). Модели су у већој или мањој мери неопходни, а њихова сложеност ће зависити од примене [23, 24, 25]. Фотобиологија је и дефинисана, како би се укључио велики број биолошких појава укључујући и нејонизујућа зрачења. Сваки од модела, има своје карактеристичне величине и параметре, као и премисе под којим важи. Оптички параметри, у том смислу, добијају на значају у зависности од прилаза модела.

Табела 2.4.1. Категоризација модела оптичких својстава лишћа [23].

Тип модела	Назив	www
Beer-Lambert	PROSPECT	http://opticleaf.ipgp.fr/index.php?page=prospect [26]
Модели n-тог протока	FTR	http://photobiology.info/Jacq_Ustin.html [27] http://psi.cz/ftp/publications/antoc/aussois223.pdf [28]
Модели компактне сферне честице -	LIBERTY	http://www.geos.ed.ac.uk/homes/s0455489/LIBERTY.html [29] http://www2.geog.ucl.ac.uk/~mdisney/teaching/3010/dawson_et_al.pdf [30]
Теорија са трансфером	LEAFMOD	http://geo.arc.nasa.gov/sge/johnson/leafmod/RSE_v63.pdf [31]
Стохастичк и модели - Stochastic models	SLOPE	[24] <i>Modeling the radiative transfer in leaves in the 300 nm to 2.5 μm wavelength region taking into consideration chlorophyll fluorescence</i> - The leaf model SLOPE, PhD Thesis, Deutsches Fernerkundungstagsdatenzentrum, Technische Universität München, Oberpfaffenhofen (Germany)
Модели трасирања снопа	ABM, RAYTRAN	http://www.npsg.uwaterloo.ca/models.php [32] http://rayference.eu/1_old/rtm_ray.php [33]

Било да се ради о моделовању наноструктура, праћењу квантнокинетичких или вишефотонских процеса, формирању *челичних* делова, примени ласера у рефрактографији или некој од примена у формирању вишеслојних структура [34], примена ласера (и уопште светлости) из године у годину добија на значају. Технике мерења, које могу дати различите податке – јединствене особине ласера укључујући и ласере са подешавањем фреквенција [35, 36] то омогућују.

Као први параметри сваког узорка уочавају се **коэффициенти рефлексије, апсорпције или расејања** [1, 37]. У линеарном подручју за релативно мале интензитета зрачења то су константне величине. За случај великих интензитета, појављују се нелинеарне зависности и функционалне зависности од интензитета зрачења, а то важи и за друге величине (термодинамичке, мехничке), које су међусобно спрегнуте. За посматрање ткива, важни параметри су односи рефлексионих и апсорпционих процеса, као и расејања еластичног и нееластичног типа. Расејање се може видети и као процес квазиапсорпције (турбидометрија) [22]. Мерења путем праћења транспаренције снопова су лакша, али су и мање осетљиве методе у односу на методе расејања. Често се **укупан коэффициент слабљења** (представља суму свих изазваних процеса слабљења, али се овде у моделу остављају само два члана; а за њега је везана средња вредност слободне путање упадних фотона) изражава као сума само два процеса, који преовладавају односно сума коэффицијената апсорпције и расејања:

$$\alpha_t = \alpha + \alpha_s. \quad (2.4.1)$$

У турбидном медијуму – мутном медијуму, **средња вредност слободне оптичке путање упадних фотона** је:

$$L_t = \frac{1}{\alpha_t}. \quad (2.4.2)$$

У ткивима, која практично не апсорбују у датом спектралном подручју, је $\alpha_s = \alpha_t$.

Оптички алbedo се дефинише као:

$$a = \frac{\alpha_s}{\alpha_t}. \quad (2.4.3)$$

Ако се посматра конкретна вредност овог параметра, види се да за $a = 0$ преовлађује апсорпција, за $a = 1/2$ оба феномена су равноправна а за $a=1$ постоји само расејање [22]. Увођење квантитативних модела у биолошка разматрања са гледишта интеракције зрачења и материјала, уопште доводи до развоја аналитичких теорија са различитим базама, транспортних теорија и др. Класични прилаз са Maxwell-овим једначинама има затворен скуп конкретних аналитичких решења, али се мора водити рачуна о великом броју микроскопских објеката (бактерије, вируси, полуенти) и њиховим различитим расподелама, потребним за повезивање са реалношћу. Друге врсте модела се баве само транспортом фотона и догађајима апсорпције (губитак фотона), расејања (промена правца фотона и нестајање из снопа), итд.

Фундаменталне величине у свим моделима су везане за **радијансе, интензитета** и резултантне сигнале, који се могу детектовати уз све *техничке* атрибуте везане за процесе детекције и даље обраде.

Главни проблем у теоријама транспортне природе је квантификација радијанси, које се претходно дефинишу (кохерентна, дифузиона и др.). Користе се апроксимације и статистички приступи у зависности од албеда (расејање првог реда, Kubelka-Munk теорија, дифузна апроксимација, Monte Carlo симулација, inverse adding-doubling метода,...) [23, 38].

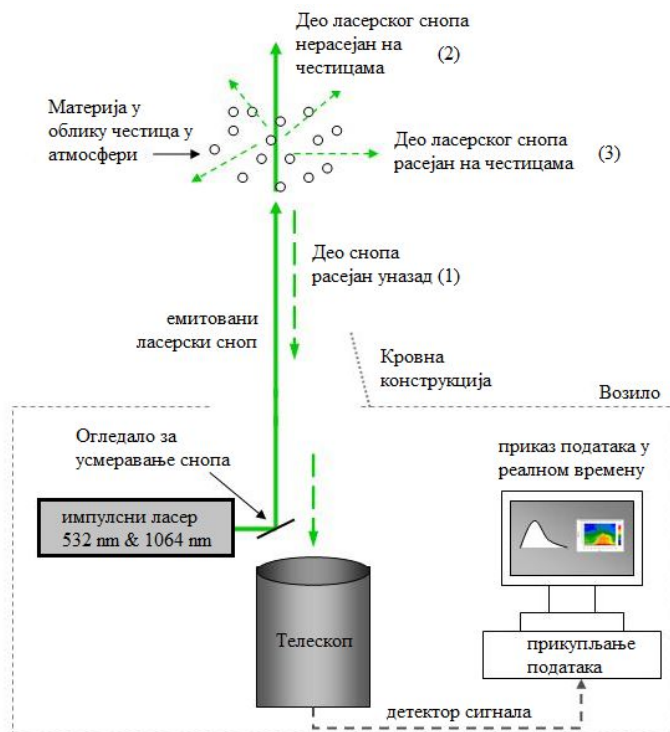
5. Системи на бази лидарских техника

Истраживачи у области, која се бави лидарима (lidar – Light Detection and Ranging) су одувек били укључени у развој ласера. Многи инструменти користе ласере специфично дизајниране да одговоре на високе захтеве одређених лидарских техника. Неке од битнијих карактеристика су: снага ласера, таласна дужина, ширина импулса, облик снопа, спектрална чистоћа, и оне обично нису испуњене на истом нивоу у комерцијалним уређајима. Уз ласере за поуздан и адекватан рад савремених лидарских система, неопходни су: оптички филтри високе трансмисивности, уског опсега, оштре спектралне карактеристике и/или са високим потискивањем ван радног опсега; ефикасни детектори за широке области таласних дужина, системи за аквизицију података са динамичким опсегом неколико редова магнитуда, као и рачунари високих перформанси са могућностима процесирања великог броја података са високим брзинама репетиције. То је, између осталог, разлог, што је лидар био и узрочник и корисник мноштва технолошких иновација.

ПОСТАВКА ЛИДАРА

Ласер. У мерном систему лидара, користе се најчешће импулсни ласери (слика 2.5.1). Главна предност је да се тако мере: састав атмосфере (по висини), али и састав тла (површине, дубинска мерења) на основу процеса на ком се заснива рад изабраног типа лидара (расејање, апсорпција, рефлексија, флуоресценција,..). Прати се озон, водена пара, CO₂, температура, брзина ветра, притисак, континуално саобраћај у ваздуху, на тлу и води. Дужина импулса игра важну улогу и ради се са системима реда величине 10 и 100 ns. Кратки импулси се добијају режимима са Q прекидањем (Q switch) или режимом синхронизације модова [19], [39] у [18].

Детекторски систем. Важан део оптичког система који регулише интензитет повратног сигнала је телескоп. Води се рачуна о геометрији, како би се обезбедило што боље сакупљање уназад расејаних фотона. Уз користан сигнал, увек су присутни и нежељени сигнали. Да би се смањио утицај нежељених ефеката дневне светлости, мерења се врше углавном ноћу. Уназад расејани сигнал је најчешће слабог интензитета, па се користе фотомултипликатори. Избор фотомултипликатора зависи од намене, а избор се врши по осетљивости и опсегу таласних дужина у којем се користи.



Слика 2.5.1. Принципска поставка лидарског система [40].

Таласне дужине лидара зависе од примене ласера и карактеристично је да су у опсегу од 250 nm до 11 μm . Док су се 80-их година прошлог века користили рубински, CO_2 , азотни и ласери на парама бакра, ексимер ласери великих снага и $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$, листа се проширила и другим ласерима и процесима. Ексимер ласери раде у UV подручју, док $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ кристал ради у инфрацрвеном делу спектра на таласној дужини од 1064 nm. Удвајање фреквенција (нелинеарни ефекти 2., 3. и 4. хармоник) нелинеарним кристалима је широко распрострањено ради конверзије примарног $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ зрачења у 532 nm, 355 nm и 266 nm (виши хармоници). Ласери се користе у лидарским системима, не само као лидарски емитери већ и као пумпе. Зрачење је могуће померити ка већим таласним дужинама стимулираним или спонтаним Raman-овим расејањем у гасовима (водоник, деутеријум и др.). Лидарска техника је чешће коришћена за мерење концентрације озона путем апсорпционих процеса (ozone differential-absorption lidar), а данас постоји Raman-ов лидар неосетљив на сунчеву светлост (solar blind Raman lidar) у варијанти DIALa (Differential Absorption Lidar). Тако се паралелно користе системи, који поред примене расејања раде на принципу разлика апсорпције две таласне дужине, као мере концентрације специфичног гаса у функцији растојања. Ласери на бојама (dye lasers), пумпани ексимер ласером или $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ ласером се користе већ дуго за производњу специфичних таласних дужина

неопходних за рад DIAL-а и лидара, који раде на принципу резонантне флуоресценције. Данас се они све више замењују ласерима на чврстом телу са могућношћу подешавања таласне дужине, тј. базираних на $\text{Ti}^+:\text{safir}$ -у или александритним кристалима и параметарским ласерима. Допирањем кристалних решетака на пример YAG, YLF, LuAG, или стакала са активним центрима, као што су Nd, Ho, Tm, Cr, Er или Yb, ствара се широк спектар инфрацрвених таласних дужина, од којих су неке изузетно погодне за Doppler-ов лидар. Типови ласера, као што су Slab, microchip, waveguide и Raman-ов ласер на чврстом телу су у току са истраживањима о њиховој потенцијалној употреби у лидарским системима. Иако су ласерски снопови већ високо колимисани, њихова дивергенција се даље смањује системима колиматора на вредности до реда $100 \mu\text{rad}$. Тада се област на коју је фокусиран пријемни телескоп може изабрати да буде до реда неколико стотина μrad . Овим се добија неколико предности – на првом месту позадинско зрачење из атмосфере се значајно смањује, а на другом месту се детектује мањи број фотона, који су „доживели” вишеструко расејање у атмосфери. На крају, мање области фокусирања телескопом су неопходне код лидарских метода базираних на детекцији сигнала са високом спектралном резолуцијом услед малих пријемних углова оптичких уређаја са селективним таласним дужинама. У зависности од сврхе дизајнирања лидара, дијаметар примарне телескопске оптике се креће у опсегу од 0,1 m до неколико метара. Велика већина лидара користи телескопска огледала. Сочива се могу користити само код пријемника са малим апертурама. Област фокусирања се дефинише застором у жижној равни пријемне оптике. Лидарски системи за испитивање виших слојева атмосфере користе чопере у овом случају. Чопер отвара застор само кад до њега дође светлост од интереса и тиме блокира јак сигнал уназад расејане светлости из доњих слојева атмосфере, како би се избегло преоптерећење детектора.

Геометријски распоред емитерске и пријемне оптике одређује степен компресије сигнала на раздаљинама блиским лидару. На блиским раздаљинама ласерски снап се не може у потпуности *пресликати* на детектор, чиме се мери само део уназад расејаног лидарског сигнала. Овај део зависи од растојања, дијаметра ласерског снопа, његовог облика, својстава телескопа (однос жижне даљине и дијаметра), области на коју може да се фокусира пријемни део уређаја (видно поље), релативне локације оса емитерске и пријемне оптике. У коаксијалним моностатичким системима, ласерски снап се простире дуж оптичке осе пријемног телескопа. У биаксијалним бистатичким системима, оптичке осе су просторно размакнуте за дужину бар једног радијуса телескопског огледала, а ласерски снап улази у видно поље од интереса за телескоп

(видно поље) са стране. Функција, резултат комбинације свих геометријских ефеката се зове функција *преклапања* ласерског снопа и пријемног поља (laser beam receiver-field-of-view overlap). Њена вредност је нула на самом лидару, а постаје целовита, када се ласерски сноп у потпуности пропусти кроз застор. За велике телескопе, функција преклапања може да утиче на лидарски сигнал до раздаљина од неколико километара.

Оптичка анализа уназад расејане светлости се обично врши пре детекције. У најједноставнијем случају, интерференцијски филтер се поставља пре детектора. Филтер трансмитује светлост у одређеним пропусним опсезима око таласне дужине од интереса и потискује сигнал ван ове области, тј. позадинско зрачење. Друге примене захтевају софистициранија решења спектралне анализе (Hertzova спектроскопија, избијање фотона, мешање фотона, вишефотонски и нелинеарни ефекти). Поларизатори, спектрометри са дифракционим решеткама и филтри (са процесима на атомским парама) су елементи подсистема, који се користе у главном систему.

Детекција сигнала се реализује фотомултипликаторским цевима или фотодиодама. Са FMC (Siemens) и лавинским диодама, које раде у Geiger моду, фотони се могу појединачно бројити. Техника бројања фотона је високе осетљивости и користи се када је када је сигнал позадинског расејања слаб, када је резултат слабог процеса позадинског расејања и када је област, која се испитује далеко од инструмента. Број фотона у јединици времена, који се броје после емисије ласерског импулса се бележи. Временски интервал Δt , до ког се долази одговара атмосферском растојању $\Delta R = c \cdot \Delta t / 2$, где је c брзина светлости, а фактор $\frac{1}{2}$ се уводи да би се добила права дужина (светлост прелази исти пут у два смера). Складиштење података са временском резолуцијом од 100 ns, резултује у резолуцији атмосферског растојања 15 m, уколико је ласерски импулс краћи од ΔR . За јаки сигнал позадинског расејања аналогно снимање је метод избора, тј. средње вредности струје, коју производи формиран фото импулс, се прате одговарајућом обрадом сигнала. У овом случају, брзина A/D конверзије, одређује опсег резолуције система. Брзина репетиције ласерског импулса варира од неколико до неколико хиљада понављања у секунди. Како одговарајућа временска резолуција *нема смисла*, лидарски сигнали су нормално усредњени током временског интервала од неколико секунди, да би се смањила количина података за складиштење. Неке од апликација захтевају обраду пре усредњавања и брзу компјутарску обраду [39, 18, 19].

Лидарска једначина

Ако простирање светлости у лидарском систему квантификујемо, то се ради лидарским једначинама. Лидарска једначина зависи од неколико чинилаца:

$$P(R) = KG(R)\beta(R)T(R) . \quad (2.5.1)$$

Снага P , овако изражена, примљена са даљине R се састоји од четири фактора (слика 2.5.2). Први фактор K дефинише перформансе лидарског система, други $G(R)$ описује мерену геометрију зависну од раздаљине. Ова два фактора су у потпуности одређена поставком лидара и могу се контролисати. Информације о атмосфери, самим тим и све мерљиве величине, су садржане у последња два фактора претходне једначине. Фактор $\beta(R)$ је коефицијент светлости расејане уназад на растојању R . Представља способност атмосфере да расеје светлост уназад дуж правца, којим је светлост стигла. $T(R)$ је трансмисиони члан и описује медијум од лидара до растојања R и назад. Оба коефицијента $\beta(R)$ и $T(R)$ су предмет истраживања, и заслужују даљу дискусију, у складу са мноштвом референци, и у принципу су „непознати“.

Уколико се претходне чињенице прошире за системски фактор важи:

$$K = P_0 \frac{c\tau}{2} A \eta , \quad (2.5.2)$$

где је P_0 - средња снага једног ласерског импулса, а τ - ширина импулса. Како је

$$E_0 = P_0 \tau \quad (2.5.3)$$

и означава енергија импулса, а $c\tau$ је линијска димензија запремине расејања паралелна упадном снопу, фактор $\frac{1}{2}$ се појављује услед слагања ласерског импулса кроз процес расејања, као што је приказано на слици 2.5.2. Током детекције лидарски систем у тренутку времена t , после емитовања узлазне ивице импулса, светлост расејана уназад (од узлазне ивице импулса) се враћа са растојања

$$R_1 = ct/2 . \quad (2.5.4)$$

У исто време светлост, везана за силазну ивицу импулса, долази са растојања

$$R_2 = c(t - \tau)/2 . \quad (2.5.5)$$

Тако је

$$\Delta R = R_1 - R_2 = c\tau/2 \quad (2.5.6)$$

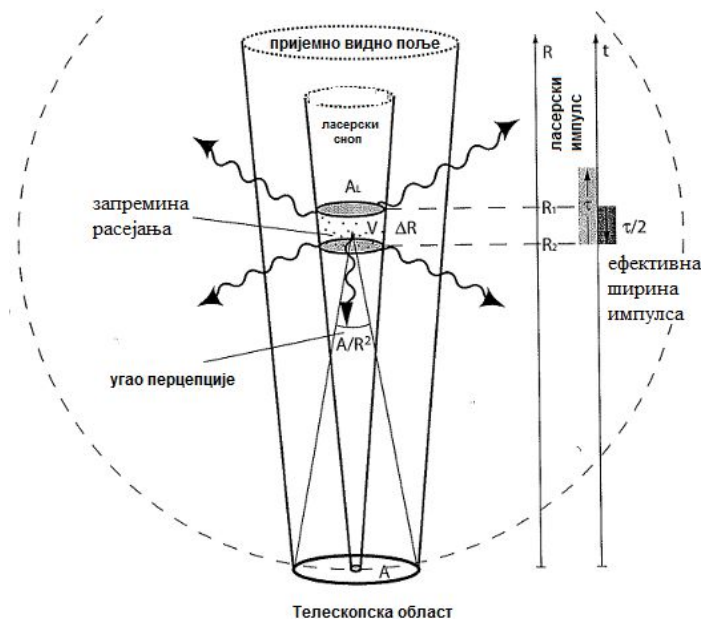
дужина запремине простора из које се детектује уназад расејана светлост, што представља ефективну или просторну дужину импулса. A је област примарне пријемне оптике одговорна за прикупљање светлости расејане уназад, док је η тотална ефикасност система. Она укључује и оптичку ефикасност свих елемената, кроз које се

трансмитована и рефлектована светлост простиру, као и ефикасност детектора.

Телескопска област A и енергија ласерског импулса, E_0 или другачије дато

$$\bar{P} = E_0 f_{rep}, \quad (2.5.7)$$

са фреквенцијом репетиције импулса f_{rep} су примарни параметри дизајна лидарског система. Тренд је оптимизација свеукупне ефикасности система, како би се добио оптималан лидарски сигнал.



Слика 2.5.2. Приказ лидарске геометрије [18].

Геометријски фактор

$$G(R) = \frac{O(R)}{R^2}, \quad (2.5.8)$$

укључује функцију преклапања ласерског снопа и поља виђења пријемне оптике $O(R)$ описане чланом R^{-2} . Квадратно опадање интензитета сигнала са растојањем је последица тога, што пријемна телескопска област чини део сфере R , која окружује запремину у којој се одвија расејање (слика 2.5.2). Ако претпоставимо да је у питању изотропни расејавач на растојању R , телескопска област A ће прикупити део

$$\frac{I_c}{I_s} = \frac{A}{4\pi R^2}, \quad (2.5.9)$$

свеукупног интензитета I_s у просторном углу 4π . Просторни угао A/R^2 је угао перцепције (видни угао) лидара за светлост расејану са растојања R . Фактор 4π се не

појављује експлицитно у лидарској једначини, јер се поништава дефиницијом коефицијента расејања уназад β . Примарно је R^{-2} зависност одговорна за велики динамички опсег лидарског система. Уколико детектујемо сигнал са $O(R) = 1$ на растојању 1m, сигнал ће бити за 6° мање магнитуде на растојању 10 km, само услед ефеката геометрије. До које границе је лидарска техника способна да *разлучује растојања* и техника на *даљину*, зависи од наше способности да компензујемо овај ефекат. Компресија геометријског сигнала на малим растојањима је једна од могућности (слика 2.5.2) на којој је приказана арбитрарна, реална функција преклапања, помножена са фактором R^{-2} . Снажни сигнал у блиском пољу је потиснут за неколико степени магнитуде. У неким случајевима атмосфера ће помоћи приликом компресије сигнала, тиме што ће се повећати расејање светлости уназад на већим раздаљинама. У већини случајева, атмосфера уноси додатно слабљење сигнала са растојањем.

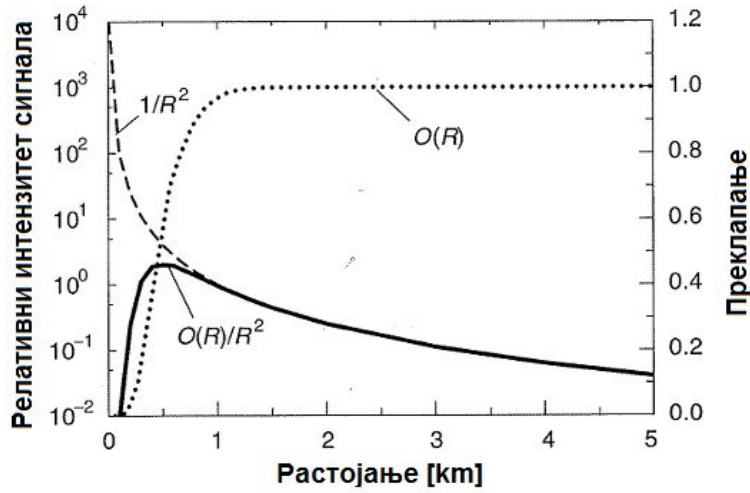
Коефицијент расејања уназад $\beta(R, \lambda)$ је примарно атмосферски параметар, који одређује јачину лидарског сигнала. Описује интензитет светлости расејане уназад, тј. ка пријемнику лидара. Коефицијент расејања уназад је специфична вредност коефицијента расејања за угао расејања $\theta = 180^\circ$. Нека је N_j концентрација честица на којима се врши расејање типа j у запремини осветљеној ласерским импулсом, а нека је $d\sigma_{j,sca}(\pi, \lambda)/d\Omega$ диференцијални ефикасни пресек расејања честица за правац уназад на таласној дужини λ . Тада се коефицијент расејања уназад може изразити као

$$\beta(R, \lambda) = \sum_j N_j(R) \frac{d\sigma_{j,sca}(\pi, \lambda)}{d\Omega}, \quad (2.5.10)$$

где се сумирање врши по свим типовима расејавача. Како је концентрација дата у јединицама m^{-3} , а диференцијални ефикасни пресек у $m^2 sr^{-1}$, коефицијент расејања уназад се изражава у $m^{-1} sr^{-1}$. Ово је један од начина изражавања параметара расејања, ефикасних пресека и сл.

Уколико се вратимо на поједностављену слику изотропног расејања и претпоставимо да постоји само један тип честица у запремини у којој се врши расејање, однос уназад расејане светлости и изотропног ефикасног пресека расејања σ_{sca} је,

$$4\pi\beta = N\beta_{sca}. \quad (2.5.11)$$



Слика 2.5.3. Утицај функције преклапања на динамику сигнала [18].

Интензитет расејане светлости од осветљене запремине

$$V = A_L \Delta R = A_L c \tau / 2 \quad (2.5.12)$$

са ефикасним пресеком ласерског снопа A_L је пропорционалан површини, тј. ефикасни пресек расејања свих честица у запремини V : $A_S = N \sigma_{sca} V$. Тако је релативни интензитет расејане светлости

$$\frac{I_s}{I_0} = \frac{A_s}{A_L} = \frac{N \sigma_{sca} c \tau}{2} = \frac{4 \pi \beta c \tau}{2}. \quad (2.5.13)$$

Из ове и претходних једначина се може добити однос интензитета сакупљене и емитоване светлости

$$\frac{I_c}{I_0} = \frac{A \beta c \tau}{2 R^2}. \quad (2.5.14)$$

Десна страна описује део лидарске једначине, који директно указује на геометрију расејања. Садржи величину и својства расејања уназад, расејавача и видни угао лидара.

У атмосфери, ласерски снап се расејава о молекуле ваздуха и честице различитих материја, тј. $\beta(R, \lambda)$ се изражава као

$$\beta(R, \lambda) = \beta_{mol}(R, \lambda) + \beta_{aer}(R, \lambda). \quad (2.5.15)$$

Молекуларно расејање (индекс *mol*) се углавном дешава због молекула азота и кисеоника. На првом месту зависи од густине ваздуха и самим тим опада са порастом висине расејања уназад (опада са растојањем уколико се мерење врши са тла, али расте у случају посматрања наниже, када се мерења врше са летелица или из свемира). Расејање на честицама (индекс *aer* за аеросолне честице) се функционално мења у атмосфери на свим временским и просторним скалама. Честице представљају велики

број расејавача: сулфати, чађ, органска једињења, крупније честице минералне прашине, као и упоредно већи хидрометеори, као што су облаци, кристали леда и град.

Као последњи члан лидарских једначина, мора се размотрити део светлости, који се губи на путу од лидара ка расејавачу (запремини у којој је расејавач) и назад. Трансмисиони члан $T(R)$, може имати вредности од 0 до 1 и дат је изразом:

$$T(R, \lambda) = \exp \left[-2 \int_0^R \alpha(r, \lambda) dr \right]. \quad (2.5.16)$$

Овај члан је последица специфичне форме Lambert-Beer-Bouguer-овог закона [39] за лидаре. Интеграл разматра путању од лидара до растојања R . Фактор 2 указује на двосмерну путању трансмисије. Сума свих трансмисионих губитака се често налази као екстинкција, а $\alpha(R, \lambda)$ као коефицијент екстинкције. Дефинише се слично коефицијенту расејања уназад, као производ концентрације и ефикасног пресека екстинкције $\sigma_{j,ext}$ за све типове расејавача j ,

$$\alpha(R, \lambda) = \sum_j N_j(R) \sigma_{j,ext}(\lambda). \quad (2.5.17)$$

Екстинкција се дешава услед расејања и апсорпције светлости од стране молекула и честица и састоји се од 4 главне компоненте [19, 18]:

$$\alpha(R, \lambda) = \alpha_{mol,sca}(R, \lambda) + \alpha_{mol,abs}(R, \lambda) + \alpha_{aer,sca}(R, \lambda) + \alpha_{aer,abs}(R, \lambda), \quad (2.5.18)$$

где индекси sca и abs означавају расејање (scattering) и апсорпцију (absorption). Пошто расејање у свим правцима доприноси екстинкцији светлости, интегрални ефикасни пресек расејања σ_{sca} заједно са ефективним пресеком апсорпције σ_{abs} чине ефективни пресек екстинкције - слабљења,

$$\sigma(\lambda) = \sigma_{sca}(\lambda) + \sigma_{abs}(\lambda). \quad (2.5.19)$$

β и α зависе од таласне дужине ласерског снопа. Ова зависност од таласне дужине је одређена димензијама, индексом преламања и обликом центара расејања.

Један од погодних облика лидарских једначина је [39,18]:

$$P(R, \lambda) = P_0 \frac{c\tau}{2} A\eta \frac{O(R)}{R^2} \beta(R, \lambda) \exp \left[-2 \int_0^R \alpha(r, \lambda) dr \right]. \quad (2.5.20)$$

Ова једначина се користи у некој од варијанти у различитим описима лидарских техника. Детектовани сигнал увек садржи и позадински шум P_{bg} , као додатак лидарском сигналу. Током дана, позадинским сигналом доминира директна или расејана сунчева светлост, док ноћу месец, звезде и вештачки извори светлости преовладавају. Шум детектора је још један извор нежељених сигнала. Сигнал се мора кориговати, пре него што се приступи даљој анализи лидарског сигнала. Обично се одређени број мерних тачака са ближег или даљег краја сигнала, где се не очекују

фотони расејани уназад или из периода који претходи емисији ласерског импулса, користи за израчунавање средње вредности позадинског шума $\bar{P}_{bg}$ и одговарајуће грешке ΔP_{bg} .

Неке од основних лидарских техника, које користе специфичне интеракционе процесе емитованог зрачења и конституената атмосфере су [19, 39, 18]:

- Лидар са еластичним расејањем уназад,
- Диференцијско-апсорпциони лидар (DIAL - ДИАЛ),
- Флуоресцентни (резонантни) лидар,
- Doppler-ов лидар,
- Бели (White light) лидар.

Лидар, са еластичним расејањем уназад је класични лидар, а о принципу његовог функционисања је већ било речи. Иако се у основи састоји од једног ласера, који емитује на *једној таласној дужини* и једног детектора, који мери зрачење еластично расејано уназад, овај тип лидара даје информације о присуству и локацији аеросола и слојева облака и често се назива и Rayleigh-Mie лидар.

Rayleigh-ево расејање се може дефинисати као еластично расејање од честице, које су врло мале у поређењу са таласном дужином светлости, која се расејава. У контексту лидара Rayleigh-ево расејање се користи као синоним за молекуларна расејања [39]. Како азот и кисеоник чине 99% земљине молекуларне атмосфере, уобичајено је да се може сматрати да су ова два елемента извори овако расејане светлости. Интензитет светлости расејане Rayleigh-евим расејањем је пропорционалан λ^{-4} и доминира на кратким таласним дужинама. Корисне информације носи и процес проширења спектралне ширине Rayleigh-еве линије. Температура, притисак и колективно кретање молекула воде ка спектралном ширењу расејане светлости. Резултантна дистрибуција интензитета еластично расејане светлости уназад је Sabannes-ова линија; спектралне ширина реда неколико GHz ($0,1 \text{ cm}^{-1}$). Ако се расејани сигнал детектује ниском спектралном резолуцијом, ротационо Raman-ово расејање са доста већим померајима, реда 100 cm^{-1} значајно доприноси мереном интензитету. Са друге стране, Raman-ово расејање је нееластични процес расејања, који укључује и промене енергијска стања молекула. Са тачке гледишта теорије Raman-овог расејања, Rayleigh-ево расејање је дефинисано као еластично расејање светлости без промене вибрационо-ротационог квантног стања молекула са којима светлост интерагује и као такво не укључује ротационо Raman-ово расејање.

Міе-во расејање се као процес, такође, често користи у неексплицитном смислу. Развијена теорија даје аналитичко решење за расејану светлост произвољне таласне дужине о сферу произвољног радијуса и произвољног комплексног индекса преламања. Тако Міе-во расејање није ограничено на одређене величине расејавача и као такво чак укључује и решење за Rayleigh-ево расејање [41,42]. Често се користи да опише расејање о честицу димензија реда величине таласне дужине упадне светлости или чак и већих димензија. Зависност таласне дужине од интензитета расејања је функција радијуса честица у односу на таласну дужину, као и комплексног индекса преламања честице. Мали (Rayleigh-еви) расејавачи показују λ^{-4} зависност. У области, где радијус честице и таласна дужина нису сличног реда величине, зависност таласне дужине од интензитета расејања варира много више. Детекција зависна од таласне дужине расејане светлости се може користити како би се дошло до информације о величини и другим параметрима атмосферске аеросолне честице са радијусима у опсегу од 50 nm до неколико μm . Примена ове технике захтева емисију неколико таласних дужина и независно одређивање коефицијента расејања уназад, као и коефицијента екстинкције.

Честице у атмосфери могу имати много различитих облика. То значи да се Міе-во расејање у принципу користи као груба апроксимација. Кад год су честице мале у поређењу са таласном дужином, прави облик не игра значајну улогу код својстава расејања, која показују несферични расејавачи. Уколико су честице значајних димензија и несферичне, као што су кристали леда, „*наперјаст*“ англомерати чађи, минерална прашина или честице морске соли не можемо користити Міе теорију расејања [8]. Присуство великих несферичних честица у атмосфери се може проучавати коришћењем лидара. Расејавачи сферних облика не мењају стање поларизације линеарно поларисане светлости, уколико се расејава на 180° , док несферични расејавачи воде ка деполаризацији светлости расејане уназад. Поларизационо зависна детекција светлости је посебно корисна код испитивања цирусних облака и слојева прашине.

У представљању претходних теорија се претпоставља и да је сваки детектовани фотон прошао само кроз један процес расејања у атмосфери. У случају високе концентрације честица, а посебно код честица великих димензија, као што је случај код облака, фотон може бити вишеструко расејан, пре него што дође до пријемника лидара. Димензија честица расејавача игра значајну улогу. Велике честице показују значајан врх светлости расејане унапред услед дифракције. Фотони расејани под угловима блиским 0° остају у области коју „*види*“ лидарски детектор, простиру се са

фотонима упадног ласерског импулса и могу бити расејани уназад, па следи још неколико процеса расејања унапред, пре него што се стигне до детектора.

Две специфичне примене лидара са еластичним расејањем уназад су мерење видљивости, као и мерење висине облака. Ове примене нису технички и технолошки претерано захтевне и користе се за контролу саобраћаја, посебно на аеродромима.

Посебан облик лидара је лидар са еластичним расејањем уназад. Са изузетно уским филтром пропусником опсега реализованим коришћењем Fabry-Perot еталона или апсорпционе ћелије (атомске паре или молекуларне паре), еластично расејани сигнал уназад (о аеросолну честицу) се може раздвојити или искључити из молекуларне компоненте расејане уназад. Овај концепт се заснива на чињеници да услед малих брзина честица, спектрална ширина расејања уназад од честице је знатно мања од Cabannes-ове линије. Како се Rayleigh-ево расејање и коефицијент екстинкције атмосфере израчунавају из притиска и температуре, једина непознаница чисто молекуларно расејаног сигнала је коефицијент екстинкције честице, који треба да се одреди. Коефицијент екстинкције честице је могуће независно одредити или из сигнала трансмитованог FP (Fabry-Perot) еталоном, који садржи само мали део молекуларног сигнала или у случају атомског или молекуларног ћелијског филтера из нефилтрираног сигнала. Исти принцип се користи код Raman-овог лидара. У том случају сигнал расејан уназад је резултат нееластичних Raman-ових процеса расејања уназад о азот или кисеоник, чије су вредности густине честица у атмосфери познате.

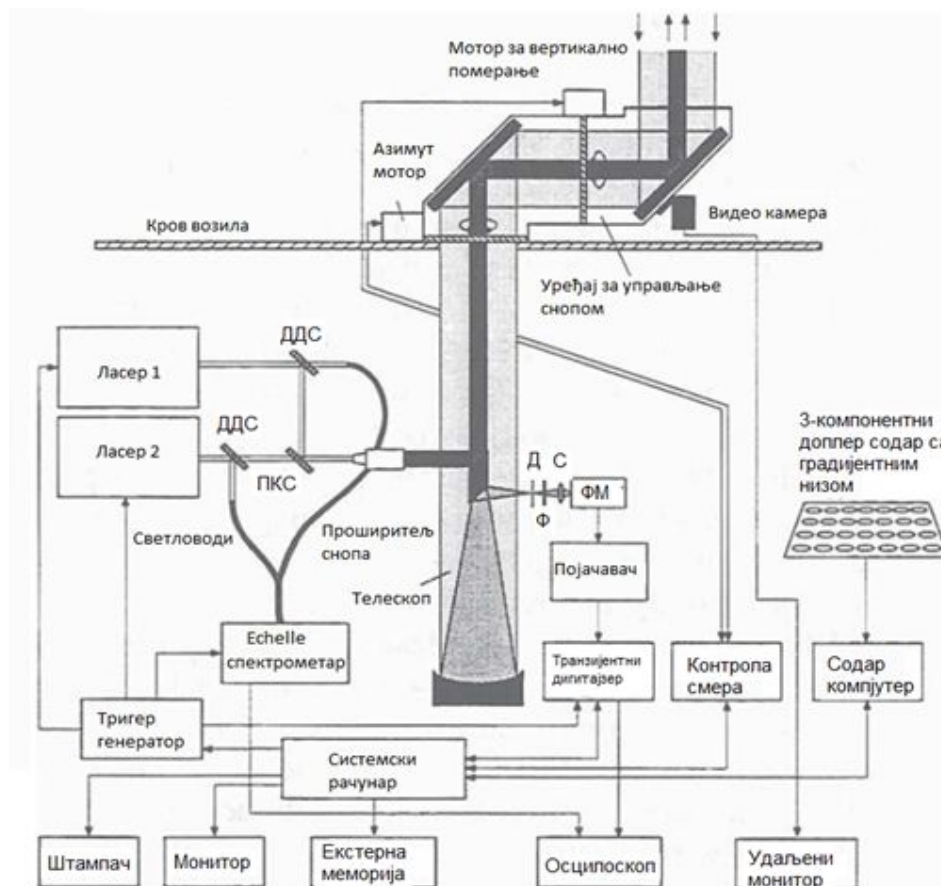
Raman-ово расејање се користи као нееластични процес расејања, који укључује и промене вибрационо-ротационих нивоа енергије молекула. Померај фреквенције расејане светлости одговара разликама енергија између иницијалног и крајњих енергијских стања и као такав је специфичан процес за молекула са којим се интерагује. Промена у ротационим енергијским стањима води ка формирању бочних Ramanових опсега. Како популација енергијски нивоа прати Boltzmann-ову расподелу [39], расподела интензитета у оквиру Raman-ових опсега садржи и информацију о температури запремине у којој се врши расејање. Из претходног се види, да је једна од примена Raman-овог и других типова лидара и мерење температурних профила атмосфере. Промена вибрационих енергијских нивоа резултује у фреквенти померај од неколико стотина до неколико хиљада таласних бројева (cm^{-1}), зависно од молекула. Спектрална анализа светлости расејане уназад омогућује, у принципу, детекцију одређеног броја атмосферских врста. Мали Raman-ови ефикасни пресеци ограничавају значајну примену на гасове присутне у релативно високим концентрацијама. Ова лидарска техника се широко користи за дефинисање садржаја водене паре.

Детекција гасова у атмосфери са високом осетљивошћу је могућа коришћењем диференцијално-апсорпционог лидара или **DIAL**-а. DIAL технике користе или само једну апсорпциону линију или широке апсорпционе опсеге гасова. Применом зрачења на две таласне, од којих се једна више апсорбује од друге, одређује се диференцијални молекуларни апсорпциони коефицијент $\Delta\alpha_{mol,abs}$. Уколико је познат диференцијални апсорпциони ефективни пресек за две таласне дужине $\Delta\sigma_{mol,abs}$, концентрација атома гаса или молекула се може директно израчунати. DIAL се користи за мерење гасова типа O_3 , NO_2 , NO , N_2O , SO_2 , CH_4 , HCl , NH_4 и других. DIAL је такође од великог интереса за мерење водене паре. Услед блиских апсорпционих линија H_2O молекула, DIAL у овој примени захтева високу стабилност и спектралну чистоћу емитованог ласерског снопа, као и разматрање Doppler-овог проширења светлости расејане уназад. Новије технике користе температурну зависност апсорпционе линије кисеоника. У овом случају концентрација гаса је позната, а диференцијално апсорпциони ефективни пресек се мери, јер он садржи тражену информацију о температури [39].

Уколико су две таласне дужине DIAL-а на растојању од неколико nm, као што је случај код озонског DIAL-а, диференцијално расејање уназад услед зависности расејања о честицу од таласне дужине светлости, постаје велики извор грешке ове технике. Ефекат је тешко компензовати, уколико су својства расејања о честицу недовољно позната. Алтернатива је Raman-ов DIAL. Код ове технике, два Raman-ова сигнала расејана о кисеоник и азот и узимање у обзир апсорпционог опсега озона се користе, како би се одредио диференцијални коефицијент апсорпције. Коефицијент диференцијалног расејања уназад је у овом случају познат.

DIAL системи, у UV области (UVDIAL) су развијани и пуштани у рад током времена ради праћења загађења и индустријских емисија. Неке раније верзије су биле базиране на два ласера на бојама (са Nd^{3+} :YAG пумпом). Посеђивали су елементе за мапирање концентрације полуаната у хоризонтаним и вертикалним пресецима, скениране атмосфере. Референце [18, 39] показују мерење садржаја живе у елементарном стању (жива се сматра једним од неуобичајених полуаната). DIAL систем за мерење живе се додатно компликује појавом резонантне флуоресценције. Систем је тестиран на пожарном стубу насталом током пожара постројења за прераду хлора, у ком се жива користи у процесу прераде. Једна од варијанти UVDIAL-а под именом ARGOS (Advances Remote Gaseous Oxides Sensor) је дизајниран за мерење O_3 , NO_2 и CO_2 . Шематски приказ ARGOS lidara је дат на слици 2.5.4.

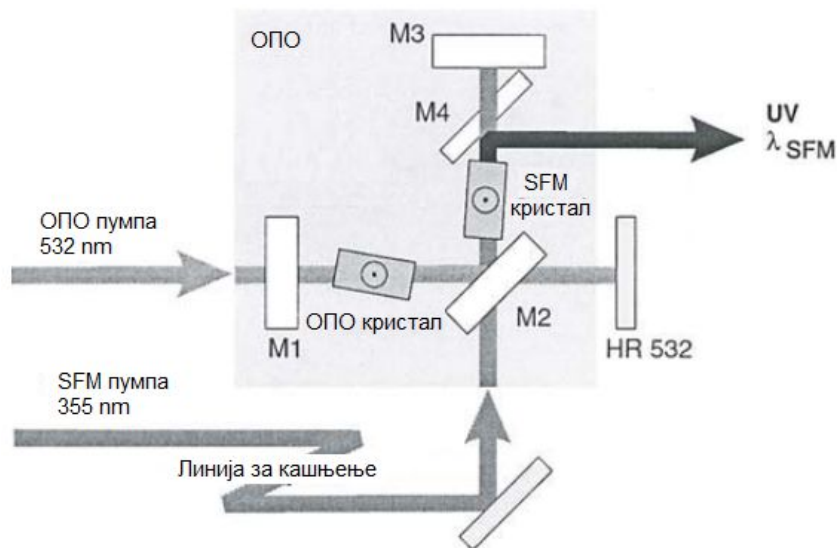
Нека од мерења овог лидара су вршена током провере емисије топионице цинка у Немачкој, као и челичане у Бразилу. Систем OPAL (Ozone Profile Atmospheric Lidar) је дизајниран ради добијања вертикалних дистрибуција само O_3 . Лидар користи хармонике $Nd^{3+}:YAG$ -а, Raman-ов померај са H_2 и D_2 (оба гаса у истој ћелији) и мешање ових фреквенција, како би се генерисале таласне дужине 266, 289, 299 и 355 nm. Све фреквенције се истовремено емитују и раздвајају на пријему филтрима и спектрометром. Таласна дужина 355 nm се користи за мерење профила аеросола. OPAL је коришћен током различитих кампања претходних деценија (уз стална побољшања оптичке конфигурације).



Слика 2.5.4. ARGOS лидарски систем: ДДС дихроидни делитељ снопа, ПКС поларизациони комбинатор снопа, Д - дијафрагма, Ф - филтри, С - сочиво ФМ - фотомултипликаторска цев [43] у [18].

Систем базиран на KrF ексимер ласеру коришћен је такође, за мерење вертикалних профила O_3 . Варијанта UV лидара са оптичким параметарским осцилатором OPO (Optic Parametric Oscillator) је коришћена у више различитих система мерења. Особине овог система (лака употреба, ниска цена, подесивост, уса ширина линије и стабилност таласне дужине) су прошириле опсег примене овог DIAL

система. У референцама је могуће наћи и податке о емитовању од 25 mJ по импулсу у UV области (слика 2.5.5) [18].

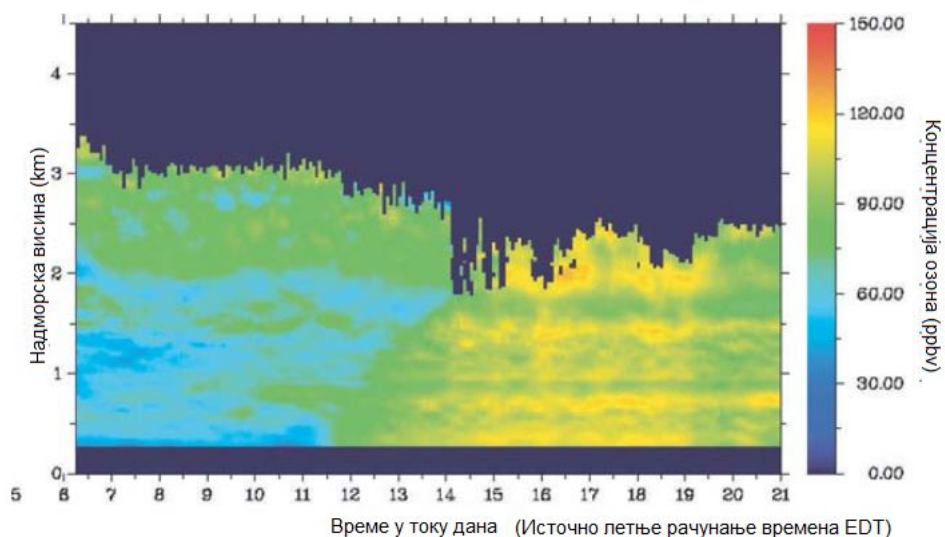


Слика 2.5.5. Поставка оптичког параметарског осцилатора (ОПО) са мешањем фреквенција у резонатору (сабирање sum-frequency mixing SFM) [44] у [18].

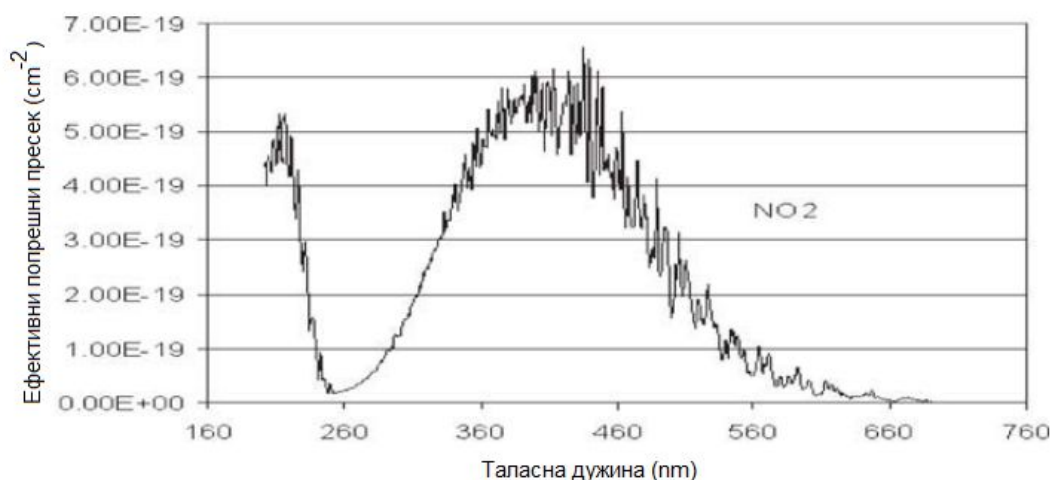
Лидарски систем NEXLASER (NEXt Generation Laser Atmospheric sensor for the South Eastern Region) је био предвиђен само за *загађене* градске области. Максимална пројектована висина је 3 km. Требало је да систем ради у мрежи, како би обезбедио профиле озона у реалном времену кроз урбану област (Интернет конекција ка централној локацији). Прва верзија је била заснована на OPAL концепту (резултати су дати на слици 2.5.6) [18].

DIAL системи у видљивој области су углавном били концентрисани на индустријску емисију и то на NO₂, са максимумом ефективног пресека на 440 nm. NO₂ је продукт сагоревања, али је и директни претходник О₃. Једна од варијанти DIAL система у видљивој области користи таласне дужине блиске 448 nm, што се показало знатно боље у пракси, него што је било претпостављено. Каснија истраживања су укључила детекцију NO₂ до нивоа од 10 ppbv (*parts per billion by volume број-честица на милијарду по јединици запремине*) на висинама до 6 km, са системом на 450 nm. Ради се са излазом на два готово истовремена импулса на две таласне дужине. Развијан је и концепт мерења NO и NO₂ са паром таласних дужина у близини 454 nm, удвојених са паром фреквенција (~ 227 nm). Касније је укључен и Ti³⁺: Al₂O₃ ласер на 447,9 nm (on) и 447,2 nm (off) таласним дужинама. Овај лидар (базиран на Ti³⁺: Al₂O₃) је коришћен у основи система за праћење издувног стуба гасова из дизел генератора на растојању од

125 m (детекциони лимит 200 ppbv). Тренутно је сличан лидар (у опсегу безбедном за људско око) у употреби у Европи за мерење NO_2 . Тренутно је у Европи у употреби NO_2 лидар, у чијој је основи $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$ ласер. Ова конфигурација је безбеднија за људско око. Резултати мерења показују мерне несигурности реда 5 ppbv на растојању од неколико km са резолуцијом реда 100 m. Системи безбедни за људско око су корисни за рутинска праћења у загађеним урбаним окружењима, где је дневна NO_2 концентрација од 50 ppbv уобичајена (слика 2.5.7).



Слика 2.5.6. NEXLASER систем – приказ озонских профила у реалном времену (профили добијени уз помоћ NEXTLASER-a) [18].



Слика 2.5.7. Спектар NO_2 [45] у [18].

DIAL системи у средњој инфрацрвеној области (mid-IR) су у почетним фазама развоја мерили концентрације хлороводоника реда 1 ppm у ваздушном стубу употребом DF ласера ради генерисања линија у близини 3,6 μm . Нека од техничких решења су користила $\text{Co}^{3+}:\text{MgF}_2$ са подешавањем таласних дужина у опсегу од 1,5 – 2,3 μm са енергијом импулса у опсегу од 10 mJ као и 3 Hz фреквенцијом репетиције. Пријемник лидера је са телескопом на 0,3 m са хлађеним InSb детектором.

Мерен је читав низ органских и неорганских узорака метан, пропан, бутан укључујући друге гасове, који се могу детектовати лидарским методама у UV и видљивој области. То се постигло мешањем сигнала фреквенција у опсегу од 785 - 851 nm (ласер на бојама са подешавањем таласних дужина) са излазом $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ ласера, како би се добило ИЦ зрачење у области 3,0 – 4,2 μm , које се даље појачава у оптичком појачавачу.

$\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$ лидар са Raman-овим помаком у средњој ИЦ области подесив у опсегу од 680 nm - 3,2 μm је коришћен за гасове CH_4 , CO_2 , CO и N_2O (максимална висина се кретала 2 – 3 km за сва четири гаса). Закључак самих конструктора DIALa је да је средња ИЦ област прилично добар избор за оваква мерења, јер су подесиви ласерски извори постали доступни. И поред ових оптимистичких предвиђања постоји мало мерења (система) у овој области.

DIAL системи у далекој инфрацрвеној области су описани као системи са предностима приликом детекције гасова, укључујући доступност CO_2 ласера са подесивим линијама дуж већег дела спектралног опсега, чињеницу да многи индустријски гасови имају јединствене спектре у далекој ИЦ области, као и *транспарентност* атмосфере у овом делу спектра. Детектовани су различити гасови, али је за већину ових мерења заједничко да су мерења тј., детекције засноване па принципу испитивања чврстих мета, па се као резултати добијају концентрације по путањи.

Забележено је мерење концентрације амонијака коришћењем CO_2 ласерског система коришћењем топографских мета. Техника је укључила 10P(30) линију на 10,69 μm и 10P(32) линију на 10,71 μm (on/off линије, респективно). Мерена је концентрација NH_3 у опсегу 5 - 20 ppbv са 30 s усредњавањем. Коришћена је и R(30) линија на 9,22 μm као и R(26) линија на 9,24 μm за мерење NH_3 концентрација са 5 ± 15 ppbv коришћењем ретрорефлектора на растојању 2,7 km.

CO_2 DIAL систем (са две таласне дужине) са око 300 mJ по импулсу детектовао је O_3 и H_2O до 1 km раздаљине.

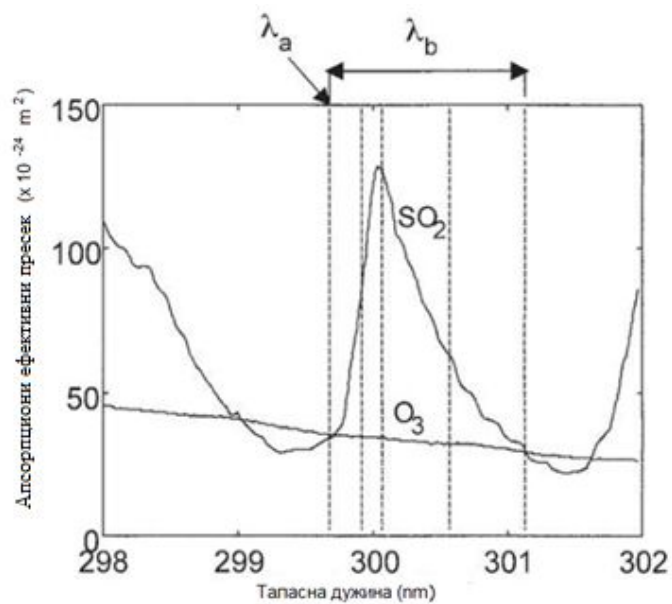
Иако CO₂ ласери могу да обезбеде више линија у опсегу 9 - 11 μm , шум повезан са тренутно доступним детекторима/предпојачавачима за директну детекцију је висок, а коефицијент повратног расејања је генерално мали. Из ових разлога, лидари са директном детекцијом у далекој ИЦ области су мање неосетљиви и практично су DIAL мерења ограничена на раздаљине од 1 km или мање.

DIAL-и са више таласних дужина, као и DIAL-и уопште, могу се посматрати као технике са спектроскопском анализом редукване на апсолутни минимум спектралних елемената (две или више фреквенција). Коришћење више од две фреквенције је очигледно проширење DIAL технике, али се до скоро ово проширење није користило. Као додатак приликом детекције више од једног гаса коришћење више таласних дужина може дати бољи увид у оптичке особине аеросола, што ће побољшати тачност корекција за аеросоле. Нове шеме оптимизације и нови алгоритми анализе ће бити неопходни за одабир оптималних таласних дужина, као и за апсолутно искоришћење додатних података.

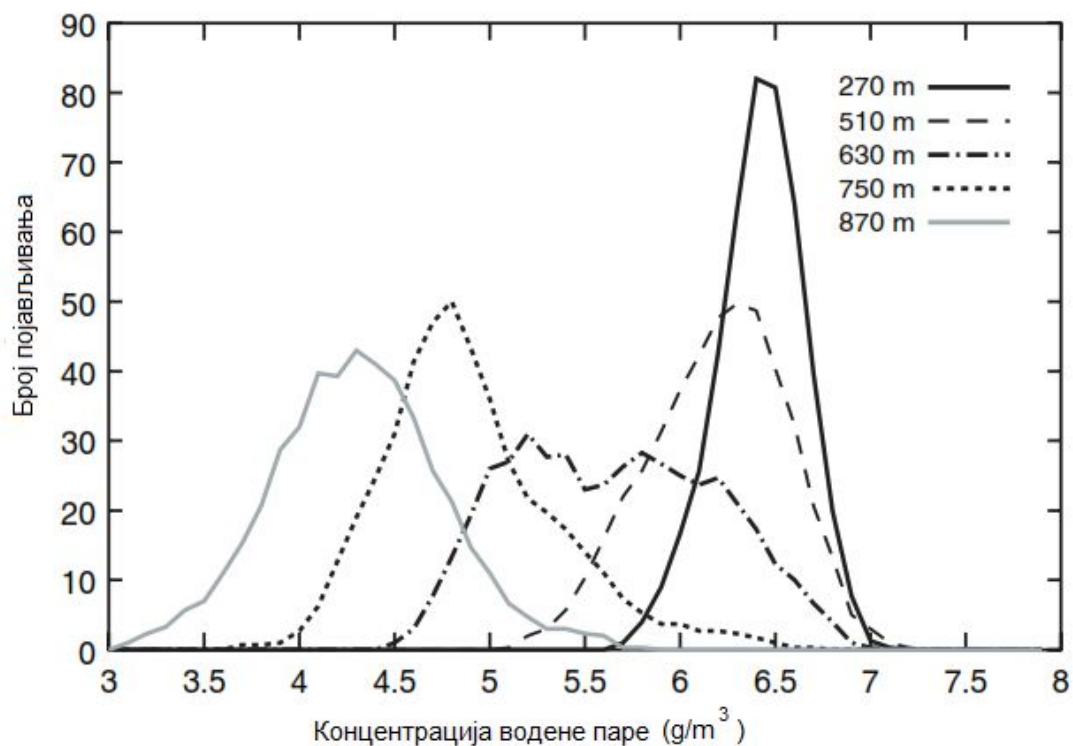
Кораци у развоју ових техника укључују лидарску технику са три таласне дужине за озон, у којој се елиминише аеросолна корекција и интерференција SO₂; системи са три и четири таласне дужине, што мерења чини имуним на дејство интерферентних гасова и значајно се побољшава тачност мерења; као и систем са више таласних дужина, који истовремено мери концентрацију два или више гасова.

DIAL систем са две подесиве таласне дужине (ласер на бојама) је успео да оправда очекивања и при мерењу SO₂ постигао 1 ppbv на 2400 - 3000 m са просторном резолуцијом од 300 m. Систем је назван MDIAL од Multiwavelength DIAL. Даље побољшање овог система је пратило побољшање техника фитовања кривих. Коришћено је пет таласних дужина у околини врха криве апсорпције SO₂ (слика 2.5.8).

DIAL системи се успешно користе и за праћење водене паре. Један од занимљивијих случајева би био утврђивање функције дистрибуције густине (концентрације) водене паре (слика 2.5.9.). На нижим висинама дистрибуција показује доста оштар врх. На већим висинама дистрибуција показује проширење за ниже вредности влаге. На већим висинама дистрибуција се поново локализује за ниже вредности влажности, пре расипања услед шума. Овај пример показује да су профили функција дистрибуције довољно добри за карактеризацију процеса мешања у граничним слојевима.



Слика 2.5.8. Апсорпциони ефикасни пресек за SO_2 и O_3 и таласне дужине коришћене у методи фитовања са пет таласних дужина за SO_2 [46] у [18].



Слика 2.5.9. Функције расподеле вероватноће за концентрацију водене паре на изабраним висинама. Gotland, 13. Септембар 1996 [47] у [18].

Још две „егзотичне“ примене су BELINDA (Broadband Emission Lidar With Narrow Band Determination of Absorption - лидар са широкопојасном емисијом и са уском зоном одређивања апсорпције) и фемтосекундни лидар са белом светлошћу. BELINDA или инверзни DIAL је базиран на емисији ласера погодне спектралне ширине. Два DIAL сигнала се добијају филтрирањем интензитета светлости расејане уназад у центру и на крајевима апсорпционе линије. Са оваквим приступом, утицај проширења линија се може смањити. Негативна страна ове технике је велики губитак сигнала расејаног уназад у процесу филтрирања.

Нова техника са доста изазова је и техника фемтосекундног лидара са коришћењем **беле светлости**. Како је енергија ласерског импулса у fs опсегу ограничена на веома мали интервал времена, снага импулса може достићи вредности неколико TW. Са тако високим вредностима снаге, долази се до квалитативно нових интеракција ласерског снопа са медијумом. Нелинеарни Кер-ов ефекат води ка самофокусирању ласерског снопа у ваздуху, што је праћено генерацијом плазме, која дефокусира сноп и генерише белу светлост дуж путање простирања. Бела светлост се углавном простире у смеру уназад, што значи да је одличан извор за лидарску технику. У смеру ка пријемнику, бела светлост интерагује са атмосферским апсорберима. Спектрална анализа у оквиру лидарског пријемника чини могућим истовремену идентификацију и квантификацију више атмосферских конституената. Иако постоји још мноштво технолошких и теоријских аспеката ове технике, који тек треба да се разреши, ова техника се чини да представља перспективну технику са много широм применом за испитивање атмосфере [18, 19].

У области атмосфере од 80-110 km, у којој се могу наћи танки слојеви, који садрже атоме метала и јона као што су Na, K, Ca, Ca^+ , Li и Fe, отварају се могућности за примену резонантног флуоресцентног лидара. Резонантна флуоресценција се постиже, уколико се енергије долазног фотона поклапа са енергијом прелаза са једног нивоа на други у оквиру нивоа атома, јона или молекула. Говори се о флуоресценцији, јер емисија светлости може да се јави на већим таласним дужинама. У овој примени, реемисија је обично на таласној дужини ласера. Зато се техника често назива и лидарска техника са резонантним расејањем. Изузетно велики ефикасни пресеци расејања за резонантно расејање резултују у интензиван лидарски сигнал и дозвољавају да концентрација атома или јона буде мања од 10^8 m^{-3} за растојања већа од 100 km. Додатно, Доплерово проширење и померај NaD_2 линије се користи за одређивање температуре и параметара ветра.

Турбуленција и ветрови су макроскопске манифестације колективног кретања атмосферских молекула и честица. Компоненте интензитета расејања дуж линија посматрања ласерског снопа и Doppler-ових помераја светлости расејане уназад, померају се ка вишим фреквенцијама, уколико се расејавачи крећу ка лидару или обрнуто. У оптици се констатује трансверзални и лонгитудинални Doppler-ов ефекат по правилима развијених теорија у релативистичком формализму, који се према брзинама кретања центара расејања и околног флуида различито апроксимира. Одређивањем фреквентног помераја, може се мерити брзина ветра дуж лидарске линије посматрања. Фреквентни померај је пропорционалан односу брзине ветра и брзине светлости (врло је мали). Детекција тако малог фреквентног помераја захтева специфичне инструменте и технике детекције. Кохерентни Doppler-ов лидар се базира на емисији мономодног - *једнофреквентног* ласерског снопа и детекције кохерентне светлости расејане уназад о покретне честице. Сигнал се на детектору меша са сигналом локалног осцилатора-ласера, па се одређује разлика у фреквенцијама. Како би се одредио и предзнак помераја, а не само његов интензитет користи се хетеродина детекција, тј. фреквентна *раздешеност* (*offset*) се уводи између емитованог ласерског импулса и локалног осцилатора. Doppler-ов лидар у смеру директне детекције користи молекуларну компоненту расејану уназад и мери фреквентни померај применом уских спектралних филтера.

6. Линеарни и нелинеарни ефекти

Како су за основу ове дисертације изабрани специфични узорци, који се у току моделовања не могу у сваком случају представљати као материјал униформисаних параметара без више слојева, то се избор модела, који задовољава систем знатно сужава. У датим случајевима, познавање параметара апсорпције и расејања је неопходно за правилно предвиђање исхода, различитих деловања.

Један прилаз моделовању при третирању живих узорака је везан за домен фотохемијских процеса. Апсорпција светлости и ефекти изазвани зрачењем показују линеарне и нелинеарне зависности. Живи „узорци“ имају више врста ткива, која међусобно нису независна. Ткива поседују специфична оптичка својства (апсорпција, рефлексија, трансмисија, расејање) и специфична топлотна својства (као што су топлотна проводност, топлотни капацитет, емисивност и др.). Извори зрачења, такође, уводе одређене параметре у систем: таласна дужина, време експозиције, примењена енергија, густина енергије и густина снаге. Један од битних параметара је време експозиције.

Увођење ласера у различита истраживања, довело је до значајног броја категорија испитивања од којих је данас доминантно неколико:

- Фотохемијска интеракција,
- Топлотна интеракција,
- Фотоаблација,
- Аблација изазвана плазмом и
- Фотодисрупција.

Физички процеси, који су у основи ових интеракција су разнородни и сваки случај поседује специфичан сет законитости и услова. Све се своди на проучавање микроскопских механизма у оквиру процеса конверзије ласерске енергије. Сваку интеракцију је могуће пратити макроскопским посматрањима тока процеса. Поменуте интеракције по густини енергије се крећу у домену од 1 J/cm^2 до 1000 J/cm^2 у медицини и биологији [22]. Ово је значајан податак, јер параметар, као што је густина енергије из овога није пресудан параметер за разграничење интеракција.

Постоји група фотохемијских интеракција, које као последице деловања светлости, индукују хемијске ефекте и реакције у макромолекулама, на ћелијском нивоу или на ткивима. Један од најважнијих процеса је фотосинтеза. У медицини, фотохемијска интеракција игра важну улогу током фотодинамичке терапије (PDT photodynamic therapy). Биостимулација припада овом типу интеракције, иако граница није још увек јасно дефинисана. Фотохемијске интеракције се везују за условно врло мале густине снаге (типично 1 W/cm^2) и за дуга времена експозиције (од 1 s до других излагања у континуалном режиму рада).

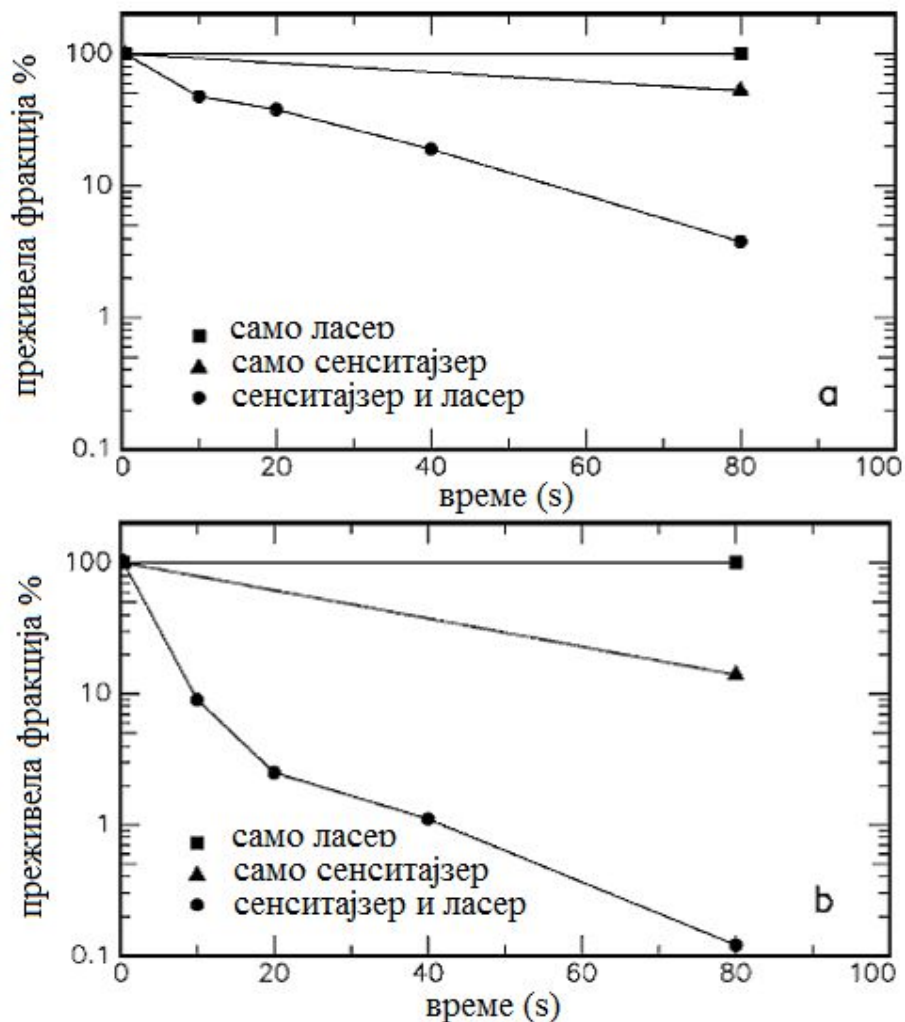
Пажљиви избор ласерских параметара, доводи до жељене дистрибуције зрачења у самом ткиву. У већини случајева се предвиђени процеси уз интеракцију погодено редистрибуирају. Често се користи зрачење у видљивом делу спектра, јер је ефикасност и дубина оптичког продирања задовољавајућа. Друга карактеристика је, изузетно значајна, уколико је циљ да се допре до дубљих слојева ткива. PDT подразумева да се у одређено ткиво (тумор, бактерије,...), на неки начин, унесе адекватно фотоосетљива супстанца, да се затим осветљавањем погодено одабраним ласерским системом изазове реакција у датој регији и да се тиме изазову различити степен загревања ткива укључујући и некрозу. Ово се не примењује само на туморе, већ и на бактерије у денталном плаку, слика 2.6.1 [22].

Биостимулација почиње са веома ниским снагама и припада групи фотохемијских интеракција. Израз биостимулација сам по себи није егзактно дефинисан. Могућности коришћења малих снага ласерског зрачења (1 - 5 mW) на биолошка ткива је предмет различитих разматрања и контраверзних тврдњи. Главно питање је да ли је за овакву интеракцију битнији избор таласне дужине, ширине линије, поларизације или неки други параметар.

Такође, остаје да се потврди да ли је могућа, бар за неке процесе замена кохерентних извора некохерентним. Од првих примена квантних генератора у медицини недвосмислен је став, да су могућности и квалитет интеракције неупоредиви са деловањем спонтаних извора. Детаљна мерења, истраживања и поновљиви експерименти у области су веома битни за разлучивање биостимулације од фотохемијске интеракције уопште [22].

Топлотне интеракције, које представљају велику групу типова интеракција, карактерише пораст локалне температуре, што је уједно и један од параметара интеракције. Топлотни ефекти се могу индуковати cw (continuous wave – континуални

режим) или импулсним режимом рада ласера (дефинисане фреквенције репетиције и амплитуде). Док су фотохемијски процеси често вођени специфичностима појединачних реакција, термални ефекти су у глобалу неспецифични. У зависности од времена трајања и максималне вредности постигнуте температуре ткива, јављају се различити ефекти, као што су: испаравање, угљенисање, топљење. За ову групу интеракција изузетно је битан избор модела (генерисање топлоте, транспорт топлоте и повезани ефекти).



Слика 2.6.1.а) Ефекат метилена и/или He-Ne ласера (снага 7,3mW) на одрживост *Streptococcus sanguis*. б) Ефекат хематопорфирински естер и/или He-Ne ласер (снага 7,3mW) на одрживост *Streptococcus sanguis* (сенситајзер – често се користи и израз контраст) [48] у [22].

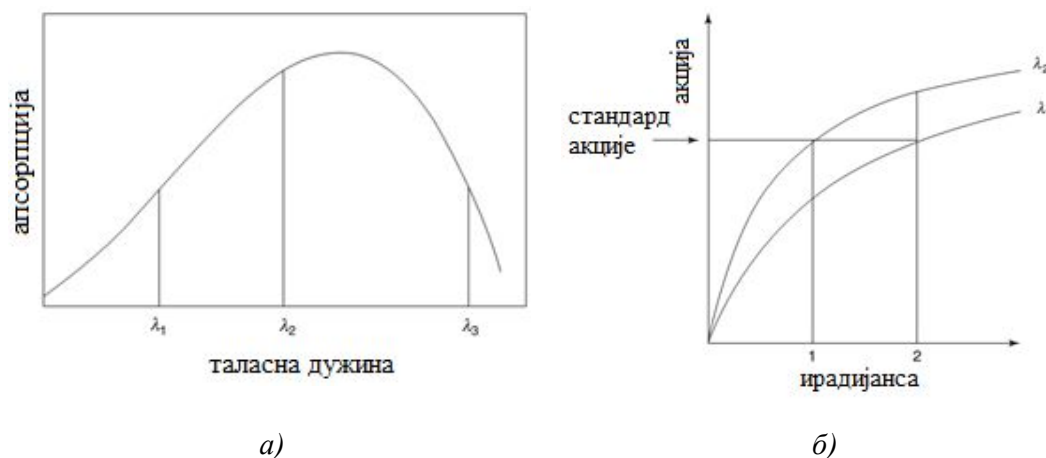
Како је карактеристичност узорка од великог значаја, у овој тези потребно је поменути читав спектар нових грана науке, које су заједничким именом назване

фотобиологија, а баве се интеракцијом светлости (нејонизујућег зрачења, граница је око 10 eV) са живим организмима и обухватају: фотосинтезу, фотоморфогенезу, визуелно процесирање (вид), циркадиални (circadian - *circa a day*) ритам, биолуминисценцију и ефекте ултраљубичастог зрачења.

Процес фотосинтезе припада дефинитивно једној од најзанимљивијих појава у еволуцији Земље. Фотохемијски процеси преношења енергије током фотосинтезе почињу са фотоиницијализованом реакцијом електронског трансфера. Сам процес фотоиницијације се назива и *жетва светлости* [11].

7. Прагови специфичних процеса, материјали и модели

Акциона спектроскопија. АС је метода, која се бави утврђивањем иницијалних процеса у фотобиолошким и фотохемијским процесима. Другим речима, метода служи да се утврди и идентификује, који молекули, од интереса, апсорбују светлост. Што се више светлости апсорбује, већи је утицај на систем, који се испитује. Поређењем ефеката изазваних светлошћу, мерење релативног апсорпционог спектра на различитим таласним дужинама, даје корисне информације о испитиваном узорку (апсорпциони спектри смеша и сл.). Уколико су мерења адекватно изведена, могуће је идентификовати компоненте, које апсорбују светлост у оквиру фотопроеса, који се испитује. Уколико се само пореде ефекти одређене светлости (одређене ирадијансе), на различитим таласним дужинама, ови ефекти немају исти међусобни однос, као одговарајући коефицијенти апсорпције (слика 2.7.1 а, б).



Слика 2.7.1. Основе акционе спектроскопије: а) концепт акционог спектра, б) ефекат различитих експозиција узорка (истог узорка као под а) светлости таласних дужина λ_1 и λ_2 . Ефекат акције светлости је дат на вертикалној оси. Поређење колико је светлости неопходно да се постигне одређени ефекат или акција - стандардна акција (праг). Пример показује да је два пута већа „акција“ неопходна на λ_1 него на λ_2 . Закључује се да систем поседује активни пигмент два пута мање ефикасан на λ_1 него на λ_2 [11].

Акциона спектроскопија је откриће пигмента, који је у основи система „вида“ биљке – фитохрома. У почетку се знало да се неки ефекти „црвене“ светлости на биљке могу поништити излагањем биљке далекој црвеној светлости (после излагања црвеној светлости). Нека семена не клијају после излагања црвеној светлости, осим уколико пре тога нису била у води. Црвена светлост је овде показала најизраженији ефекат.

Клијање се може спречити излагањем семена далекој црвеној светлости (720 - 740 nm) [11].

Прагови. Код узорака неорганског порекла, постоји више различитих дејстава ласерског зрачења на материјал. Једно од основних је топлотно дејство. Топлотно дејство ласерског снопа на узорак (различити материјал), може да се опише топлотним једначинама. Пре дефинисања самог прага акције било ког типа, потребно је разграничити у оквиру коришћеног математичког апарата у којој области (у зависности од параметара дејства) се врше, које апроксимације и који математички модел ће најбоље (оптимално) описати дејство ласерског зрачења на материјал. Интересантно је да се баш мерење универзалних критичних параметара (за материјале) решава путем динамичког расејања ласерских снопова [49].

Модели. Моделовање интеракције ласерског зрачења са материјалима укључује широки опсег густина снаге, времена интеракције и појаве током транспорта, а мора да се бави различитим величинама објеката, који се обрађују (опсези се крећу од nm до m). Израчунати и измерени прагови могу у реалним системима да се значајно разликују и зато је потребан даљи рад на моделовању и детаљном истраживању. У овом смислу, потребно је велике количине мерених вредности поделити на области, у којима су доминантни поједини ефекти (у циљу упрошћавања система). Преклапања датих области не дозвољавају тако лако занемаривање појединих ефеката.

Материјали. Све већи број метода испитивања материјала у видљивој и блиској инфрацрвеној области спектра се заснива на коришћењу фантомских ткива, које су у датој области спектра *оптички еквиваленти*. Оптички еквиваленти, тј. фантоми су идеална замена за испитивања у којима је неопходно вршити *in vivo* мерења [11].

8. Испитивање узорака биљног порекла

Испитивање узорака биљног порекла захтева свеобухватан приступ различитим проблемима. Како би проучавање остало у домену интеракције са материјалом, потребно је адекватно разумети предисторију узорака, правилно моделовати узроке (који ће као систем реаговати на озрачивање и параметре зрачења уврстити у своје „преносне функције“), дистанцирати се од претпоставки из домена биологије и статистички обрадити резултате. Овакво истраживање је подухват, који захтева исцрпне ресурсе (временске, материјалне и људске) и није га могуће спровести без дугогодишњег рада. У том смислу, испитивање узорака биљака, као сложених живих система, наставља се даље [50, 51, 52, 53].

Напредак у испитивању може се постићи како проширењем узорка, тако и продубљивањем математичке анализе узорака. Продубљивање подразумева додиривање са сродним областима биологије. Како би се избегле грешке у тези се користе, како резултати мерења, тако и резултати из референци [41, 51, 54, 55].

Утицај ласера на биоорганизме, репарациони механизми и корелације

Различити апарати наука, које се баве фотопроецима у различитим врстама биоорганизама на макроскопским системима, ткиву и микроскопском нивоу (ћелијски и међућелијски простор), обogaћени кохерентним изворима са мноштвом нових ефеката, *превели* су испитивања биоорганизама у једно сасвим ново доба, у којем се испитивања врше на живим организмима и у којем расправљамо о „Хамилтонијану живота“ [56].

Богатство ефеката са кохерентним изворима треба разјаснити, како би се нелинеарне науке, које се баве ефектима у оптичким, акустичким и другим појавама, подстакле да објасне поред макроскопских и квантне ефекте. Ту су и линеарни и нелинеарни ефекти и сагледавање са стране анизотропије, дисперзије. Нелинеарни доприноси су везани са мноштвом електро-оптичких, опто-акустичких и магнетно-оптичких ефеката. Неретко се објективно описивање интеракција физичким законима додатно усложњава узимањем у разматрање и електричних карактеристика узорака (нпр. бактерија), вишефотонских процеса, итд [57].

Низ спектроскопских техника, о којима је било речи, укључујући методе, које користе процесе апсорпције, еластичног и нееластичног расејања, омогућују много објективније испитивање *живог света*. Помоћу њих је развијено много неструктивних спектроскопских метода. У мноштву мерења, битно је уочити могућности и резолуције

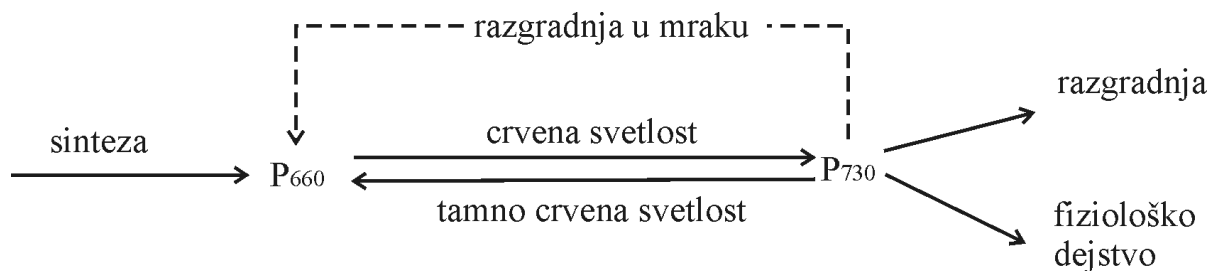
појединих техника, односе UV, IC, далеке IC области и Ramanovog расејања, електронских спектра, рефрактометрије. Посебна истраживања су посвећена детекторима и изворима [58, 59, 60, 3, 61, 62, 63, 64].

Са друге стране, микробиолошки, биофизички модели ласерског дејства су спрегнути са биофизичким моделима радиолошких ефеката, јер су појаве регенерације и даље недовољно разјашњене.

Биополимери и уопште полимери су увек актуелне теме код разматрања материјала органског порекла, појављују се у много модела интеракције, а данас и као материјали за запис [65].

Улога фитохрома у биологији

Фитохромни процеси са својом стандардном шемом наговештавају да се под дејством фотона $h\nu_1$ дешавају прелази на нестабилан ниво фитохрома Б, што је праћено загревањем или емисијом светлости. Посматрањем времена преласка из А у Б, развија се оптички принцип фитохрома (Слика 2.8.1.). Све реакције у биоелементима (лист, око) морају бити реверзибилне, у супротном организам не би преживео. Разматрана времена се простиру од дела секунде до минута. Биохемијски процеси могу трајати и 24 h.



Слика 2.8.1 Фитохром процес [66].

Процес у различитим биосистемима није разјашњен у потпуности, иако је доста рађено и теоретски и експериментално. Могући су разни специфични ефекти за резонантне процесе. Утицај температуре је значајан, али је остао проблем поновљивости експеримента. Посебно је потребно разјаснити разлике дејства кохерентног и некохерентног зрачења и њихова мешовита дејства.

У делу фотобиолошких процеса се дефинише само описно црвено, ИЦ, тамно црвено зрачење, итд. Тек у релативно новијој литератури се идентификују карактеристичне таласне

дужине. Фотохром-пигмент виших биљака је одговоран за фотопериодизам. Видљива светлост (660 nm) изазива одређену дозу периодизма, а ИС зрачење изазива гашење ефекта. Нађен је пигмент са апсорпцијом на 660 nm и коефицијентом екстинкције $7,6 \cdot 10^{-4}$. Црвена светлост помера максимум овог пигмента ка ИС области на 730 nm. У мраку, максимум лагано опада. Убрзање прелазака је изазвано применом ИС зрачења. Анализираће се само неколико примера изабраних из великог броја фотопроееса.

Детаљније разматрање апсорпционог спектра показује да пигмент апсорбује у плавом, црвеном и тамно црвеном делу видљивог електромагнетног спектра, као и да су максимуми на 660 и 730nm.

Фитохром је хромопротеин са ковалентним везама хромоформне групе и отвореним ланцем хлорофила. Праћење процеса у фитохромном систему може бити од посебног интереса. За сада није поуздано потврђено да ли фитохроми имају утицаја на оба процеса - транскрипцију и преводње (RNK) и да ли постоји каскадна активација гена.

Променљивим озрачивањем са *црвеним* и *тамно црвеним зрачењем*, крајњи ефекти зависе од квалитета последњег примењеног зрачења, пре следећег фотореверзибилног процеса (нереверзибилне промене у биљкама изазване светлошћу).

Излагањем некохерентној светлости, ефекти тамно црвеног опсега су експоненцијално зависни од броја фотона (доза излагања), а закон количине ексцитације важи. Ефекти фотопроееса су повезани са интензитетом светлости и временом експозиције, што се у биологији одражава кроз линеарне законе. У опсегу $0 \div 40^\circ\text{C}$, ефекти црвене и тамно црвене светлости су независни од температуре. После клијања, друге фотоморфолошке промене на биљкама (или деловима биљака) су бројне. Највеће промене настају на интензитету дисања биљака, повећаном стварању RNK у котиледонима, повећаној градњи протеина, еволуцији примарног лишћа, повећању вероватноће негативних биогеотропских реакција хипокотила, синтези антоцијана, повећаној деструкцији резервних липида и протеина, итд.

За нормалну умешаност морфогенетских процеса у еволуцији биљака, интеракција фитохрома и гибелина је значајна (гибелини су хромозоми биљака хемијски окарактерисани присуством гибелинског прстена у молекулу, чије основно физиолошко правило је да утичу на продужавање биљке). Временски распоред процеса, који се развијају под утицајем гибелина у алеуронском слоју кукуруза је изузетно важан.

Претпоставља се да се примарно дејство фитохрома у биљкама остварује посредством промене нивоа хормона. Светлосно зрачење у црвеном опсегу утиче на концентрацију хормона у биљкама. Стимулативно и инхибиторно дејство светлости има квантитативан карактер. Ово двојако дејство омогућује фитохром.

Фитохормони имају значајну улогу у свим фазама раста и развића биљака. Они су уједно и једна од значајних карика у механизму контроле клијања. Литература [56, 58, 59, 60, 61] указује да они учествују у процесу разградње резервних материја у току клијања. У току клијања долази до синтезе гибберелина. Дејство гибберелина на процесе у биљкама је вишеструко. Они делују на: висину раста биљке, образовање цветова, мировање семена и пупољака, итд.

Модели озрачивања биолошких структура

Неколико модела је базирано на термодинамичком приступу и на генералисаним термалним једначинама. Један од проблема је редукован на трансмисију зрачења кроз слојеве ткива, што је описано њиховим топлотним особинама (проводност, специфичне топлоте, итд.), густином и специфичном густином енергије зрачења (површинском или запреминском). Моделовање је засновано на разматрању морфолошких, топлотних и других својстава [41, 42, 55, 67, 55, 68, 59, 60, 69, 70, 71, 72, 73].

Коефицијенти рефлексије, имају врло важну улогу, јер одређују апсорбовану и трансмитовану снагу, а често се у литератури о томе не води много рачуна. То чини неизбежним праћење флуксева апсорбоване, трансмитоване и рефлектоване светлости и укључивање неколико различитих метода мерења, међу којима би било пожељно укључити и акустичке, односно оптоакустичке параметре (Sreckovic et al, 2015a; Sreckovic et al, 2015b; Sreckovic et al, 2104b).

У претходном разматрању се помињу различита становишта избора модела. Узорак сам по себи уноси специфичност у модел. У случају младе пшенице, може се уочити 7 слојева, где је један од ових слојева перикарп (спољни зид семена). У зрелом семену пшенице, спољашњи зид семена се састоји од 3 слоја. Зид постаје дебљи, чиме штити семе. Основни резервни материјали, липиди, угљени хидрати и протеини се налазе у ендосперму, док је ембрион на периферији ендосперма.

Механизми ласерске репарације биљака, животиња и биоорганизама уопште, на које је деловано нуклеарним зрачењем су интензивно проучавани, као и ефекти ласерских снопова на генетску ефикасност. То укључује озрачивање ласерским сноповима, пре и после нуклеарног зрачења. Ови модели су комплекснији од претходних [74].

Ласерски снопови и ефекти модулације различитих мутагена. Ефекти мутације у ћелијама индуковани ласерским сноповима су област интензивног изучавања. Фибробласти и диплоидне хумане ћелије су излагане различитим типовима ласера (ласери на чврстом телу, полупроводнички ласери, ласери на течностима, ласери са шупљом катодом). Коришћени су рубински (и његови виши хармоници), He-Ne и He-Cd ласер. Експозиције показују највише процената хромозомских аберација у случају примене другог хармоника рубинског ласера $20 \div 30 \text{ min}$ након импулсне експозиције. UV зрачење помаже у репаративним процесима. He-Ne ласер изазива повољне ефекте, као модификујући фактор на људске фибробласте претходно изложене неутронском флуксу. Уочени су позитивни ефекти.

Ефекти UV и видљиве светлости на ДНК репарацију су посматрани коришћењем зрна пшенице сушених ваздухом и комбинације зрачења рубинског ласера и његовог другог хармоника [74]. Анализе фреквенције хромозомских аберација су вршене 30 min и 48 h након озрачивања.

Комбиновани ефекти He-Ne ласера и гама зрачења су уочени у проклијалом семену пшенице у Табели 2.8.1. Стимулативни ефекти на ДНК репарацију ћелија претходно излаганих гама зрачењу су потврђени на ћелијама корена пшенице.

Позитивни ефекти He-Ne ласера су примећени код проклијалог семена пшенице у ћелијама корена и код сушеног семена јечма, претходно изложеног гама зрачењу. У референци [63] је проучавана фреквенција структурних хромозомских промена у корену пшенице на ћелијском нивоу.

Експерименти са сушеним семеном јечма, потврдили су негативан утицај He-Cd ласерског снопа (број хромозомских аберација расте, ако је ласерском озрачивању претходило гама зрачење).

Ефекти ласерских снопова на модификацију мутагене ефикасности

Установљени су позитивни, као и негативни ефекти ласерских снопова на мутагену ефикасност јонизујућег зрачења. He-Cd ласер (светло плава $\lambda = 441,6 \text{ nm}$) повећава вероватноћу ефеката мутације услед јонизујућег зрачења (у медицинској терминологији се ласерско зрачење не укључује у јонизујућа зрачења, него само нуклеарно, гама и др). С обзиром да велике густине снаге ласерских снопова изазивају јонизационе ефекте, то терминологија јонизујуће и нејонизујуће, заслужује посебну дискусију. Извршени су експерименти са семеном јечма и семеном пшенице (тип *Ленинградка*) изложеног посебно

зрачењу He-Cd и гама зрачењу, као и комбинацији ова два типа зрачења. Резултати показују сличне али мање изражене ефекте зрачења He-Cd ласера на ефекте мутације од X зрака.

Табела 2.8.1. Комбиновани ефекти He-Ne ласера и гама зрачења у проклијалом семену пшенице [74].

Врста зрачења	Доза - експозиција	Број анализираних анафаза и телофаза	
		n	Проценат аберација (%)
Контролно	-	1375	0,9 ± 0.2
гама зрачење	0,5 C/kg	515	30,0 ± 2.1
He-Ne ласер ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$)	20 mW/cm ² × 30 min	1596	1,4 ± 0.3
гама зрачење + He-Ne ласер ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$)	0,5 C/kg + 20 mW/cm ² × 30 min	804	16,0 ± 1.3

Супротни ефекти, где ласерско зрачење смањује генетске мутације индуковане јонизујућим зрачењем су уочени у експериментима са семеном јечма тип *Надиа*, где је коришћен други хармоник рубинског ласера.

Утицај кохерентног зрачења на биоорганизме и биосистеме. Живи организми су у току свог живота изложени различитим утицајима околине. У случају биљног света, тешко је генерално квантитативно оценити све ефекте, који утичу на развиће биљака. Тежина проблема је везана за компликовано остварење репродуктивности (поновљивости) експерименталног рада и на то да све анализе извршених модификација треба пратити методама недеструктивне природе. Зато је у овој тези изабран утицај кохерентног зрачења на раст и развиће биљака [63, 74].

Утицај светлости на биљке - фотопериодизам и фотосинтеза. Класична разматрања утицаја електромагнетног зрачења на биљке, у опсегу, које покрива првенствено сунчев спектар је разматран у светлу дејства спонтаног зрачења. Тако су дефинисани фотопериодизам и фотосинтеза.

Фотопериодизам се односи на морфозе, које иницира *осветљеност* биљака у току дана. Изложеност, фотопериода, одређује прелазак биљке из вегетативне у генеративну

фазу. Овакав приступ дефинисања утицаја светлости је широко распрострањен. У квантитивном проучавању процеса насталих озрачивањем биљака или семена, морају се укључити величине као што су: енергија, густина снаге или експозиција, итд. Овде би фотометријска мерења дала одговоре на прецизне податке о дефинисаним параметрима амбијента и изложености биљке.

У случају да се не испуни специфичан захтев према дужини дана код многих биљака неће се остварити очекивано развиће. Основни биолошки значај фотопериодизма је у прилагођавању условима спољашње средине, тј. искоришћењу повољних еколошких услова у току године. Дужина дана и ноћи, утиче на бројне процесе у току онтогенезе биљке: дужину интернодија, отпорност према мразу, садржај пигмента, опадање лишћа и др.

Трајање дневног осветљења се највише одражава на индукцију цветања, због чега се као основни критеријум фотопериодизма узима највећа или најмања дужина дана, потребна за прелазак у генеративну фазу. Иако је дужина дана значајна за иницирање цветања, само цветање се касније одвија независно од фотопериоде. Према томе како реагују на дужину дана, биљке се деле на: биљке дугог (БДД), биљке кратког дана (БКД) и дневно неутралне биљке (Табела 2.8.2).

Табела 2.8.2. Зависност индукције цветања од фотопериоде разних биљака [75].

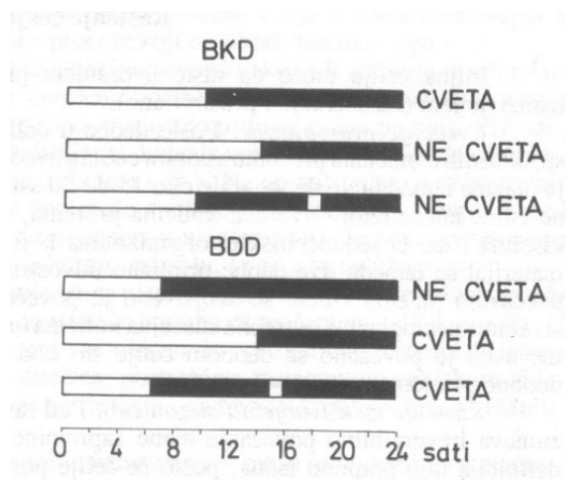
Биљке дугог дана	Дневно неутралне биљке	Биљке кратког дана
* <i>Avena sativa</i>	<i>Agrimonia eupatoria</i>	<i>Cannabis sativa</i>
* <i>Tricum Aestivum</i>	<i>Crdamine amara</i>	* <i>Chrysantemun indicum</i>
* <i>Secale cereale</i>	<i>Cucumis sativus</i>	* <i>Chrysantemun hort.</i>
* <i>Alopecurus prantesis</i>	<i>Euphorbia lathyris</i>	* <i>Coffea Arabica</i>
* <i>Anthoxanthum odorantum</i>	<i>Fagopyrum vulgare</i>	<i>Dahlia variabilis</i>
* <i>Festuca elatior</i>	<i>Helanthus tuberosus</i>	* <i>Lemna perpusilla</i>
* <i>Lolium temulentum</i>	<i>Pastinaca sativa</i>	* <i>Euphorbia pulcherrima</i>
* <i>Phleum prantense</i>	<i>Soja hispida s</i>	* <i>Soja hispida s</i>
* <i>Poa prantensis</i>	<i>Solanum tuberosum s</i>	* <i>Solanum tuberosum s</i>
	<i>Zea Mays s</i>	* <i>Zea Mays s</i>

* – квалитативне (апсолутне) биљке БДД, односно БКД, све остале реагују квантитативно; s – одређене сорте

Ова подела биљака на три групе је доста поједностављена. Сама подела је могућа и на квалитативне, тј. апсолутне или квантитативне биљке дугог и биљке кратког дана. Како би се покренуло цветање, потребно је постићи одређени број индуктивних циклуса, тј. смена дан – ноћ (период *светлости* и *таме* у току једног дана, ако није у питању природно

осветљење - сунчево зрачење). Број циклуса потребан за индукцију цветања зависи и од трајања појединачних циклуса.

Тако је за одређене биљке правилније рећи *биљке дуге ноћи*, него *биљке кратког дана*. На слици 2.8.2. је пример кад биљка кратког дана не цвета, уколико се потребан период дуге ноћи прекине поремећајном светлошћу. Такође, биљке дугог дана у условима кратког периода осветљења, у току дана ће процветати, уколико се дуг период таме прекида краткотрајним осветљајима.



Слика 2.8.2. Утицај светлости током раздобља мрака на индукцију цветања код биљака кратког и дугог дана [66].

За одвијање фотохемијских реакција у биљкама, потребни су одређени фоторецептори и одговарајуће електромагнетно зрачење одређене таласне дужине. Под фотосинтетички активном радијацијом се сматра опсег таласних дужина, у оквиру кога се врши фотосинтеза. Код виших биљака се овај опсег креће од 390 до 710 nm.

Помоћу својих фоторецептора, биљке апсорбују део светлости видљивог дела спектра и користе је у фотосинтези. Енергија електромагнетног зрачења, која доспева на површину биљке се једним делом апсорбује, једним делом рефлектује, а остатак пролази кроз ткиво биљака. За одвијање животних процеса најбитнији је део светлости, који се апсорбује. Овај део светлости зависи од особина биљака, спектралног састава светлости и др. Неки усредњени подаци о заштитном дејству епидермиса су да се UV зрачење апсорбује свега 2 - 5 %, фотосинтетички активна радијација се апсорбује 70 - 90 %, 5 - 12 % се рефлектује, а 5 - 8 % се пропушта. Зрачење у блиској ИЦ области се слабо апсорбује (апсорпција воде), а зрачење у далекој ИЦ области се апсорбује око 98 %. У Табели 2.8.3 се може видети

процентуална апсорпција светлости на различитим таласним дужинама у различитим месецима за биљку *Evonimus verrucosa*.

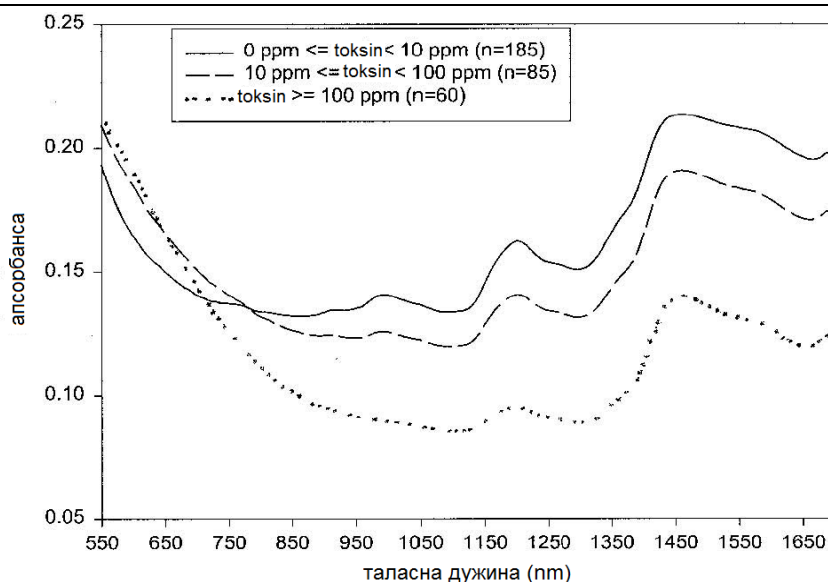
Инфестација биљака. Биљке су током свог раста и развића често инфестоване различитим паразитима (инсектима и сл.). Праћење нивоа оштећености самог приноса, као и стања током складиштења приноса је од изузетног значаја за пољопривреду. Налажење погодног аналитичког - нумеричког и мерног прилаза је важно са гледишта екологије, медицине и агротехнологије [76]. То су задаци за теорије препознавања облика и избор погодних оптичких особина инфестованих и неинфестованих биљака у циљу избора оптималног прилаза.

Табела.2.8.3 . Коефицијент апсорпције листова *Evonimus verrucosa* [%] [51].

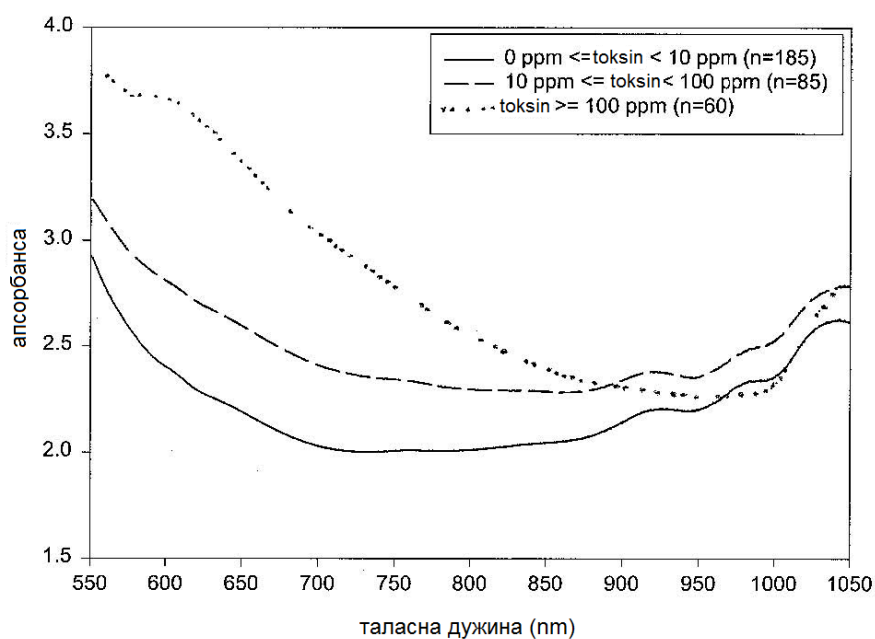
Таласна дужина (nm)	7. V	1. VI	25. VI	23. VII	18. VII	15. IX	15. X
760	9,5	10,5	13,0	13,0	14,0	19,5	16,0
800	8,2	9,5	9,0	11,0	12,5	17,5	14,0
850	9,0	9,2	9,0	10,0	12,0	16,5	13,0
900	9,0	9,5	9,0	9,5	12,0	16,5	13,0
950	10,5	10,5	9,0	9,0	13,0	17,0	14,0
1000	10,5	11,0	10,0	12,0	12,5	17,5	15,0
1050	10,5	11,0	10,0	11,0	12,0	16,0	14,5

Рефлексија и њен квалитативни и квантитативни опис. Различите студије, бавиле су се развојем метода за детектовање инсеката у унутрашњости биљака, што је неопходно, јер се визуелним методама не може ефективно детектовати инсект у унутрашњости. Временом су се појавиле спектроскопске методе и у блиској ИЦ области (NIR near infra red) и методе, које користе природну флуоресценцију.

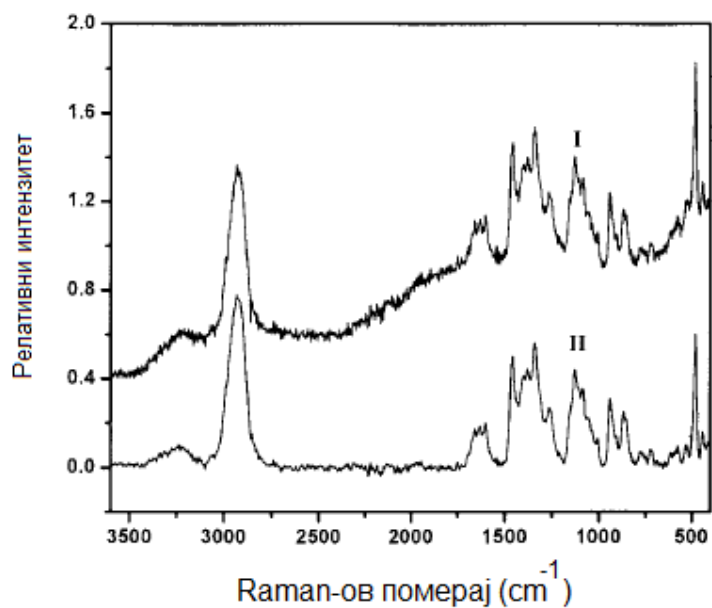
Код бројних аутора [77, 78, 79, 80, 81, 82] је могуће наићи на одређене податке, који говоре у прилог чињеници да је могуће разликовати инфестоване и неинфестоване биљке (слике 2.8.3., 2.8.4, 2.8.5).



Слика 2.8.3. Просечни апсорпциони спектар када се анализира рефлектована енергија од зрна кукуруза. Апсорпција је мерена по зависности $\log(1/R)$ [81].



Слика 2.8.4. Усредњени спектар апсорпције кукуруза који садржи различите нивое фумонисина. Спектар је добијен путем мерења трансмитансе $\log[(S_0-D)/(S-D)]$, где је S_0 - стандардни спектар, D - спектар у мраку, а S - мерени спектар кроз узорак [81].



Слика 2.8.5. Некоригован Raman-ов спектар целог семена пшенице (I) и коригован на флуоресценцију и Fourier-ово (50%) равнање спектра. (II) [78].

Већина класичних модела, за класификовање, користи одређене информације добијене из виљивог дела спектра. Такође, класификациони модели користе и информације из NIR спектра. Овај део спектра указује на хемијске конституенте у инфестованом и неинфестованом семену, које се испитује.

9. Испитивање узорака животињског порекла

Испитивање различитих узорака захтева динамично мењање метода, што због провере резултата што због уклањања грешака (процена несигурности), које се могу јавити у току испитивања. Када причамо о узорцима из *живог света*, као и у случају узорака биљног порекла, постоје два основна правца *in vivo* и *in vitro*. Карактеристично за узорке живог света је и то, да су састављени од више различитих ткива, од којих се сваки тип може представити појединачном целином, кроз моделовања. Међутим, оно што је карактеристично за цео био свет је вода. Вода је све више под утицајем различитих загађивача и сама може бити једна од критичних тачака екосистема током процеса преношења загађења. Утицај микроорганизама на квалитет воде је само једна од проблематика, које је потребно пратити, али је изузетно битна компонента одржавања квалитета воде [83, 84]. Постоји неколико метода, које су у развоју и дају задовољавајуће резултате. Једна од њих је и имерзиона метода [85].

Савремени темпо живота, индустријски трендови и саобраћај изазивају значајно загађење ваздуха и хидросфере. Различити скупови су организовани, како би се дефинисало животно окружење на глобалном нивоу. Теоријско - експериментални проблеми, који су могући током примене ласера и оптичких метода у контроли људског окружења (атмосфера, водене површине, тло, области покривене биљкама – нижи слојеви и крошње) се анализирају о овом делу рада. Како би се применило више типова мониторинга, заснованих на расејању, флуоресценцији, апсорпцији и другим процесима од интереса за контролу, значајан број лабораторијских мерења оптичких и других величина је потребно обавити, на шта индиректно утичу различити физички процеси, укључујући и акустичке. Примена ласера у мерним техникама доноси са собом линеарне и нелинеарна оптичка својства, док су понекад нелинеарни процеси укључени у мерења од самог почетка. Акценат је на аналитичком приступу одређеним констататама, везаним за воду и све водене површине, постојећем софтверу у датој области и последицама, које проистичу из неправилне примене постојећих података.

За изабране случајеве у неким областима, својства везана за стање воде и њено загађење, могу да се квантификују. Такође је могуће је и вршити праћење загађења ваздуха коришћењем софтверских пакета, и у складу са теоријама расејања на органским и неорганским центрима расејања, ангуларној расподели за специфичне микроорганизме (бактерије) могу се вршити одређене процене.

Између великог броја података и параметара за опис пожарних процеса (као и продуката горења), неки од њих се могу третирати истом методом, у индустријским и реалним свакодневним условима коришћењем оптичких метода. Спрезање оптичких и акустичких типова и других односа константи материјала ће указати на посебна индиректна мерења, тј. могућности детекције продуката од интереса у екологији и другим областима од интереса за људе [86, 87, 88].

Вишеструки сензорски системи и примене у екологији. Од пре више од пола века, примене лидара расту као и број праваца, који постоје при решавању детекционих проблема (надгледање). Праћење је повезано са поређењем више техника, које спрегнуте добијају на значају код примене у екологији, иако су првенствено биле развијане за друге области [89, 90, 91, 92, 93]. Поређење мора укључити интердисциплинарни приступ и независно од изабране технике и уређаја, примена одређених сензорских система мора укључити дуже прелиминарне студије за исправну дескрипцију праћених објеката са карактеристичним параметрима, које је неопходно коректно мерити. Утицај атмосфере, мора се узети у обзир, зависно од географске локације, метеоролошке ситуације, као и доба године. Поређење се може вршити на више нивоа. Осим разлика у уређајима базираним на милиметараским таласима, уређају за формирање слика у инфрацрвеном спектру, уређају за праћење у инфрацрвеном спектру, ласерском радару, уређају за формирање слике у видљивој области, одговарајуће паралеле је потребно формирати коришћењем акустичких и других техника везаних за контролу атмосфере. У референцама се могу наћи различити подаци о праћењу на даљину или препознавању различитих: типова уља, типова биљака (на тлу или на воденим површинама), стање горњег слоја биљног покривача (крошње) или нижих слојева биљног покривача. Препознавање на даљину алги, као и развој биљака (вегетативни периоди), могуће је пратити различитим системима сензора у различитим деловима спектра (пшеница, шуме, луцерка, кукуруз, соја, памук, овас, трава) [94, 95, 96, 97, 98]. Вулканске ерупције и расподела продуката ватре и сагоревања се прате на даљину [99, 101, 69, 101].

Савремене технологије производње наночестица или методе за њихово препознавање су од значаја. Већ неко време, наночестице се могу у комерцијалне сврхе добити из мочварног муља или из отпадних вода [102,103,104].

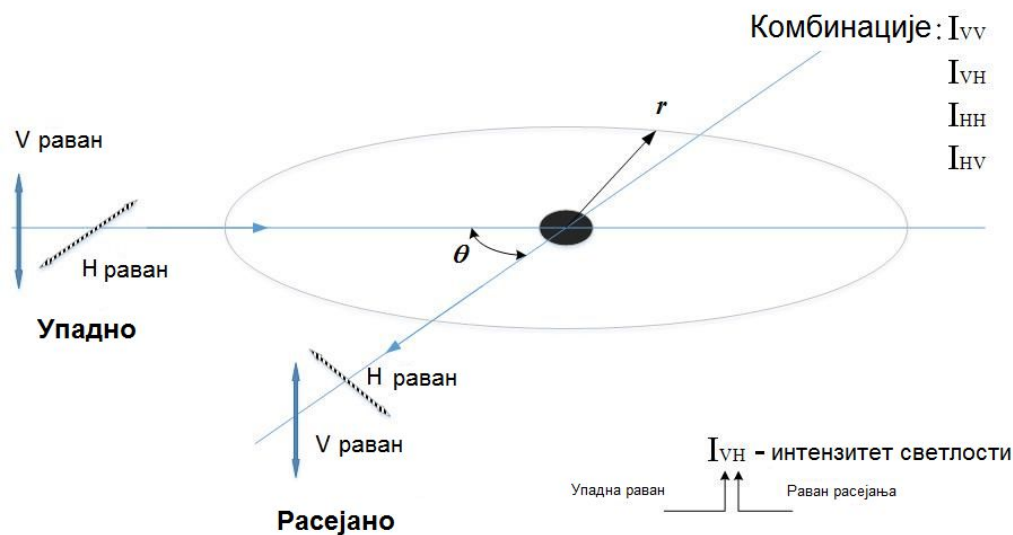
Главни параметри за коришћење ласера у опису објеката од интереса у екологији. Ласери су укључени у читав дијапазон техника, чак и као део комбинованих техника хроматографског типа са ласерима [105], као и циркуларни дихроизам, изометрија, полариметрија, елипсометрија [106, 107, 108]. Главни квантитативни индикатори оптичких карактеристика материјала: индекс преламања, коефицијент рефлексије, емисивност, могу се убројити у макроскопске параметре. Ефикасни пресек расејања, апсорпције, флуоресценције су представници микроскопских објеката. Код оваквог приступа, коришћењем различитих мерних метода, објекат који се прати се мора раздвојити. Део области континуално прекривен биљкама (виши слојеви - крошње), делови атмосфере са димом и продуктима прашине, итд. могу се проучавати коришћењем истог приступа.

Макроскопски параметри (индекс преламања – средња вредност за пшеницу, јечам и кукуруз), као и праћење центара загађења (бактерије, вируси, итд.) у атмосфери и води, могу представљати квантитативне параметре за евалуацију интеракције узорака са зрачењем.

Нови ниво праћења, мора укључити мерне технике, сетове података о објекту, укључујући и методе са просторним расподелама процеса и њихову улогу, мора се разматрати кроз коришћење различитих извора светлости, природних извора, поларизоване светлости (различити типови), различите таласне дужине или монохроматских извора. Кроз овако постављен сет задатака, акценат је могуће поставити на ангуларну дистрибуцију, аналитички приступ, мерне технике и матрични запис, који омогућује сложеније приступе [109, 86, 110 111, 112].

Полазећи од претходног разматрања са мултисензорским системима различити сензори се могу додати систему (оптички анализатори за прикупљање UV апсорпционог спектра за процену квантитативних и квалитативних параметара), за дезинфекцију и UV реакторе и уопштено за технологије везане за воду и санитарни инжењеринг [83, 84]. Уколико се прекорачи праг, или уколико се уочи одређени облик у UV области (који одговара стању високе загађености), генерише се упозорење и систем доноси одлуку о почетку узорковања. Ова процедура је симплификација SCADA (supervisory control and data acquisition - надзорни систем за контролу и аквизицију података) система, углавном коришћеног за комплекснија индустријска окружења (прерада пијаће воде, отпадне воде, итд.).

Коефицијенти расејања за различите површине (снег, снег на трави, асфалт, орана земља) су проучавани [113] коришћењем милиметарских радарских сензора. Упадни угао је мењан од 1° - 80° . Поларизационе компоненте сигнала расејаног уназад су анализирани (комбинације са различитим поларизацијама упадних и детектованих компонената се прате са формализмима различитог обележавања, међу којима су: hh хоризонтална поларизација - хоризонтална детекција, vv вертикална поларизација - вертикална детекција, RHC/LHC циркуларна поларизација удесно/циркуларна поларизација улево – Слика 2.9.1.). Подаци за снег се разликују за суве и мокре површине, указујући на максимуме за мале упадне углове. Поређење података за бетон, асфалт и ораницу, такође указује да су већи интензитети расејања под малим угловима. За адекватно препознавање сувог и мокрог снега, бољи избор су већи упадни углови (20°). За поређење бетона, асфалта и оранице, боље је користити углове веће од 10° .



Слика 2.9.1. Дефиниције геометрије расејања (нотација).

Радарско испитивање је показало да температурни контраст мете (узорка) зависи од природе мете. Занимљиво је да ретка трава и дрвеће, трава без рефлектора, растине и густа трава, као и примена ретрорефлектора на трави, дају резултате у различитим областима релативног радарског сигнала расејаног уназад (dB) [113].

Резултати за радиометарску температуру (К) насупрот инцидентном углу много се разликују поредећи воду, асфалт, бетон, орану земљу, пут, песак, траву, грмље (за обе поларизације). У неким областима (за обе поларизације) постоје пресецања зависности за траву и грмље у једној области и за бетон и асфалт у другој. Ове чињенице су последица праћења сензорима у области милиметарских таласа [113].

Мултисензорске методе у инфрацрвеној области и области милиметарских таласа могу бити корисне коришћењем техника за формирање слике у инфрацрвеној области (infrared imager), које је могуће поредити са лидарским методама [113].

Формирање термалних слика зависи од емисивности материјала. Неке анализе везане за емисивност воде [113], дате у овој тези преузете су из референци.

Динамичко расејање (ласер) је у одређеним случајевима подобније за проучавање биолошких микро објеката (бактерије, споре, вируси, итд.) животињског и људског порекла. Динамичко проучавање биолошких система коришћењем динамичког ласерског расејања захтева различита моделовања кретања: карактеристични случајеви су хаотично кретање, директно кретање, утицај температуре на мотилност, проток крви и концентрација крвних честица, утицаји електричног и магнетног поља, површински активни молекули (мицеле и колоиди). У експериментима, на првом месту статичког типа, укључењем праћења поларизације компонената расејања, добија се низ нових могућности укључујући и нелинеарне ефекте [21, 114, 8, 115].

Технике расејања су побољшане и унапређене коришћењем ласерских техника. Експерименти су постали комплетнији, а резултати, укључењем софтвера, су обезбедили брзе информације о полидисперзији, димензијама микроорганизама, факторима деполаризације, итд. Резултати везани за неке карактеристичне ангуларне расподеле, које описују, тј. могу да опишу одређени микроорганизам (сфера, штапић, Гаусово клупко), а који су изведени из динамичког и статичког расејања су представљени касније у раду (резултати). Подаци добијени динамичким расејањем светлости су комплетнији, али захтевају скупљу и комплекснију мерну опрему и системе.

Матрице расејања и мерења. Матрична нотација различитих процеса, који се јављају код биоматеријала, нуди комплетнији сет информација у поређењу са уобичајеним нотацијама са оптичким константама (индекс преламања, коефицијент рефлексије,

коефицијент апсорпције, Rayleigh фактори, деполаризација, итд.). Савремени методи укључују поларизацију инцидентног снопа светлости једноставније (ласерски снап), тј. релативно нове технике мерења у опису различитих параметара материјала [85]. Развој матричне оптике, као и развој рачунара и аналитичких метода су нераздвојни. Постоје два тренда у развоју – један прати промену правца светлосног снопа, а други промену поларизационих карактеристика. Међу матричним формализмима развој различитих **Stokes**-ових вектора, **Müller**-ових матрица и **Jones**-ових и других матрица, укључујући векторе 1×2 , 1×3 , 1×4 , итд. одговарајуће транспортне матрице, које повезују улазне и излазне вредности су, у складу са изабраним формализмима, 2×2 , 3×3 или комплексније. Имајући у виду класу решетке за неорганске материјале, са укључењем нелинеарних и анизотропних процеса и питања неопходних за правилни опис простирања снопа, добија се комплетнији скуп потребних формализама. У суштини, све је део приступа, којим би се на неки други начин (user friendly) комплексни тензорски рачун приближио крајњем кориснику. Даља примена је могућа без детаљног познавања тензорског рачуна и описа анизотропних материјала биолошког и неорганског порекла.

Код напредних мерних метода, узима се у обзир да **Müller**-ове матрице са 4×4 (16) елемената, могу да укажу на низ својстава мерног, посебно уколико су везани за систем центара расејања, код којих постоје процеси расејања, апсорпције, флуоресценције. Тражи се детаљнији модел за оцену доприноса појединог процеса и интерпретацију мерења. Увођење ангуларне расподеле одређених компоненти Stokes-ових вектора, отвара могућности и врши дискриминацију центара расејања – да ли су или не, живи организми или друге дескрипције, које одликују патогена/непатогена стања биолопких објеката (бактерије, компоненте крви,...). Област, која се овим бави је изузетно обимна. Захтева детаљне описе специфичних делова теорије расејања и теорије, која се бави димензионисањем честица, везом таласних вектора инцидентне и расејане светлости, улогом индекса преламања (**Mie**, **Rayleigh**, **Lorentz-Mie**,...), као и питањем да ли интегрално расејање, спектралне зависности и случајеве еластичног и нееластичног расејања (Brillouin, Raman, термално, итд), треба укључити у систем праћења [21, 114, 8, 115].

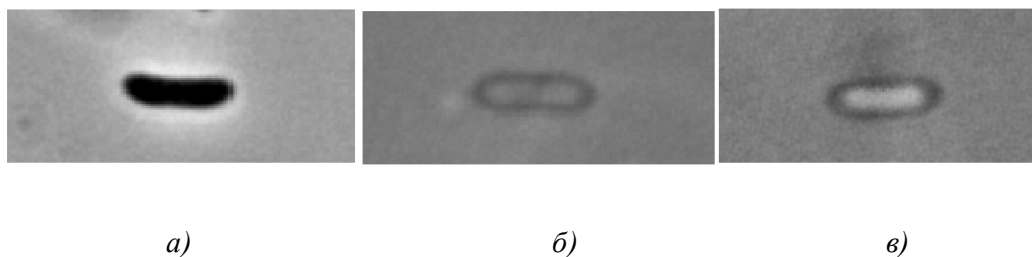
Већина оптичких мерења је знатно побољшала своју резолуцију. Увођење ласера у серије нових метода су пратиле развој квантних генератора [71] што је резултирало серијом нових метода, које нису биле могуће са коришћењем спонтаних извора зрачења. За Stokes-ове параметре се користе и нефелометри (што даје информације само о трансмитованом

снопу) и елипсометри. У ширем смислу, ангуларна расподела се прати што захтева комплекснији мерни систем, укључујући раличите поларизације. Различите варијанте ознака (и типова поларизације) на које се може наћи у литератури су R и L (Right circular и Left circular) [107, 108], $\rho_{\parallel}$ и $\rho_{\perp}$ (светлост поларисана паралелно и нормално у односу на раван расејања), $\pm$ ознака (светлост поларисана под углом $+45^{\circ}$ и -45°) слика 2.9.1. У референцама су разрађене везе између елемената Müller-ове матрице – елемената матрице расејања и геометрије расејања, укључујући поларизаторе (анализаторе). Теорија, која користи матрице расејања поседује широку област примене у екологији, поларизацији сунчеве светлости, проучавању космичке прашине, астрофизици, итд. Фотоеластични (и други) модулатори су одавно укључени у нефелометрију, као и елипсометрију и друге методе засноване на оптици и коришћењу ласера. Савремени случајеви (решени и нерешени) су: сферна честица са више слојева, асферичне честице, специјалне структуре, итд [8, 116].

Биолошке ћелије – нуклеуси, бактерије и расејање светлости. Ангуларна расподела процеса расејања је у широкој примени код недеструктивних техника за проучавање микроскопских објеката различитог порекла. Анализирањем геометријских облика центара расејања, различитих опсега величина и структура (вишеструких и једнослојних структура), могу се моделовати у случају вируса, бактерија, еукариотских ћелија, итд. [117]. Пре комерцијализације ласера, уређаји за расејање и новоразвијене варијанте мерних метода еластичних и нееластичних расејања су базиране на могућностима теорије статичког расејања.

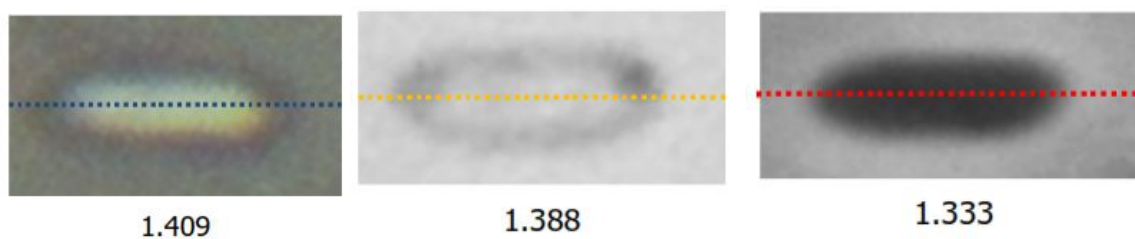
Опсег величина центара расејања и њихови облици, трасирају ангуларну расподелу. Матрични елементи имају посебан значај, јер обезбеђују одрживост биолошког модела и дефиницију центара расејања. Овако се формира јединствени сет карактеристика. Поновљиве разлике у S_{34}/S_{11} [8, 21, 114, 115] су нађене за честице, које није могуће разликовати другим техникама. Случајеви варијетета за бактеријске споре, које се могу препознати и разликовати специфичним мутацијама, могу се такође, наћи у референцама. Ове мутације бактерија озрачене ласерском светлошћу се могу пратити (снага ласера укљученог у мерења треба да је нижа од оне у систему за интеракцију ласерског зрачења са материјалом – различите ирадијације), како би се проучавао утицај стимулисаног – кохерентног зрачења [21, 114].

Имерзиона метода омогућује да се визуализује разлика у индексу преламања, а један од примера је дат на слици 2.9.2. Из предложеног се може закључити да *тамније* области представљају области са већим индексом преламања.



Слика 2.9.2. Примери комбинације индекса преламања течности и бактерије и то када је индекс преламања течности: а) мањи од индекса преламања бактерије б) исти као индекс преламања бактерије и в) већи од индекса преламања бактерије [85].

Коришћење формализама корелационих функција и мерења, проток крви у живим и мртвим животињама се може јасно разлучити (у основи динамика живих и мртвих организама се тако може надгледати и може послужити за диференцијацију живих и мртвих бактерија). Нормализована корелациона функција броја фотона за бактерије, које слободно пливају, за честице које дифундују, као и случајно кретање (random walk), засновано на теорији се користи за разликовање мотилне и немотилне бактерије (*E. coli*) [21, 114](слика 2.9.3.).



Слика 2.9.3. Формирани приказ *E.coli* у течностима различитог индекса преламања (анализа интензитета пиксела у течностима) [85].

Мутације, које су последица експозиције различитим електромагнетним зрачењима (спонтано и стимулирано у различитим областима спектра), могу се мерити лакше на овај начин, него праћењем уобичајених биолошких процеса (хемијска и генетска анализа, као и мониторинг морфолошких промена). За биолошке честице (биолошког порекла) **Rayleigh – Gans** теорија је углавном почетна тачка (и за њу важи $S_{34} = 0$).

Било да је димензија честице почетак или крајњи циљ оптичке анализе, неопходо је упростити израчунавања и број варијабли свести на минимум. Самим тим је потребно за одговарајуће случајеве пронаћи најоптималнији параметар величине и даље га користити у анализама. Природни след би био: радијус честице (апроксимација сферним обликом), дијаметар (просторни дијаметар) и параметар величине честице x (релативна величина расејавача). Релативна величина расејавача се дефинише као

$$x = 2\pi a/\lambda, \quad (2.9.1)$$

где је a радијус честице, а λ је таласна дужина.

Формализми расејања. За извођење задатака у поменутој области, различити приступи се могу узети у обзир, а резултати теорије расејања морају бити укључени, тако да није могуће овде навести све формуле и релације потребне за опис оваквог формализма. То намеће неопходност да се помену само транзијентне и финалне формуле и релације. Дисперзне релације су укључене кроз Lorentz - Lorenz или друге апроксимације, а одговарајућа теорија је повезана са приступом, који користи моларну рефракцију.

Ефикасни пресеци [8, 118] од интереса су специфична репрезентација расејања:

$$\sigma_{eff} = (10\pi/3) a^2 (ka)^4, \quad (2.9.2)$$

где је a - радијус, а k - таласни вектор.

За угао расејања θ , је $\frac{d\sigma_{eff}}{d\Omega}(\theta)$ за цилиндричну презентацију, ангуларна расподела је

$$\frac{d\sigma_{eff}}{d\Omega}(\theta) = a^2 (ak)^4 \left[\frac{5}{8} (1 + \cos^2 \theta) + \cos \theta \right] \quad (2.9.3)$$

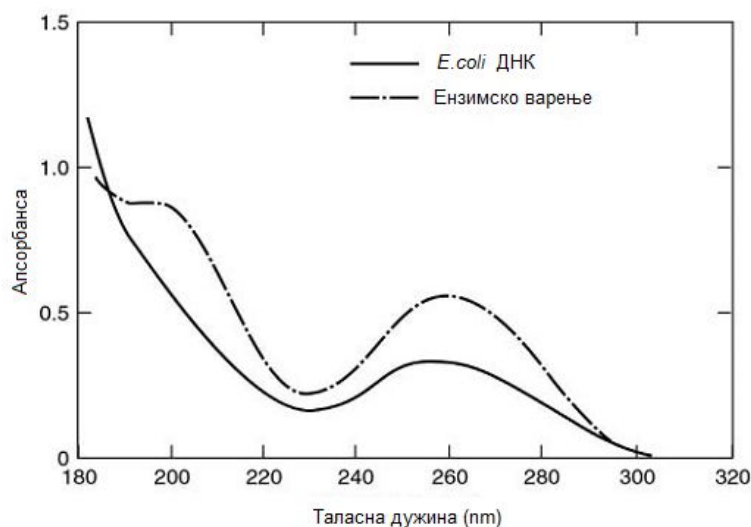
D' Alembert-ова теорија (преко функције ψ) у сферним координатама (r, θ, φ) треба да укључи сферне хармонике.

$$\begin{aligned} \psi_{N,L} &= \cos(L\phi) P_N^L(\cos\theta) z_N(nkr), \\ \psi_{N,L} &= \sin(L\phi) P_N^L(\cos\theta) z_N(nkr), \end{aligned} \quad (2.9.4)$$

где су P - Legendre-ови полиноми, z – Bessel-ове сферне функције. Користећи $x = 2\pi a/\lambda$, диференцијални ефикасни пресек се рачуна за одређене таласне дужине, које представљају математичко решење D' Alembert-ових једначина, које се могу наћи за различите нотације [119, 8, 118], коришћењем функција Riccati-Bessel-a, а ефикасни пресеци су:

$$\sigma_{eff} = \frac{2\pi}{k^2} \sum (|a_N|^2 + |b_N|^2), \sigma_{eff} = \frac{10\pi}{3} a^2 (ka)^4 \quad (2.9.5)$$

На слици 2.9.4, приказан је и апсорпциони спектар ДНК бактерије *E.coli* у природном облику на 25°C. Табела 2.9.1. приказује и индексе преламања воде, као и рефлектансу воде. Вода је најчешћи флуид у имерзионим методама, па су у том смислу познавање индекса преламања на различитим таласним дужинама и у оквиру раствора изузетно значајни подаци.



Слика 2.9.4. Апсорпциони спектар ДНК бактерије *E.coli* у природном облику на 25 °C (пуна линија) и код ензимског варења нуклеотида (*enzymic digest*) – испрекидана крива [120].

Приликом одређивања индекса преламања за целокупне ћелије (или саставне делове), најчешће се карактеристике унутрашње структуре не разматрају. У случају *E.coli* за коју су утврђене карактеристичне димензије 0,4 - 0,7 μm у ширину и 1 - 4 μm у дужину [121] при таласној дужини 0,63 μm , ћелије показују индекс преламања $\sim 1,4$ а протоплазма $\sim 1,35$. Бактерија *Staphylococcus aureus* и *St. epidermidis*, могу се посматрати као представници сферних микроорганизама, средњег дијаметра $\sim 0,8 \mu\text{m}$ (0,4 - 1,2 μm) и $\sim 0,55 \mu\text{m}$ (0,5 - 0,6 μm), респективно. Индекс преламања ћелије и протоплазме је исти као код *E.coli*. Као

представник комплексније ћелије је изабран *Bacillus subtilis* као сфероид, са полуосама средње дужине од 5 и 0,75 μm , дебљине 0,01 μm , а индекса преламања 1,4. Споре су јајастог облика са полуосама 0,6 и 0,33 μm , респективно. Вредност њиховог индекса преламања је 1,5 а цитоплазме 1,35. Индекс преламања *B.cereus* при зрачењу таласне дужине 542 nm износи 1,386 [121].

Табела 2.9.1. Индекси преламања и рефлектанса воде [22].

Таласна дужина λ [μm]	Индекс преламања n	Рефлектанса R
0,2	1,396	0,027
0,3	1,349	0,022
0,4	1,339	0,021
0,5	1,335	0,021
0,6	1,332	0,020
0,7	1,331	0,020
0,8	1,329	0,020
0,9	1,328	0,020
1,0	1,327	0,020
1,6	1,317	0,019
2,0	1,306	0,018
2,6	1,242	0,012
2,7	1,188	0,007
2,8	1,142	0,004
2,9	1,201	0,008
3,0	1,371	0,024
3,1	1,467	0,036
3,2	1,4788	0,037
3,3	1,450	0,034
3,4	1,420	0,030
3,5	1,400	0,028
4,0	1,351	0,022
5,0	1,325	0,020
6,0	1,265	0,014
7,0	1,317	0,019
8,0	1,291	0,016
9,0	1,262	0,013
10,0	1,218	0,010

Проучавани су и ромбоцити за дијаметре 3 μm , чији се индекс преламања незнатно разликује од воде. Индекс преламања за неке живе ћелије је $\sim 1,4$. Детаљније индекс преламања цитоплазме, која се развија код *Locusta moigratoria* је $\sim 1,3535$, *Nebernkern* $\sim 1,376$, цитоплазма *Euglene* и стоматолошких епителних ћелија човека $\sim 1,37$. Сегменти

простатног гвожђа човека фиксирани у формалину имају индекс преламања 1,51 - 1,52, а епителне ћелије 1,54 и по форми су идентични са микросферама. Врло важна вредност за медицину и биологију су еритроцити и хлореле. Еритроцити или црвена крвна зрнца виших животињских врста су ћелије без нуклеуса. Њихова основна функција је пренос кисеоника од дисајних органа до ткива и угљен диоксида од ткива до дисајних органа. О значају хлореле као једне од могућих компоненти затвореног биолошко - техничког система, који обезбеђују живот човеку не вреди ни говорити. Еритроцити и хлореле имају низ физичко хемијских својстава, која су веома важна у методичком разматрању (карактеристичне измене апсорпције и расејања при измени тоничности раствора и интеракцији са хемијским реагенсима). У видљивој области спектра еритроцити имају индекс премалања $\sim 1,5$. Карактеристика еритроцита је висока концентрација пигмента хемоглобина 30 % - 42 % масе ћелије. Оптичка својства еритроцита се у великом степену одређују овим пигментом. Ћелије су осетљиве на концентracије соли у околној средини. При њиховом постављању у хипотонични раствор, ћелије набубре до критичне димензије и добијају сферну форму дијаметра 7 - 8 μm [121].

10. Испитивање узорака од интереса у екологији

Примене ласера у еколошке сврхе (чишћење и сепарација изотопа) са линеарним и нелинеарним појавама и лидарским методама

Шира примена ласера у физичким, хемијским и другим процесима је повезана са ценом ласерског извора. Уколико се користе и скупи материјали органског и неорганског порекла, онда овакав разлог више не постоји. Поменуте примене укључују еколошке и друге апликације, као што је нуклеарна контаминација, селекција (обогаћивање) изотопа, побољшање раста скупих биљака (медицинске сврхе), ласерска сепарација изотопа (LIS), ласерска деконтаминација нуклеарног отпада и других хазардних материјала – хемијских и отровних [101].

Примена ласера у обради, мерењу и дијагностици у поменутим областима је још увек у порасту. Овде ће бити истакнуте неке примене из мерења, њихове анализе, као и примери из референци. Величине узорака материјала имају велики утицај на људско здравље, као и на околину – животиње и биљке. Одабране примене ласера у екологији, везане за линеарне и нелинеарне процесе у процесима расејања су, такође, од интереса. Оне могу бити основа лидарске методе (удаљено мерење), чија појава је неопходна у мноштву процеса, који обухватају препознавање ослоњено на велике базе података (база се стално допуњује и повећава лабораторијским подацима, као и мерењима на даљину – лидар, диал, ладар, колидар, лидар са белом светлошћу, Раман-ов лидар, итд). Исте методе и методологија се користе и за детекцију пожара и надзор и контролу кретања вулканске прашине, кретање честица, форензику [87, 72, 122, 90, 92, 93, 123, 124, 99, 125, 126, 69, 102, 103, 104, 109, 86, 100, 127, 128, 129, 130, 131, 73, 132, 89, 133, 134, 88, 135, 111, 110, 136, 137, 138, 139, 19, 18, 140, 141].

Представа динамичког и статичког расејања светлости зависи од описа области у којој се врши расејање (димензије центара расејања). Стога су многи мерни уређаји развијени као модуларни и/или затвореног типа. Примена ласера за изазивање вештачких процеса пробоја у атмосфери у сврху заштите од пражњења, припада инензивним процесима, који имају мноштво нелинеарних и вишефотонских ефеката. Са друге стране, могу се посматрати као новине у развоју лидара (BELINDA, лидар на белој светлости).

Оцена грешке (несигурности) у мерењу припада процесима новијих интерпретација коришћењем развијене несигурности, што се може вршити за сваку специфичну мерну методу [142, 143]. Ово значи да несигурности типа *a* и *b* треба рачунати за стара мерења и у складу са тим осмислити план нових мерења, укључујући ласерске апликације у опису материјала процесима расејања, флуоресценције и апсорпције.

Сва атмосферска истраживања потребно је поредити са уобичајеним методама (тј. акустиком, електростатиком, итд.) реалне дефиниције атмосфере хидродинамичким параметрима и стањем деполаризације расејане светлости. Коришћење и значај ових мерења се простиру од свакодневне примене до контроле утицаја атмосфере на свеукупно људско наслеђе.

Неопходна су детаљна проучавања анизотропије (молекуларна и макроскопска), оптичких константи коришћењем директних и индиректних метода, оптичких константи биљака (крошње), или објеката културног наслеђа. Флуктуације функција основног одзива материјала се могу представити корелационим функцијама индекса преламања, корелације концентрације и корелација анизотропије. Функције корелације вишег реда показују карактеристично понашање са зависностима $\sim n^4$, где је *n* индекс преламања.

Ласерско чишћење. Основна предност ласерског чишћења материјала укључујући свакодневни живот, као и уметничка дела [105], фармацеутске примене, итд. је могућност да се иницира екситација са високом селективношћу јединствених компонената у смеши. Са аспекта процеса чишћења, могуће је циљно издвојити материјал, који се појављује у траговима у већој количини основног материјала. Постоје бројне ласерске методе, које су у стању да одговоре на овакве захтеве. Процеси укључују гасно, течно, као и чврсто стање.

Екситација у инфрацрвеној области. Мноштво експеримената са селективном фотодисоцијацијом органских инклузија (допирање, нечистоће, итд) је већ познато. Процеси су могући, на првом месту, услед могућности, које пружа кохерентна монохроматска светлост подешене таласне дужине, коју даје квантни генератор, тј. појачавач. У зависности од енергијске разлике између ексцитованих и основних стања, као и од енергије фотона ласерског импулса, јављају се вишефотонски или једнофотонски процеси [18, 19]. Неки од њих се изазивају коришћењем CO₂ TEA (Transversal Electric Atmospheric Pressure) за отклањање органских нечистоћа у AsCl₃. CW CO₂ ласер се користи за чишћење BCl₃ од CoCl₂ остатака. Импулсни CO₂ ласер изазива диелектрични пробој (dielectric breakdown DB) у смеши SiH₄ и B₂H₆. Анализа добијених пара показује селективно нестајање B₂H₆. Неки експериментални подаци о квантној ефикасности (излаз) током

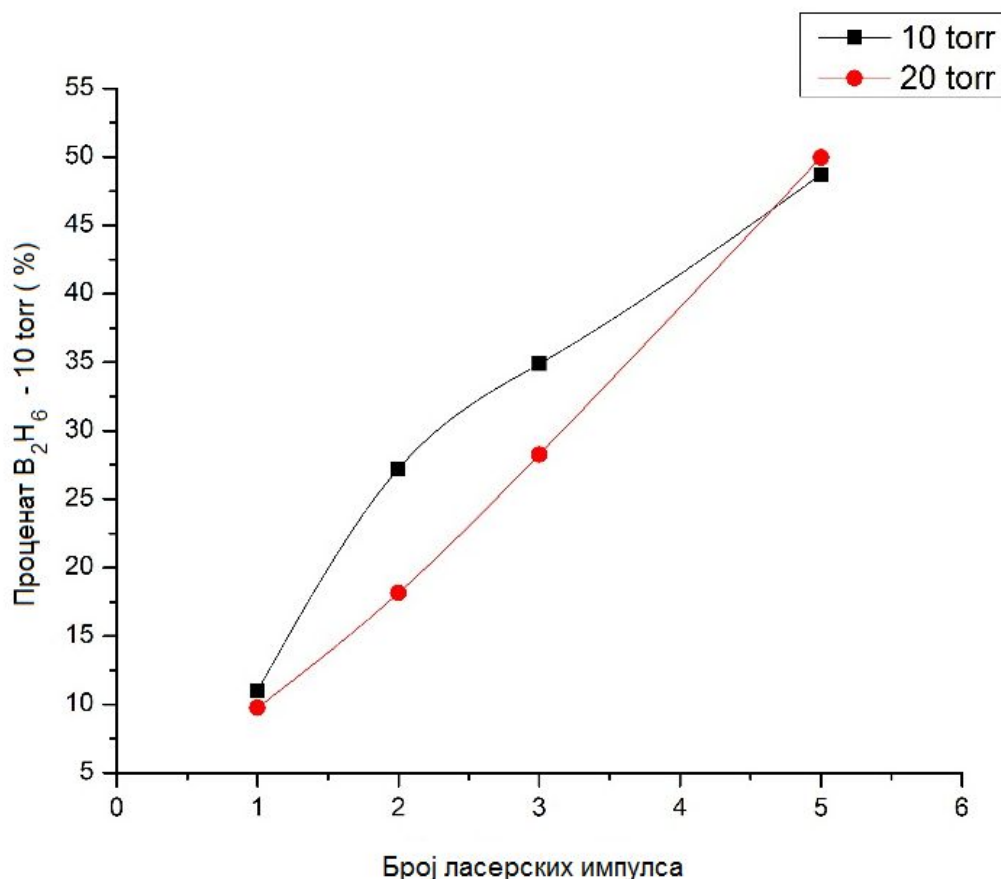
фотохемијског одстрањивања AsH_3 и PH_3 из SiH_4 на таласној дужини $\lambda_{\text{vasera}} 193 \text{ nm}$ су представљени у Tab.2.10.1 [87].

Table 2.10.1. Квантна ефикасност током фотохемијског одстрањивања AsH_3 и PH_3 из SiH_4 током зрачења на 193 nm [87].

Притисак AsH_3 ,	Притисак SiH_4 , (Torr)	Квантни излаз
0,050	0,5	0,85
0,050	0,5	0,88
0,050	2,0	0,57
0,050	8,0	0,46
0,050	15,0	0,50
Притисак PH_3 , (Torr)	Притисак SiH_4 , (Torr)	Квантни излаз
0,050	0,5	0,61
0,050	2,0	0,40
0,050	8,0	0,34
0,050	15,0	0,25
0,050	15,0	0,30
0,025	7,5	0,27
0,025	12,5	0,25

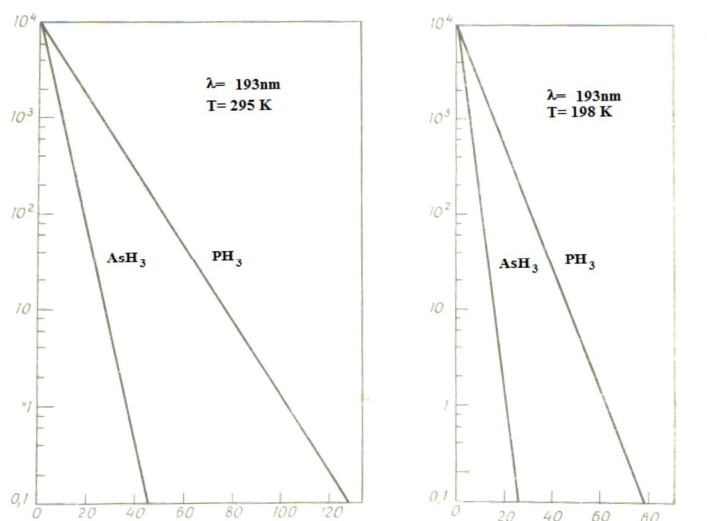
1 Torr = 1 mmHg = 133,32 Pa.

Утицај кумулативне ласерске енергије (више импулсна интеракција) инфрацрвеног CO_2 ласера на чишћење SiH_4 је анализирана (слика 2.10.1.), базирано на експерименталним подацима [87]. Случајеви анализирани на слици 2.10.1, користе две линије CO_2 ласера: $908,5 \text{ cm}^{-1}$, (коинцидира са вибрацијама SiH_4) и $947,7 \text{ cm}^{-1}$ (нерезонантна). DPL - DB експерименти укључују загревање са екситацијама ударних таласа, јонизацијом и процесима дисоцијације. DB процеси имају одређених предности.



Слика 2.10.1. Утицај једноимпулсног и вишеимпулсног дејства CO_2 ласерског зрачења у случају чишћења SiH_4 из B_2H_6 при различитим притисцима SiH_4 ($908,5 \text{ cm}^{-1}$). $B_2H_6 - 1 \text{ Torr}$, $SiH_4 - 10 \text{ Torr}$ и 20 Torr . ■ - 10 Torr • - 20 Torr ($1 \text{ Torr} = 1 \text{ mmHg} = 133,32 \text{ Pa}$).

Фотолиза ултраљубичастим ласерима. Примена ексимер ласера за отклањање H_2S из смесе CO и H_2 током UV процеса пиролизе се показала успешном. Овакви процеси су корисни као алтернатива за добијање угљеник-водоник смеша од сирове нафте. Селективност екситације H_2S у присуству одређених синтетичких гасова може бити и реда 10^7 . Ранији ставови, код концентрације примеса од 1 ppm су, да су уобичајени системи чишћења оптималнији од ласерског, али за концентрације мање од ових вредности ласерске методе су применљивије у случајевима H_2S (могуће су и индустријске примене). Случајеви SiH_4 мрља (слика 2.10.2.), могу се решити *in vacuo*, такође. SiH_4 се уобичајено користи за аморфни, монокристални и поликристални Si . Користи се од соларних ћелија до интегрисаних кола.



Слика.2.10.2. Утицај ласерског снопа на ниво чишћења SiH_4 из AsH_3 и PH_3 на 295 K (a) и

198 K (b) у складу са једначином
$$n_A \approx n_A^0 \exp\left(\frac{-\varphi_A \sigma_A \varepsilon}{n_s^0 \sigma_s}\right),$$
 где је n_s^0 - концентрација молекула S, n_A^0 - концентрација допанта A, φ - квантна ефикасност молекулског помераја, што одговара броју неексцитованих молекула и апсорбованој енергији, у јединицама UV кванта, ε - молекулска густина, σ_s - ефикасни пресек.

Тврдоћа материјала. Тврдоћа материјала у односу на зрачења различитог типа (нуклеарно, хемијско, ултразвучно, ласерско) представља значајан аспект материјала, који је неопходно проучити, нарочито ако су у питању хазардни материјали и случајеви, као што су: нуклеарни акциденти, земљотреси, вулканске ерупције, рударски акциденти, као и свакодневни радни услови. У оваквим случајевима је од изузетног значаја даљинска контрола, као и значај оптичких влакана у мерним системима, где влакна имају улогу сензора или су у оквиру телекомуникационе инфраструктуре, или су делови ласера с влакнима и појачавача [124, 144].

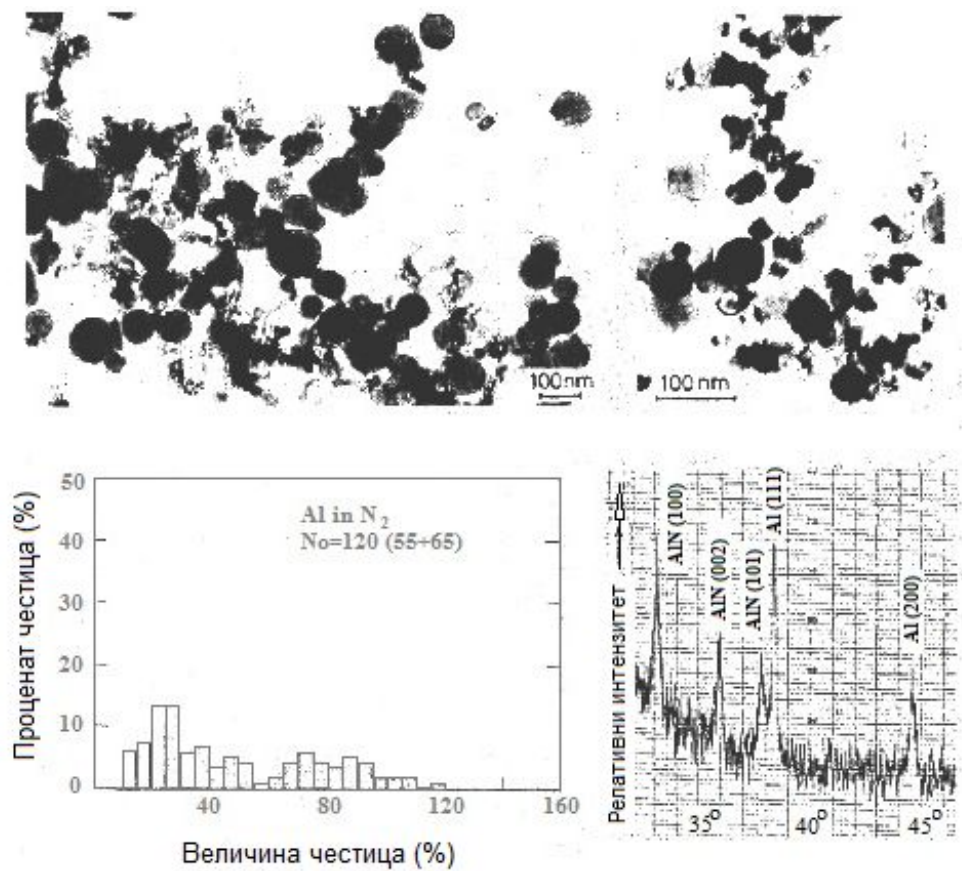
Сензори са влакнима у данашње време постају незаобилазни у науци, индустрији, медицини и масмедијима (магнетно и електрично поље, хемијски сензори, биосензори...). Утицај γ - нуклеарног зрачења на оптичка влакна доприноси развоју система мониторинга у окружењу. γ и X зрачења су такође од значаја, узимајући у обзир утицај зрачења у уобичајеним условима окружења током медицинских третмана. Неки од нових примена оптичких сензора су повезани са развојем ласера на влакнима и појачавача са влакнима, праћени и развојем сензора са влакнима, који се могу користити за праћење високих нуклеарних зрачења и системе детекције у системима контроле напајања. Оваква примена

може бити изузетно применљива у нуклеарним постројењима, као и у војним применама. Различите методе мерења, које могу бити допуна стандардним методама дијагнозе простирања светлости (OTDR – optical time domain refractometer, мерења дисперзије, инфрацрвена спектроскопија,...), могу се применити у системима надгледања и праћења, који раде у реалном времену. Засновано на овим техникама, кључни параметри процеса озрачивања, могу се прецизно надгледати, а дозе се могу утврдити, стандардним административно задатим процедурама у нуклеарним лабораторијама. Овакве чињенице воде ка успостављању система праћења у реалном времену, где динамика процеса може бити од интереса за брзу реакцију у условима смањене безбедности. У општем смислу, корист у проучавању утицаја електромагнетног зрачења у читавом електромагнетном спектру је тема мноштва научних области, осим нуклеарне физике, нуклеарне технике, интеракције нуклеарног зрачења и честица материјала, дозиметрије и радионуклидних апликација. Овакво истраживање води ка развоју нових сензора са добрим перформансама за праћење параметара у окружењу, као што су *мртве зоне*, време реакције, опсег ЕМ зрачења, итд. Све поменуто се може експлицитно изразити следећим ставовима:

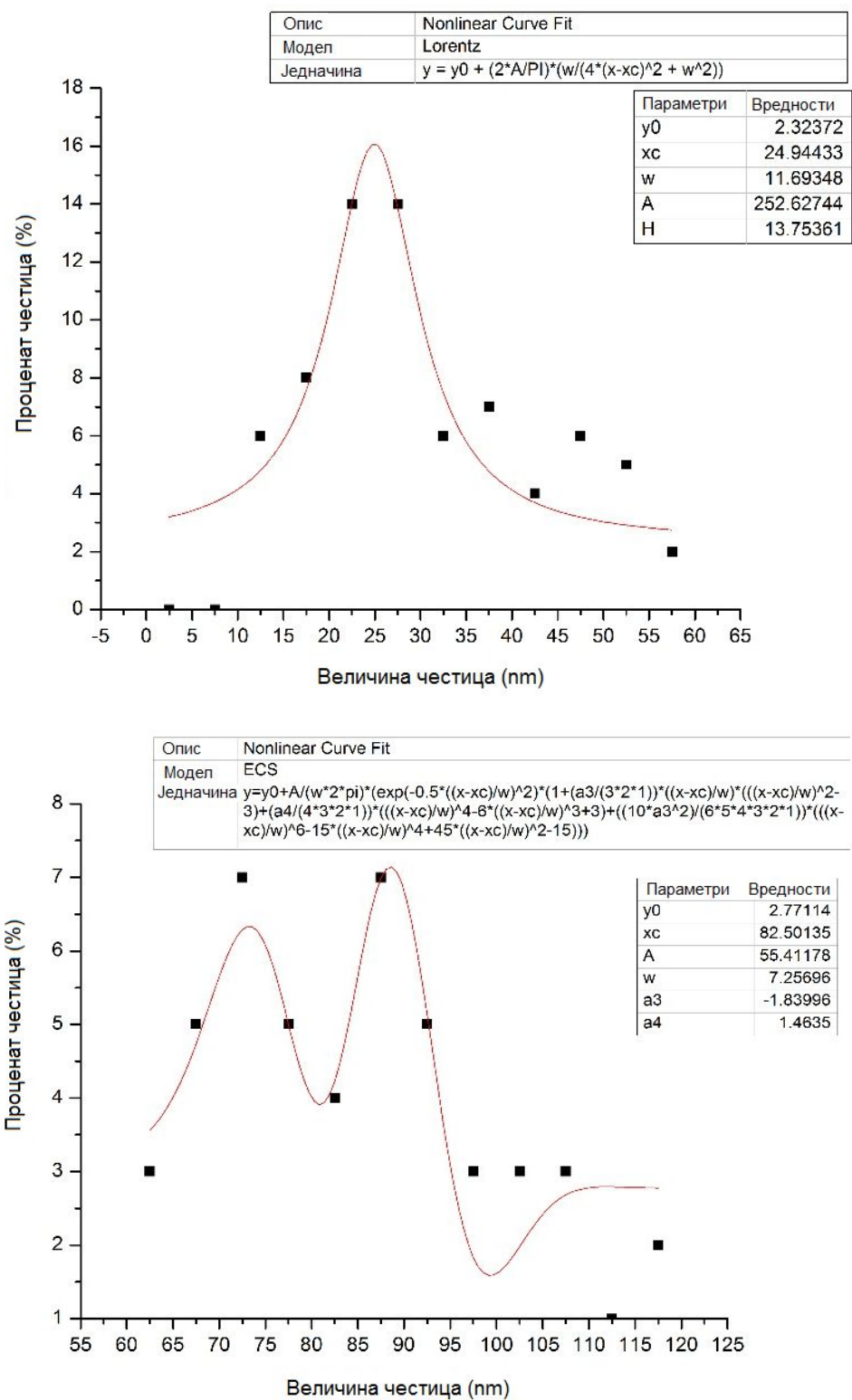
- Узимање у обзир утицаја високих енергија нуклеарног зрачења на влакна и материјале, у општем смислу, у циљу мерења и детекције (детекција енергије реда GeV),
- Амелиоризација карактеристика детектора нуклеарног зрачења [126] (детекције честица ласерским зрачењем)
- Озрачивање влакана различитим типовима зрачења (ЕМ и нуклеарно). Посебно озрачивање *iraser*-ом оптичког влакна другог типа стакла током процеса извлачења побољшава механичке карактеристике,
- Пројекти, чија је тема тренд перформанси материјала, након нуклеарне експлозије кроз симулације и експерименте,
- Праћење радног окружења и еколошких проблема,
- Праћење радног окружења у медицинским установама,
- Оптичко *напајање* сензора.

Производња честица и димензионисање ласерима и однос са потенцијално хазардним димензијама. Неки резултати из референци су представљени на сликама 2.10.3

и 2.10.4 и приказују дистрибуцију честица по величини у различитим режимима ласерске примене [110], што захтева знатно сложеније проучавање као у [109].



Слика 2.10.3. Дистрибуција честица по величини – добијање нано честица од Al у N_2 атмосфери.



Слика 2.10.4. Фитовање криве дистрибуције честица са Лоренцијаном или ECS.
Дистрибуција честица по величини – добијање нано честица од Al у N₂ атмосфери.

Резултати добијања ултра финих честица од Al у N₂ атмосфери су приказане на слици 2.10.4. Уобичајено су праћене дифрактометром са X зрацима, ТЕМ као и СЕМ анализама. Слика 2.10.4 приказује Al и нитридну AlN форму. ТЕМ приказује веће сферне и мање честице, што је у кореспонденцији са два типа честица са димензионалном дистрибуцијом (величине) у опсегу 10 - 60 nm и 60 – 120 nm. Al честице су сферне, а мање честице су асферичне. Нитридне честице се не формирају из Fe, Ni и других листова (sheets).

Данас је могуће производити наночестице из металних мета ласерима у различитим динамичким режимима: cw, Q switch (ns, ps и fs режими) у различитим окружењима (Ar, He, O₂, N₂, итд). Могуће је извести одређене закључке о улози ласера у продукцији честица:

- Метални материјали са високом рефлексивношћу, високом топлотном дифузивношћу и високом тачком кључања су сложенији задатак за ласерске методе,
- Испаравање метала и формирање наночестица прати време успона ласерског импулса и даље током времена експозиције,
- Средња вредност наночестица (10 - 30 nm), може се постићи коришћењем одређених метала у Ar и He атмосфери у условима блиским атмосферским,
- Величина честица опада са смањењем притиска,

Наночестице оксида метала (Fe₂C₃, NiO, Al₂O₃, TiO₂, CrO₂, Cr₂O₃, WO₃, Ta₂O₃ и MoO₃), се добијају у O₂ атмосфери (1 atm ~ 10⁵ Pa). Нитридне честице (TiN, ZrN и Ta₂N) се добијају у N₂ атмосфери. Из Al мете, добија се мешавина честица Al и AlN. Ови општи закључци морају се модификовати у зависности од захтева.

За детекцију, базирану на коришћењу оптичких влакана уз коришћење других материјала (на бази стакла или полимера), укључује различите спрашене материјале са варијантама магнетних, пиезоелектричних или других оптомеханичких, оптоакустичких перформанси за ширење области примене сензора на бази влакана ка мерењима у окружењу [124, 110].

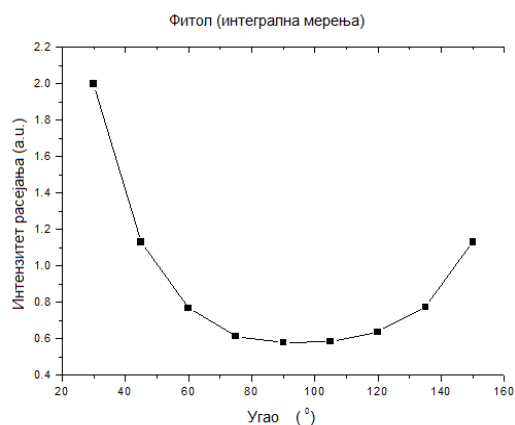
Фотохемијска сепарација елемената у растворима. Фотохемијско процесно испитивање сепарације у течной фази поседује резолуцију нижу од оне у гасном или чврстом стању. Метални материјали (елементи), који се могу подвргнути фотохемијским трансформацијама, како би им се променио рН ниво (у оквиру уобичајених растварача) су увелико заступљени у референцама.

У табели 2.10.2 су приказани неки елементи код којих се јављају фоторедокс процеси, као и потенцијални елементи везани за претпостављене процесе.

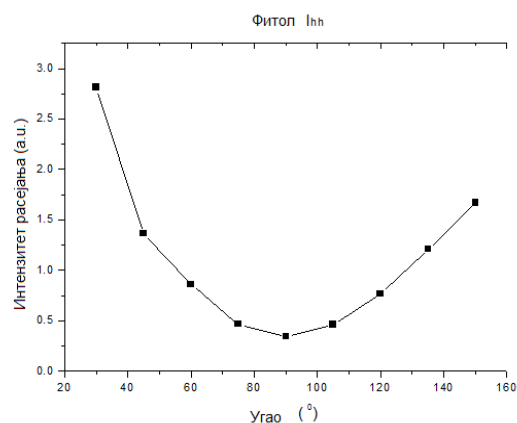
Табела 2.10.2. Фоторедокс процеси и елементи над којима су спровођени.

Фоторедокс процеси	Елементи
Фоторедокс спроведени процеси	Прелазни метали D V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag, W, Ir, Pt, Au, Hg Прелазни метали F Лантаноиди - Ce, Sm, Eu, Yb Актиниди - U, Np, Pu,
Претпостављени фоторедокс процеси	Лантаноиди - Tm Актиниди - Am, Bk, Md, No

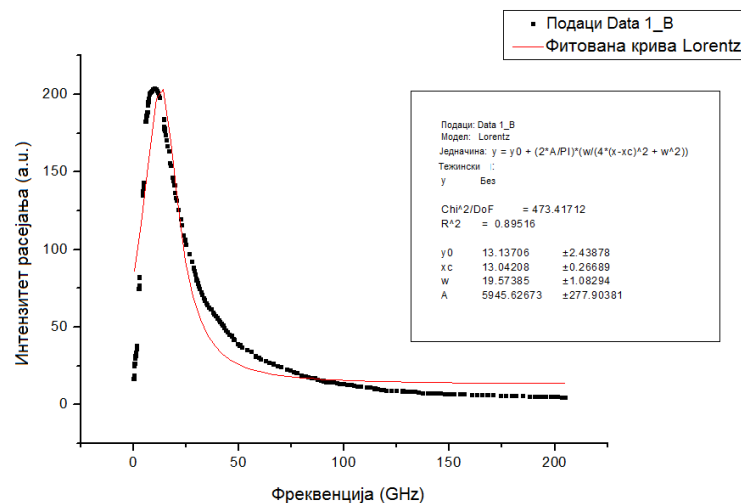
Мерења заснована на статичком и динамичком ласерском расејању и интерпретације. На сликама 2.10.5а и 2.10.5б су представљена интегрална мерења за фитол, тј аугуларна расподела и на слици 2.10.6 динамичко расејање светлости, добијено одговарајућим уређајем. Први подаци су интензитети расејане светлости за поларизационе компоненте (слика 2.10.5), а са слике 2.10.6 је могуће проценити потребне спектралне ширине линија за мерење расејања молекула соли уранила у воденом раствору. Ови подаци о добијеним ширинама линије су фитовани коришћењем Lorentz-ијан криве под изабраним радним условима.



Слика 2.10.5а. Интензитет статичког интегралног расејања фитола



Слика 2.10.5б. Интензитет статичког расејања фитола - I_{hh} компонента



Слика 2.10.6. Динамичко расејање ласерског снопа о раствор соли уранила [145] под углом $\theta = 80^\circ$ и сагласност са Lorentz-ијан кривом $\Gamma = 1,26 \text{ Hz (HHLW)}$. (Технички детаљи - угао расејања $\theta_2 = 80^\circ$, $UPM = 0,75 \text{ kV}$; филтар $0,3\text{Hz} - 3000\text{Hz}$).

Лидар са белом светлошћу. Ласерски импулси велике снаге, који се простиру кроз транспарентни медијум пролазе кроз низ нелинеарних ефеката. Нелинеарни ефекти воде ка јасно израженој еволуцији просторних (самофокусирање, самовођење, саморефлексија), спектралних (самодеградација) карактеристика импулса. И медијум, кроз који пролази снап је такође погођен овим простирањем, јер је делимично јонизован интензивним снопом. Нове појаве су константно проучаване. Развој CPA технике (Chirped pulse amplification) је омогућио формирање ултрабрзих ласерских импулса. Ласери велике снаге омогућују проучавање високо нелинеарних простирања у благо нелинеарним медијумима (нпр. атмосфера). Потребно је обратити пажњу на нелинеарно простирање у ваздуху и на процесе повезане са генерацијом кохерентне беле светлости и филаментацијом [18, 124].

Генерација беле светлости и аутофазна модулација (self phase modulation SPM). Спектрални садржај емитоване светлости је од велике важности за ласерске дистантне методе у атмосфери – описи окружења и мерења атмосферских параметара и процеса. Нелинеарно простирање ласерских импулса високе снаге обезбеђује самовођење, али и необично широк континуум од UV до IR области. Форматиран суперконтинуум је генерисан SPM-ом, као и нелинеарни ефекти. Електрооптички и електромагнетски ефекти (у овом случају Керр) воде, услед просторног градијента интензитета, ка самофокусирању ласерског снопа. Интензитет варира у времену

$$n(t) = n_0 + n_2 I(t), \quad (2.10.1)$$

а тренутни индекс преламања ваздуха се мења у складу са:

$$d\Phi = -n_2 + n_2 \cdot I(t) \frac{\omega_0 z}{z}, \quad (2.10.2)$$

одакле следи да фазни померај зависи од времена. ω је носећа фреквенција, а генеришу се нове фреквенције,

$$\omega = \omega_0 + \frac{d\Phi}{dt}. \quad (2.10.3)$$

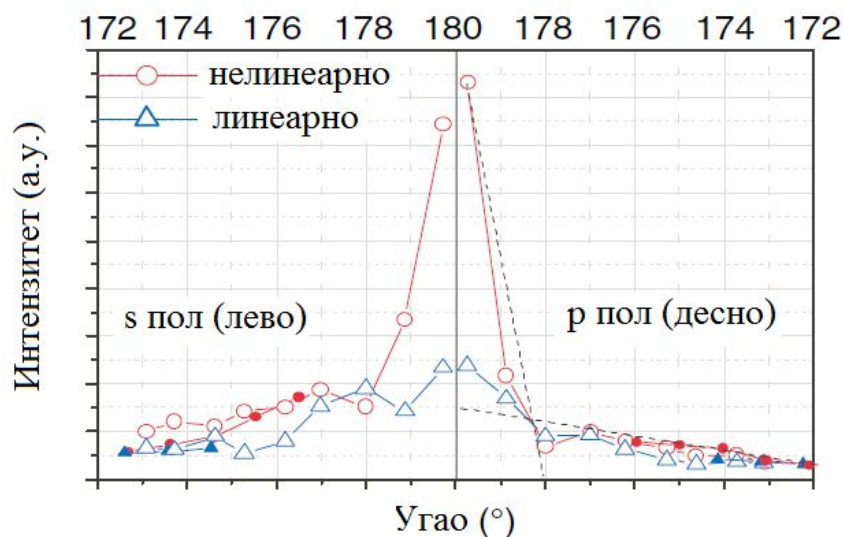
Глатка временска енvelope импулса индукује знатно спектрално ширење импулса око ω . Спектар емитован од филамената је креиран простирањем 2 TW импулса у лабораторији. Суперконтинуум се протеже од 4 μm до 400 nm. Мерења у ваздуху су показала необичну UV екстензију ка 230 nm, услед ефикасне генерације трећег хармоника (THG third harmonic generation) и мешања фреквенција. Овако се могу *покрыти* апсорпциони спектри многих гасова, који се у атмосфери налазе у траговима: метан, несталне органске мешавине (volatile organic compounds VOCs), ароме, CO, NO₂, H₂O, SO и озон. Омогућује нови, више спектрални лидарски приступ мерењима, већ поменутих величина. Проучавање филаментације је показало да је бела светлост генерисана у филаментној структури и да услед спрезања са плазмом, постоји појава *цурења* унапред, у облику уског рогља (конус). Конусна емисија од дужих таласних дужина у центру, ка краћим таласним дужинама на ивицама, протеже се дуж уобичајеног полуугла од 0,12°. Значајнији аспект примене лидара је ангуларна расподела континуума беле светлости у блиском правцу уназад. Код првих fs лидарских експеримената примећена је значајна уназад расејана компонента емитоване беле светлости, што појачава потребу за експериментима, који прате расејање са великом резолуцијом. Емисија блиска повратном правцу супер континуума од светлосних филамената је значајно побољшана у поређењу са линеарним Rayleigh-Mie расејањем RMS. Слика 2.10.7 показује поређење линеарно уназад RMS расејања слабог ласерског снопа са нелинеарном емисијом филамената, за обе – s (део лево) и p (део десно) поларизације. На 179° уназад уочава се повећан интензитет за читав ред.

Наночестице и људско здравље. У референцама је могуће наћи широк дијапазон добрих страна наночестица. Међутим, могуће је наћи и референце у којима се напомиње да је доста ефеката непознато услед непроучавања и да сваки од њих захтева озбиљнију проверу. Један од ефеката је и токсичност за који је непоходно проучавање са аспекта дозиметрије (ово не важи само за наноматеријале, већ и за бројне друге материјале). Иако материјали у хемијском смислу могу бити безопасни за људско здравље, могу бити опасни

за здравље, уколико су честице мање од одређених критичних величина, што је много пута уочено. У случају наноматеријала, нанотоксичност постоји, као посебан огранак науке, који се бави наноматеријалима и њен развој је још увек у успону. Сребрне наночестице се могу користити као пестицид услед своје могућности да умање раст организама, који штете корисним културама, али је њихов свеукупан утицај потребно помно пратити. Истраживања у овом смислу је потребно усмерити на проучавање утицаја честица, које се у организам уносе на више разлитих начина (кожа, гутање, ...) [102, 103, 104].

Проучавање оваквих проблема, дијагностика везана за наночестице и мерне методе, потребно је вишеструко размотрити [146], укључујући и LDA методе и мерења на даљину вулканских процеса, као и сва лидарска мерења генерално (концентрације центара и одређивање димензија центара расејања).

Неки од резултата су представљени, што треба да укаже на реални опис материјала, који могу бити предмет ширих анализа и интерпретација, као и везе са физичким перформансама, које су опет директно повезане са оптичким перформансама (тј, оне су њихов нераздвојни део). Неке симулације и фитовања резултата омогућују евалуацију могућности добијених мерних резултата. Специфични параметри и облици расподеле могу се узети за препознавање узорака.



Слика 2.10.7. Ангуларна зависност интензитета назазад расејане светлости филамента.

Значајно повећање назазад је уочено за *s* (лево) и *p* (десно) поларизацију. Кругови представљају нелинеарну емисију, троуглови расејање ласерског снопа мале енергије у таласној области (400 - 450 nm) [18].

Посебно је потребно уврстити ласерску дозиметрију у скуп осталих дозиметрија развијених за спонтану емисију у истом спектралном опсегу. Од представљених резултата мерења, везаних за соли уранила, показан је могући ранг ширине линије, што одређује комплексни мерни систем, као и интензитет статичке компоненте мерене за фитол код ангуларне представе. Неки нелинеарни феномени су разматрани са аспекта (успешно развијених лидарских система) дескрипције атмосфере и сакупљања реалних параметара. Они припадају области проучавања простирања ласерских импулса на великим даљинама и могу бити део генерализованих решења проблема везаних за свемир (отпад у свемиру, одбрамбени системи), као и за примену ласера у селекцији изотопа, за мерења ниских концентрација материјала различитог утицаја, као што су бојни отрови, итд. Простирање TW ласерских импулса, поседује неколико карактеристичних својстава за мултиспектрална лидарска мерења, екстремно широкопојасних кохерентних светлосних емисија (ласер беле светлости) ограничено на самовођени сноп и уназад рефлектовану светлост ка емитеру, како се ласерски импулс простира.

11. Оптичке методе у раном откривању и мониторингу пожара

Савремена атмосферска истраживања је тешко и замислити без коришћења техника мерења на даљину. Лидар је уз детекцију у радио домену, једна од основних области истраживања, која се бави профилисањем атмосфере. Висока просторна и временска резолуција мерења, могућност праћења атмосфере под амбијенталним условима, као и потенцијало покривање високих опсега од тла до преко 100 km висине, чине само нека од својстава, које лидар чине изузетно привлачним инструментом у датој области. Различитост интеракцијских процеса емитоване светлости са конституентима атмосфере, које се могу користити у лидару, омогућују одређивање основних атмосферских променљивих, као што су: температура, притисак, параметри влажности и ветра, као и мерење трагова гасова, аеросола и параметра облака.

Лидар је у многоме допринео познавању Земљине атмосфере кроз неколико протеклих деценија. Нарочито је користан за истраживање брзо променљивих атмосферских параметара. Поседује могућност за праћење процеса на скалама, које се протежу од неколико кубних метара и неколико секунди до глобалних процеса, који трају више година. Користи се за истраживање турбулентних процеса и дневних циклуса планетарног граничног слоја, укључујући и мерења испарења и озонског флукса. Проучавани су метеоролошки феномени, као што су фронтални пролази, урагани, планински *стојећи* облаци. Помоћ при мониторингу, брзина емисије и нивоа концентрације гасних трагова је велика. Осиромашење стратосферског озона је глобално документовано коришћењем лидара. Улога поларних стратосферских облака се истражује, а класификација ових облака се базира на њиховим својствима при расејању, што се бележи лидарима. Осим што се користе за распознавање водених капљица од кристала леда у облацима, доприносе и нашем познавању дејства аеросола на климу. Стратосферске пертурбације после већих вулканских ерупција су проучаване, а прати се и транспорт интерконтиненталног загађења ваздуха, пустињског песка и дима у шумским пожарима [100, 129] . У слоју мезосфере, лидар је доказао постојање слојева атома метала и јона, тако да су у оквиру овог слоја лидари посебно значајни. Лидари могу да оперишу са тла или са летелице. Један систем је монтиран на Space Shuttle-у, а у блиској будућности, лидарски инструменти у форми сателита (монтирани или самостални) ће моћи да врше глобалне опсервације атмосферских конституената из свемира.

Праћење шумских пожара (емисија) Doppler-овим лидаром за праћење ветра

Анализа литературе за праћење пожара са различитих аспеката би тражила дефинисање појмова и налажење наших прецизних (превода) израза са различитих језичких подручја. Поред тога, укључење административе у области заштите од пожара се мора стално пратити, јер су промене прописа и у нашој земљи честе. Зато се овде даје само неколико изабраних појмова уз њихов опис (енглеско говорно подручје).

Пожар у коме јачина пожара превазилази снагу ветра, што доводи до високог конвекцијског стуба и нетипичних начина ширења [131], супротно од пожара вођених ветром се дефинише под појмом *plume-dominated fire*.

Случај, када је маса топлог гаса окружена хладнијим гасом, топлији гас (ниже густине) се подиже услед разлика у густинама. Ово се дешава изнад извора горива, у пламену, а ток навише, укључујући и пламен се једнозначно назива емисија пожара (*fire plume*). Услед подизања топлог гаса, хладнији гас ће бити увучен у ову емисију, подпомажући стварање слоја топлог ваздуха.

Посматрања, обављена у подручјима са шумским пожарима су показала развој зоне конвергенције у смеру *низ ветар* од конвекционог стуба (*convection column*). Ова посматрања су вршена током процеса горења на терену комплексне структуре San Jose, Калифорнија [147]. Лидар, који ради са тла, Halo Photonics, Ltd. Stream Line 75 је прикупљао брзине ветра једном од техника са Doppler-овим ефектом (LDA, LDV, итд.), као и интензитет уназад расејане светлости, у зони и око пожара од вишеструких вертикалних тачака, PPI (Plan Position Indicator) и RHI (Range Height Indicator) скенирања, док је ASC mini Sodar прикупљао податке о вертикалним профилима ветра и турбуленције у смеру *низ ветар*. Ова посматрања омогућавају да се адекватно прати кинематска структура, као и просторна и временска еволуција пожара. Посматрања су показала убрзање на ивицама дејства пожара, и указала на прилив у основу конвективног вертикалног стуба топлог ваздуха. Развој зоне конвергенције је праћен преко смањења у радијалној брзини од 3 - 5 m/s *низ ветар* од пожара, у поређењу са брзинама у близини пожарног фронта. Ово смањење брзине ветра је такође уочено содарским мерењима *низ ветар*. Пораст у потенцијалној температури у оквиру емисионог стуба од 3,0 - 4,4 K је уочен са повећањем у размери смеше од 0,5 - 1,0 g kg⁻¹, као и повећано турбулентно мешање у оквиру пожара са повећањем у турбулентној кинетичкој енергији од 3 m² s⁻² (средња вредност кинетичке енергије по јединици масе – везује се за вртложна кретања) у зони пожара и брзинама вертикалног стуба топлог ваздуха од близу 1 m/s.

Као додаток су развијене методе за процену брзине пожара, као и брзине ширења емисије пожара. Стално се развијају нове студије за праћење услова у близини или у оквиру

шумских пожара, како би се стекли бољи увиди у микролокације и разумевање пожара и интеракција пожар – атмосфера. Студије користе *in situ* мерења, како би пратили структуру температуре, топлоти флуks, водени флуks и CO₂ флуks у оквирима пожара [100]. У доњих 40 m емисионог стуба, јавља се пораст температуре до 20°C и пораст у односу мешања водене паре од 2 g kg⁻¹. Експерименти са пожарним флуksом су свеобухватне студије, које су се између осталог бавиле и пожаром индукованим ветровима услед горења траве. Током експеримената, масивни вертикални стуб топлог ваздуха од ~10 m/s, јављао се у околини пожара. Вертикално кретање наниже је уочено из линије пожара са брзинама два пута мањим од брзина у смеру навише. Низ ветар од периметра обухваћеног пожаром су уочена јака турбулентна кретања ваздуха наниже, како и стварање турбуленције током пожара, која се јавља као последица појачане варијације праћеног ветра на пожарном фронту. Посматрања су показала да турбуленцијска кинетичка енергија расте током проласка пожарног фронта од 2 m, до вредности скоро 4 или 5 пута веће од турбуленције атмосфере. Дошло се до закључка [100] да *сечење* ветра, које се развија од брзог пораста брзине на површини близу пожарног фронта доприноси појачаној турбуленцији. Иза пожарне линије, долази до смањења турбуленције. Термодинамичка структура емисије је претходно проучавана коришћењем *in situ* мерења. Нагло загревање и хлађење у оквиру емисије, указују на велику брзину ширења пожара. Услед потешкоћа са постављањем инструмената у околини шумских пожара и пожара на отвореном, неке студије су користиле различите типове визуелизације, како би испитивали динамику *круне* пожара. Поље утицаја ветра се може *извести* из инфрацрвене слике коришћењем технике анализе слика протока. Овом техником су посматране брзине ветра у хоризонталној равни, указујући на јак уплив у основу конвективног стуба топлог ваздуха са кретањем навише у емисији. Просечна брзина од 0,75 - 1,11 m/s је такође праћена. Коришћењем визуелне камере и записа су посматране промене у боји тканине везане за вегетацију *низ ветар* ради интерпретације ветра у близини пожара. Посматрање је показало да је на тканину деловао ветар од пожара, како је пожар напредовао ка вегетацији. Показано је да није било утицаја на тканину од стране ветра у неким тренуцима током горења, што указује на смањење ветра током времена, као и на развој зоне конвергенције *низ ветар* од пожара.

Откривање и предвиђање развоја пожара на отвореном простору лидарским методама и симулацијом на рачунару

Предвиђање, мерење и аутоматско праћење предхаваријских стања система, контроле околине у атмосфери, хидросфери, итд., рад енергетских постројења са разноврсном природом трансформација енергије, представљају предмет истраживања много тимова. Велики број различитих претварача - детектора је укључен у сензорске системе, који по

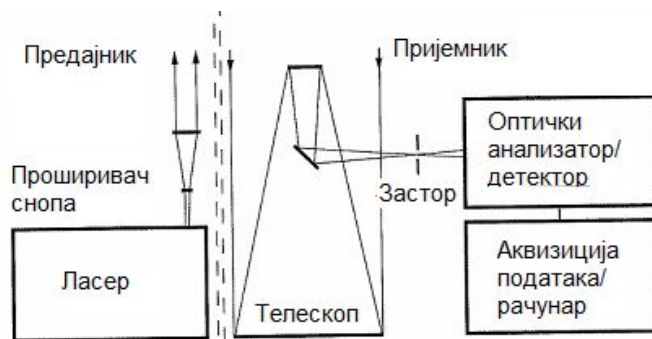
потреби прате даноноћно (24/7) рад индустријских, енергетских и других система, околне атмосфере (око фабрика, постројења, аеродрома), итд. Према изабраном параметру, који се контролише и одабраном систему контроле и озбиљности ситуације (брзини дејстава датог система за спречавања ванредних ситуација), постоји низ техника на бази акустичких, оптичких, микроталасних или других карактеристика контролисаних микро и макро објеката, који се разликују по дејству, цени, габариту и др. У последњих пола века, оптичке методе са методама кохерентне оптике, чини се, преузимају примат везано за безконтактност рада, даљине деловања и релативно једноставних процедура опсега деловања (ако се ради о типу лидарских техника). У избору система заштите, важна су, целовита сагледавања принципа заштите и оптималан избор при анализи могућих решења за рано откривање и праћење динамике развоја пожара. Избор лидарске технике, тражи даљу селекцију сондирања, базираних на процесима апсорпције, расејања и рефлексије разних опсега електромагнетног зрачења. У односу на лидарске, тематика пожарних процеса је међу најважнијим задацима, које данас ови системи могу и треба да испуне. У односу на пожар и његове узроке, овакав начин мерења параметара система (ситуације у оквиру пожара) може да да много података, који се могу искористити за теоријске приступе датој проблематици [148,, 19, 86, 39, 100, 130, 137, 132, 128, 149].

Савремена истраживања, укључујући космос, хидро и атмосферу имају своју историју, која је морала да обезбеди одговарајуће метрологије са даљинским техникама. Електромагнетни таласи су поред акустичких, већ одавно „конкуренти“ у профилисању атмосфере. И термовизијска посматрања су у великој мери данас заступљена [138, 140, 137]. Од 60-их година прошлог века (1960 - 1970), наступају године у којима се висока просторна и временска резолуција мерења, могућност праћења атмосфере под амбијенталним условима, покривање високих опсега до преко 100 km висине реализују и постају могући развојем лидарских система (lidar - Light Detection and Ranging, зависно од литературе може да се подразумева Laser Detection and Ranging, што се може наћи и са називом ладар; термин ладар се често среће у истом контексту, али за војне примене). Интеракција електромагнетних таласа са конституентима атмосфере на бази линеарних и нелинеарних ефеката (еластичних и нееластичних расејања, апсорпције, флуоресценције), искоришћена је у бројним комерцијалним лидарским системима за мерење главних параметара атмосфере (температура, притисак, влажност и ветар; као и мерење трагова гасова, концентрације уопште, и врсте аеросола; висине, димензија и састава облака [127, 133]. Ове проблематике превазилазе националне границе. Развијани су пројекти, који су покривали

заједнички рад неколико земаља укључујући и интерконтиненталну сарадњу, а очекује се даљи развој сарадње.

У поређењу радарских и лидарских могућности, треба проблем постављати комплементарно, јер су различите резолуције уређаја и брзине дејстава, а оба типа уређаја имају своје потврђене делатности. Турбулентни процеси, дневни циклуси планетарних граничних слојева, динамика кретања фаза воде (испаривање, киша, снег, падавине уопште, расподела озона, вулканске активности) су задаци у којима је систем са ласерима различитих типова у изабраној геометрији и обради сигнала преузео примат. Ту су укључени и други метеоролошки феномени: фронтални пролази, урагани, планински стојећи таласи. Улога поларних стратосферних облака, разликовање водених и кристалних честица леда, дејство аеросола на климу и др. се проучава путем података добијених лидарским техникама. Стратосферске пертурбације проузроковане вулканским ерупцијама су паралелно праћене са транспортом интерконтиненталног загађења ваздуха, пустињског песка, вулканског пепела, али и пожара нафтних деривата или постројења на океану. Поред контроле и праћења разних процеса, постоје ласерске методе, којима се утиче на атмосферска пражњења (локално) [39, 111]. У мезосфери је доказано постојање слојева атома и јона метала и гравитационих таласа. У овој глави ће се посебно размотрити улога лидарских система у раном откривању и мониторингу пожара у разним областима на Земљи (у урбаним подручјима, шумама, на отвореном простору, објекта на води, итд.).

Лидарски системи (и моделовање). Као моностатични или бистатични, лидари раде са тла, често на високим тачкама, где су и астрономске лабораторије, са летелица (монтирани на Space Shuttle-у или самостални), са сателита или возила. Принцип лидарског система се заснива на извору – ласеру, детектору и систему за обраду сигнала (слика 2.11.1, слика 2.11.2). Сваки од та три главна дела према изабраном задатку има сложеније или једноставније подсистеме за формирање снопа при емитовању и пријему, с' тим да су неке функције заједничке. У обради података је незаобилазан рачунар са софтвером.

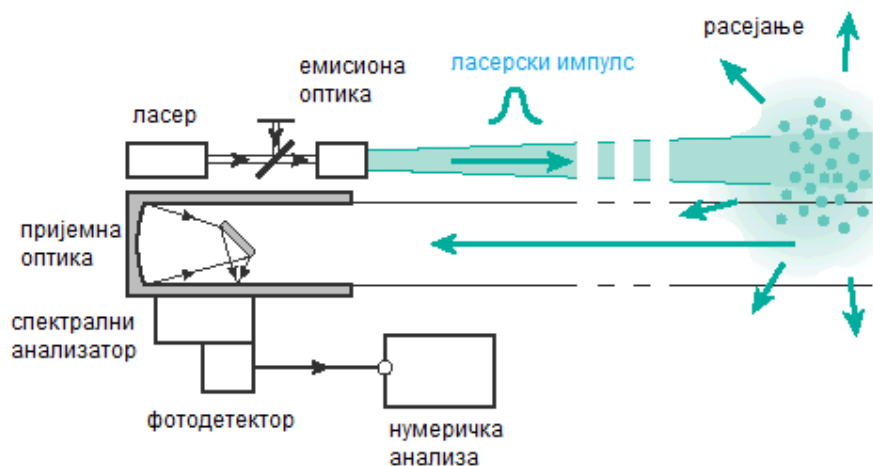


Слика 2.11.1. Принципска поставка лидарског система [150].

Има више подела лидара – једна од њих подразумева 4 основне лидарске технике, које користе специфичне интеракционе процесе емитованог зрачења и конституената атмосфере:

- лидар са еластичним расејањем уназад,
- лидар са диференцијалном апсорпцијом (DIAL –difference absorption lidar),
- лидар са флуоресцентним (резонантним) процесима и
- Doppler - лидар (заснован на Doppler-овом ефекту).

У основи рада лидара су процеси расејања, апсорпције и флуоресценције, али у неколико савремених типова је укључено много нелинеарних ефеката.



Слика 2.11.2. Принципи рада лидара.

Праћење шумских пожара Doppler-овим лидаром. Опис физичких параметара, који дефинишу пожар, се може разматрати са гледишта теоријског прилаза, са улажењем у узрочност пожара, са хемијске стране, са административне стране (регулатива) и других углова посматрања [1, 37, 128, 141, 151, 152, 153]. Посебно су разрађене сензорске улоге детектора дима различите природе, као и трансфер функције [134].

Фронт шумског пожара се сматра област, где је сагоревање континуално и где се неутралан, још незапаљен материјал сусреће са пожаром. Са кретањем фронта, загрева се околни ваздух, али и потенцијална горива материја. Ако се ради о шумама, околно дрво се суши, испушта запаљиве гасове и пали се. Кретање фронта пожара предзагревањем околне материје, убрзава њено паљење. За случај густе материје (шума), шумски пожари имају велику брзину ширења. Могу се кретати и брзинама до 10,8 km/h. Како вертикални конвекциони стубови преносе запаљене честице (нпр. од дрвећа са смолама), као и други запаљени материјал, могућ је пренос пожара и преко природних препрека – путеви, потоци, реке и других препрека, које се под другим условима понашају као природни ограничавачи

пожара. Један од важнијих типова пожара се дефинише, као пожар у коме динамика кретања у пожарном стубу превазилази јачину ветра, што доводи до високог конвекцијског стуба и нетипичних простирања [131]. Овај пожар је у много чему супротан пожару, који је вођен ветром. Према типу пожара и материјала, који гори, дефинишу се формације, које се посебно проучавају у динамици флуида. Карактеристична је и формација, када је маса топлог гаса окружена хладнијим гасом. Ту се развијају процеси кретања струје топлијег гаса (мање густине) вертикално навише. Ове се ситуације дешавају изнад извора горива, у пламену.

Праћење шумских пожара разним техникама је показало развој зоне конвергенције у смеру низ ветар од конвекционог стуба. Терени комплексне структуре се прате често са више система. Динамика ветра се анализира добијањем података, путем Doppler-овог процеса у разним тачкама око места жаришта на подручју од интереса за опис пожара. Контролишу се координате тачака у којима се мери брзина ветра и параметри турбуленције, у смеру низ ветар. Мерења компаративно садрже и содарска (SODAR - SOnic Detection And Ranging) праћења (Таб.2.11.1) [100].

Табела 2.11.1. Распоред, положај и тип уређаја за праћење шумског пожара.

Идентификација	Географска дужина/ географска ширина (°, min, sec)	Висина[m]	Тип инструмента / модел
SODAR	37°20'41,88''S 121°41'06,78''Z	823	ASC-4000 miniSODAR
LIDAR	37°20'26,58''S 121°43'10,86''Z	492	Halo Photonics, Ltd. Stream line 75
Ridge RAWS	37°20'01,28''S 121°42'50,29''Z	836	WS/WD: RM Young 5103, T/RH: Campbell Sci.,Inc., CS-215
Valley RAWS	37°20'26,37''S 121°43'10,76''Z	491	WS/WD: RM Young 5103, T/RH Campbell Sci.,Inc., CS-215, p: Campbell Sci., Inc., CS-106
<i>In situ</i> торањ	37°20'28,32''S 121°41'03,24''Z	783	T/RH Campbell Sci.,Inc., CS-215, WS/WD: RM Young 81000 Sonic Anemometar

RAWS – Remote Automated Weather Station (даљинска аутоматизована временска станица).

Посматрања треба да обезбеде адекватно праћење кинематичке структуре и еволуцију пожара у простору.

Развој зоне конвергенције се прати променама радијалне брзине, 3 - 5 m/s низ ветар од пожара у поређењу са брзинама у близини пожарног фронта. Подаци [100] се слажу са содарским мерењима. Локалне промене температуре се могу повезати са концентрацијама гасних садржаја, као и турбулентним мешањима. *In situ* мерења дескрипције процеса пожара прате: температуру, топлотни флуks, водени флуks и CO₂ флуks.

Компаративна студија са више техника се тешко постиже, јер је неопходно да се инструменти поставе у непосредној близини током мерења. Технике термовизије одавно су прошириле могућности за макроскопско посматрање сцене, за разлику од лидарских техника скенирања. Приказ пожарних сцена термовизијом [135] и другим техникама је на сликама 2.11.3-6.

Софтверски модели и лидарска праћења. У овој тези су поменуте првенствено мерне методе, које се на лидарским основама баве дистанционим дескрипцијама разних процеса, који се одвијају у атмосфери, око неког објекта, за праћење простирања вулканске прашине, састав атмосфере око великих индустријских комплекса. За методе базиране на активним и пасивним принципима у употреби су мерни процеси са праћењем ваздушне средине (на разним висинама земљине атмосфере), водених површина (и дубинског профила састава воде), аграрних површина. Посебно су интересантне примене, где се даљински дефинишу дескрипције површине земље (песак, снег,...), врсте земље (црвеница, црница, иловача,...), састав стена, итд. Стање усева представља област, која већ дуже година може даљински да се прати према параметрима, којима се описује биљни покривач, итд.

Тај део активности је годинама праћен развијањем посебних софтвера, којима се предвиђају или се путем интерпретације мерних резултата долази до тачног описа праћене сцене, динамике процеса, полазећи од теорије расејања о мале и велике честице, рефлексије, аеросола,... [148, 41]

Један од таквих програма је и ADDA [57], где се предвиђа ширење снопа на великим растојањима, интензитет расејања за вишеслојне сфере, цилиндри, итд, или ангуларна расподела, која опет описује флору или фауну (нпр. ларве и већи ројеви инсеката).

Теорија развоја пожара и праћење стања пожара је по важности недискутабилна. Због тога смо другу целину рада посветили, без улажења у основе теорија, који припадају професионалном прилазу пожарним процесима, само изабраном делу софтверских алата. Предвиђања развоја пожарних процеса применом постојећих програмских пакета за симулацију има више прилаза. Једна група модела за предвиђање се одликује нехомогеним расподелама и врстама горивог материјала. Међу њима се највише користе BehavePlus и

Farsite. BehavePlus је део програмског пакета, који укључује FlamMap, FARSITE и FSPPro. Понашање пожара у простору укључује временске и просторне варијације услова укључене у прорачуне на различите начине. FlamMap систем анализе и мапирања пожара врши калкулације за сваку тачку терена са количином горива (влаге) и брзине ветра константним у времену. За основне FlamMap операције сваки прорачун је независан од својих суседа. FlamMap такође укључује могућност прорачуна минималног времена ширења пожара, што је корисно код одређивања ефективних локација за прераду горива. Развој пожара у тачки (pixel – тачка у времену и простору у оквиру подручја обухваћеног пожаром може се посматрати) зависи од система ширења пожара од суседних pixel-а, као и од услова у тренутку посматрања пожарног процеса. Корисници морају имати подршку GIS-а како би користили FARSITE, јер захтева просторну коинциденцију растера терена за свој рад. FSPPro систем вероватноће ширења пожара спроводи више хиљада различитих симулација ширења пожара од временских секвенци заснованих на климатским условима. Док FARSITE предвиђа пожарни периметар на локацији, FSPPro рачуна вероватноћу да пожар достигне сваку тачку од познатог периметра пожара током специфицираног времена симулације.

Ови модели су засновани на емпиријским једначинама Rothermal-а (класификација материјала у 13 основних група), док неки од њих користе и Van Wagnerove и Nelsonove моделе. Због интеракције грађевинског материјала, вегетацијског горивог материјала у рурално-урбаним срединама, прецизно моделовање настајање и ширење пожара је базирано на нумеричкој динамици флуида. Програмски пакет WFDS (Wildeland-Urban Fire Dynamic Simulator) је екстензија структурног FDS симулатора. Тиме су покривена горива, која укључују вегетацију. Ради се о симулацији вртлога LES Large Eddy Simulation. За разлику од BehavePlus и Farsite (емпиријског и полуемпиријског типа) модел захтева више рачунарског времена и ресурса. У том контексту ALOFT-FT је само претеча и огранак LES симулације.

Развијен је велики број модела (free software) за динамички опис настајања и еволуције пожара у разним окружењима и различитим предусловима, као и за праћење различитих процеса везаних за услове пожара, узроке пожара и превенцију [154, 89, 88]. Познати су Aloft, Fpetool, Aft, Ascots, Asetb, Asmet, Break, Ccfm, Detact, Elvac, First, Lavent (http://www.nist.gov/el/fire_research/firesafety/fireontheweb.cfm).

ALOFT-FT™ (A Large Outdoor Fire plume Trajectory model - Flat Terrain). У основи ове апликације је симулациона техника, која се користи за симулацију динамике пожарног стуба, помереног ветром у случају великих пожара на отвореном. Стубови могу да се вежу и до висине 1 и 2 km у атмосфери и да опстану као кохезивне структуре десетинама километара. На слици 2.11.3 и слици 2.11.4 су фотографије конкретног пожара за који је

касније извршена симулација (слика 2.11.5) [155]. Интересантни су и пожарни описи у поларним пределима представљени на сликама 2.11.3 и 2.11.4. На слици 2.11.5 су предвиђања ALOFT модела [155].

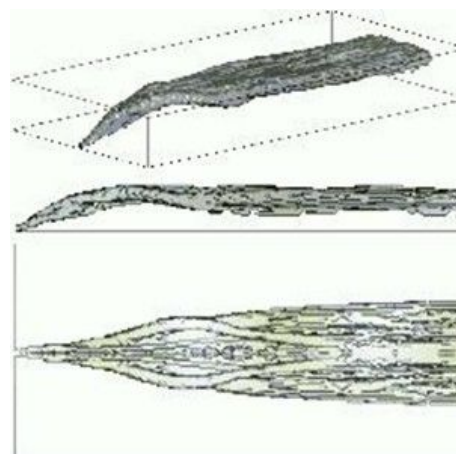
ALOFT модел је даље усавршен и за комплексне планинске терене. Главни проблем је постизање високе резолуције и при неповољним условима, који су везани за мале метеоролошке видљивости или друге природне непогоде. Велики пожари са нафтних терена и области са димом су карактеристични амбијенти, који треба да се препознају по својственим параметрима и преточе у корисне делове специфичних интерфејс програма, који се додају основним моделима, тј. алгоритмима. Валидација ALOFT-а је вршена експериментално, где су посебно важна лидарска мерења пресека пожарног стуба, као и мерење нивоа CO₂ у реалном времену. Ово ALOFT чини посебно занимљивим. Сама мерења нису коришћена за калибрацију модела, већ само за оцену његове тачности. Несигурност ALOFT модела је углавном последица несигурности у метеоролошким условима и брзине пожарне емисије. Једноставније корелације резултата ALOFT модела не могу се добити за случајеве компликованог терена, јер је у том систему превелики број степени слободе (што отежава и његову спрегу са GIS-ом). Подаци са европског континента у областима познатим по шумским пожарима су дати на сл.2.11.8 и сл.2.11.9 и показују прорачуне концентрације PM и CO за специфично изабране услове шумског пожара [129]. Таб.2.11.2 приказује статистику шумских пожара у Грчкој у периоду од скоро 50 година.



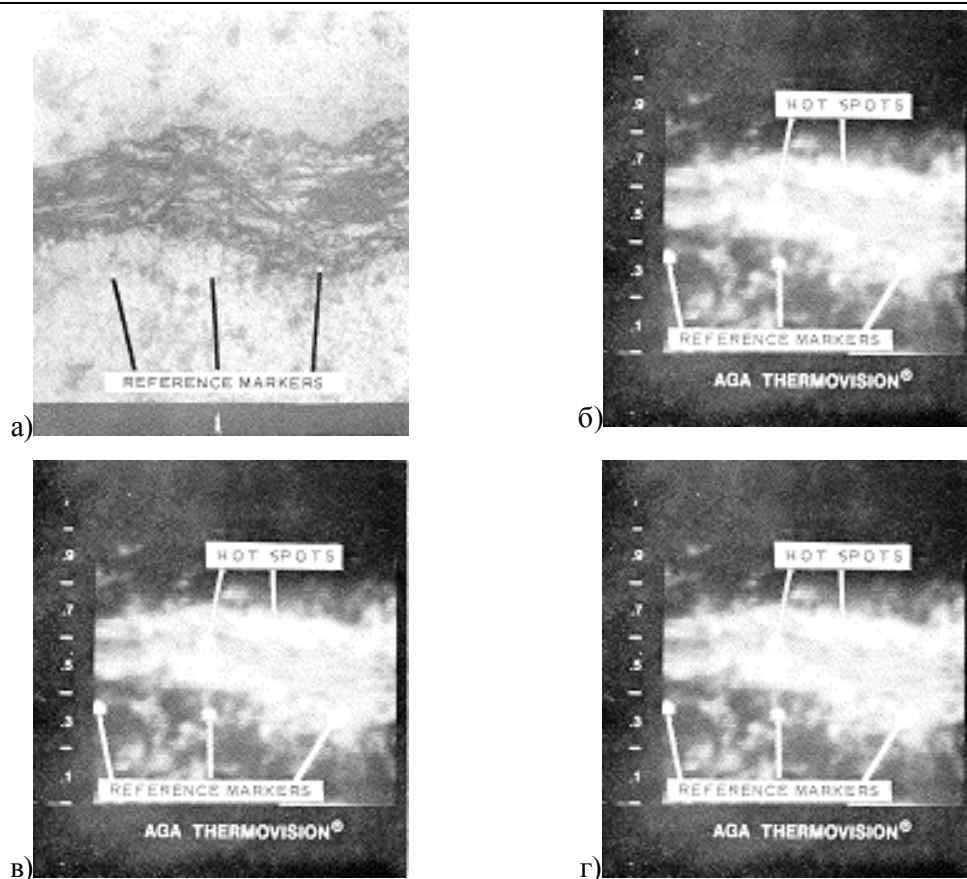
Слика 2.11.3. NOBE експерименти пожарног процеса (Newfoundland Offshore Burn Experiment) [155].



Слика 2.11.4. Појава вртлога као кључна карактеристика структуре и динамике пожара [155].



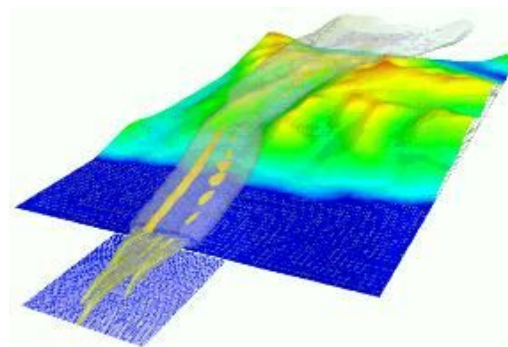
Слика 2.11.5. Симулација ALOFT моделом у области од 1 km x 4 km x 8 km (HxWxL).



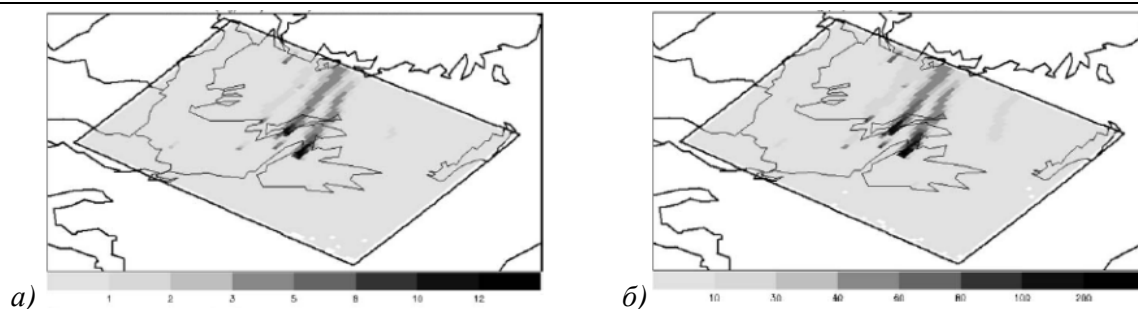
Слика 2.11.6. Термовизијски тестови (Niederleitner, 1976): а) црно бела фотографија (инфрацрвеног записа на филму), б) термограм исте површине са алтитуде 33 m, в) термограм исте сцене после 0,5 h, г) термограм са 50 m алтитуде исте области са редукованом осетљивошћу скенирања (ради уочавања жаришта – резервоари са ужареним угљеним брикетима).



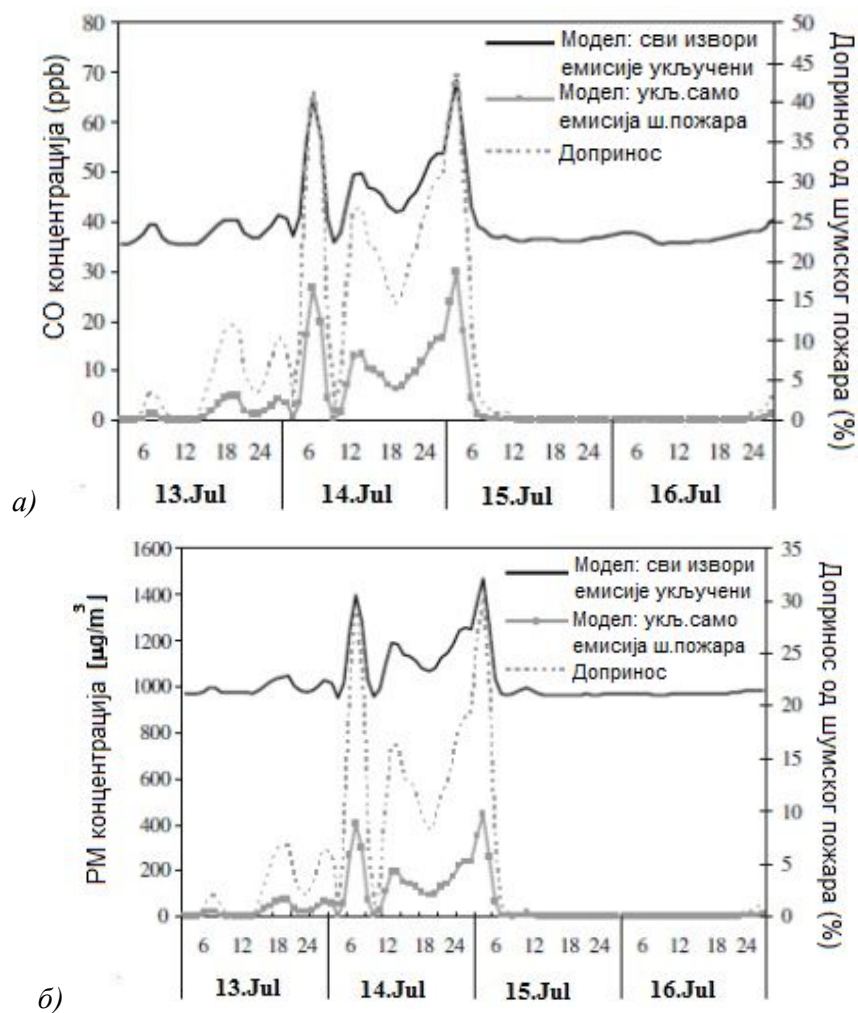
Слика 2.11.7а. Пожарни процес на слоју уља близу нафтне мрље (Valdez, Aljaska).



Слика 2.11.7б. Утицај комплексног терена комбинован у ALOFT модел при предикцији пожарног стуба.



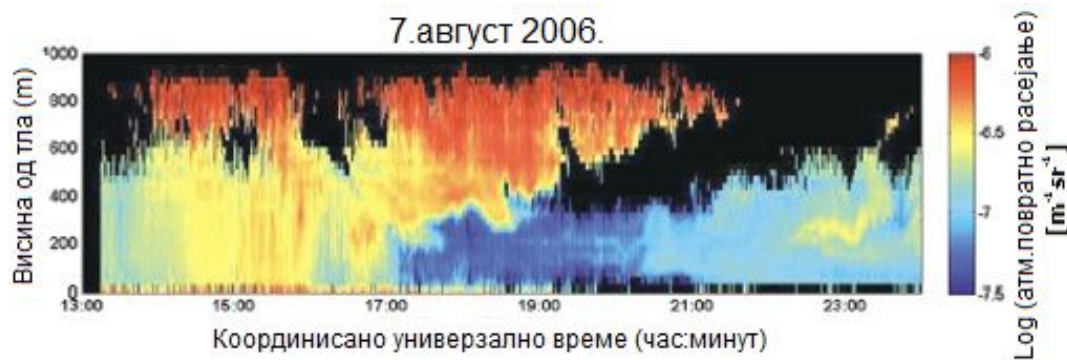
Слика 2.11.8. Прорачун концентрације а) $PM_{2.5}$ и б) CO 13. јула 2000 (15 h UTC) у најнижем слоју модела за сценарио бр.2 (у случају да постоји само емисија, која је последица шумског пожара) [129].



Слика 2.11.9. Израчунате концентрације у најнижем нивоу модела за период 13-16 јул 2000. у оба сценарија 1) укључујући све изворе емисије и 2) само емисију услед шумског пожара) за а) CO и б) PM_{10} [129].

Слика 2.11.10 приказује серију лидарских мерења за специфичан случај. Шумски пожари на северо-западу Русије су условили повећање концентрације честица у ваздуху,

чиме је значајно угрожен смањен квалитет ваздуха на северу Финске током низа недеља. Као последица источних и југо-источних ветрова, стубови дима су се протезали преко Финског залива и досезали источну и јужну Финску [127, 133].



Слика 2.11.10. Временска серија лидарског мерења атмосферског расејања уназад 7. август 2006, у временском периоду 13:00 до 23:59. Приказан је запис атмосферског расејања уназад. Вертикална оса приказује висину изнад тла (m), а хоризонтална координисано универзално време (UTC). (Подручје Хелсинкија – последица пожара у Русији) [127].

Због своје једноставности и добре предикције процеса пожара, ALOFT-FT је изабран за анализу. Пошто се бави процесом пожара на отвореном (равном) терену, још је јаснија и једноставнија лидарска подршка у овим условима, што знатно ојачава спрегу ове две методе. У процесу реалног пожара, координација свих активних тимова на терену, може бити знатно олакшана адекватним предвиђањем. Промена параметара у реалном времену и системима за праћење, припада методама, чији је основни циљ корекција предвиђања. Спрега ове две методе би требала да буде форма софтверског интерфејса, који би реалне податке са терена претварао у инкремент/декремент параметара, који служе за предвиђање. Ако се ово посматра са аналогијом на мреже, систем би могао да се реализује као непретренирана неурална мрежа.

За потребе моделовања, често се бира правоугаона геометрија подручја захваћеног пожаром. Могућа су и паралелна разматрања неколико истовремених жаришта пожара, која се дефинишу координатама пожара. Овакав приступ је сложенији од просечних модела. Софтвер се развија за пожаре на отвореном и равном терену. Врши се предвиђање процеса у пожару нафтних мрља, али и базена на отвореном. Са могућностима, које пружа (укључивање у прорачун више мањих пожара, карактеристике гориве материје,..), шумски пожар је могуће разложити на подручја различите надморске висине и координата, где се

води рачуна о карактеристичној врсти дрвећа за подручје за које се врши прорачун (зимзелено дрвеће, смола, ..).

Табела 2.11.2. Шумски пожари у Грчкој у периоду од 1960. – 2003. [129].

Година	Број пожара на отвореном	Изгорела површина (km ²)	Ср.вр. изгореле површине по пожару (km ²)
1960 - 1969	7240	1238	0,17
1970-1979	7534	2038	0,20
1980-1989	12653	5242	0,39
1990	1091	338,8	0,31
1991	1118	212,3	0,19
1992	1815	420,0	0,23
1993	2417	470,0	0,19
1994	2074	540	0,26
1995	1572	251,9	0,16
1996	1757	229,0	0,13
1997	2271	496,2	0,22
1998	605	583,8	0,97
1999	513	42,9	0,09
2000	1469	991,7	0,68
2001	1313	167,7	0,13
2002	572	34,3	0,06
2003	622	0,5	0,05
Ср. вр. (период)	1291	333	0,22

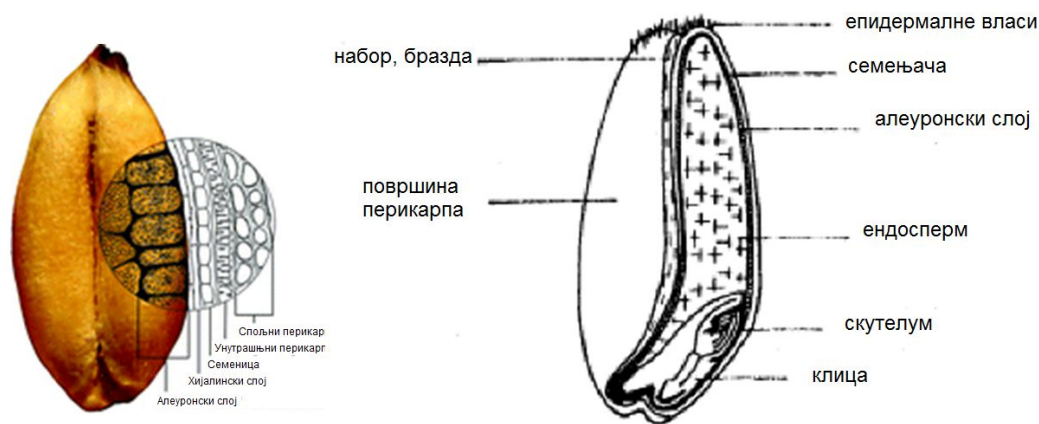
Системи превенције, праћења и борбе против свих, па и шумских пожара током година се стално развијају. Постоје и правци контраверзних метода контролисања пожара (ширење пожара у погодним правцима, паљење мањих шумских површина да би се онемогућило ширење пожара у другим смеровима).

Као узорци у овој тези, бирани су они примерци, који имају значајан утицај на друштво. Кукуруз, пшеница, ароматичне биљке, као што су босиљак и мајчина душица су не само традиционално биљке, које се користе на нашим поднебљима већ и, данас, изузетно комерцијализоване биљке.

Diagram illustrating the internal structure of a corn kernel (Zea mays) in cross-section. The diagram shows the following components:

- Лјуска** (Husk): The protective outer layer of the kernel.
- ендосперм** (Endosperm): The nutritive tissue above the scutellum.
- брашњави део** (Starchy part): The starchy endosperm.
- рожнати део** (Waxy part): The waxy endosperm.
- Ћелије ендосперма са гранулама скроба** (Endosperm cells with starch granules): A detailed view of the endosperm cells.
- слој алеуронских ћелија** (Layer of aleurone cells): A layer of cells below the endosperm.
- мекиње семењача** (Soft seed coat): The seed coat.
- Слојеви перикарпа** (Pericarp layers): The layers of the pericarp.
- клица** (Embryo): The developing embryo.
- пупољак** (Shoot): The shoot.
- скутелум** (Scutellum): The large cotyledon.
- коренчић** (Radicle): The root.
- шпицаста капа** (Mittelschuppe): The protective sheath for the shoot.

Пшеница (*Tricum Aestivum*). Пшеница спада у житарице, представник је једногодишњих (монокотиледоних) биљака из породице трава. Њен узгој је широко распрострањен. Користи се у исхрани људи и животиња, даје изузетно добре приносе, добро расте и у умерено кратким сезонама. Пшеница је биљка дугог дана. Сви делови зрна се користе у исхрани (Слика 3.1.2).



Слика 3.1.2. Слојеви зрна пшенице [157, 158].

Спанаћ (*Spinacia oleracea*) је двогодишња/једногодишња зељасти повртарска биљка (лиснато цветасто поврће). Не захтева велике количине топлоте и добро подноси ниске температуре. Спада у биљке дугог дана. Захтева велике количине воде. Користи се за људску исхрану.

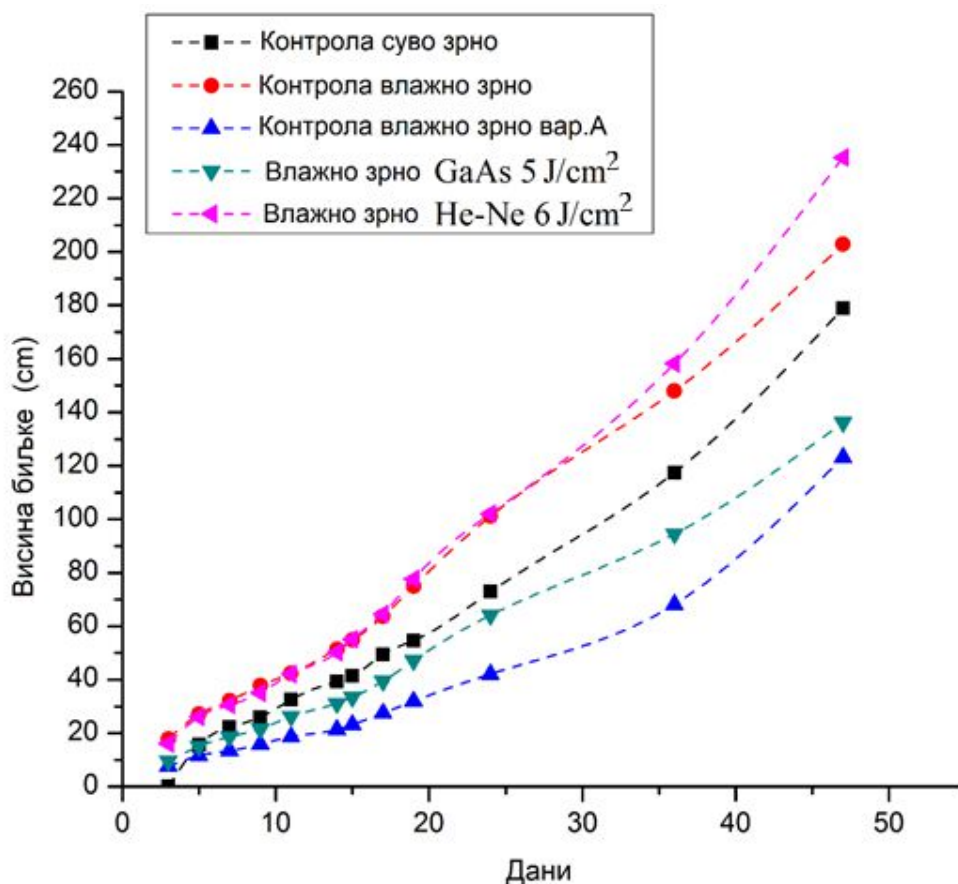
Босиљак (*Ocimum Basilicum*). Босиљак спада у у ароматичне биљке, пријатног је мириса и користи се као зачин. Босиљак је једногодишња биљка, гаји се на осунчаним теренима и на земљи богатој хранљивим материјама. Захтева доста воде. У лабораторијским условима (контролисана температура, притисак и влажност), може се узгајати током читаве године. Спада у биљке дугог дана.

Мајчина душица, тимијан (*Thymus vulgaris*) је ароматична вишегодишња зељасти биљка (полужбун). Мајчина душица се сеје у рано пролеће, дубина сетве је 0,5 cm. Биљка слабо подноси пресађивање. Бере се после цветања. Трајност усева је 3 - 5 година. Усеви добро подносе сушу и мраз. Биљка је посебно осетљива у почетним фазама раста. Чај од мајчине душице спада у лековите и помаже при варењу и реуми. Користе се само цвет и лист.

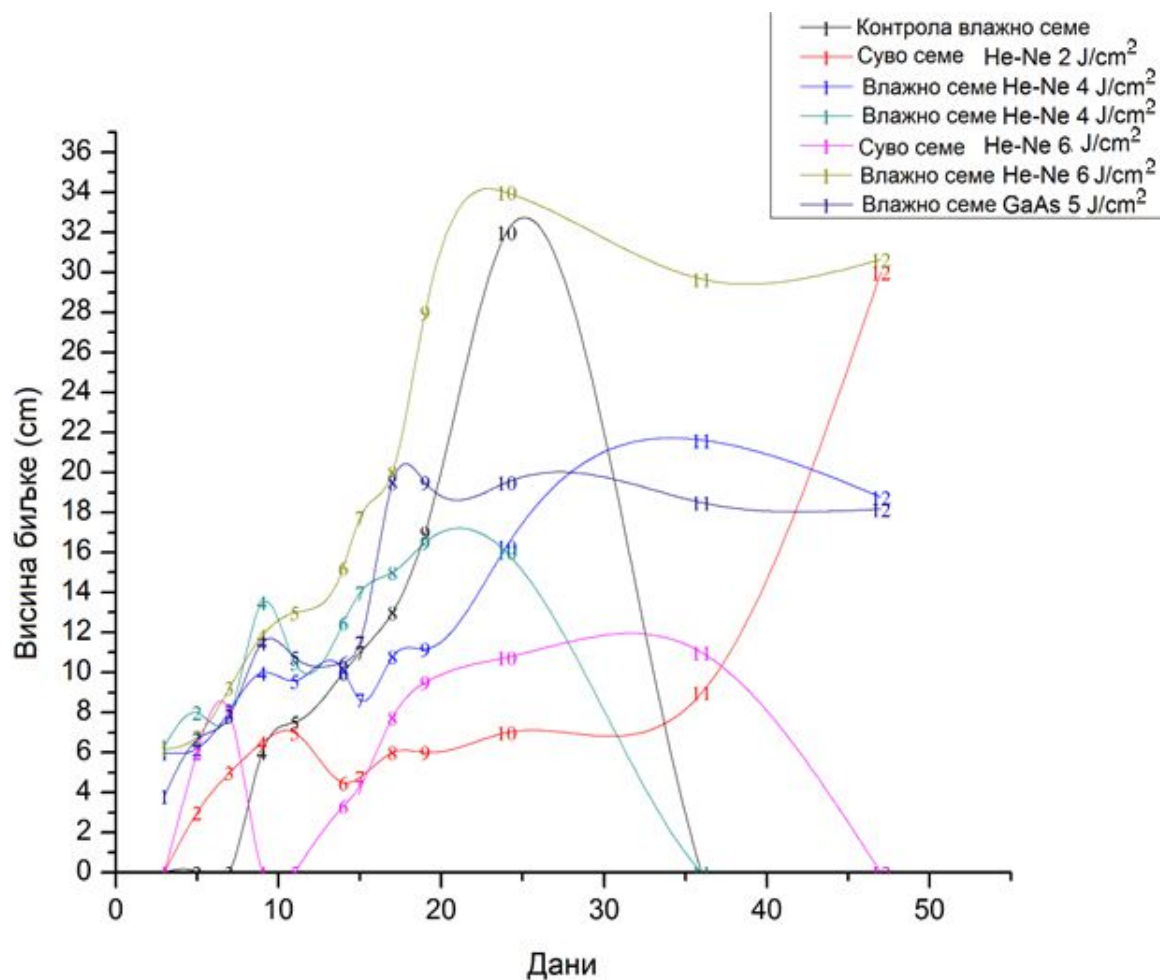
Експерименти са пшеницом (*Triticum Aestivum*) и две сорте кукуруза (*Zea Mays*, Var. *Amilacae*; Var. *Identata*), спроведени су у више етапа. Семе пшенице и кукуруза је озрачивано различитим врстама кохерентног зрачења (He-Ne, полупроводнички ласер типа GaAs). Семе спанаћа је тетирано He-Ne ласером (различите експозиције).

Као код свих експеримената у биологији, водило се рачуна да постоје узорци за третирање и контролни узорци, а за евалуацију се констатују статистички прилази.

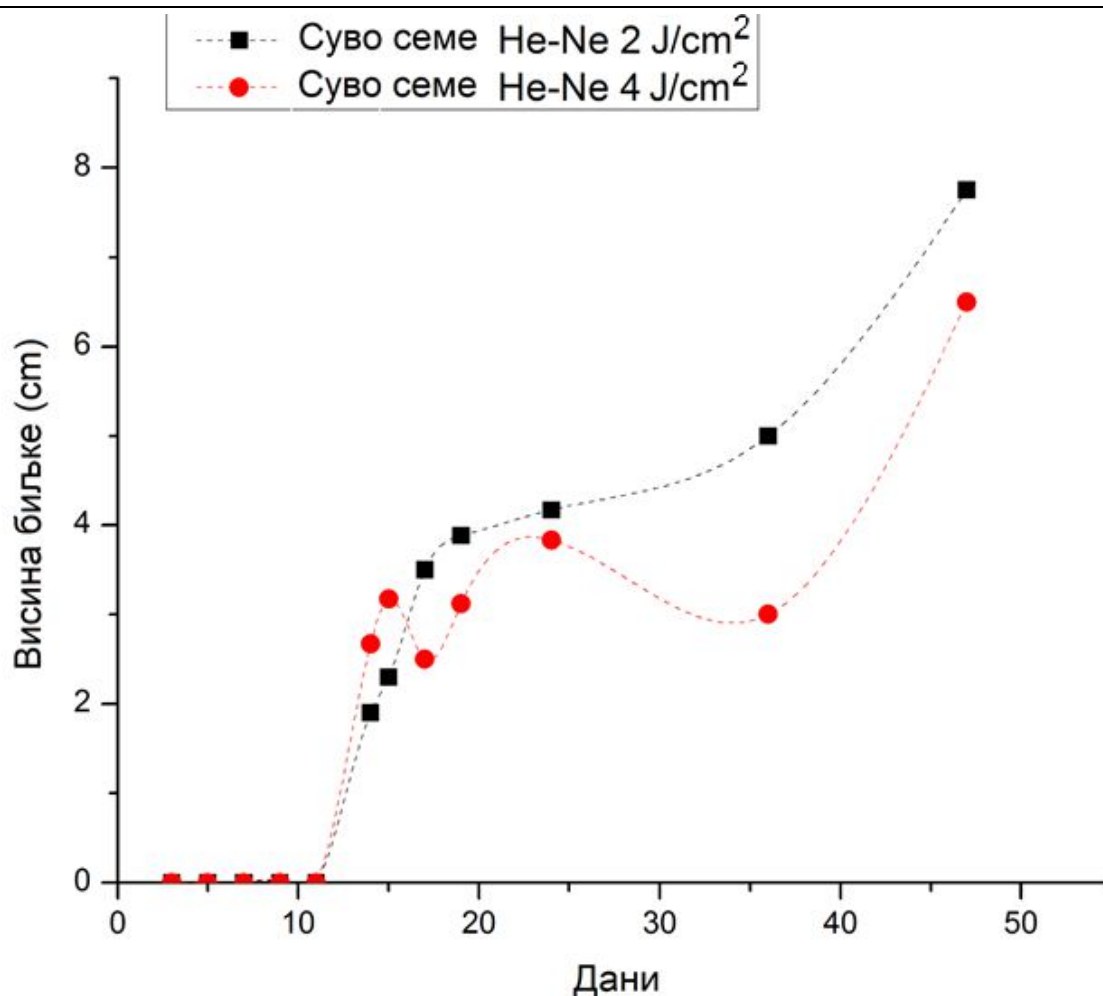
У експериментима ове тезе су разликовани влажни и суви узорци, за третирање - озрачивање и одговарајуће контролне групе за све биљке, чија су семена третирана. Влажна и сува семена су озрачивана под различитим условима, различитим типовима ласера у дефинисаним динамичким режимима, односно различитим густинама енергије (снаге), временима експозиције, итд. Када је било могуће да се биљке прате поред осталих усева (у спољној средини) експерименти су вршени напољу, а за мањи број су коришћени затворени простори. После клијања, праћен је раст биљака, а њихове морфогенетске промене (дебљина стабљике, висина и дужина плода) су бележене по данима. У зависности од фамилије, којој биљка припада, праћени су њени вегетативни периоди (клијање, цветање, настанак плода) и анализиран је род. Резултати су представљани графички (слике 3.1.3-5), а статистичка обрада је обухватала корелационе зависности [51].



Слика 3.1.3. Упоредни приказ раста биљака изниклих из зрна кукуруза: сувих, влажних, влажних вар.А, влажних зрна третираних GaAs ласером (експозиција 5 J/cm²), влажних зрна третираних He-Ne ласером (експозиција 6 J/cm²) [51]



Слика 3.1.4. Упоредни приказ раста биљака изниклих из зрна пшенице: влажних, влажних зрна третираних GaAs ласером (експозиција 5 J/cm²), влажних зрна третираних He-Ne ласером (експозиција 2 J/cm²), влажних и сувих зрна третираних He-Ne ласером (експозиција 4 J/cm² и 6 J/cm²) [51].



Слика 3.1.5. Упоредни приказ раста биљака изниклих из сувих зрна спанаћа третираних He-Ne ласером (експозиција 2 J/cm^2 и 4 J/cm^2) [51].

Утицај ласера на ређе ароматичне, лековите биљке, може да буде од значаја, зато што се побољшањем морфолошких карактеристика добијају економски повољнији резултати за њихову употребу.

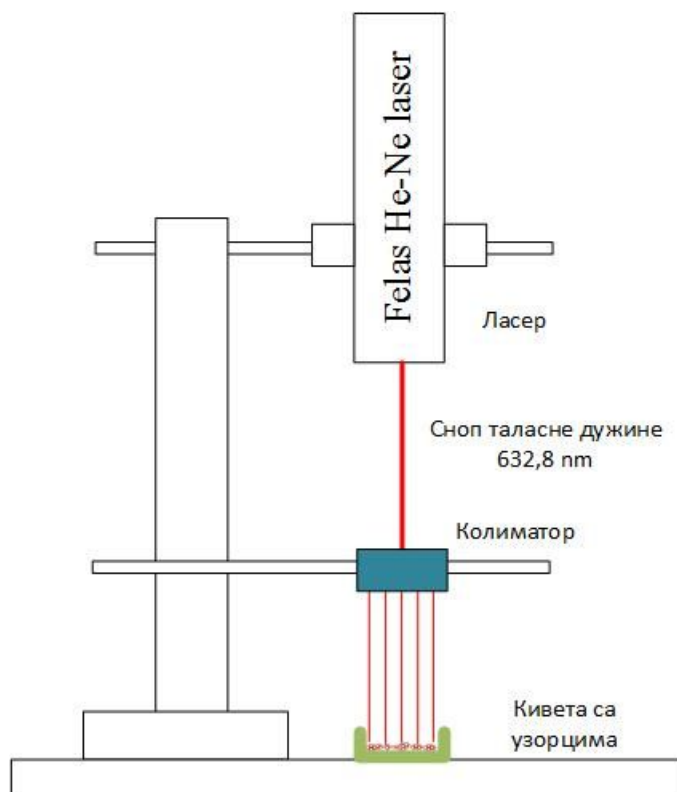
Као ароматичне биљке и проучавање утицаја ласера ниске снаге на њихов развој, изабрани су узорци мајчине душице (*Thymus vulgaris*) и босиљка (*Ocimum basilicum*). Узорци мајчине душице су озрачивани једним типом ласера, док су узорци босиљка озрачивани са два различита ласера са различитим сетом параметара.

Озрачивање мајчине душице и босиљка (He-Ne felas medical laser). Озрачивање узорака босиљка и мајчине душице је вршено помоћу ласера He-Ne felas medical LASER HN 12 (слика 3.1.6.). Сноп је проширен колиматором. Огледала су избегнута при озрачивању, да не би била изазвана промена поларизације упадног снопа (слика 3.1.7.).

Већина снопова комерцијалних ласера има Gauss-ов профил интензитета, а примена колиматора је уједначила делимично централни и периферијски део снопа. Тиме је омогућено да густина снаге пренета на узорак буде (средња вредност) равномернија у свим деловима посуде, за држање зрна. При експерименту је вођено рачуна да ефекти паразитне апсорпције и рефлексије буду што мањи.



Слика 3.1.6. Ласер коришћен за озрачивање зрна узорака.



Слика 3.1.7. Блок шема система озрачивања узорака мајчине душице и босиљка.

Узорци су груписани у четири скупа. Први скуп је скуп контролних зрна, која нису излагана ласерском снопу. Други, трећи и четврти скуп су озрачивани са временом експозиције од 1 минуте, 3 минуте и 5 минута.

FT-IR (Fourier Transformation InfraRed - Инфрацрвени спектри путем Фуријеове трансформације) спектри. Оптичка својстваозрачиваних и неозрачиваних семена,

ароматичних биљака су контролисана путем FT-IR спектрометра Thermo Scientific Nicolet iS10 (Слика 3.1.8.). Изглед изниклих биљака је дат на сликама 3.1.9. и 3.1.10. Резултати њихових FT-IR спектра су на сликама 3.1.11. и 3.1.12.



Слика 3.1.8. Спектрофотометар FT-IR Thermo Scientific Nicolet iS10.

Због величине посуде за озрачивање, број зрна у групама озрачених зрна је знатно мањи од броја семена у контролним групама.

Семена су сађена у саксије исте величине са истом запремином земље и истим типом земље. Свака два дана, заливање је вршено са по 40 ml воде. Од 16. дана од сађења, сваки дан је коришћено по 40 ml за заливање.

Просечна температура просторије је држана на 20 - 25°C. Биљке су током дана биле изложене дневној светлости, а током ноћи вештачком осветљењу.

Ради лакшег означавања и референцирања, групе ће се даље у тези помињати као нпр. мајчина душица 3 min (МДЗмин), означавајући при том биљке изникле из семена мајчине душице, које је пре сађења озрачивано He-Ne ласером у трајању 3 min. Зрна су полагана у земљу на дубини од 5 mm.

Семена су проклијала после 3 дана. Прво мерење висине почиње од 7. дана.

У Табели 3.1.1., приказани су подаци о расту биљака, чија семена су озрачивана He-Ne ласером.

19. дана од сађења је примећено појављивање другог пара листова код оба узорка и то:

- Босиљак контрола НЕ, Б. 1 мин НЕ, Б 3 мин ДА (зачетак) и Б 5 мин ДА (зачетак).
- МД контрола НЕ, МД 1 мин ДА (тек у зачетку), МД 3 мин ДА (видљиви јасно изражени) и МД 5 мин ДА (видљиви јасно изражени).

Визуелно (субјективно) опажање:

- Б: Листови биљака Б 5 мин су највећи по површини, затим Б 3 мин а Б контрола и Б 1 мин изгледају исто.
- МД: листови свих биљака субјективним осматрањем изгледају исто.

Табела 3.1.1. Раст биљака чија семена су озрачивана Не-Не ласером.

Мајчина душица		<i>Thymus vulgaris</i>			
		Контролна група	1 min	3 min	5 min
h (mm)	7. дан	33	28	25	25
	11. дан	45	35	32	32
	19. дан	38*	45	42	44
	37. дан	28	31**	55	51
Босиљак		<i>Ocimum basilicum</i>			
		Контролна група	1 min	3 min	5 min
h (mm)	7. дан	40	25	30	30
	11. дан	48	30	34	34
	19. дан	62	40	43	45
	37. дан	65	43	55	58

*16. дан -Већина контролних стабљика мајчине душице је осушено (од овог дана се сваки дан биљке заливају са по 40 ml).

**30. дан -Већина стабљика мајчине душице 1 min осушено.

Током експеримента праћене су кључне појаве у расту и развоју биљака: ницање, раст (висина), формирање другог пара листова (Слике 3.1.9. и 3.1.10.).

За узорке зрна мајчине душице озрачиваних Не-Не ласером, приликом мерења апсорпционих спектра, уочени су максимуми за све четири групе (различита времена) узорака (семена) за таласне бројеве из табеле 3.1.2, 3.1.3 (слике 3.1.11, 3.1.12).

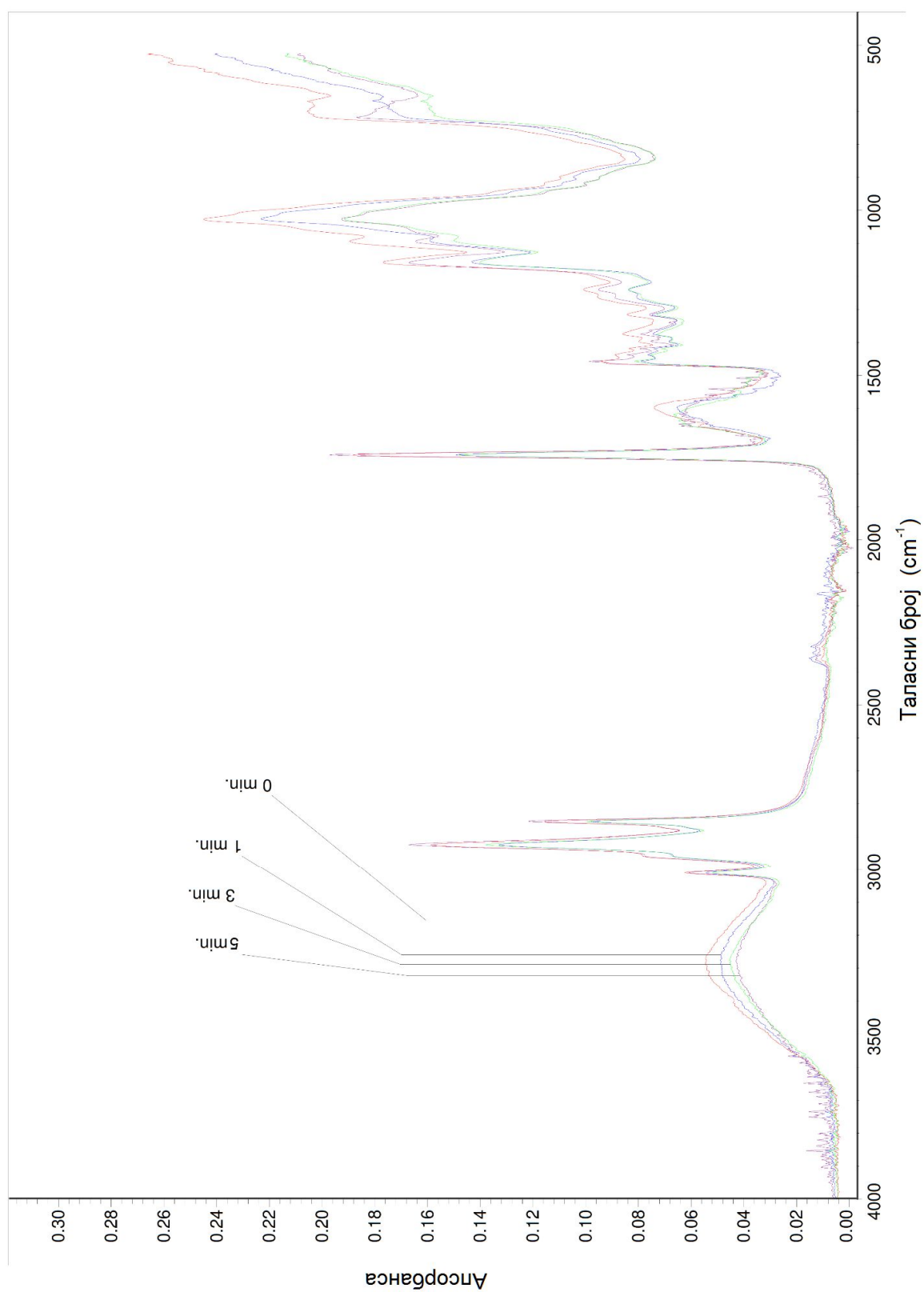


Слика 3.1.9. Изглед биљака изниклих из зрна босиљка на 21. дан од сађења:

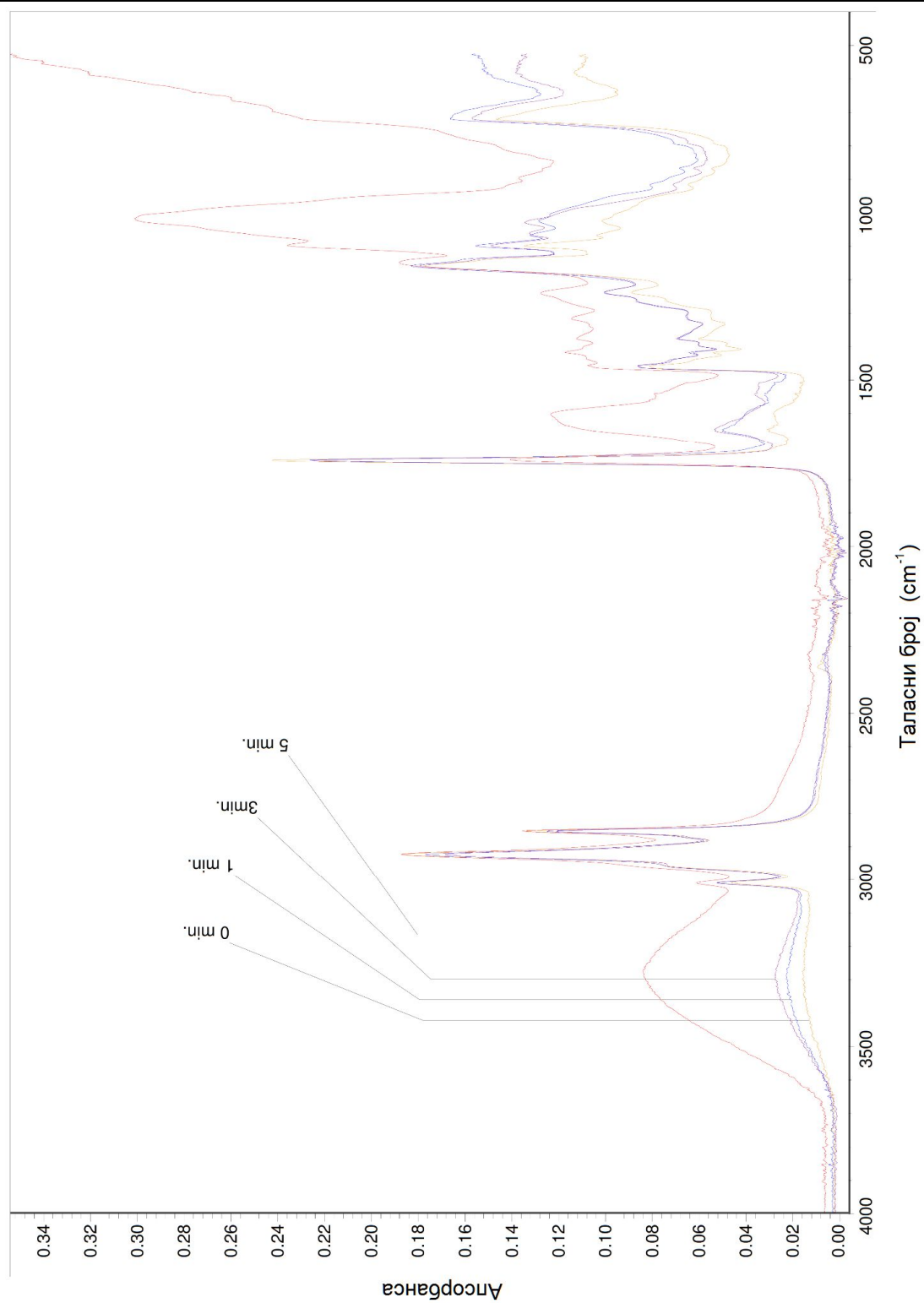
а) контролна група, б) група изникла из семена третираних 1 минут, в) група изникла из семена третираних 3 минута и г) група изникла из семена третираних 5 минута.



Слика 3.1.10. Изглед биљака изниклих из зрна мајчине душице на 21. дан од сађења:
а) контролна група, б) група изникла из семена третираних 1 минут, в) група изникла из
семена третираних 3 минута и г) група изникла из семена третираних 5 минута.



Слика 3.1.11 . Спектри узорака мајчине душице озрачиване He-Ne ласером.



Слика 3.1.12. Спектри узорака босиљка озрачивани He-Ne ласером.

Табела 3.1.2. Уочени максимуми за узорке мајчине душице. За максимуме, који се јасно уочавају за све три групе узорака тражене су вредности на одређеним таласним бројевима.

Вредности максимума апсорпције за различите групе озрачиваних узорака					
Таласни број (cm^{-1})	0 min	1 min	3 min	5 min	Ширина групе / ср.вредност (cm^{-1})
667,072				0,170078	
668,165	0,203295				3,483
669,368		0,177358			668,79
670,555			0,15946		
690,16		0,171745			
699,338	0,203141				29,996
712,13			0,153694		705,446
720,156				0,183422	
1026	0,243466				
1026,1				0,190227	2,35
1027,26			0,188559		1026,928
1028,35		0,221169			
1090,76	0,186583				
1091,97		0,155186			3,54
1094,27				0,160646	1092,825
1094,3			0,145781		
1156,66			0,135918		
1157,75	0,173686				2,31
1158,92				0,163068	1158,075
1158,97		0,138648			
1239,86	0,095112				
1241,05		0,077214			2,35
1242,18				0,089196	1241,325
1242,21			0,077972		
1264,15		0,074482			
1266,43	0,089498				50,81
1266,44				0,082521	1277,995
1314,96				0,069625	
1316,1	0,077967				
1320,73		0,06826			57,72
1372,68				0,072807	1345,833
1373,82	0,079784				
1375		0,068105			
1378,46			0,065981		21,92
1395,79			0,060974		1386,543
1396,92				0,073715	
1399,25		0,062188			
1418,85	0,077506				24,24
1420,01				0,072804	1415,4
1423,49		0,067343			
1436,16	0,082813				

Вредности максимума апсорпције за различите групе озрачиваних узорака					
Таласни број (cm^{-1})	0 min	1 min	3 min	5 min	Ширина групе / ср.вредност (cm^{-1})
1437,34		0,070224			5,8
1441,94				0,077959	1439,35
1441,96			0,068707		
1454,65			0,074925		
1458,09	0,088424				6,89
1458,11		0,072801			1458,098
1461,54				0,092974	
1597,84		0,058534			
1598,98	0,067635				20,78
1616,31			0,059898		1607,938
1618,62				0,05732	
1740,75				0,194124	
1745,39	0,185024				4,72
1745,46		0,145436			1744,268
1745,47			0,143161		
2852,72				0,116697	
2853,89	0,110478				2,36
2853,92			0,094097		2853,903
2855,08		0,091518			
2925,43			0,133073		
2926,53				0,163105	2,32
2926,54	0,154915				2926,563
2927,75		0,127764			
3012,16	0,055409				
3013,32				0,05374	1,18
3013,33		0,046915			3013,038
3013,34			0,044336		

За узорке зрна босиљка озрачиваних He-Ne ласером, приликом мерења апсорпционих спектра, уочени су максимуми за све четири групе (различита времена) узорака (семена) за таласне бројеве из табеле 3.1.3.

Табела 3.1.3. Уочени максимуми за узорке босиљка. За максимуме, који се јасно уочавају за све три групе узорака тражене су вредности на одређеним таласним бројевима.

Вредности максимума апсорпције за различите групе озрачиваних узорака					Ширина групе / ср.вредност (cm ⁻¹)
Таласни број (cm ⁻¹)	0 min	1 min	3 min	5 min	
532,935				0,354342	
574,827	0,108604				43,176
576,063			0,133765		564,984
576,111		0,148358			
707,97				0,241621	
713,45			0,153223		12,434
714,57	0,142823				714,0985
720,404		0,162616			
1018,58				0,30033	
1021,37	0,096527				7,5
1023,79			0,13041		1022,455
1026,08		0,123365			
1094,25		0,15121			
1096,54			0,1445		9,17
1099,14				0,233234	1098,338
1103,42	0,13041				
1154,37				0,184422	
1158,96			0,175868		5,73
1158,97		0,179222			1158,1
1160,1	0,173016				
1237,12	0,08294				
1243,02				0,122191	76,09
1244,09		0,09485			1259,36
1313,21		0,059457			
1314,33	0,048386				
1317,99				0,109443	61,35
1375,5	0,053586				1345,875
1375,68				0,107095	
1379		0,064321			
1380,16			0,064489		39,22
1417,24				0,112127	1398,655
1418,22			0,058283		
1420,49	0,047044				
1459,83		0,080256			40,5
1459,9				0,10223	1450,303
1460,99			0,080592		
1462,12	0,074889				
1542,69	0,012154				84,08
1545,06			0,029096		1524,018
1546,2		0,024567			
1547,51				0,074553	
1598,43				0,118669	102,61
1647,74	0,023561				1610,95

Вредности максимума апсорпције за различите групе озрачиваних узорака					
Таласни број (cm ⁻¹)	0 min	1 min	3 min	5 min	Ширина групе / ср.вредност (cm ⁻¹)
1650,12		0,043354			
1651,28			0,046709		
1738,12				0,136113	91,75
1741,92	0,239776				1718,588
1743,03		0,223841			
1745,33			0,22166		
2850,53	0,128901				1108,62
2851,69				0,130746	2575,375
2853,95			0,115817		
2857,42		0,12001			
2922,26				0,184422	67,14
2924,5			0,164461		2907,185
2924,56	0,184254				
2926,83		0,173016			
3011,79	0,03916				87,29
3011,81		0,04587			2991,138
3014,12			0,04587		
3273,87				0,078244	
3286,36		0,015677			14,81
3288,64	0,008464				3284,388
3288,68			0,020541		

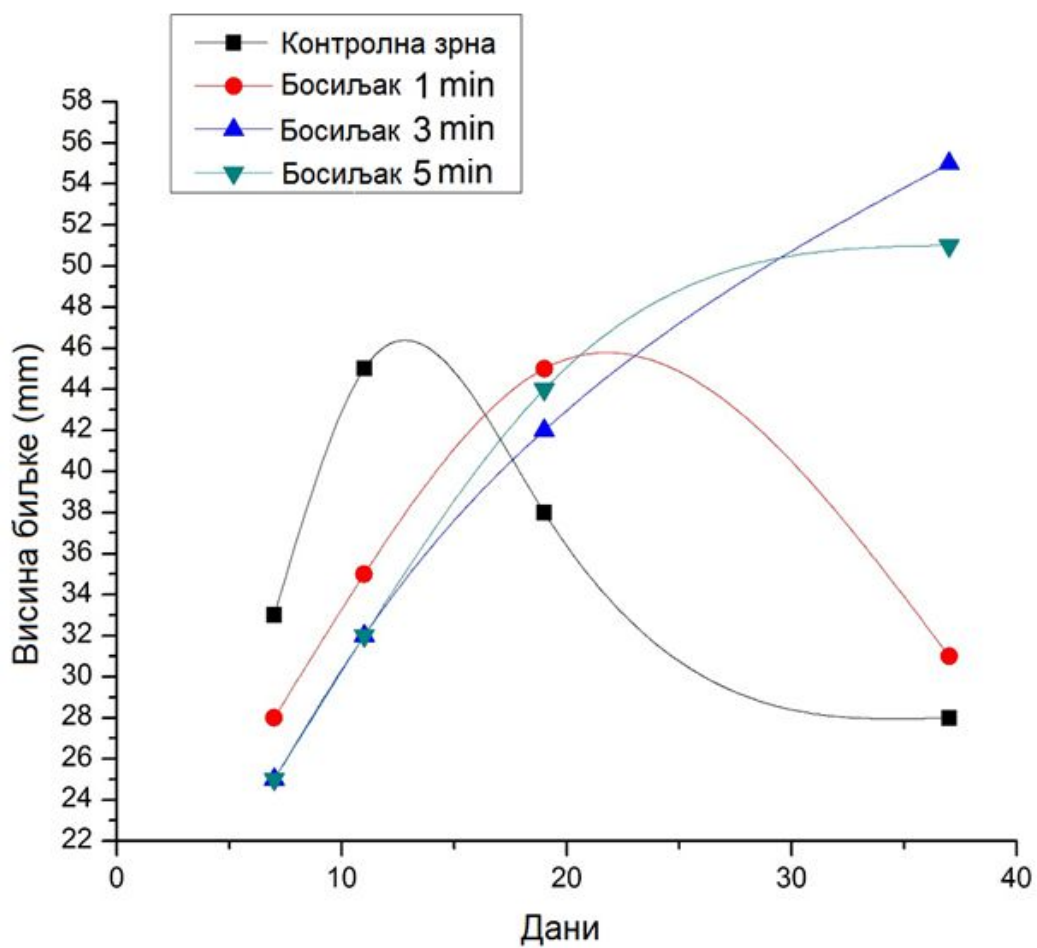
Раст биљака је приказан и графички на слици 3.1.13. Нулти и трећи дан су изостављени из ове представе.

Појединачни раст биљака по групама је фитован Boltzman-овом кривом облика

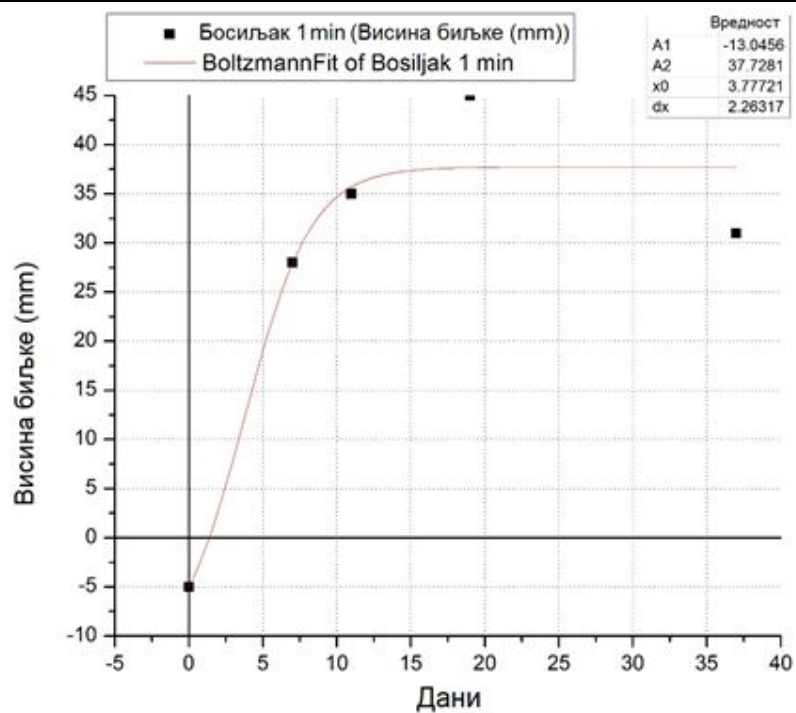
$$y = \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{(x - x_0)/dx}} + A_2. \quad (3.1.1)$$

Оваква крива највише одговара динамици раста биљке.

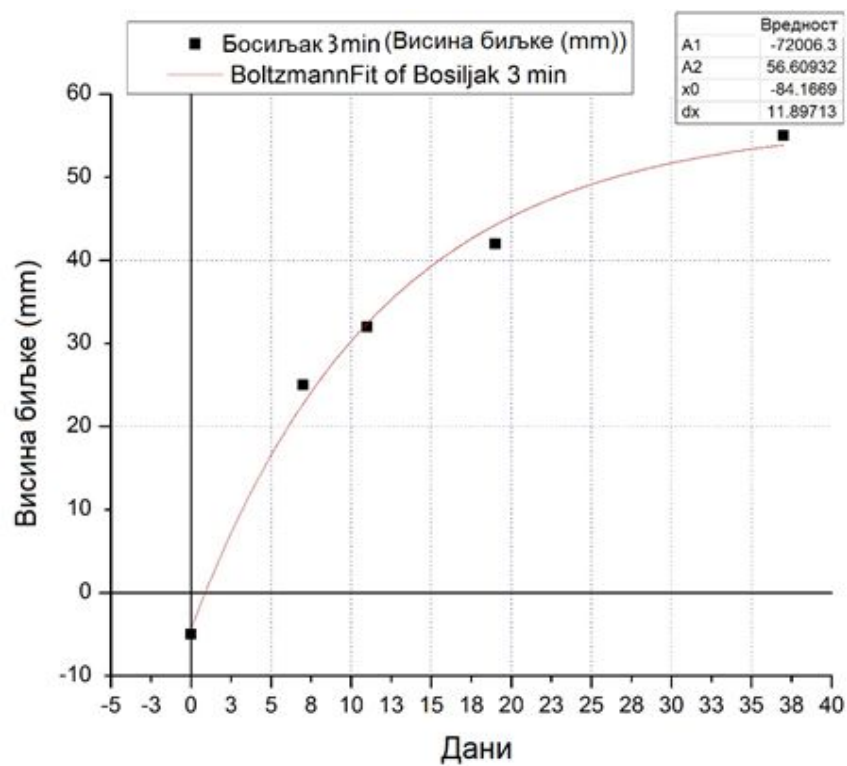
Контролна група не кореспондира са овако изабраном функцијом, јер је услед сушења биљака дошло до смањења висине (у групи). Група третирана 1 минут је фитована Boltzmann-овом кривом, а параметри фитовања су приказани на графику (слика 3.1.14), као и група третирана 3 минута (слика 3.1.15) и група третирана 5 минута (слика 3.1.16).



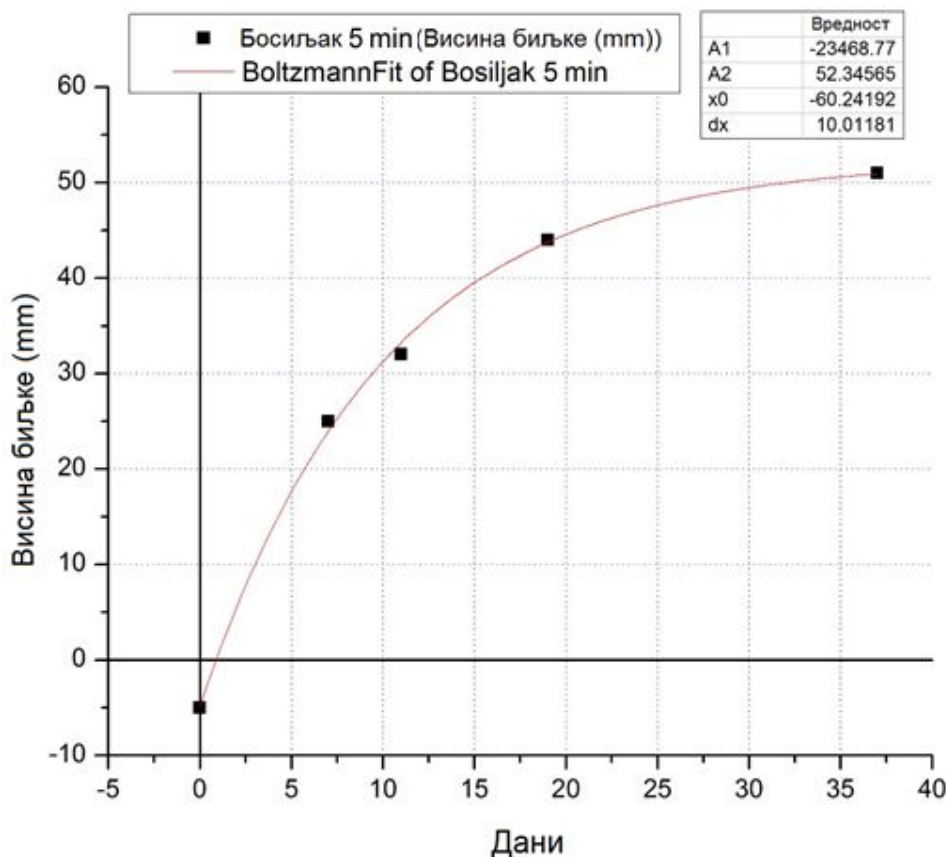
Слика 3.1.13. Висина биљака босиљка по данима. Биљке изникле из семена озрачиваних He-Ne ласером.



Слика 3.1.14. Крива раста биљака изниклих из зрна босиљка озрачених 1 минут, He-Ne ласером.



Слика 3.1.15. Крива раста биљака изниклих из зрна босиљка озрачених 3 минута, He-Ne ласером.



Слика 3.1.16. Крива раста биљака изниклих из зрна босиљка озрачених 5 минута, He-Ne ласером.

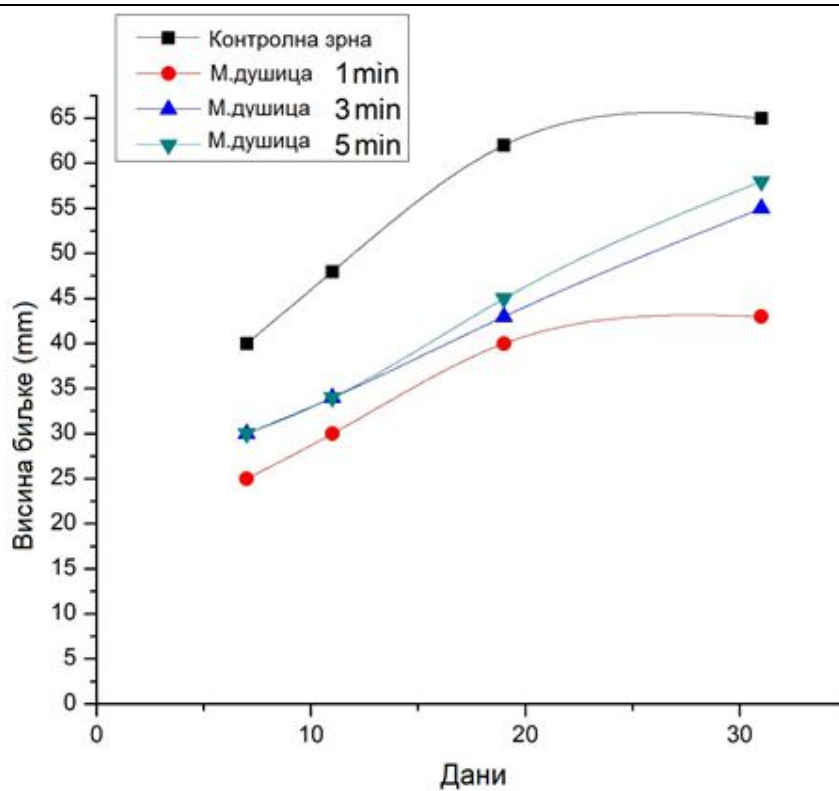
Мајчина душица

За узорке зрна мајчине душице приликом мерења апсорпционих спектара, уочени су максимуми за све четири групе узорака за таласне бројеве из табеле 3.1.3. Апсорпциони спектри мерени за узорке босиљка нису покрили делове спектра неопходне за прорачун садржаја хлорофила. На слици 3.1.17., приказан је упоредни раст свих група биљака.

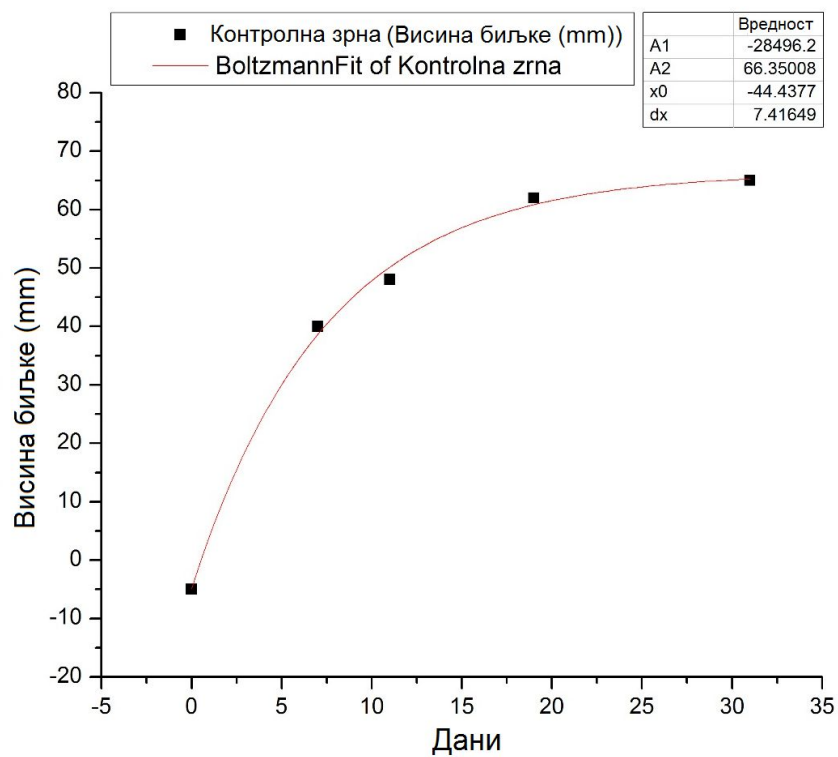
Појединачни раст биљака по групама је фитован Boltzmann-овом кривом облика

$$y = \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{(x - x_0)/dx}} + A_2. \quad (3.1.3)$$

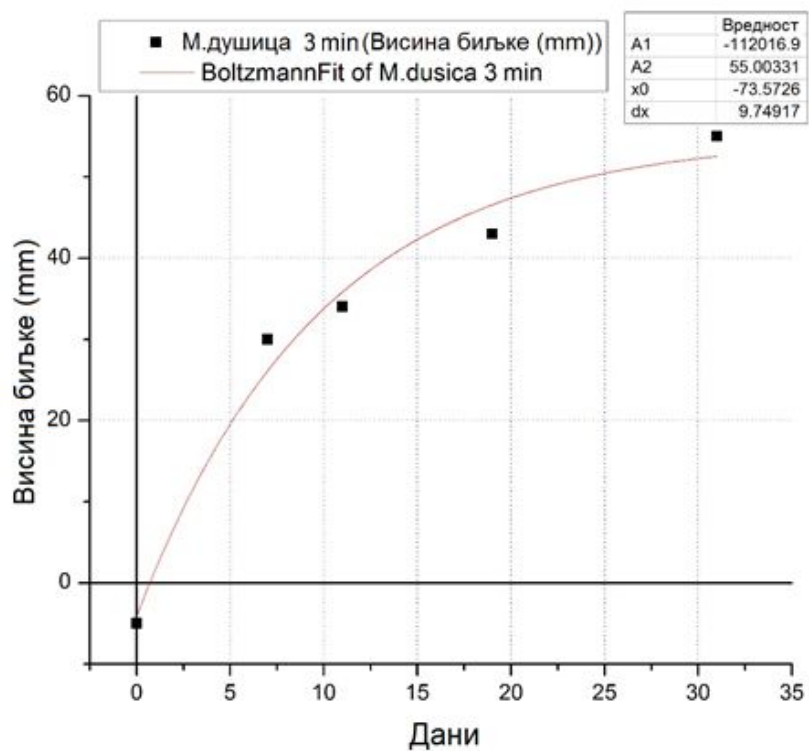
Оваква крива највише одговара динамици раста биљке. Графици фитовања Boltzmann-овом кривом су приказани са параметрима фитовања на сликама 3.1.18-20. – контролна група мајчине душице, група третирана 3 минута и група третирана 5 минута. Група третирана 1 минут није кореспондирала са изабраном функцијом услед сушења дела биљака (смањење групе висине).



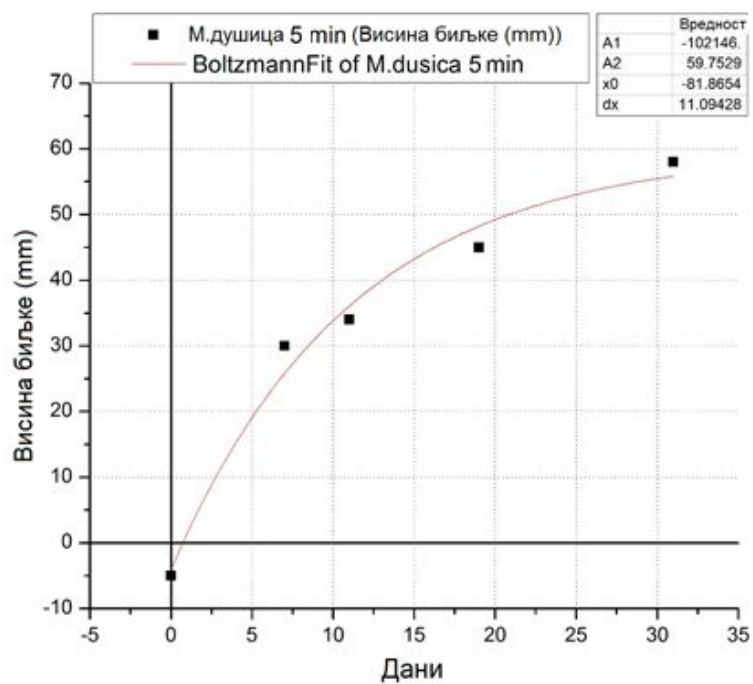
Слика 3.1.17. Висина биљака мајчине душице по данима.



Слика 3.1.18. Крива раста биљака изниклих из контролних зрна мајчине душице.



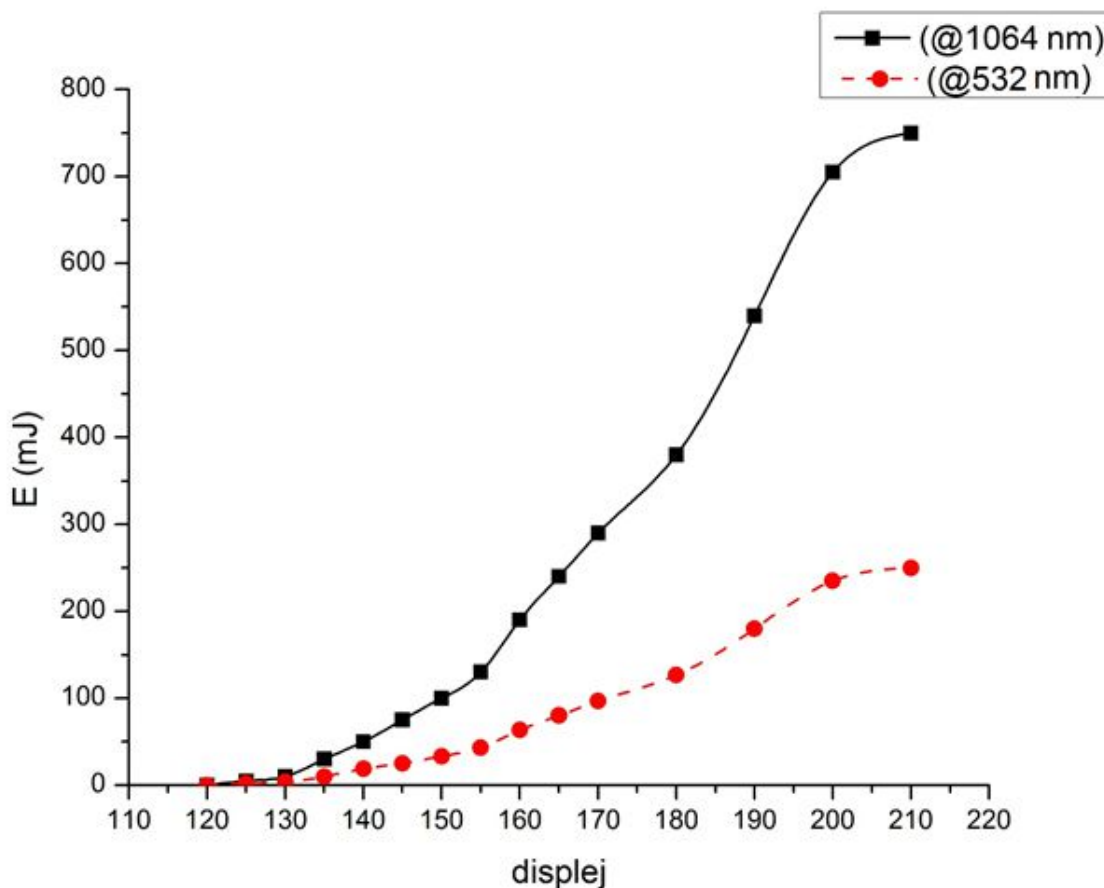
Слика 3.1.19. Крива раста биљака изниклих из зрна босиљка озрачених 3 минута, He-Ne ласером.



Слика 3.1.20. Крива раста биљака изниклих из зрна босиљка озрачених 5 минута, He-Ne ласером.

Озрачивање босиљка $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ ласером (Thunder Art Q switched laser – подаци о ласеру се налазе у табели 3.1.4). Семе босиљка (~ 1300 зрна), подељено је на једнаке групе и свака је озрачена ласерским снопом по дефинисаним параметрима. Параметри су следећи: таласна дужина $\lambda_1 = 532 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 1064 \text{ nm}$, репетиција $r = 10 \text{ Hz}$, $E_1 (\text{a.u.}) = 150$, $E_2 (\text{a.u.}) = 157$, $E_3 (\text{a.u.}) = 160$, време озрачивања $t = 5 \text{ s}$, 10 s , 15 s и 20 s . Ово укупно чини 24 групе семена и једну контролну групу.

Снага ласера се одређује са криве калибрације (слика 3.1.21.), која је дата уз ласер, чије су карактеристике дате у Табели 3.1.4. Крива је дефинисана за таласну дужину 1064 nm , а за хармоник 532 nm се одређује по односу $10 : 3$ (на таласној дужини 1064 nm и на хармонику 532 nm). Са графика снаге се види да поменуте величине одговарају следећим вредностима снаге (које се помињу у Табели 3.1.5).



Слика 3.1.21. Калибрациона крива за два излаза ласера.

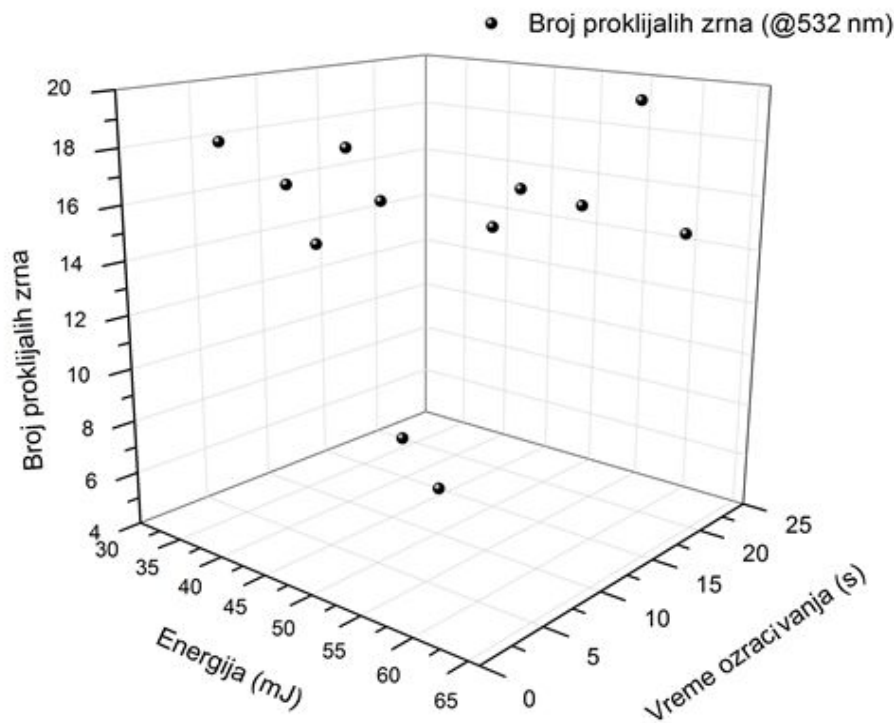
Клијање је примећено у свим групама 3. дана, осим у групи $\lambda = 532 \text{ nm}$, $E_{\text{au}} = 157$, $t = 15 \text{ s}$, $r = 10 \text{ Hz}$. У поменутој групи клијање је примећено тек 7. дана.

Број изниклих зрна дат је у Табели 3.1.5. На слици 3.1.22., налази се зависност број проклијалих зрна од општих услова озрачивања за основну таласну дужину и први хармоник Nd³⁺:YAG ласера.

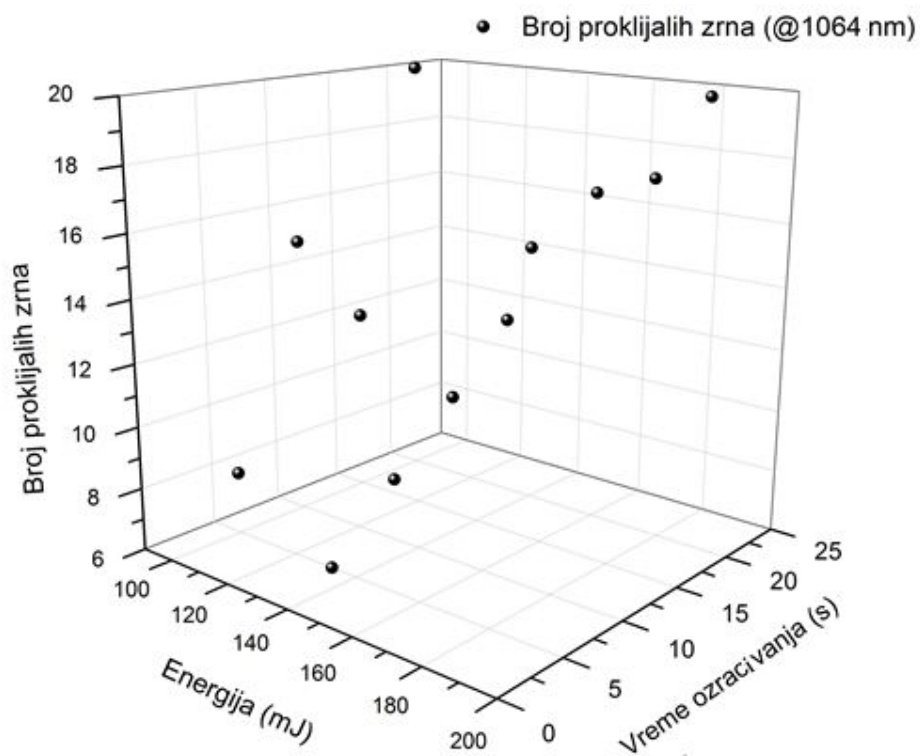
Табела 3.1.4. Карактеристике Thunder Art ласера.

Максимална брзина репетиције (Hz)		20
Енергија	@ 1064 nm (mJ)	900
	@ 532 nm (mJ)	400
	@ 355 nm (mJ)	150
Дијаметар излазног снопа (mm)		10
Дивергенција (mrad)		0,5
Трајање импулса (ns)		≤8 @ 1064 nm

Висина биљака изниклих из различитих група семена озрачиваних Nd³⁺:YAG ласером са различитим параметрима приказане су у Табели 3.1.5 (у свакој групи је сађено по 20 зрна). Зрна су уједначених величина, а након третирања ласерским зрачењем, нису уочене визуелне промене на њима (боја, облик, промене на површини, пуцање и сл.). Величина зрна је добијена са слика снимљених дигиталним микроскопом (слика 3.1.23). На сликама се види и калибрациони лењир за одређивање скале (однос pixel/mm). Мерено је 12. зрна, а добијене вредност су дате у облику табеле 3.1.6.



a)



б)

Слика 3.1.22. Зависност клијања зрна босиљка озрачиваних $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ ласером таласном дужином светлости а) 532 nm и б) 1064 nm од услова озрачивања.



Слика 3.1.23. Изглед снимљених зрна.

Табела 3.1.5. Раст биљака чија семена су озрачивана Nd^{3+} :YAG ласером.

Босиљак			<i>Ocimum basilicum</i>					
h (mm)			E = 150 a.u. (33,3 mJ)		E = 157 a.u. (44 mJ)		E = 160 a.u. (63,3 mJ)	
$\lambda=532\text{ nm}$	5 s	13. дан	27	18	31	15	34	18
		16. дан	32		34		35	
		20. дан	34		37		37	
		35. дан	48		44		41	
	10 s	13. дан	29	16	28	16	32	17
		16. дан	32		32		38	
		20. дан	38		34		42	
		35. дан	50		43		46	
	15 s	13. дан	31	17	24	4**	34	20
		16. дан	32		28		41	
		20. дан	39		31		42	
		35. дан	50		38		44	
	20 s	13. дан	28	4	29	14	33	15
		16. дан	30		29		37	
		20. дан	31		38		39	
		35. дан	39		45		47	
			E = 150 a.u. (100 mJ)	E = 157 a.u. (132 mJ)		E = 160 a.u. (190 mJ)		
$\lambda=1064\text{ nm}$	5 s	13. дан	30	8	34	6	33	17
		16. дан	31		37		35	
		20. дан	33		/		38	
		35. дан	43		37		47	
	10 s	13. дан	31	15	34	8	33	18
		16. дан	32		37		34	
		20. дан	34		40		37	
		35. дан	44		43		51	
	15 s	13. дан	31	12	31	10	35	18
		16. дан	33		34		37	
		20. дан	36		38		40	
		35. дан	40		45		50	
	20 s	13. дан	39	20	36	12	32	20
		16. дан	42		37		35	
		20. дан	45		39		39	
		35. дан	49		43		48	
Контролна група		13. дан	31	20				
		16. дан	34					
		20. дан	42					
		35. дан	47					

/ неке од биљака из групе су се осушиле 30. дана.

//** бројеви уз појединачне групе приказују број проклијалих зрна (x од 20)

Табела 3.1.6. Карактеристичне величине зрна и статистички подаци.

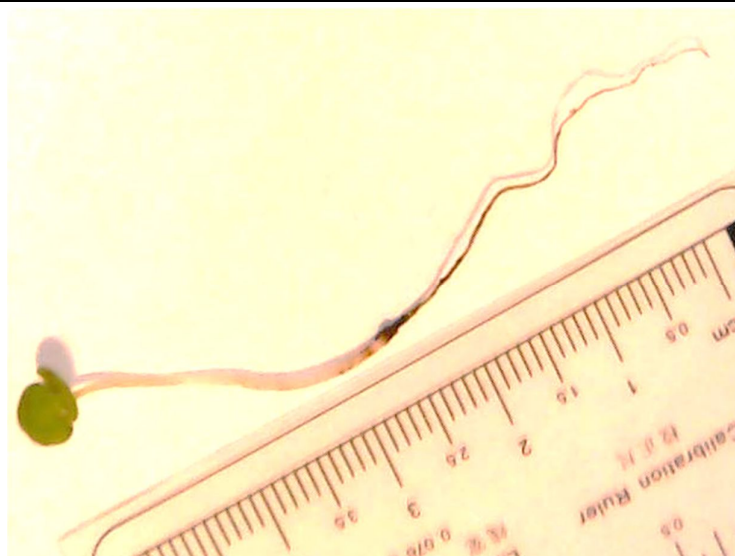
Зрно	Дужина (mm)	Ширина (mm)	Површина (mm ²)
1.	1,964	1,477	2,267
2.	2,104	1,162	1,938
3.	2,104	1,003	1,691
4.	2,031	1,243	2,253
5.	1,932	1,26	1,939
6.	2,146	1,406	2,182
7.	1,975	1,193	2,143
8.	2,12	1,352	2,029
9.	1,868	1,033	1,684
10.	1,778	1,252	2,102
11.	1,941	0,946	1,637
12.	1,946	1,216	02,3
Средња вредност	2,13	1,212	2,014
SD	2,003	0,16	0,238
Min	0,114	0,946	1,637
Max	1,778	1,477	2,3

16. дана од почетка експеримента, мерена је и дужина корена биљке изникле из семена озраченог са 532 nm, репетиције 10 Hz, времена озрачивања 20 s. Изглед биљке је приказан на слици 3.1.16. Коришћењем софтвера ImageJ, измерена је дужина корена биљке, која износи 34,426 mm, дужина биљке је 29,77 mm, а просечна дебљина биљке и корена је 0,675 mm и 0,19 mm. **18. дана** експеримента сниман је изглед изниклих биљака (слика 3.1.24).

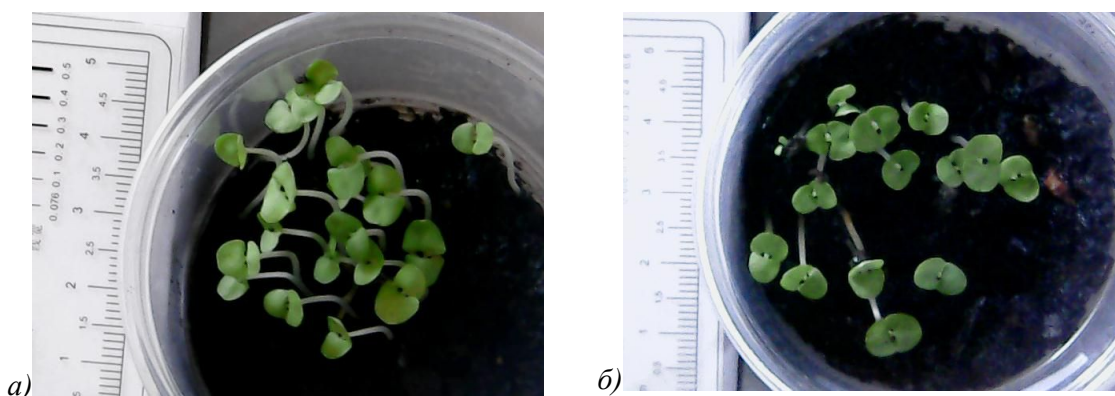
По завршетку експеримента мерена је дужина свих биљака у узорку, дужина корена и површина листова (слика 3.1.25 - 3.1.27). Неке од биљака су имале већ формиран други пар листова. Површина ових листова је ушла у укупну површину листова биљке, којој припадају. Код неких биљака су уочене неправилности у расту и развоју листова (слика 3.1.28).

За групе биљака изниклих из семена озрачиваним са истом снагом и таласном дужином ласерског снопа, а различитим временима озрачивања дати су графици раста на сликама 3.1.29 – 3.1.34.

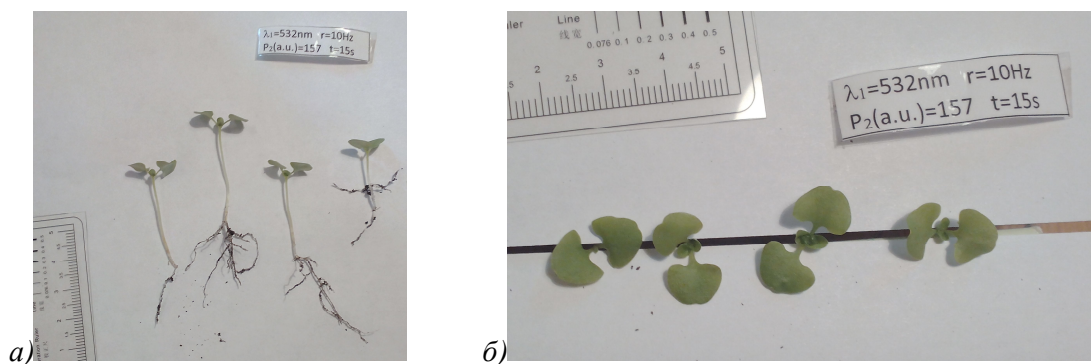
Ради бољег поређења резултата експеримента, урађени су и заједнички графици раста биљака изниклих из семена озрачиваних истим таласним дужинама и истим временима а различитим снагама. Ови графици раста дати су на сликама 3.1.35 - 3.1.42.



Слика 3.1.24. Изглед биљке изникле из семена босиљка третираног ласером $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ таласне дужине 1064 nm, репетиције 10 Hz, времена озрачивања 20 s, енергије дате у арбитрарним јединицама $E_{\text{au}} = 160$.

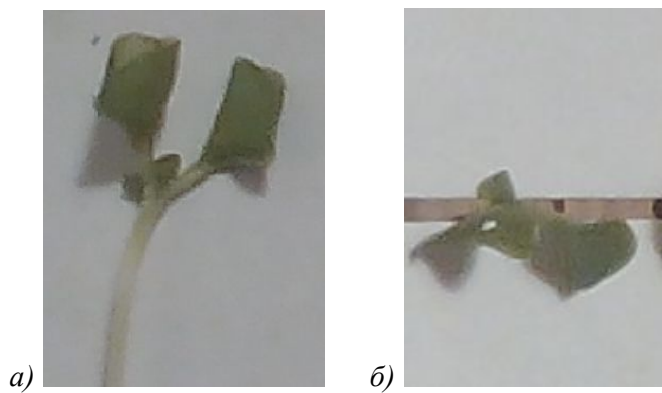


Слика 3.1.25. Изглед биљака босиљка 18. дана експеримента изниклих из а) контролних семена и б) семена третираних под следећим условима $\lambda = 532 \text{ nm}$, 10 Hz, $t = 20 \text{ s}$, $E_{\text{au}} = 160$.

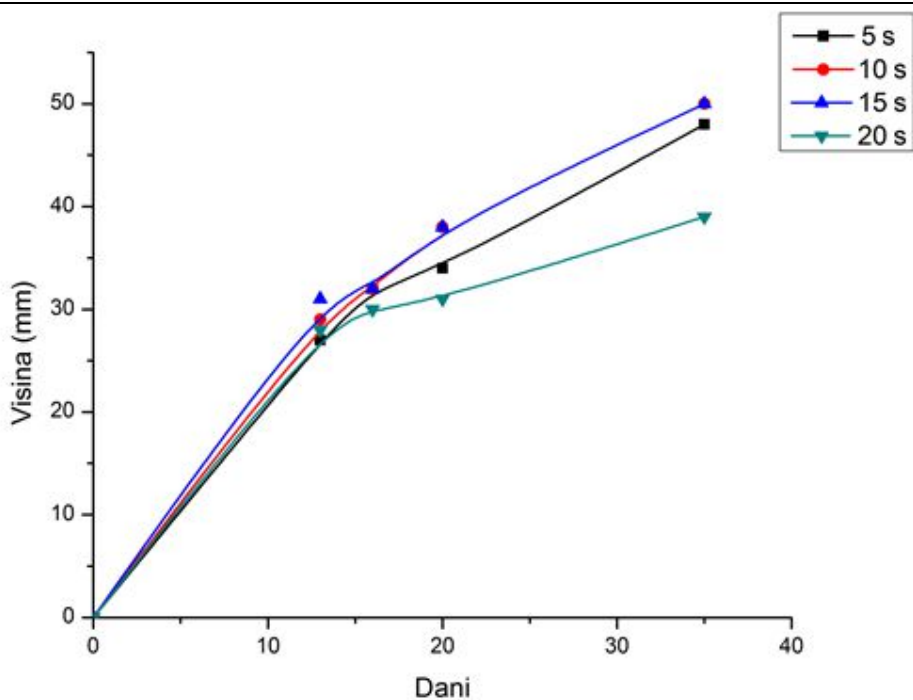




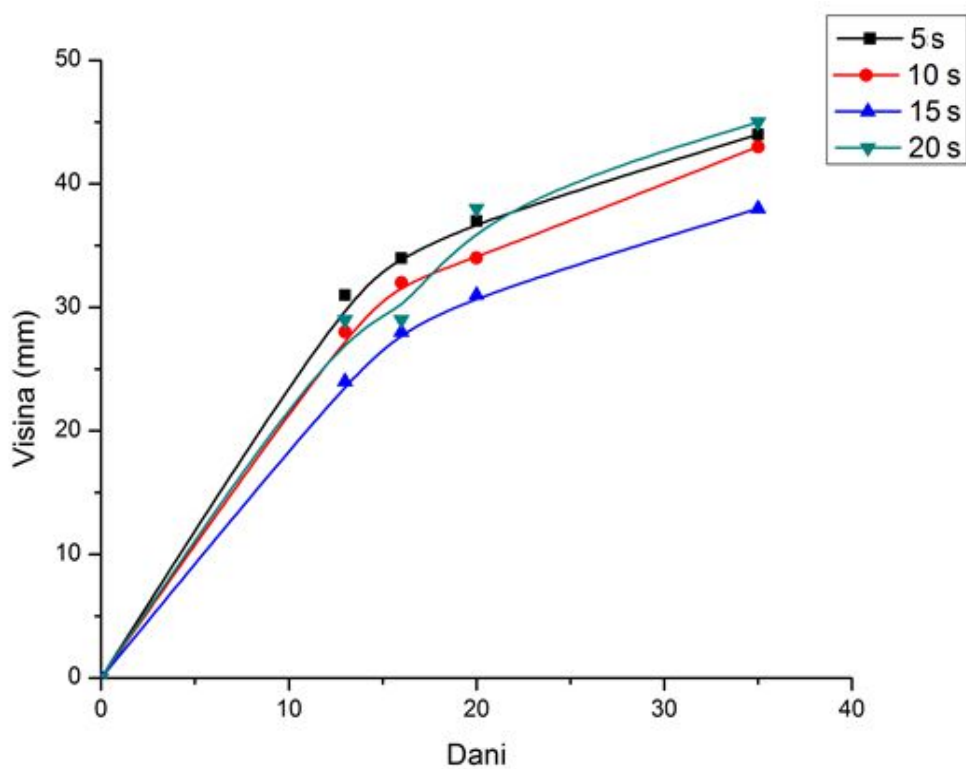
Слика 3.1.27. Изглед а) биљака и б) листова биљака босиљка изниклих из зрна групе $\lambda = 1064 \text{ nm}$, 10 Hz , $t = 15 \text{ s}$, $E_{au} = 150$, по завршетку експеримента.



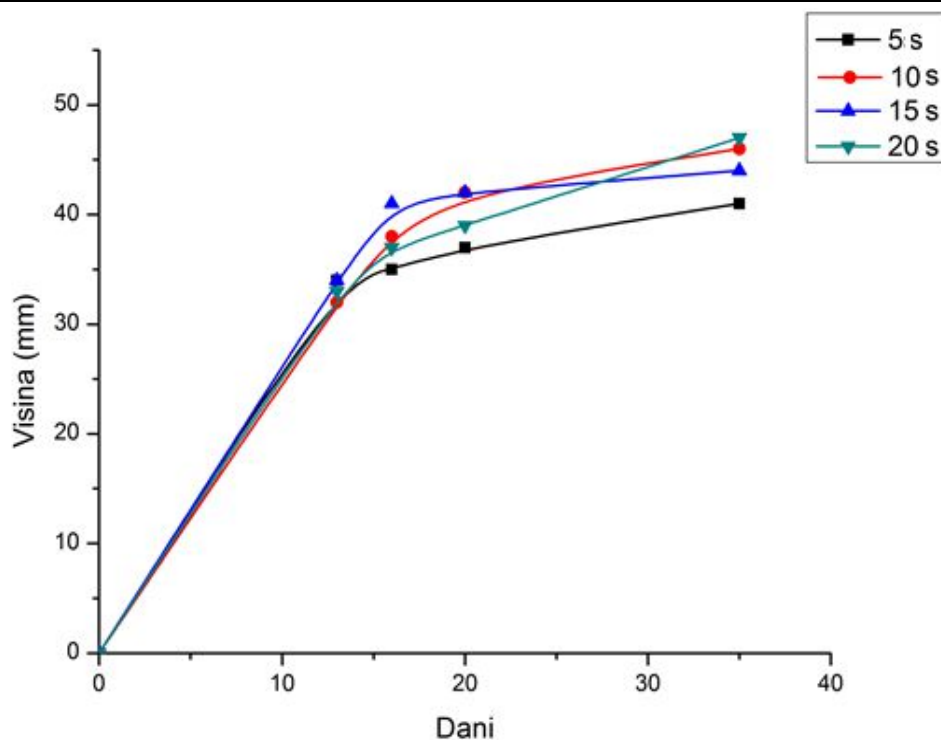
Слика 3.1.28. Изглед листова биљке са уоченим неправилностима у расту $\lambda = 1064 \text{ nm}$, 10 Hz , $t = 10 \text{ s}$, $E_{au} = 160$, по завршетку експеримента.



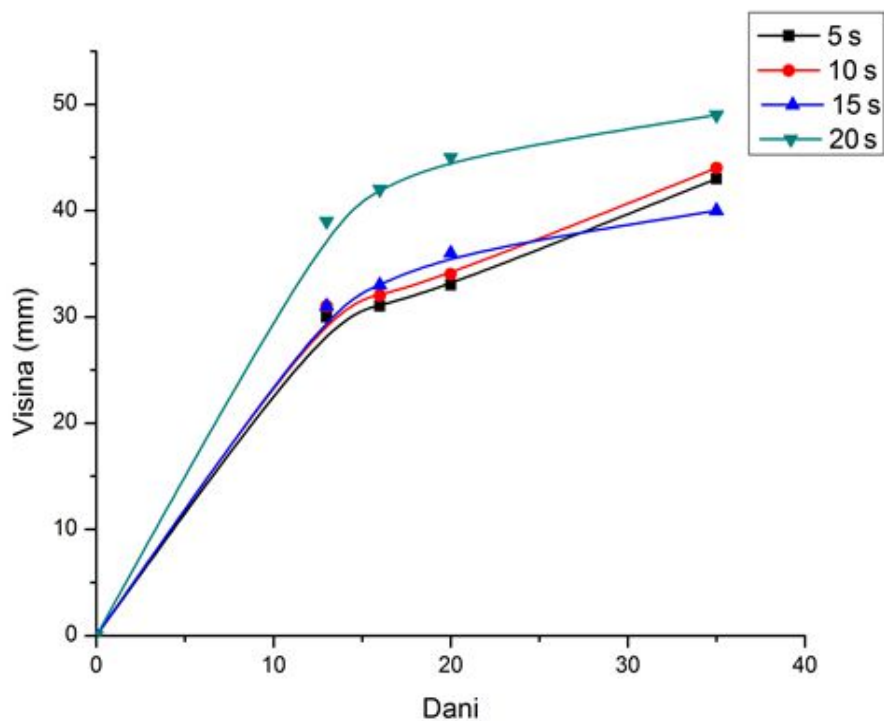
Слика 3.1.29. Графици раста биљака изниклих из семена озрачиваних енергијом 33,3 мЈ ($E_{au} = 150$) и таласном дужином ласерског снопа 532 нм, а различитим временима озрачивања.



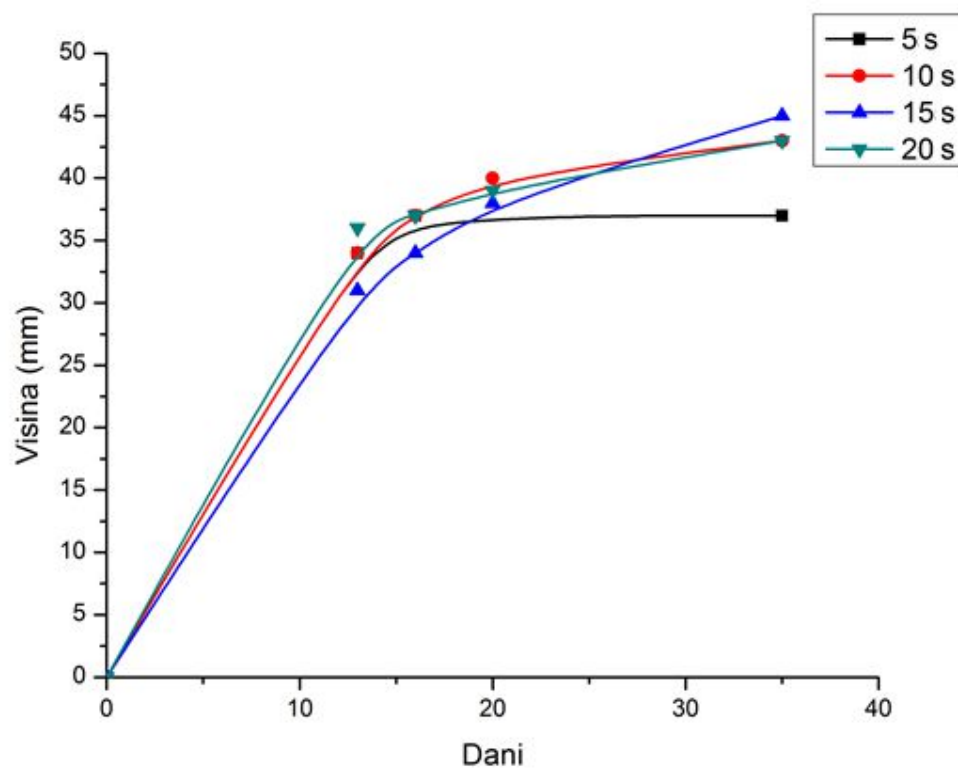
Слика 3.1.30. Графици раста биљака изниклих из семена озрачиваних енергијом 44 мЈ ($E_{au} = 157$) и таласном дужином ласерског снопа 532 нм, а различитим временима озрачивања.



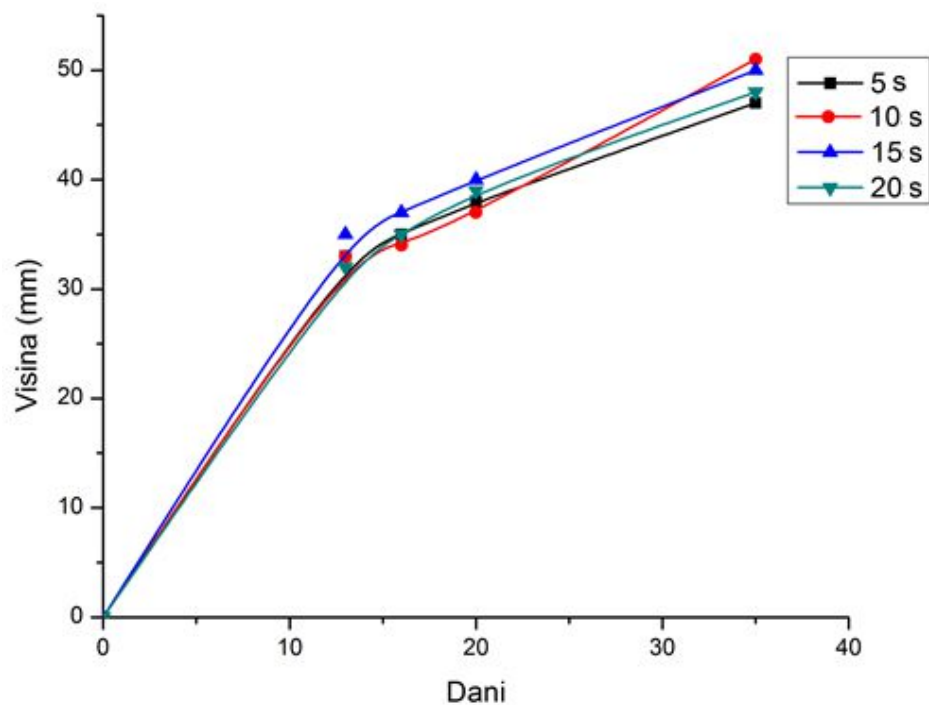
Слика 3.1.31. Графици раста биљака изниклих из семена озрачиваних енергијом 63 mJ ($E_{au} = 160$) и таласном дужином ласерског снопа 532 nm, а различитим временима озрачивања.



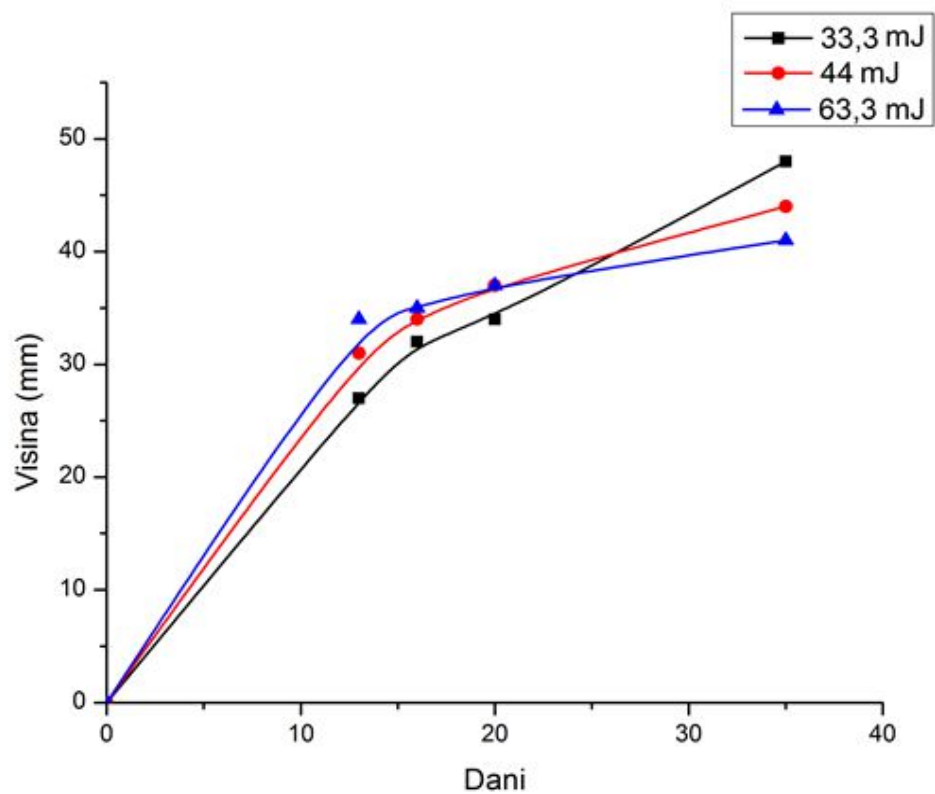
Слика 3.1.32. Графици раста биљака изниклих из семена озрачиваних енергијом 100 mJ ($E_{au} = 150$) и таласном дужином ласерског снопа 1064 nm, а различитим временима озрачивања.



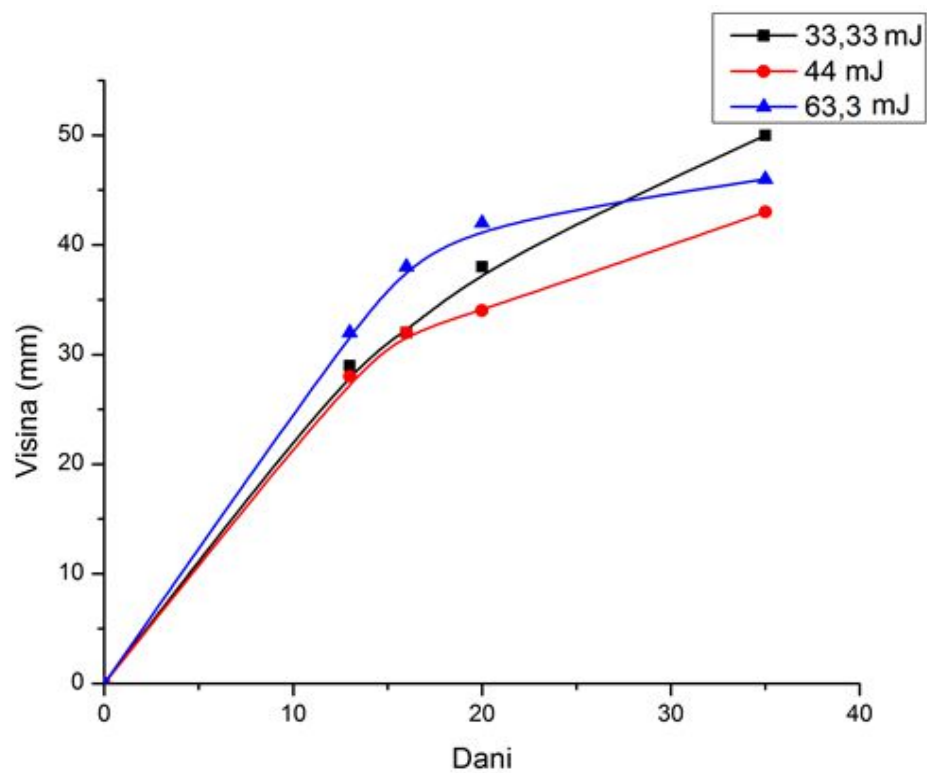
Слика 3.1.33. Графици раста биљака изниклих из семена озрачиваних са енергијом 132 mJ ($E_{au} = 157$) и таласном дужином ласерског снопа 1064 nm, а различитим временима озрачивања.



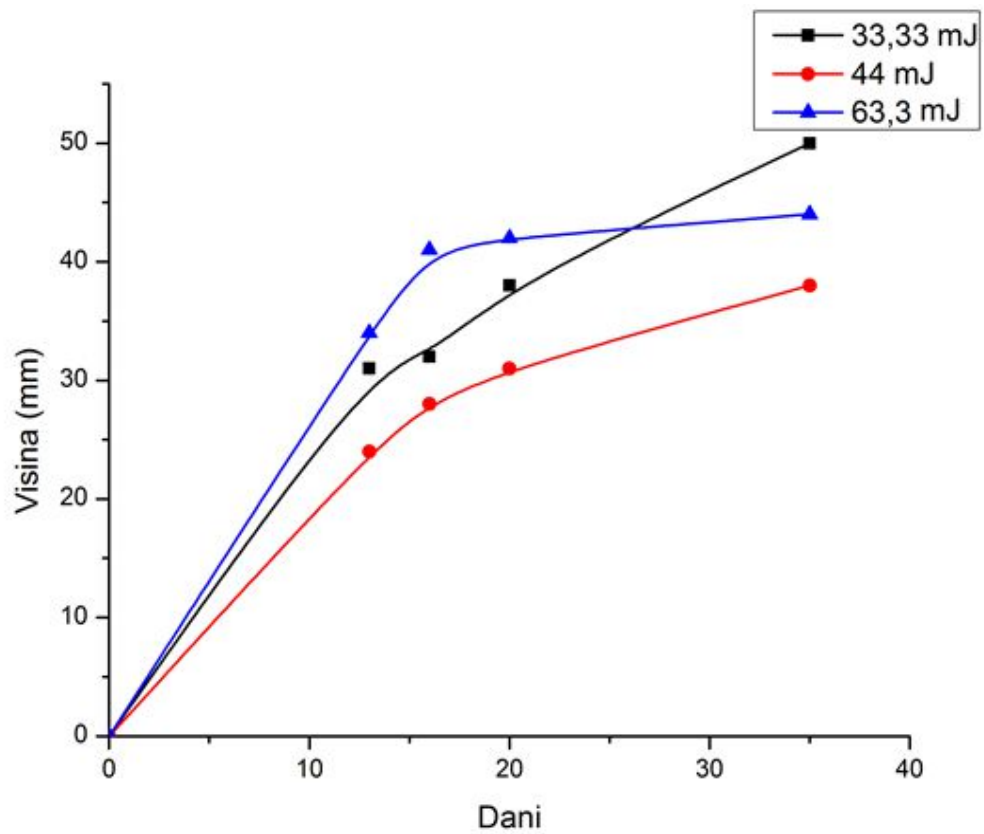
Слика 3.1.34. Графици раста биљака изниклих из семена озрачиваних са енергијом 190 mJ ($E_{au} = 160$) и таласном дужином ласерског снопа 1064 nm, а различитим временима озрачивања.



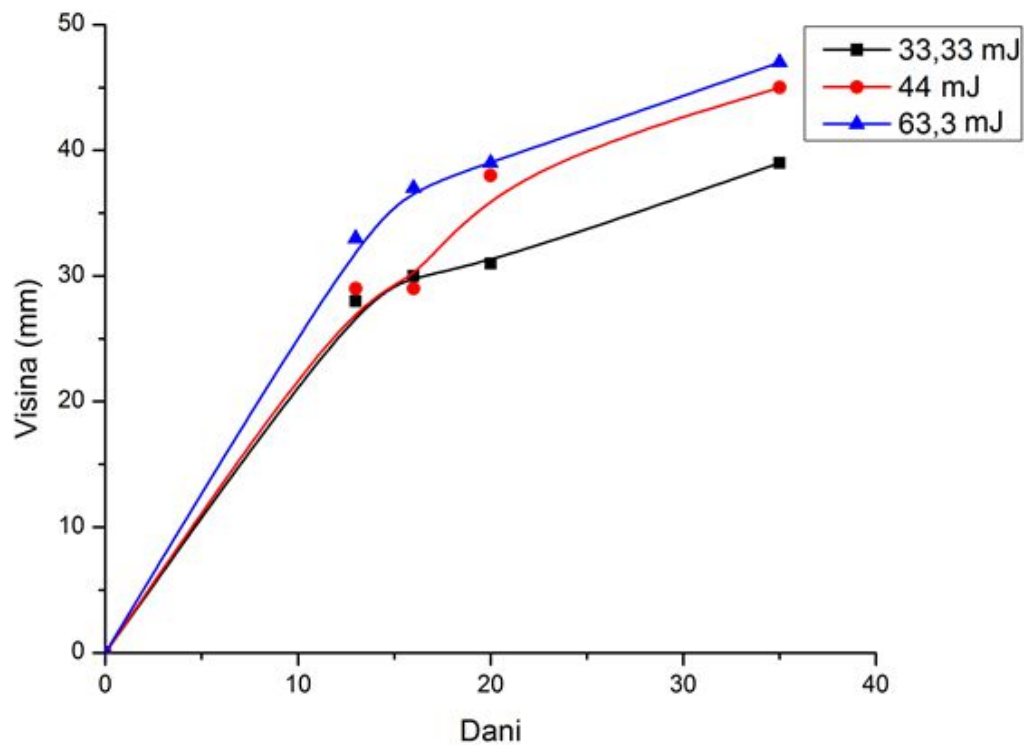
Слика 3.1.35. Графици раста биљака изниклих из семена озрачиваних таласном дужином ласерског снопа 532 nm, у трајању 5 s.



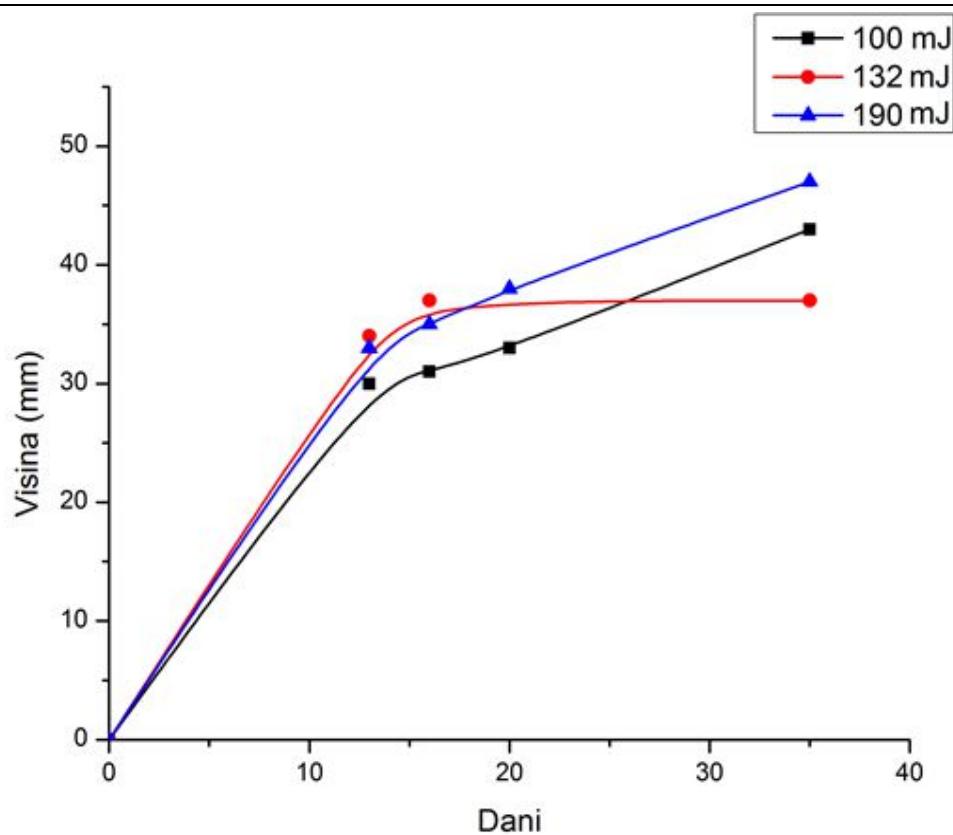
Слика 3.1.36. Графици раста биљака изниклих из семена озрачиваних таласном дужином ласерског снопа 532 nm, у трајању 10 s.



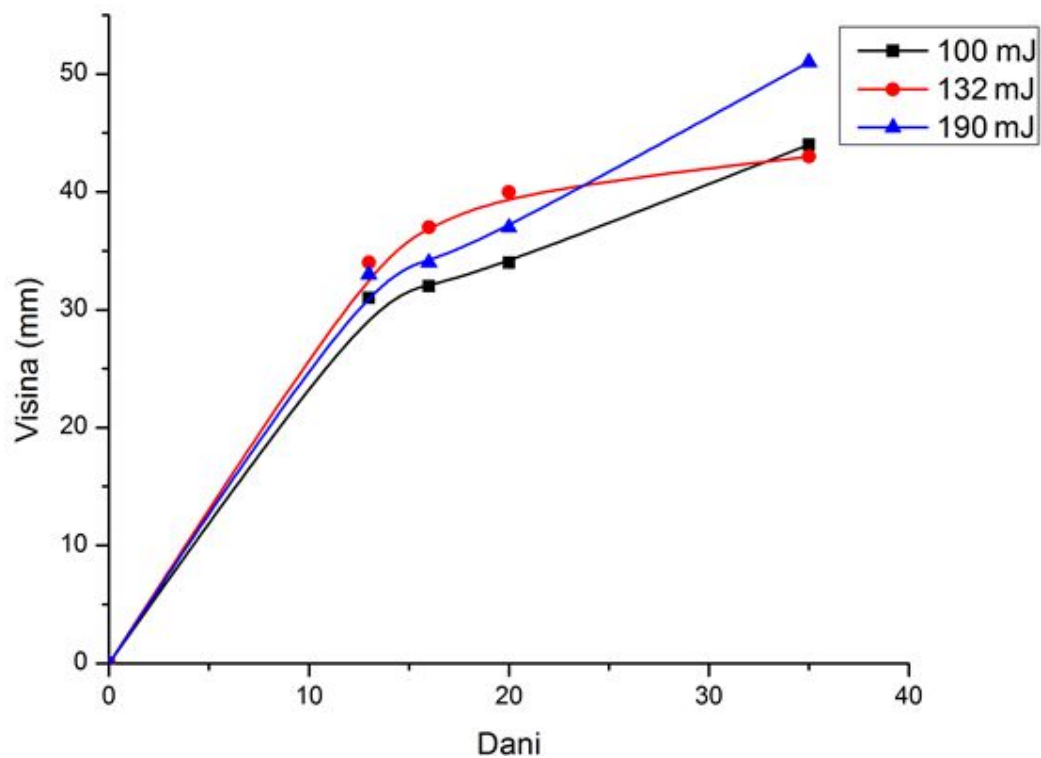
Слика 3.1.37. Графици раста биљака изниклих из семена озрачиваних таласном дужином ласерског снопа 532 nm, у трајању 15 s.



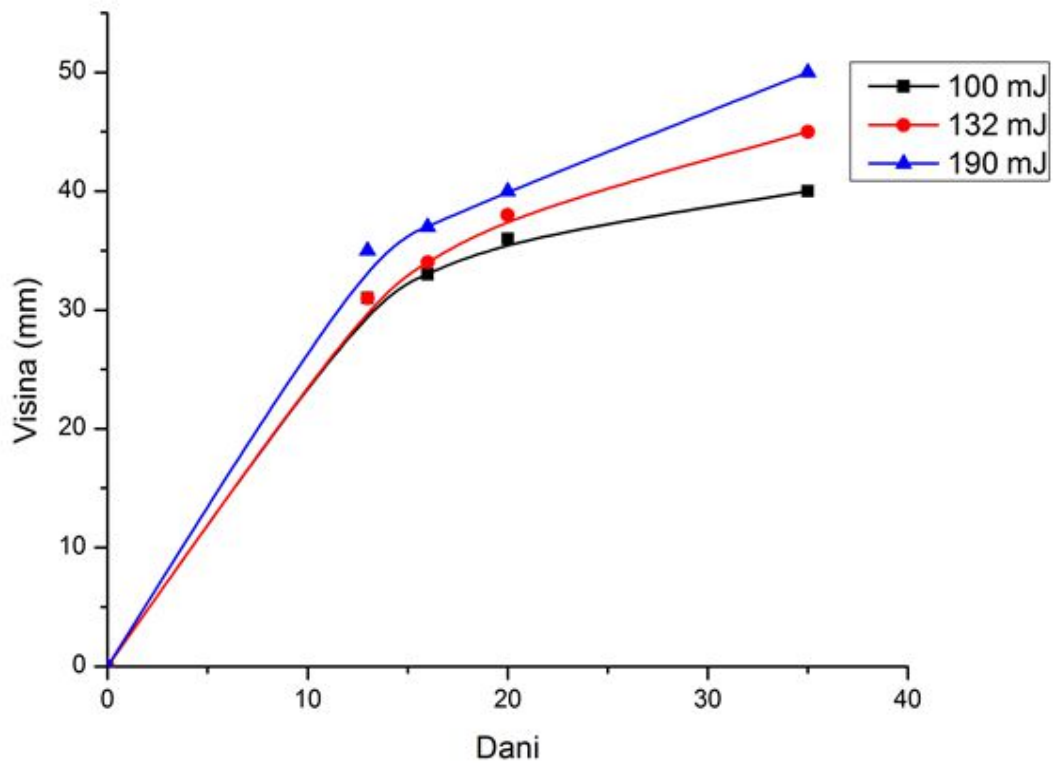
Слика 3.1.38. Графици раста биљака изниклих из семена озрачиваних таласном дужином ласерског снопа 532 nm, у трајању 20 s.



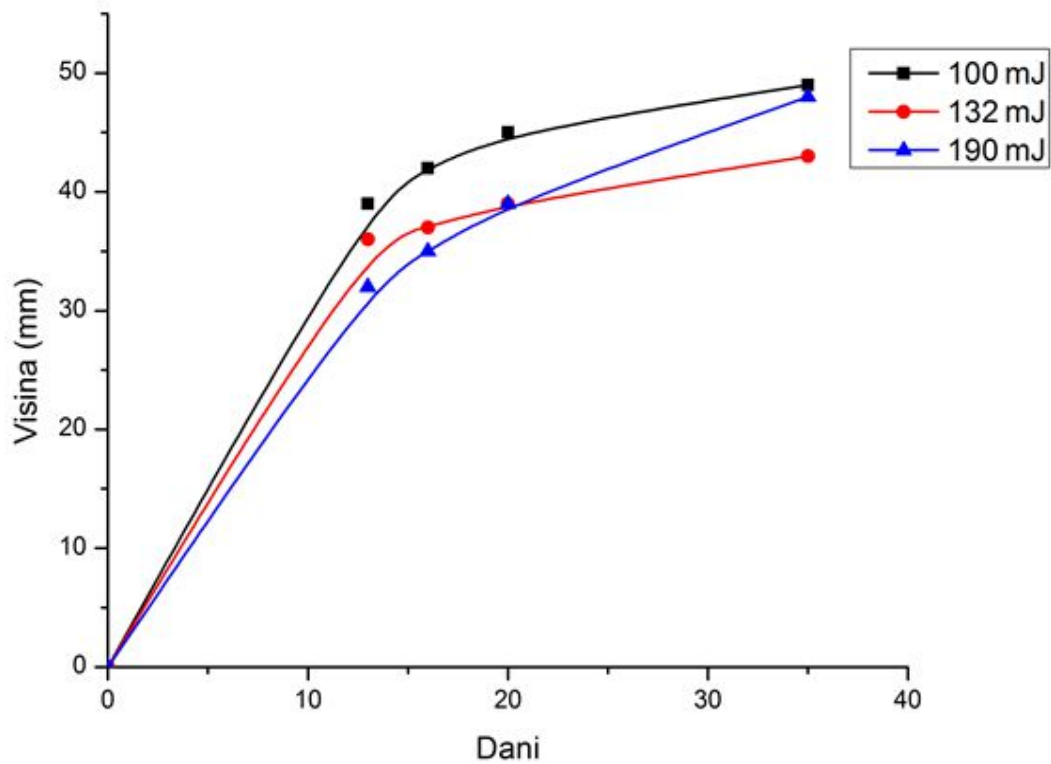
Слика 3.1.39. Графици раста биљака изниклих из семена озрачиваних таласном дужином ласерског снопа 1064 nm, у трајању 5 s.



Слика 3.1.40. Графици раста биљака изниклих из семена озрачиваних таласном дужином ласерског снопа 1064 nm, у трајању 10 s.



Слика 3.1.41. Графици раста биљака изниклих из семена озрачиваних таласном дужином ласерског снопа 1064 nm, у трајању 15 s.



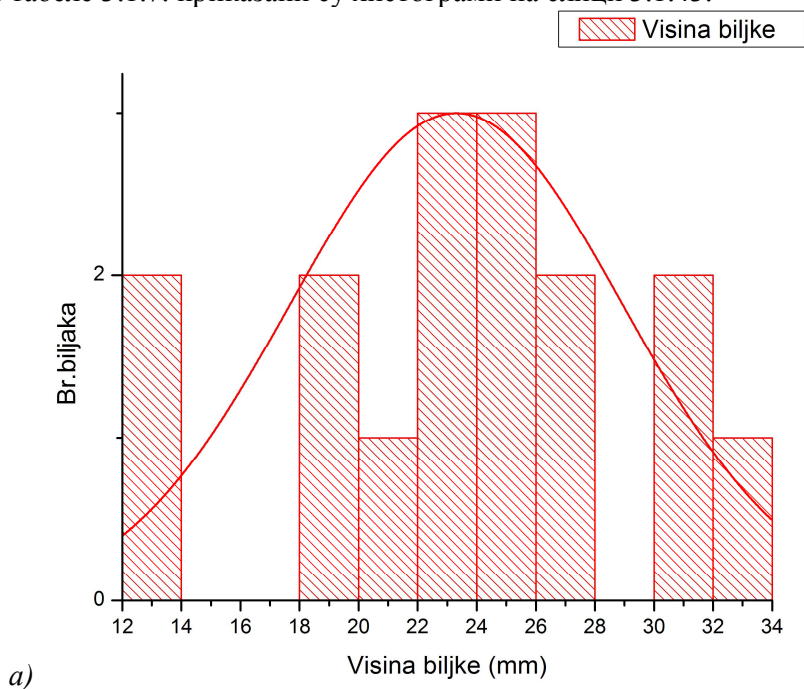
Слика 3.1.42. Графици раста биљака изниклих из семена озрачиваних таласном дужином ласерског снопа 1064 nm, у трајању 20 s.

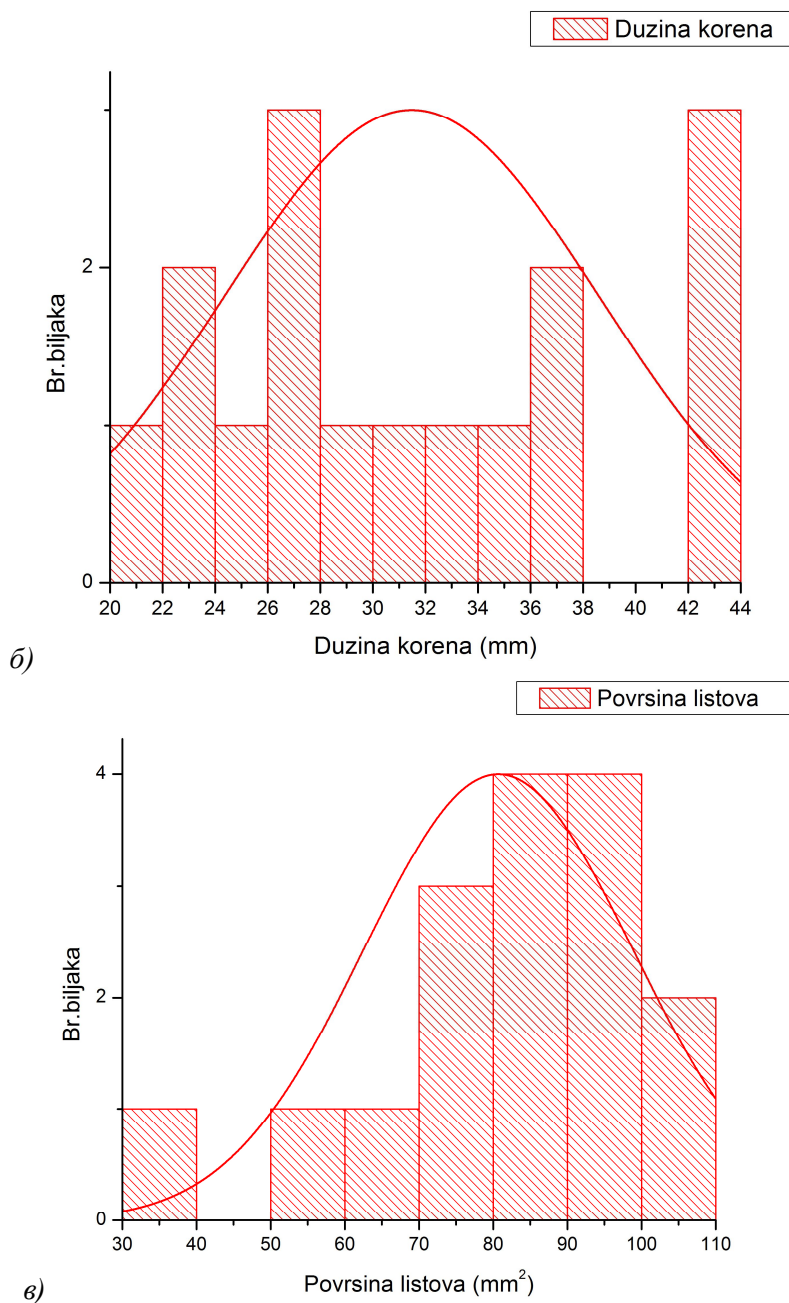
За биљке изникле из групе семена озрачиваних Nd^{3+} :YAG ласером (хармоник 532 nm) под условима 10 Hz, $t = 10$ s, $E_{\text{au}} = 157$, су дате дужине биљака, дужине корена и површине листова на крају експеримента (табела 3. 1.7).

Табела 3.1.7. Висина биљака, дужина корена и површина листова измерених на крају експеримента за биљке из групе 532 nm, $t = 10$ s, $E_{\text{au}} = 157$, 10 Hz.

Број изникле биљке	Висина биљке (mm)	Дужина корена (mm)	Површина листова (mm ²)
1.	33,18	43,015	92,143
2.	13,862	21,854	34,131
3.	26,307	30,862	95,822
4.	22,242	42,42	80,816
5.	27,611	32,284	83,112
6.	22,516	42,391	103,717
7.	18,684	27,281	53,917
8.	30,084	25,997	77,68
9.	12,53	22,661	62,728
10.	30,032	29,004	91,388
11.	24,785	27,446	88,658
12.	24,311	27,525	74,892
13.	25,015	36,432	90,308
14.	19,591	23,101	72,127
15.	22,08	36,613	88,697
16.	20,095	34,793	100,847
Ср.Вр.	23,308	31,48	80,686
Ст.девијација	5,635	7,123	18,185

За податке из табеле 3.1.7. приказани су хистограми на слици 3.1.43.





Слика 3.1.43. Хистограми карактеристичних величина биљака изниклих из семена озрачиваним ласером таласне дужине 532 nm, у трајању 10s, $E_{an} = 157$, и то а) висине, б) дужине корена и в) површине листова.

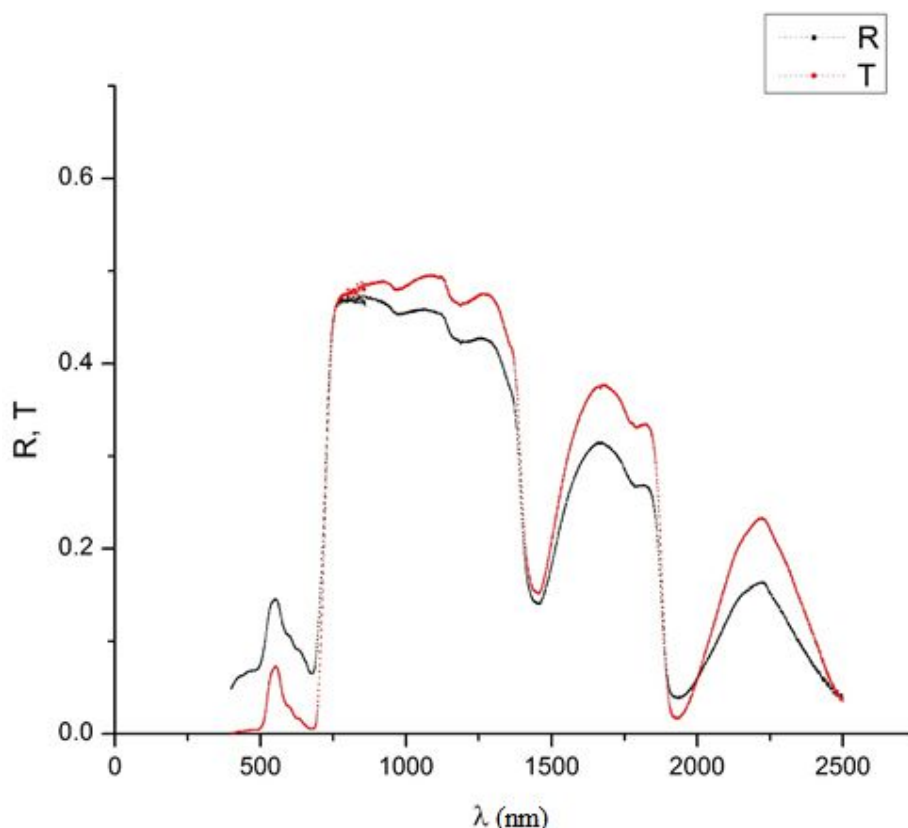
Раст биљака третираних Nd³⁺:YAG ласером праћен кроз експерименте ове тезе показао је да је за одређене таласне дужине (хармоници) кохерентне светлости број проклијалих зрна био знатно испод средње вредности за подгрупе. Референце нису указивале на овакав утицај зелене светлости. Овакав став би се морао разматрати у вези са статистичким прилазом и варијацијом експерименталних параметара.

Поређење са другим референцама.

Иако су експерименти (сва зрна, биљке и сви ласери) обухватили велики број зрна и мерења, значај добијених резултата расте тек у поређењу са резултатима осталих истраживача [159, 54].

Кукуруз

Експеримент европских размера, који је одиграо велику улогу у трасирању примене модела за испитивање стања биљака на даљину, је поставио основу за константно праћење биљног покривача. На основу података, који су сакупљени у бази LOPEX-a (слика 3.1.16) коефицијенти рефлексије биљака, које су проучаване, могу се поредити са подацима добијеним кроз експерименте поменуте у овој тези.



Слика 3.1.44. Коефицијенти рефлексије и трансмисије кукуруза (LOPEX 93). Криве добијене према подацима из референце: минимуми рефлексије у видљивој области су последица апсорпције хлорофила (400 – 700 nm), апсорпција воде се уочава на таласним дужинама ($\sim 1,5 \mu m$, $\sim 2 \mu m$, $\sim 2,6 \mu m$). Подаци преузети из базе LOPEX93 [159, 54].

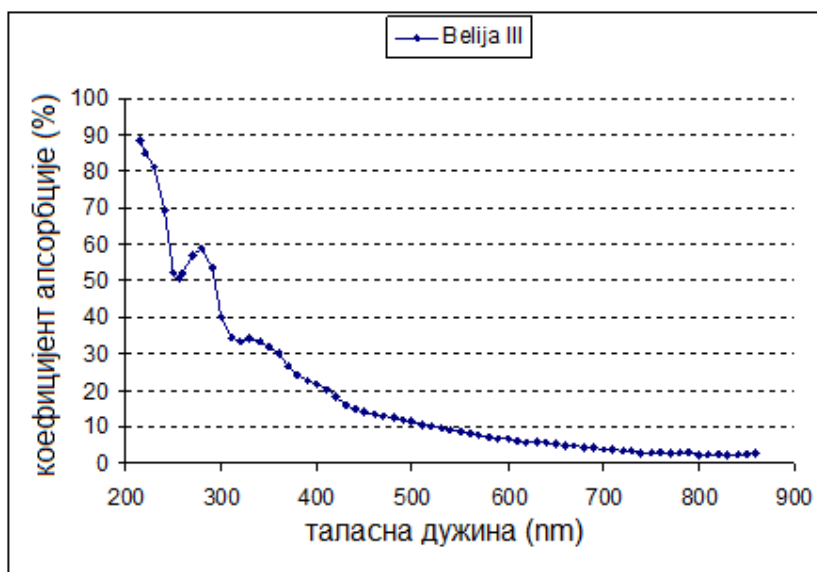
Коефицијенти рефлексије кукуруза кокичара, који су мерени (Бабић, 2005b) се могу поредити са резултатима из референци, тј. базе LOPEX93 [159, 54].

Пшеница

У складу са референцама [54], могуће је из измерених података (апсорпциони коефицијенти), доћи до садржаја хлорофила у узорцима. За узорке пшенице типа белија, тражени су коефицијенти рефлексије у области 200 – 900 nm (слика 3.1.17), а интересно би било анализирати и садржај хлорофила.

Карактеристичне таласне дужине за овај тип израчунавања су 661,66 nm, 644,6 nm и 470 nm.

Из добијених вредности се види да те податке носи видљиви спектар.



Слика 3.1.45. Коефицијент апсорпције узорка Белија III [82].

У складу са формулама [54] и података из мерења се могу добити подаци за концентрације хлорофила типа а, затим б, укупни хлорофил и концентрација каротеноида.

Хлорофил а:

$$c[chl\ a] = 11,24 * A_{661,6} - 4,19 * A_{644,8}. \quad (3.1.4)$$

Хлорофил б:

$$c[chl\ b] = 20,13 * A_{644,8} - 2,04 * A_{611,6}. \quad (3.1.5)$$

Укупни хлорофил:

$$c[chl\ ab] = 7,05 * A_{661,6} + 18,09 * A_{644,8}. \quad (3.1.6)$$

Укупно каротеноиди:

$$c[x + c] = \frac{1000 * A_{470} - 1,09 * c[chl\ a] - 63,14 * c[chl\ b]}{214}, \quad (3.1.7)$$

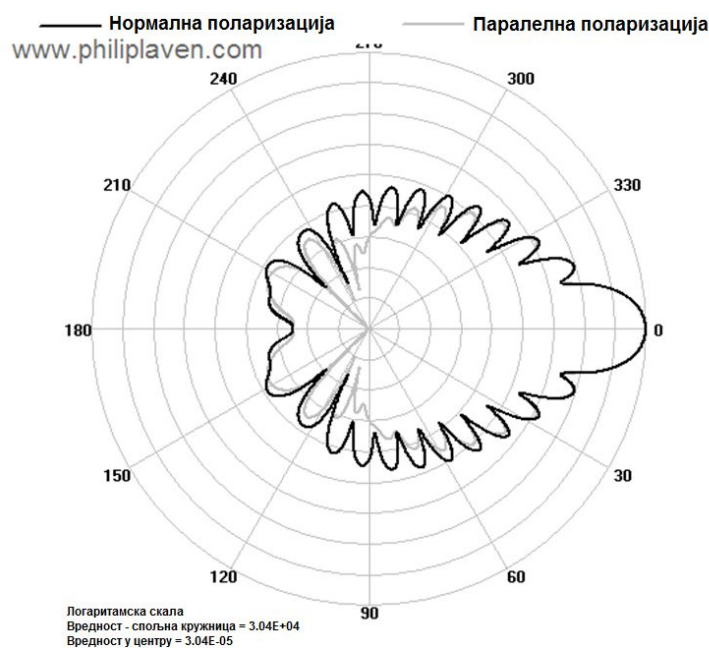
где се са А обележава коефицијент апсорпције на дефинисаној таласној дужини. Закључак је да се мора повећати резолуција мерења.

Босиљак и мајчина душица третирани He-Ne ласером.

Узорци третирани He-Ne ласером показали су јасне максимуме на одређеним таласним дужинама. Табеле 3.1.2. и 3.1.3. указују на локалне максимуме и ширине групе максимума. Услед ширења групе може доћи до преклапања других локалних максимума. Услед специфичних услова експеримента, директно поређење са резултатима других аутора није могуће. Бројна литература са подацима о апсорпционој спектрофотометрији мора да се потврди кроз проверу хемијског састава зрна узорака. Манипулисање спектром подразумева да се из мноштва максимума и минимума издвоје битне информације (нпр. табела 2.2.1). Занимљиво би било употребити и акустику и опште методологије за материјале у најширем смислу [160].

2. Узорци животињског порекла

Бактерије у води. За бактерију *E.coli* коришћењем имерзионе методе [85] је добијен индекс преламања. Индекс преламања је искоришћен даље за предикцију оптичких параметара (елементи матрице расејања), коришћењем софтвера MiePlot. За спектар од интереса, узет је индекс преламања из литературе [85] и затим је тражено ангуларно расејање на основној линији, He-Ne ласера. Услови су: окружење вода, облик узорка је приближно у дијаметру $2,83 \mu\text{m}$ (апроксимација, јер је *E.coli* штапићастог облика) [85, 121], таласна дужина је $\lambda = 632,8 \text{ nm}$. Поларни дијаграм ангуларног расејања је приказан на слици 3.2.1, за већ поменуте услове. Потребно је напоменути да су резултати софтвера за сферу радијуса r и апроксимацију сфере дијаметра $2 \cdot r$ исти (или минорно различити). Стога се као почетак проучавања интеракције светлости са овако дефинисаним параметрима бактерије узима баш овај случај – апроксимација сфером.



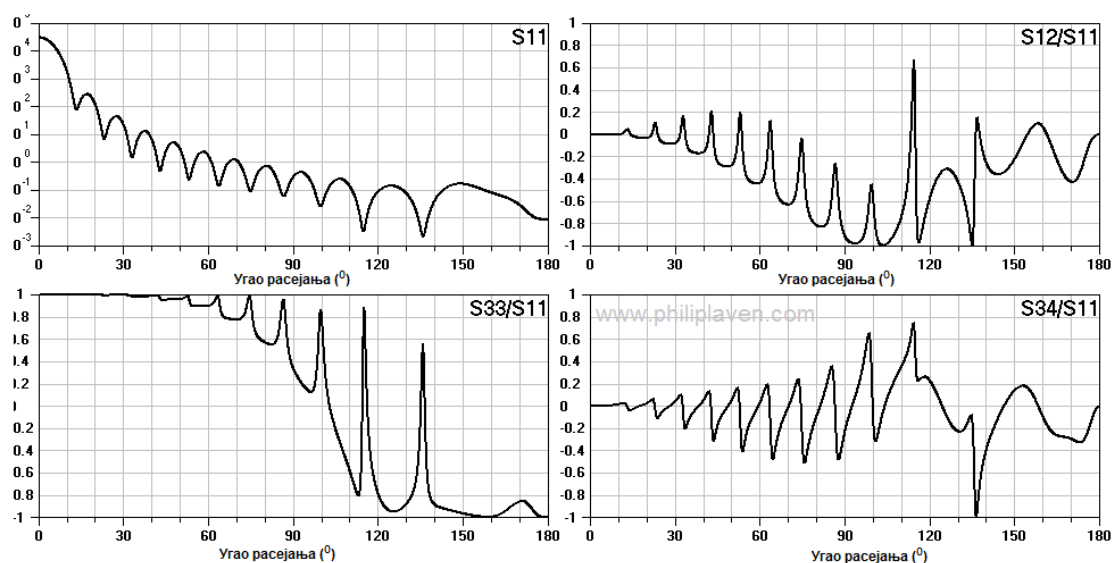
Слика 3.2.1. Поларни дијаграм ангуларног расејања за случај *E.coli* у воденом окружењу.

Коришћени подаци за симулацију: облик сфере (апроксимација) дијаметра $2,83 \mu\text{m}$,

$$\lambda = 632,8 \text{ nm}.$$

Матрични приступ заснован на теорији и софтверским пакетима – Матрице расејања (Müller) су рачунате коришћењем MiePlot софтвера. Програмски пакет даје неке елементе матрице као вредности, а неке као нормирани однос два члана. Матрице су дате кроз

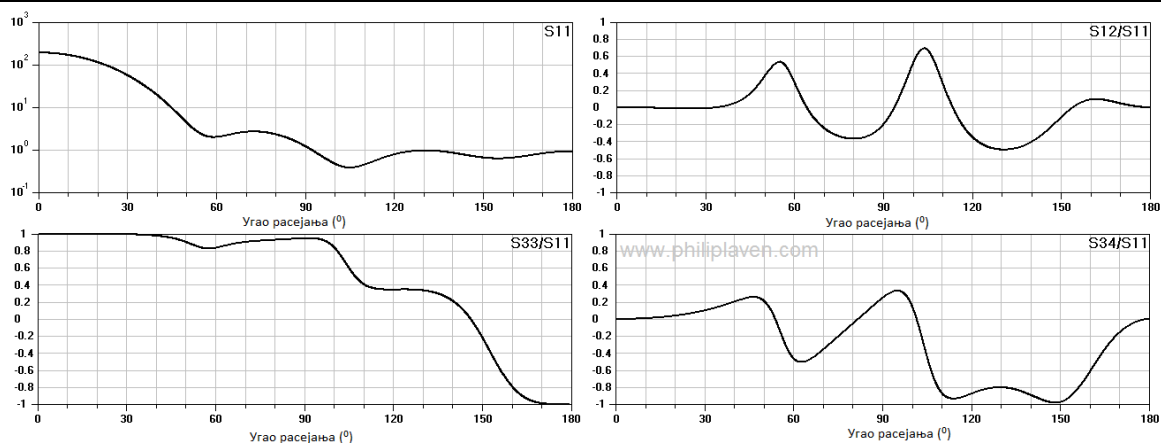
зависност карактеристичних чланова (бројне вредности) од угла расејања. Карактеристични елементи нормализовани (или не) су рачунати. За случај *E.coli* у води за углове расејања од 0 до 180°, подаци су приказани на слици 3.2.2. (коришћени су подаци из референце) [85].



Слика 3.2.2. Матрица расејања за случај *E.coli* у води. Коришћене вредности података за симулацију су: дијаметар 2,83 μm , $\lambda=632,8 \text{ nm}$.

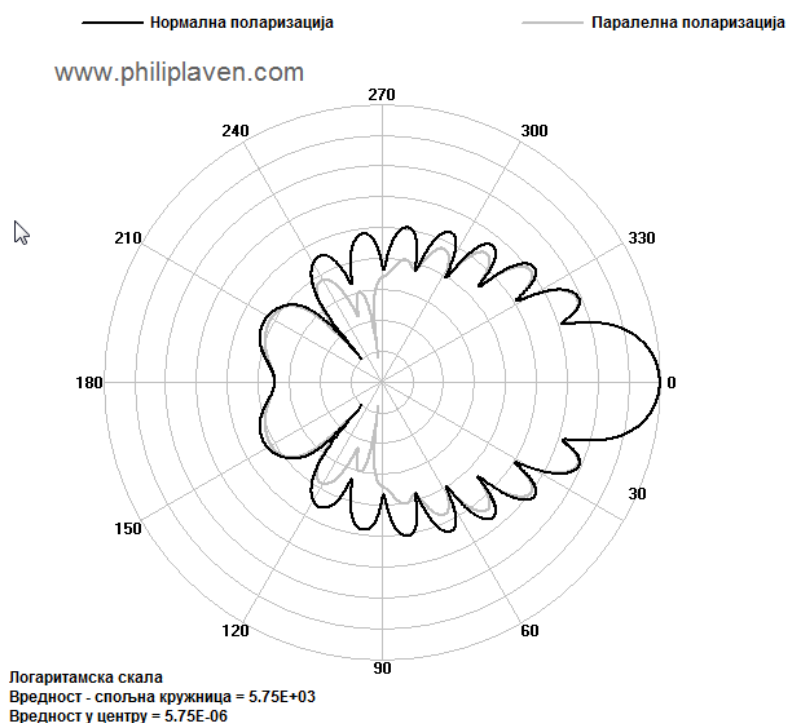
Случај воде у ваздуху, приказан је на слици 3.2.3. Специфични подаци повезани са овим прорачуном, дати су у тексту који прати слику.

Сама имерзиона метода омогућује да се разлика индекса преламања уочи у интерпретацији из [85] као различит ниво сивости површине (светлије области имају нижи индекс преламања). Унутрашњост је *невидљива*, када је индекс преламања околне течности подешен на 1,388, а омотач је скоро *невидљив*, када је индекс преламања течности 1,409 [85]. Претходна анализа је обрадила случај у ком је бактерија штапићастог облика апроксимирана као квазисфера дијаметра 2,83 μm . Референце [85] указују на просечну дужину (2,82 μm) и просечну ширину (0,86 μm) *E.coli* као и просечан однос поменутих димензија 3,87 (дужина:ширина). Бактерија *Bacillus Subtilis* има просечну дужину 2,86 μm , просечну ширину 0,47 μm и просечан однос димензија 6,47.



Слика 3.2.3. Елементи Müller-ове матрице за случај воде у ваздуху. Коришћени подаци за прорачун/симулацију су: облик сфера, радијус $0,4 \mu\text{m}$, $\lambda=632,8 \text{ nm}$.

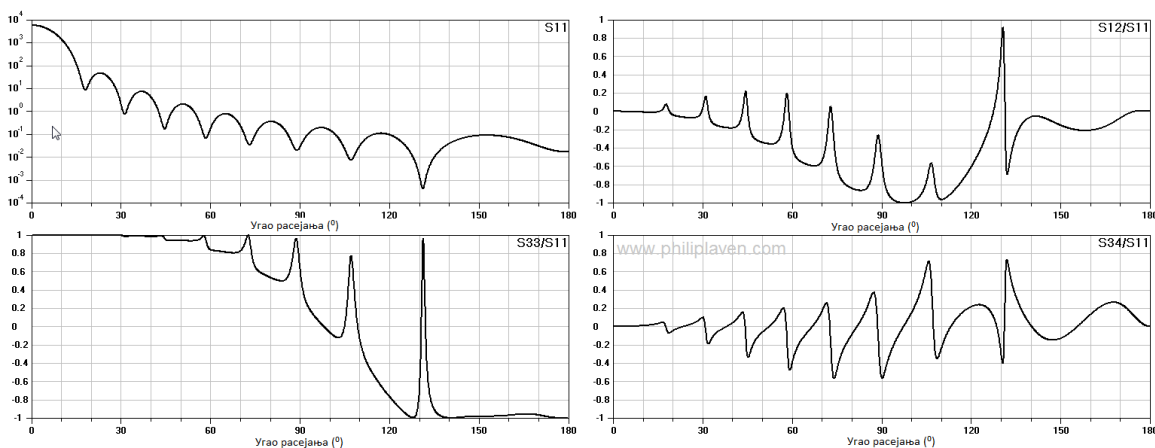
Бактерију у општем смислу можемо сматрати честицом, чије се димензије могу представити одређеном расподелом. Имерзиона метода се у датом случају [85] бави појединачним *честицама*, па проблем расподеле честицама по димензијама у овом случају не представља проблем. Тај проблем мора бити решен, уколико се жели мерити укупна количина бактерија у узроцима, нпр. пијаће воде. За сада се може радити са средњим вредностима уз јасно дефинисане претпоставке. Уколико претпоставимо да је r (радијус) једнак дијаметру ($2,83 \mu\text{m}$), за таласну дужину $632,8 \text{ nm}$ параметар величине x (величина без јединице) је: $r = 1,415 \mu\text{m}$, $\lambda=632,8 \text{ nm}$, $x = 2\pi r/\lambda = 14,042$. Када се претходна анализа понови са карактеристичним параметром величине x , добије се следећа поларна зависност (слика 3.2.4.), као и матрична презентација (слика 3.2.5).



Слика 3.2.4. Поларни дијаграм ангуларног расејања за случај *E.coli* у воденом окружењу.

Коришћени подаци за симулацију: параметар величине

честице $x = 14,042$, $\lambda = 632,8 \text{ nm}$.



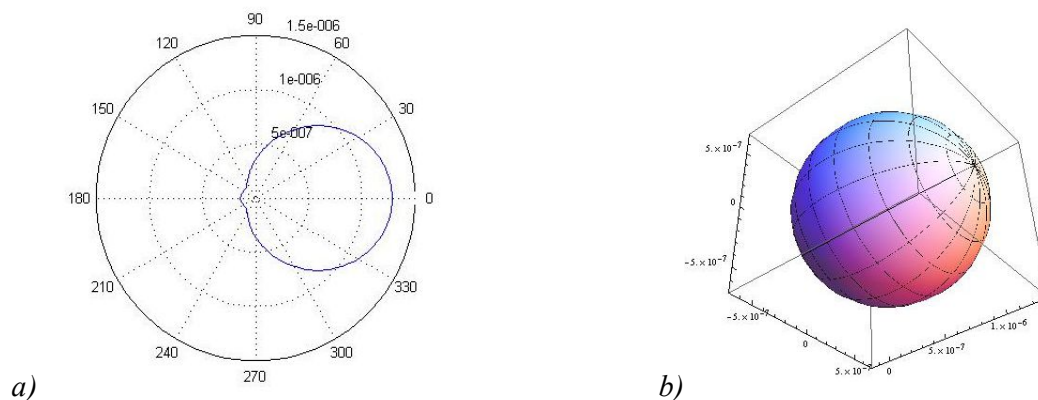
Слика 3.2.5. Матрица расејања за случај *E.coli* у води. Коришћене вредности података за симулацију су: параметар величине честице $x = 14,042$, $\lambda = 632,8 \text{ nm}$.

Као што указује литература највећа разлика ће се видети у нормализованом елементу матрице S34/S11 [8], што је очекивано за живе узорке.

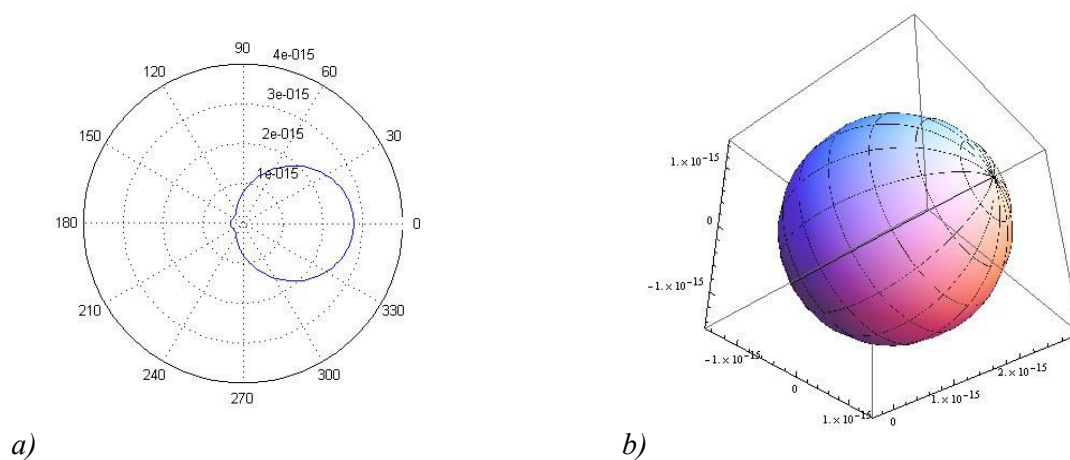
[8] такође, упућује на решење интеракције светлости са двослојном сфером, као и са цилиндром, што више одговара случају везаном за бактерије, јер се и на сликама добијеним

имерзионом рефрактометријом види да је индекс преламања омотача бактерије различит од индекса преламања унутрашњости бактерије, као и да је бактерија облика штапића.

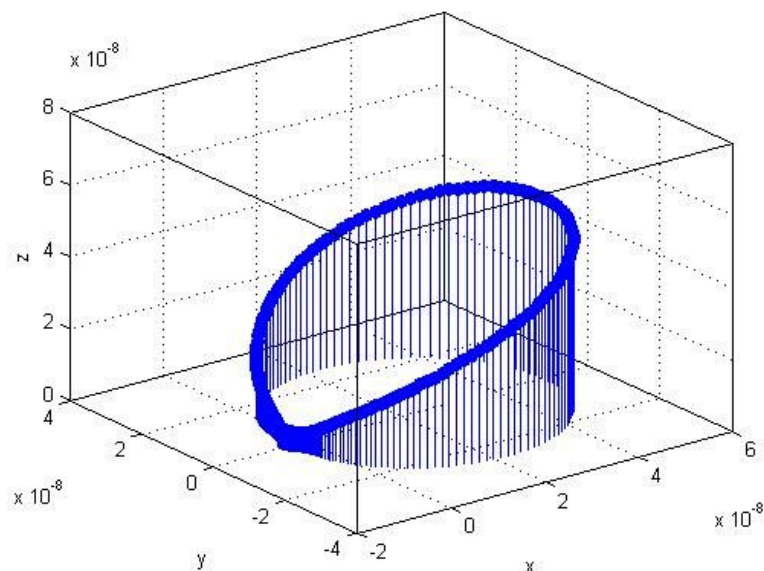
Ангуларна расподела за различите сферне центре расејања. Као резултат Мије теорије и респективног софтверског пакета, интензитет ангуларног расејања за неколико карактеристичних линија је симулиран и приказан на сликама 3.2.6 - 3.2.9.



Слика 3.2.6. Ангуларна расподела расејања $\lambda = 589,3 \text{ nm}$ о центар расејања дијаметра $a = 1,88 \text{ }\mu\text{m}$ у а) 2D и б) 3D презентацији.



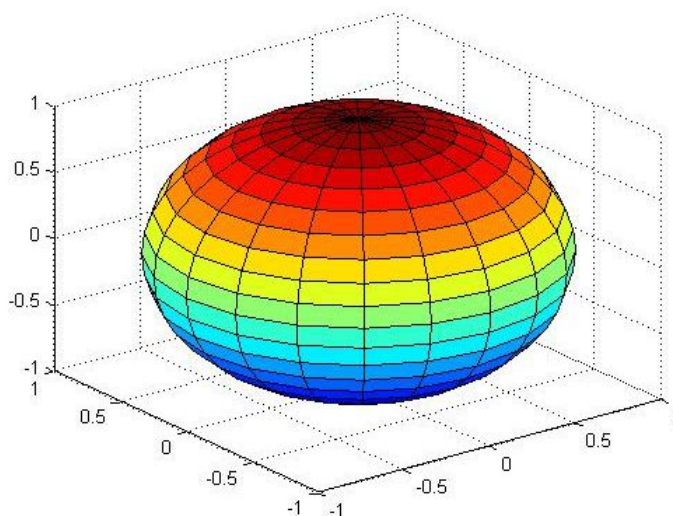
Слика 3.2.7. Ангуларна расподела за $\lambda = 1060 \text{ nm}$ ($\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$) и центар расејања дијаметра $a = 0,1 \text{ }\mu\text{m}$ у 2D а) и 3D б) презентацији.



Слика 3.2.8. Ангуларна расподела за Ar^+ јон ласер, $\lambda = 514 \text{ nm}$ и центар расејања дијаметра $a = 1 \mu\text{m}$ у 3D презентацији (млаз, ток).

Прикази у 2D и 3D рађени су у програмским пакетима Matlab и Mathematica и то MatLab-a (3.2.6a, 3.2.7a, 3.2.8, 3.2.9) и Mathematica-e (3.2.6b и 3.2.7b).

Проучавање карактера динамике и морфологије биообјеката методама динамичке спектроскопије (Hertzова спектроскопија) и одређивање оптичких константи пигмената у ћелијама су методе високе тачности, које обезбеђују значајну количину података о живим организмима (вируси, бактерије, елементи динамике крвног тока, хлоропласти). Теорије расејања код којих су центри расејања објекти правилних и неправилних облика (у математичком смислу) се убрзано развијају (линеарне димензије 20 - 15000 nm). Комплексна формулација индекса преламања за ћелије у флуидима, као и апсорпциони процеси у видљивој и блиској ИЦ области дефинишу ниво апроксимације примене расејања светлости.



Слика 3.2.9. Ангуларна расподела за Ar^+ јон ласер, $\lambda = 514 \text{ nm}$ и центар расејања дијаметра $a = 1 \text{ }\mu\text{m}$ у 3D презентацији.

Динамички параметри и морфологија, транслациони и ротациони коефицијенти дифузних учестаности флукуације светлосног интензитета, расејање о центре од интереса, који указују на специфична кретања (динамику) су тема многих група истраживања. Ширење карактеристичних спектралних линија на живим микроорганизмима са специфичном динамиком је значајно за бројне анализе, укључујући полидисперзност, као и флукуације различитог порекла. Дисперзиона својства, различити процеси у биологији и различити биообјекти су укључени у основну методу мерења, повезану са расподелом вероватноће, амплитудама и интензитетима са аутокорељацијом и развојем спектра. Један од резултата статистичког истраживања је веза динамике кретања са обликом расејане спектралне линије, једног од параметара, које није било могуће мерити пре ере квантних генератора. Вишеструко расејање је такође проучавано, а различити инжењерски приступи су формирану током времена. Успешно су коришћени у областима, као што су: праћење климатских промена, свемирска проучавања, океанографија, итд. У блиској прошлости, нивои поларизације и познавање центара расејања у објектима, који се могу посматрати као вишеслојни су уврштени у опис и математички апарат, који прати ову теорију.

3. Узорци од интереса у екологији и паралелне технике

Емисивност. Фитовање података коришћењем пасивних сензора милиметарских таласа. Planck- ов закон зрачења, теорија трансфера зрачења (одређена температура), ефекти непоклапања импедансе, значај системског улазног шума температуре, радиометрија укупне снаге, Dick-ов радиометар, радиометри за инјекцију шума, контраст осветљења температуре, минимална мерљива температура (подаци за термално осматрање), S/N, тражење грешке угла (несигурности), утицај позадинског шума су неизбежне теме за разне процесе праћења пасивним сензорима милиметарских таласа. Карактеристике материјала са поларним молекулама су важне за материјале од интереса у екологији, имајући у виду да вода има значајне диполне моменте. Debye-ова формулација диелектричних константи је повезана са временом релаксације поларних молекула и проводљивошћу [113].

$$e(\theta=0)=1-\left|\frac{1-\sqrt{\epsilon_r}}{1+\sqrt{\epsilon_r}}\right|^2, \quad (3.3.1)$$

$$e_H(\theta)=1-\left|\frac{\cos\theta-\sqrt{\epsilon_r-\sin^2\theta}}{\cos\theta+\sqrt{\epsilon_r-\sin^2\theta}}\right|^2, \quad (3.3.2)$$

$$e_V(\theta)=1-\left|\frac{\epsilon_r\cos\theta-\sqrt{\epsilon_r-\sin^2\theta}}{\epsilon_r\cos\theta+\sqrt{\epsilon_r-\sin^2\theta}}\right|^2, \quad (3.3.3)$$

$$\epsilon=\epsilon_r-j\epsilon_r'', \quad (3.3.4)$$

$$\epsilon_r=\epsilon_\infty+\frac{\epsilon_s-\epsilon_\infty}{1+(j\omega\tau)^{1-\alpha_\tau}}-j\frac{\sigma_c}{\omega\epsilon_0}, \quad (3.3.5)$$

где је $\omega=2\pi f$ кружна учестаност, ϵ_∞ – диелектрична константа на бесконачној учестаности, ϵ_s – статичка вредност диелектричне константе, τ – време релаксације, σ_c – јонска проводљивост, α_τ – емпиријски параметар за дефинисање расподеле релаксационог времена, ϵ_0 – диелектрична константа вакуума [113]. Имајући у виду да емисивност зависи од диелектричне константе и да је емисивност кључни фактор за технике формирања термалних слика, један од модела, који је потребно узети у обзир је и Kline - Swift model

[113]. Ангуларна емисивност за различите компоненте је фитована. Резултати су у табелама 3.3.1. и 3.3.2. Табеле 3.3.1. и 3.3.2. садрже коефицијенте фитовања полиномом за ангуларну зависност емисивности воде, где су параметри температура (0° , 18° , 40°C) и салинитет воде 0‰ (θ је инцидентни угао).

Ангуларна расподела и анализа за одређивање оптималног угла детекције. Међу биофизичким методама карактеризације живих (и мртвих) микроорганизама у различитим флуидима, истиче се *on-chip* имерзиона рефрактометрија. Како је вода природно окружење, мерења у води имају значаја за различите типове бактерија, вирусе, итд, а и за праћење промена својстава воде. Важни су случајеви повезани са бактеријама *E.coli* и *Bacillus Suptilis*. За коришћење методе, потребни су како велики број бактерија, које је потребно испитати, тако и велики број узорак воде [21].

Табела 3.3.1. Коефицијенти фитовања полиномом за ангуларну зависност емисивности воде, где су параметри температура (0° , 18° , 40°C) и салинитет 0‰ (θ је инцидентни угао).

Хоризонтална емисивност за салинитет воде 0‰				
Температура ($^{\circ}\text{C}$)	Апроксимација	A	B	C
0	$A+B\theta+C\theta^2$	0,52179	$1,7124 \times 10^{-4}$	$-6,2165 \times 10^{-5}$
18		0,46041	$1,03169 \times 10^{-4}$	$-5,71728 \times 10^{-5}$
40		0,42263	$-7,90443 \times 10^{-5}$	$-4,93171 \times 10^{-5}$

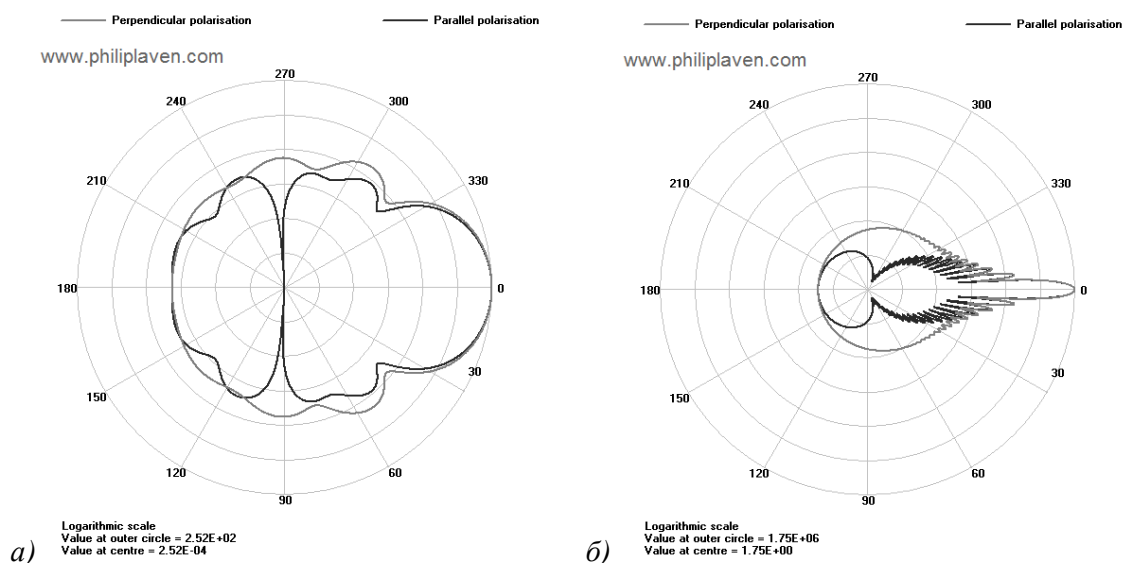
Вертикална емисивност за салинитет воде 0‰					
Температура ($^{\circ}\text{C}$)	Апроксимација	A	B	C	D
0	$A+B\theta+C\theta^2+D\theta^3$	0,5231	$-3,0835 \times 10^{-4}$	$5,36207 \times 10^{-5}$	$3,14323 \times 10^{-7}$
18		0,45941	$1,64951 \times 10^{-4}$	$2,80597 \times 10^{-5}$	$5,91349 \times 10^{-7}$
40		0,42176	$1,95402 \times 10^{-4}$	$1,82316 \times 10^{-5}$	$7,70573 \times 10^{-7}$

Табела 3.3.2. Коефицијенти фитовања полиномом за ангуларну зависност емисивности воде, где су параметри температура (0° , 18° , 40°C) и салинитет 34‰ (отворени океан). (θ је инцидентни угао).

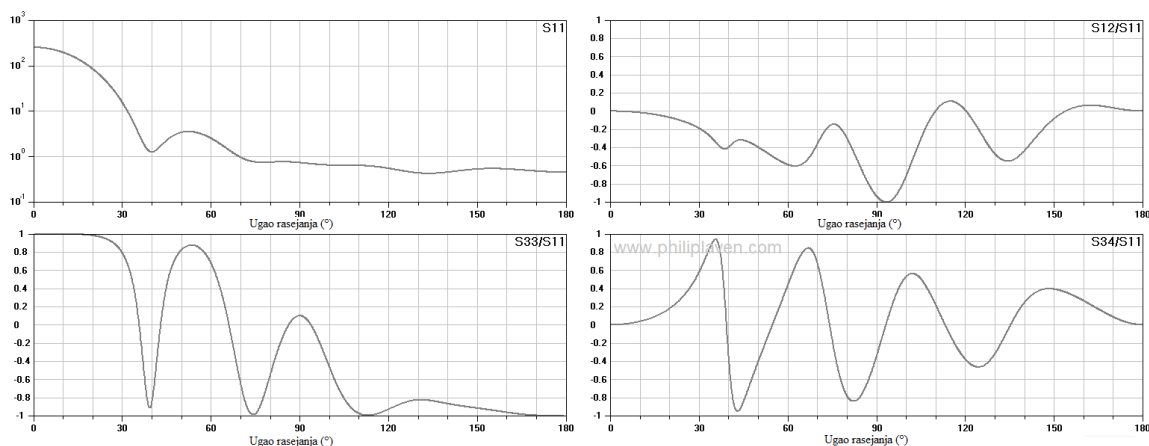
Хоризонтална емисивност за салинитет воде 34‰ (отворени океан)				
Температура ($^{\circ}\text{C}$)	Апроксимација	A	B	C
0	$A+B\theta+C\theta^2$	0,52515	$1,65477 \times 10^{-4}$	$-6,31229 \times 10^{-5}$
18		0,45629	$2,02139 \times 10^{-4}$	$-5,66565 \times 10^{-5}$
40		0,42124	$-3,33436 \times 10^{-5}$	$-5,02257 \times 10^{-5}$

Вертикална емисивност за салинитет воде 34‰ (отворени океан)					
Температура (°C)	Апроксимација	A	B	C	D
0	$A+B\theta+C\theta^2+D\theta^3$	0,52756	$-4,59304 \times 10^{-4}$	$6,1836 \times 10^{-5}$	$2,4826 \times 10^{-7}$
18		0,45818	$2,97883 \times 10^{-4}$	$2,08897 \times 10^{-5}$	$7,27728 \times 10^{-7}$
40		0,42029	$6,63203 \times 10^{-4}$	$7,74969 \times 10^{-6}$	$8,45621 \times 10^{-7}$

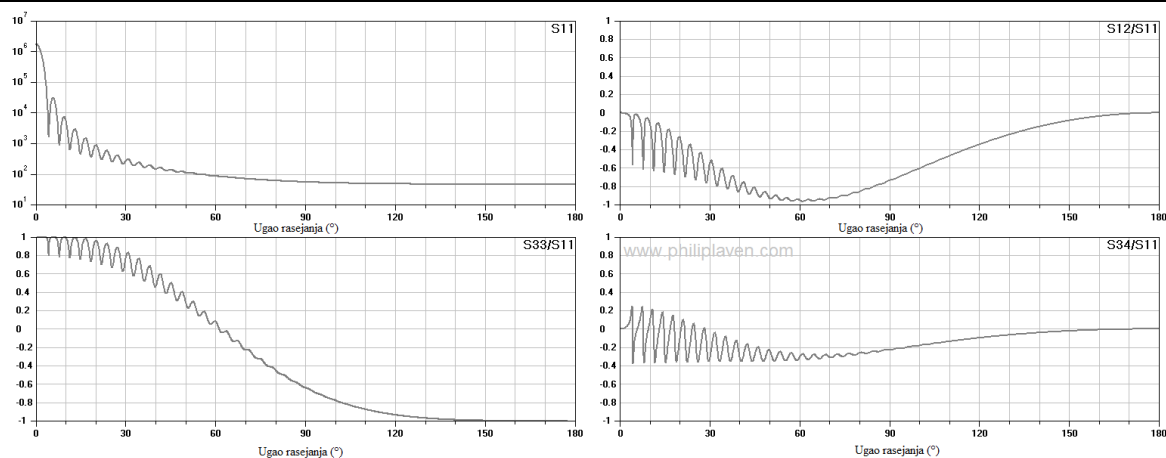
Изабрани су случајеви ацетиленске и пропанске чађи у ваздуху (атмосфери) на разним температурама (10°C, 15°C); карактеристичне димензије изабраних честица су 1 µm и 10 µm. Симулације су на сл. 3.3.1 - сл.3.3.8.



Слика 3.3.1. Поларни дијаграм интензитета расејања на основном прелазу He-Ne ласера (632,8 nm) у ваздуху на 15 °C о честицу ацетиленске чађи дијаметра а) 1 µm и б) 10 µm.

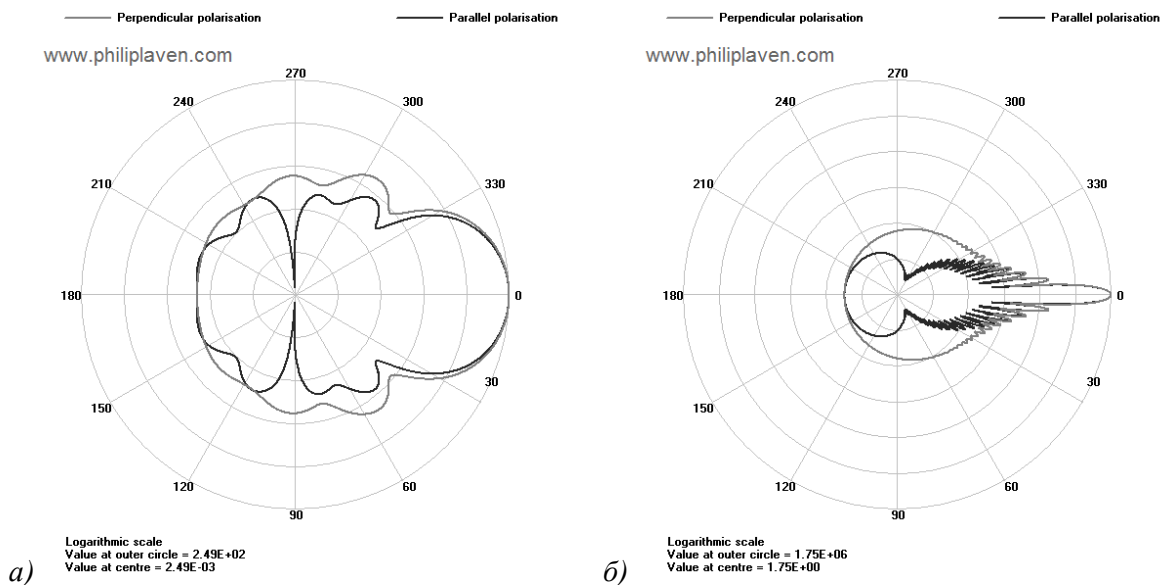


Слика 3.3.2. Компоненте матрице расејања за случај расејања за слике 3.3.1 а).

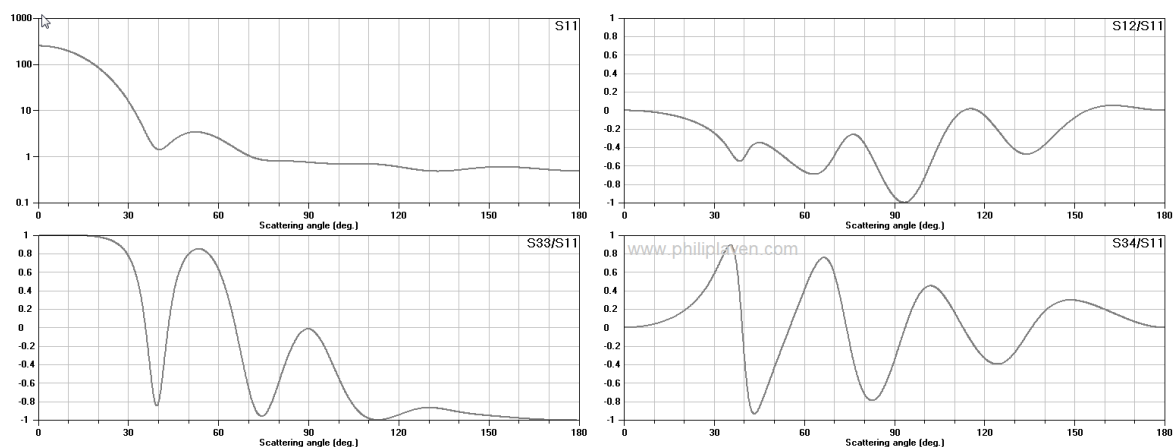


Слика 3.3.3. Компоненте матрице за случај расејања за слике 3.3.1 б).

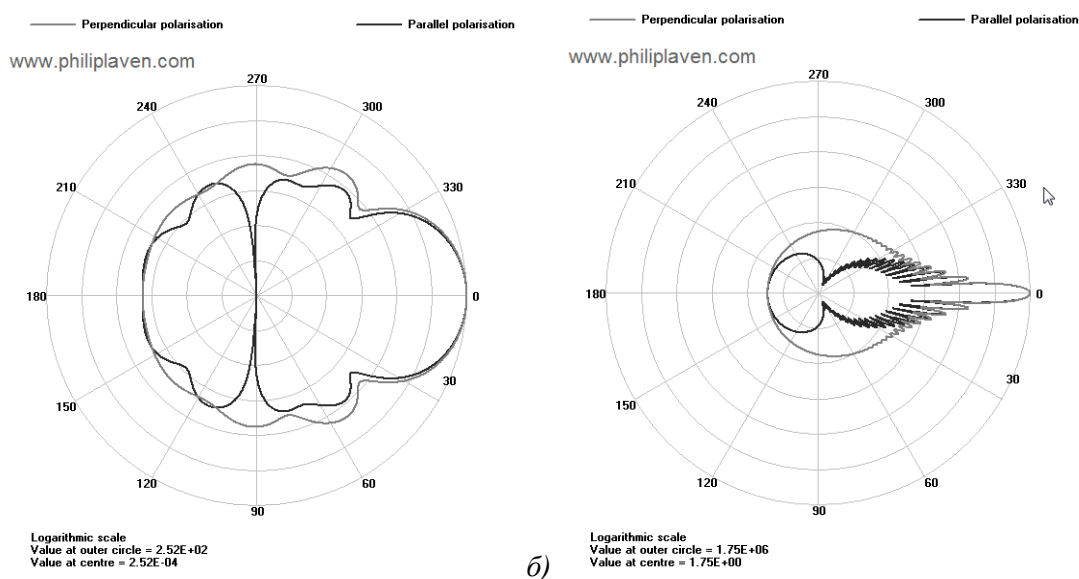
Индекси преламања у комплексном облику су преузети из литературе [161].



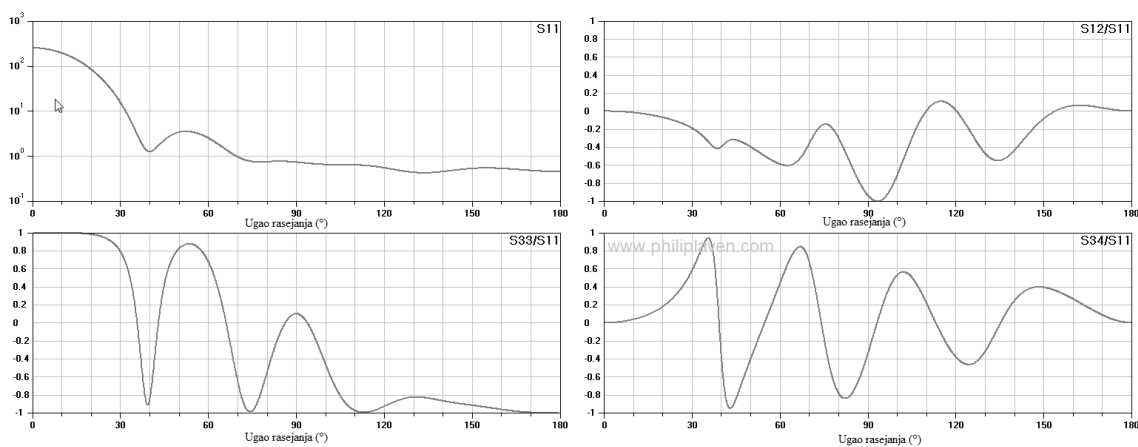
Слика 3.3.4. Поларни дијаграм интензитета расејања на основном прелазу He-Ne ласера (632,8 nm) у ваздуху на 15 °C о честицу пропанске чађи дијаметра а) 1 μm и б) 10 μm .



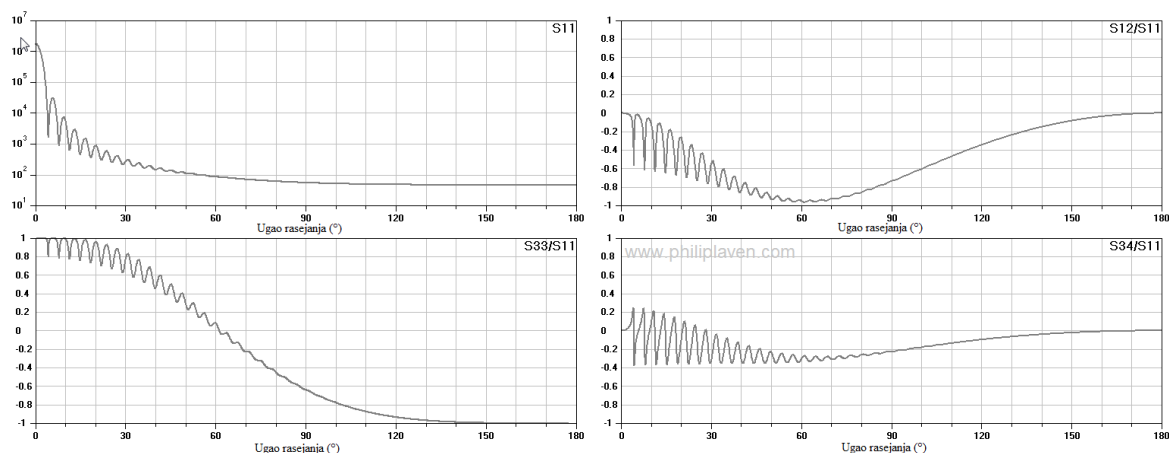
Слика 3.3.5. Компоненте матрице за случај расејања са сл. 3.3.4 а).



Слика 3.3.6. Поларни дијаграм интензитета расејања на основном прелазу He-Ne ласера (632,8 nm) у ваздуху на 10°C о честицу ацетиленске чађи дијаметра а) 1 μm и б) 10 μm .



Слика 3.3.7. Компоненте матрице за случај расејања за слику 3.3.6 а).

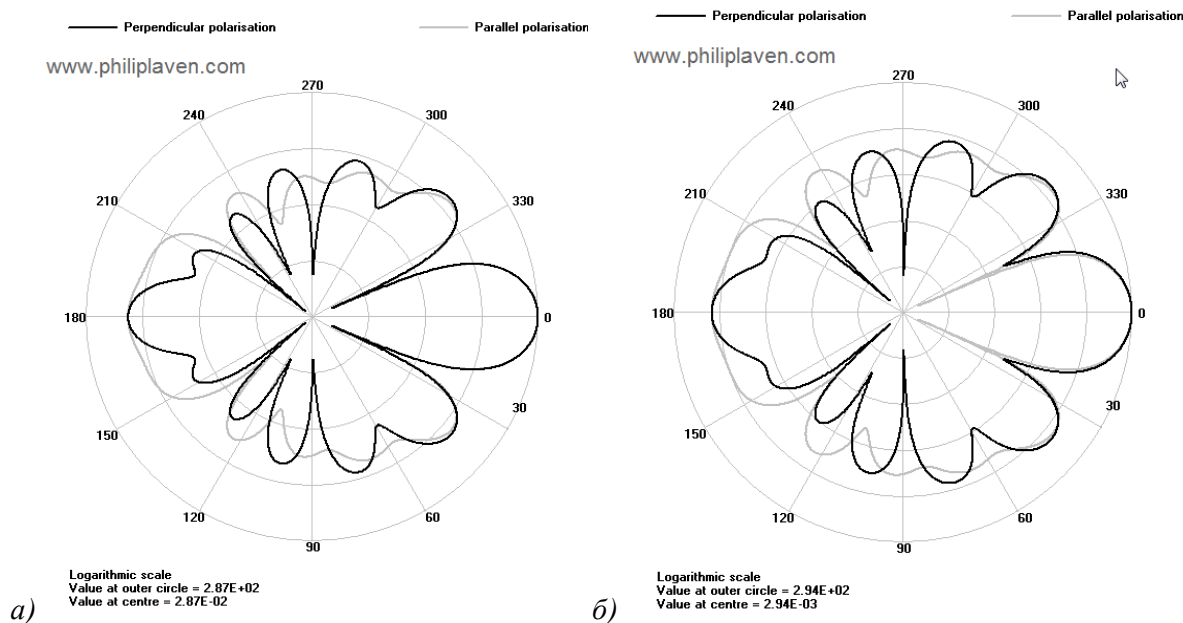


Слика 3.3.8. Компоненте матрице за случај расејања за слику. 3.3.6. б).

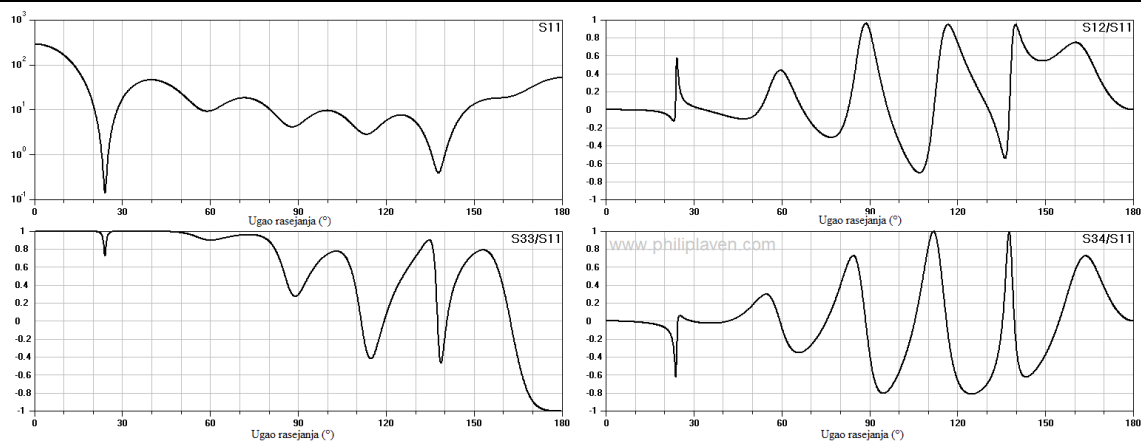
Полистиренске куглице (сфере) су предмет многобројне литературе, јер се користе и за калибрацију. За симулацију ангуларне расподеле индекси преламања су одређени по формули

$$n = 1,5718 + \frac{8412}{\lambda^2} + \frac{(2,35 \times 10^8)}{\lambda^4} + 0,0003i. \quad (3.3.6)$$

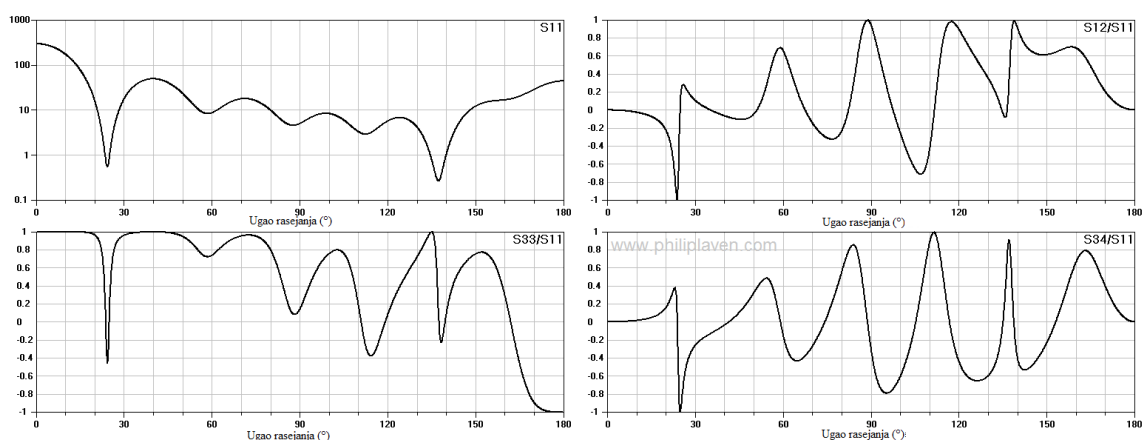
Применом литературе [162] добијени су резултати са слика 3.3.9 - 3.3.11. Изабран је полистирен као могући полувент.



Слика 3.3.9. Поларни дијаграм интензитета расејања на основном прелазу He-Ne ласера (632,8 nm) у ваздуху на 10 °C о полистиренску сферу средње вредности дијаметра а) 1,227 μm (Mie теорија) и б) 1,216 μm (електронска микроскопија).



Слика 3.3.10. Компоненте матрице за случај расејања за слику 3.3.9 а).



Слика 3.3.11. Компоненте матрице за случај расејања за слику 3.3.9 б).

4. ЗАКЉУЧАК

Задаци ове тезе су укључивали истраживање утицаја ласерских снопова различитих типова и опсега густина енергија, снаге и времена експозиције на узорке изабраних фамилија биљака и одабир примена мерних техника у којима се као извор користи ласер за решавање лидарских проблема. Од интереса је било констатовати да ли се ради о позитивним или негативним трендовима озрачивања биолошких структура са одабраним параметрима у експериментима. Општи закључак је да се код свих узорака (фамилије трава, зељастих биљака) показало биостимулативно дејство са варијацијама степена, који је изнад статистичке грешке. Као делови експерименталног рада, оцењени су спектрални коефицијенти рефлексије/апсорпциони за врсте биљака карактеристичне за наше поднебље, укључујући зрна и листове. Ова мерења су везана за методе типа FT-IR и друге.

Поред података, који могу да се укључе у моделовање интеракције са већином модела, подаци могу да буду од значаја за методе препознавања (разликовања) здравих од инфестованих узорака, као и за методе даљинске контроле, које су везане за ове оптичке величине.

За семена босиљка и мајчине душице озрачивана He-Ne ласером, праћен је раст биљака и мерени су морфолошки параметри. Криве раста су груписане по карактеристичним параметрима. Код биљака босиљка изниклих из контролних зрна и зрна третираних He-Ne ласером у трајању 1. минута, примећено је сушење јединки група. То је формално довело до смањења висине. Раст биљака изниклих из биљака третираних 3 минута и 5 минута, указује на бржи раст биљака у групи од 5 минута. Код биљака изниклих из зрна мајчине душице третираних He-Ne ласером, уочава се знатна разлика између група. Биљке изникле из контролних зрна су група са највећом висином, затим група третирана 5 минута, 3 минута и на крају 1 минут. FT-IR спектри ових узорака (за све четири подгрупе) босиљка и мајчине душице (контрола, 1 минут, 3 минута и 5 минута) показали су да се максимуми појављују у групама са малим померањима таласног броја.

За биљке босиљка, чија зрна су третирана Nd³⁺:YAG ласером (основни прелаз 1064 nm и хармоник 532 nm) различитим снагама, праћене су морфолошке промене по данима. За групе узорака кроз графике, дате су зависности од карактеристичних параметара (времена озрачивања, снага снопа). За различита времена озрачивања уочава се да се 5 s и 10 s суштински не разликују превише посматрано кроз раст биљке. Времена 15 s и 20 s имају показују уочљивије ефекте, али са међусобним различитим трендом раста (и

карактеристикама кривих). Оно што је занимљиво, поготово за хармоник у видљивој области је да ни једна група није показала стагнацију у расту.

Упркос великом броју теоријских и експерименталних прилаза и добијених података, потребан је и даље велики број мерења и проучавања специфичних случајева. Од паралелних техника се очекује потврђивање резултата или уочавање различитости метода мерења истих величина у разним дисциплинама. Овим се само истиче комплексност теорије, рачуна, мерења и софтверских пакета, који прате ову проблематику.

Подаци, од интереса, за дескрипцију воде укључујући ласерске и термовизијске технике, за воду и друге узорке и материјале се разликују у литератури. Разлике су везане за године мерења, мерне резолуције и друге типове несигурности, које уносе мерне методе. Бројни системи могу да допринесу проучавању питања везаних за истраживања у области чистоће воде. Избор метода мерења индекса преламања је данас велики, али еколошке примене траже специфичну концентрацију и врсту полуанта, тако да су ту главни избори примене методе ласерске технике, имерзионих, капацитивних или лабораторијских Abbe-ових рефрактометара или Jamín-ових рефрактометара.

За планирање експеримената везаних за расејање и његову примену у биологији извршена је симулација проблема применом MiePlot алата.

Експлицитно, везано за резултате симулација добијених MiePlot софтвером добијено је следеће:

- ангуларно расејање за објекте E.coli у води,
- елементи матрице расејања за E.coli у води,
- елементи матрице за случај капљице воде (сфера) у ваздуху,
- ангуларно расејање за честице чађи (ацетиленске и пропанске) у ваздуху на различитим температурама,
- елементи матрице расејања за честице чађи (ацетиленске и пропанске) у ваздуху на различитим температурама,
- ангуларно расејање за полистиренске честице у ваздуху,
- елементи матрице расејања за полистиренске честице у ваздуху.

Коришћењем програмских пакета Matlab-a и Mathematica-e, добијени су резултати за неколико случајева сферних центара расејања и различите таласне дужине ласера, као и различите дијаметре центара расејања. Резултати су приказивани разним визуелизацијама 2D/3D. С' обзиром на различите могућности програмских пакета, неки објекти као центри расејања су комплементарно описани са више програмских пакета.

У проблематици моделовања пожара, код нас постоји доста активности различите природе. Проблематика је мултидисциплинарна и припада класи активности, које захтевају

вишенационална разматрања. Ради се на системима сензора, електронској заштити, итд, али се чини да је потребно развити даље велики број потребних програмских интерфејса за потребе моделовања у различитим географским подручјима Србије (укључујући типске предуслове, као што су депресије, микроклиме и сл.). Развијање техничке подршке система за рано праћење пожара, припада широј класи проблема, какво је лидарско праћење циљних објеката (у атмосфери, хидросфери и сл.).

Даљи развој би подразумевао да се креће од сложенијих модела, а да се кроз параметре задате у софтверу дефинишу специфични случајеви и изврши прва апроксимација решења проблема. Софтвери, у стању да адекватно прикажу последице пожара, њихову динамику и процесе током трајања, у комбинацији са лидарским техникама, које су у стању да их активно прате током реалних ситуација, су вишеструко корисни у акцијама контроле, гашења и проактивног одлучивања у акцијама.

Конкретне симулације расејања светлости о честице чађи (продукти пожара), вулканске прашине, полуената, доприносе поузданијем праћењу пожарног стуба, као и карактеризацији гориве материје и одвијању различитих других процеса са штетним еколошким последицама.

5. ЛИТЕРАТУРА

1. Srećković, M., Gospavić, R., **Babić, S.**, Milosavljević, A., Bugarinović, A., Nemeš, K., Cvetanović, S., 2001, *Gasodinamički model i neki aspekti interakcije lasera sa materijalom od interesa u elektrotehnici*, Proc.of conference Yuko Cigre, p.15-02(8).
2. Gospavić, R., Bojanić, S., Srećković, M., Dinulović, M., **Babić, S.**, Arsoski, V., Davidović, M., Sekulić, R., 2002, *Some Modelling in Laser Interaction Phenomena*, Proceedings of Laser's 2001, Tucson, Arizona, December 2001, Eds. V.J. Corcoran& T.A. Corcoran, SoQue, McLean 2002, pp.186-193.
3. Srećković, M., Bugarinović, A., Dinulović, M., Popov, V., Bojanić, S., **Babić, S.**, Gospavić, R., Nikolić, D., Davidović, M., 2002, *Laser Material Interaction and Modelling of Interest in Medicine, Biology and Aerospace*, Proceedings of Laser's 2001, Tucson, Arizona, December 2001, Eds. V.J. Corcoran& T.A. Corcoran, SoQue, McLean 2002, pp.201-208.
4. Blečić, Ž., Srećković, M., Milosavljević, A., Cvetković, N., **Babić, S.**, Radovanović, R., Fidanovski, Z., Arsoski, V., Nešić, I., Tomić, A., 2002, *Laser Interaction With Some Metallic Material*, Proceedings of Laser's 2001, Tucson, Arizona, December 2001, Eds. V.J. Corcoran& T.A. Corcoran, SoQue, McLean 2002, pp.209-216.
5. Бугариновић, А., Госпавић, Р., Динуловић, М., Фидановски, З., Божовић, З., Цветковић, Н., **Бабих, С.**, 2001, *Интеракција ласера са једном класом стоматопротетских материјала и примена*, Зборник радова XLV конференције за ЕТРАН, Буковичка Бања, Свеска III, 4-7 јуна 2001, стр.235-238.
6. Госпавић, Р., Срећковић, М., **Бабих, С.**, Бугариновић, А., 2001, *Моделовање интеракције ласерског зрачења са материјалом*, Зборник Јуко Цигре, Херцег Нови 16-20 септембар, стр. R.15-04.
7. Бугариновић, А., **Бабих, С.**, Динуловић, М., Наловић, Д., Фидановски, З., Арсоски, В., 2002, *Савремене примене ласера у стоматологији*, Зборник радова XLVI конференције за ЕТРАН, Свеска III, Теслић, Република Српска, јун 2002, стр.188-191.
8. Berne, B. J., Pecora, R., 2000, *Dynamic Light Scattering with Application to Chemistry, Biology and Physics*, John Wiley&Sons, New York, USA.
9. Ready, J.F., ed., 2001, *LIA Handbook of Laser Materials Processing*, Laser Inst. Am., Magnolia, Orlando, USA.
10. Seyfried M, Fukshansky L., 1983, *Light gradients in plant tissue*, Appl. Optics 22, pp.1402–1408.
11. Björn, L.O., ed., 2015, *Photobiology. The Science of Light and Life*, Springer Science+Business Media, New York.
12. Valeur, B., 2001, *Molecular Fluorescence: Principles and Applications*, Wiley/VCG Verlag GmbH, Berlin.
13. Vo-Dinh, T., ed., 2003, *Biomedical Photonic Handbook*, CRC Press LLC, Boca Raton, USA.
14. Stepanov, B.I., Bogush, A.A., eds., 1980, *Problemi sovremennoi optiki i spektroskopii*, Nauka i tehnika, Minsk.
15. Stuart, B., 2004, *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*, John Wiley and Sons, NY.

16. Mascarenhas, M., Dighton, J., Arbuckle, G. A., 2000, Appl. Spectrosc., Vol. 54, pp.681–686, In: Stuart, B., 2004, *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*, John Wiley and Sons, NY.
17. Michell, A. J. and Schimleck, L. R., 1996, Appita J., Vol 49, pp.23–26, In: Stuart, B., 2004, *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*, John Wiley and Sons, NY.
18. Weitkamp, C., ed., 2005, *Lidar - range-resolved optical remote sensing of the atmosphere*, Springer, New York.
19. Srećković, M., Pavlović, M., Vejnović, Z., Ostojić, S., 2015, *Lidari, ladari, kolidari, diali*. Beograd, Studio 789 Team.
20. Measures, R.A., *Laser Remote Sensing*, Mir, Moskva, 1987.
21. Bohren, C.F., Huffman, D.R., 1998, *Absorption and scattering of light by small particles*, Wiley – Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York.
22. Niemz, M., ed., 2007, *Laser-Tissue Interactions, Fundamentals and Applications*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
23. Jacquemod, S., Ustin, S., 2008, Modeling Leaf Optical Properties, [online] http://photobiology.info/Jacq_Ustin.html.
24. Maier, S.W., 2000, *Modeling the radiative transfer in leaves in the 300 nm to 2.5 μ m wavelength region taking into consideration chlorophyll fluorescence - The leaf model SLOPE*, PhD Thesis, Deutsches Fernerkundungstagsdatenzentrum, Technische Universität München, Oberpfaffenhofen (Germany)
25. Krebs, R., Bartels, M., Meinhardt, M., Lubatshowski, H., Anders, A., 2003, *Characterization of Optical Structures in Biological Tissue by Means of UV-Optoacoustics*, Laser Physics, Vol.13, No.5, pp.724-729.
26. <http://opticleaf.ipgp.fr/index.php?page=prospect>
27. http://photobiology.info/Jacq_Ustin.html
28. <http://psi.cz/ftp/publications/antoc/aussois223.pdf>
29. <http://www.geos.ed.ac.uk/homes/s0455489/LIBERTY.html>
30. http://www2.geog.ucl.ac.uk/~mdisney/teaching/3010/dawson_et_al.pdf
31. http://geo.arc.nasa.gov/sge/johnson/leafmod/RSE_v63.pdf
32. <http://www.npsg.uwaterloo.ca/models.php>
33. http://rayference.eu/1_old/rtn_ray.php
34. Thys, M., Desmet, E., 2011, eds., *Laser Beams: Theory, Properties and Applications*, Nova Science Publishers, Inc., New York.
35. Weber, M.L., ed., 1999, *Handbook of Laser Wavelengths*, CRC Press LLC, Boca Raton, USA.
36. Weber, M.J., 2001, *Handbook of Lasers*, CRC Press LLC, Boca Raton, USA.
37. Srećković, M., Ostojić, S., Milutinović-Nikolić, A., Dukić, M., Kajkut, S., **Babić, S.**, Sekulić, R., 2001, *Methods of Coherent and Noncoherent Optics in Powder Description in Ecology, Metallurgy and Pharmacy*, Proceedings of Laser's 2000, SoQue&McLean, eds. V.Corcoran and T.Corcoran, pp.644-651.
38. Ropella, K.M., 2007, *Introduction to Statistics for Biomedical Engineers*, Morgan & Claypool Publishers, San Rafael.

39. Wandinger, U., 2005, *Introduction to Lidar*, in: Weitkamp, C., ed., 2005, *Lidar - range-resolved optical remote sensing of the atmosphere*, Springer, New York.
40. <http://ibis.geog.ubc.ca/g2field/subjects/climatology/lidar4.html>
41. **Jevtić, S.**, M.Srećković, S.Ostojić, N.Mitrović, R.Radovanović, 2015, *Contemporary Problems in Experiments, Theory and Application of Interest in Ecology with Lasers in Laboratory and Remote Detection*, Optoelectronics and Advanced Materials - Rapid Communications, Vol.9, No.9-10, September-October, pp.1301-1309
42. **Jevtić, S.**, Srećković, M., Pelemiš, S., Mitrović, N., Kaluđerović, B., Latinović, Z., Ostojić, S., Milanović, Đ., Fidanovski, Z., 2015, *Laser Influence to Materials and Respective Quantifications of Results*, IV međunarodni kongres inženjerstvo, ekologija i materijali u procesnoj industriji, IV Int.Congress Engineering, Environment and Materials in Processing Industry, Jahorina pp.1055-1069, mart 2-6, CD.
43. Goers, U.B., Bisling, P., Glauer, J. et al., 1993, ARGOS: *A Differential Absorption Lidar for the Depth-Resolving Measurement of Sulfur Dioxide, Nitrogen Dioxide, and Ozone*. In: Weitkamp, C., ed., 2005, *Lidar - range-resolved optical remote sensing of the atmosphere*, Springer, New York.
44. Fix, A., Wirth, M., Meister, A., et al. 2002, Appl. Phys. B Vol 75, p.153 in: Weitkamp, C., ed., 2005, *Lidar - range-resolved optical remote sensing of the atmosphere*, Springer, New York.
45. Schneider, W., et al., 1987: J. Photochem. Photobiol., Vol. 40, p.195 in: Weitkamp, C., ed., 2005, *Lidar - range-resolved optical remote sensing of the atmosphere*, Springer, New York.
46. Fukuchi, T., Fujii, T., Goto, N., et al., 2001, Opt. Eng. Vol 40, p.392 in: Weitkamp, C., ed., 2005, *Lidar - range-resolved optical remote sensing of the atmosphere*, Springer, New York.
47. Bösenberg, J., Linné, H., 2002, Meteorol. Z. Vol.11, p.233 in: Weitkamp, C., ed., 2005, *Lidar - Range-resolved Optical Remote Sensing of the Atmosphere*, Springer, New York.
48. Wilson, B.C., Adam, G., 1983: *A Monte Carlo model for the absorption and flux distributions of light in tissue*, Med. Phys. Vol 10, pp. 824–830 in: Niemz, M., ed., 2007, *Laser-Tissue Interactions, Fundamentals and Applications*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
49. Srećković, M., Latinović, Z., Jančićjević, A., Bugarinović, A., Jančićjević, M., Fidanovski, Z., Polić Radovanović, S., **Jevtić, S.**, 2013, *Defining the Critical Parameters of Materials Using Lasers*, Proc. of **Contemporary materials**, Banja Luka, pp. 33-62.
50. **Babić, S.**, Vasić, R., Dukić, M., Borna, N., 2003, *Uticaj lasera na bioorganizme, reparacioni mehanizmi i ocena korelacija*, Zbornik radova Konf. za ETRAN 47., Herceg-Novi, Sveska 3, Jun, pp.350-353.
51. **Бабић, С.**, 2005, *Одређивање оптичких карактеристика и обрада неких неорганских и органских материјала помоћу кохерентне и некохерентне светлости*, Магистарска теза, Електротехнички факултет Универзитета у Београду.
52. **Бабић, С.**, Вујошевић-Симић, В., Васић, Р., Дукић, М., Миоч, У., Цветковић, Н., Микулић, А., 2005, *Оптичке константе биолошких материјала*, Зборник радова 49. Конф. за ЕТРАН, Свеска III, Будва, стр. 308-310.

53. **Бабих, С.**, Васић, Р., Дукић, М., Пелемиш, С., 2004, *Утицај кохерентног зрачења на биоорганизме и биосистеме*, Зборник радова XLVIII Конф. за ЕТРАН, Свеска III, Чачак, стр.191-194.
54. Hosgood, B, Jacquemod, S., Andreoli, G., Verdebout, J., Pedrini, G., Schmuck, G., 1994, *Leaf Optical Properties Experiment (LOPEX93)*, Joint Research Centre, European Commission, Institute for Remote Sensing Application, Report EUR 16095 EN.
55. **Jevtić, S.D.**, Srećković, M.Ž., Peleмиш, S.S., Konstantinović, Lj.M., Jovanić, P.B., Petrović, L.D., Dukić, M.D., 2015, *Laser Influence to Biosystems*, 2015, Chem. Industry, Vol.69 (4), pp. 433-441, doi: 10.2298/HEMIND140415059J
56. Volkenstine, M.V., 1988, *Biofizika*, Nauka, Moskva, pp. 23-54; 220-254; 534-544.
57. Srećković, M., Tomić, Ž., **Jevtić, S.**, Ostojić, S., Bugarinović, A., Jevtić, D., Kovačević Ratković, N., Dragović, M., Rakić, J., 2015, *Analitički i numerički aparati primene lasera u dijagnostičke svrhe u linearnoj i nelinearnoj oblasti*, Infoteh, Jahorina, 18 mart 2015, Vol. 14, pp. 782-787.
58. Vsevolodov, N.N., 1988, *Biopigmenti-fotoregistratori*, AN SSSR, Moskva, pp.22-45; 154-175.
59. Srećković, M., Bojanić, S., Konstantinović, Lj., Dukić, M., Cvetković, N., Mirčevski, J., Nikolić, D., Živković, D., **Babić, S.**, Rakočević, N., Stanković, S., Vasić, R., Ilić, J., 2001 *Optical Parameters Measurements and Modeling in Biology and Some Laser Applications in Life*, Proc. Of Lasers 2000, SoQue&McLean, eds. V.Corcoran and T.Corcoran, pp. 628-635.
60. Srećković, M., Konstantinović, Lj., Vasić, R., Dukić, M., Živković, D., Nikolić, D., Babić, S., 2002, *Laser Influence and Application to Biosystems, Organisms and Cells*, Proc. of Lasers 2001, SoQue&McLean, eds. V.Corcoran and T.Corcoran, pp. 323-330
61. Srećković, M., Vasić, R., Ostojić, S., Dukić, M., Babić, S., Nikolić, D., Romčević, N., Kovačević, N., Radanović, N., 2002, *Analize efekata laserskog zračenja na kvantitativne osobine biljaka*, Zbornik ETRAN-a 2002, Teslić Banja Vrućica , Sveska 3, str. 170-173.
62. Fraifelder, D., 1980, *Fizičeskaya biokhimiya*, Izdatelstvo Mir, Moskva, pp. 383-413.
63. Rvačev, P.V., 1978, *Metodi optiki svetoraseivajuščih sred v fizike i biologii*, BGU, Minsk, pp.143-170.
64. Carey, T., 2009, *New Research Reveals Current and Future Trends in Lidar Applications*, Industry Insight, Earthwide Communications LLC, January/February 2009.
65. Srećković, M. Ž., Ostojić, S. M., Ilić, J. T., Fidanovski, Z. A., **Jevtić, S. D.**, Knežević, D. M., Obrenović, M. D., 2015, *Photonduced Processes, Radiation Interaction with Material and Damages-Material Hardness*, Nucl. Technol.& Radiation Protection, Vol. 30 (1), pp.23-34.
66. Kastori, R., 1995, *Fiziologija biljaka*, Nauka, Beograd.
67. **Jevtić, S.**, Srećković, M., Mitrović, N., Jovanić, P., Konstantinović, Lj., Latinović, Z., Dukić, M., Radovanović, R., Petrović, L., 2015, *Some Theoretical and Experimental Facts Concerning Laser Interaction with Material of Biological Origin*, Council for Inovative Research, Journ.of Advances in Biotechnology, Vol.5(1), pp. 534-551 ISSN 2348-6201.

68. Srećković, M., Vasić, R., Dukić, M., **Jevtić, S.**, Jovanić, P., 2014, *The Influence of Diode and He-Ne Lasers on Corn and Wheat Seeds*, Journal of Agricultural Science and Technology B Vol. 4, pp. 165-175 (a)
69. Srećković, M., **Jevtić, S.**, Tomić, Ž., Milošević Đokić, B., Bugarinović, A., Polić – Radovanović, S., Knežević, D., Slavković, N., Fidanovski, Z., 2013, *Simulation methods in the approach of laser construction of interest in ecology*, Infoteh, Jahorina, KST- 3.13, Proc. 4, Vol.12, March 2013, pp.478-483.
70. Srećković, M., Kaluđerović, B., **Jevtić, S.**, Latinović, Z., Ostojić, S., Milanović, Đ., 2014, *Optical material performances, measurement by laser implementation and interpretation*, Materials Protection, Zaštita materijala, god.LV, br.3, pp.293-299.
71. Срећковић, М., Зарубица, В., Јанићијевић, А., Бугариновић, А., **Јевтић, С.**, Динуловић, М., Ковачевић, М., Фотев, В., 2012, *Материјали за савремене квантне генераторе и компоненте*, Зборник конференције Савремени материјали, Бања Лука, 2012, стр. 162-192.
72. Sreckovic, M., Latinovic, Z., Knezevic, D., Milanovic, Dj., Stevic, Z., **Jevtic, S.**, Tomic, Z., Druzijanic, D., 2012, *Some laser techniques application in ecology*, Proc of 2nd Conf. of Urban Areas 2012, October 2012, Zrenjanin, Serbia, pp.357-366.
73. Srećković, M., Tomić, Ž., Ostojić, S., **Jevtić, S.**, Slavković, N., Bugarinović, A., Fidanovski, Z., Jovanić, P., Ratković Kovačević, N., 2014, *Rasejanje laserskih snopova, formalizmi i računarske i inženjerske podrške za interpretacije karakteristika materijala i procesa*, Infoteh, Jahorina, Vol.13, mart 2014, pp. 397-402. KST 1.13.
74. Volodin, V.G., Mostovnikov, V.A., et al., 1984, *Lasери i nasledstvennost rastenii*, Nauka i tehnika, Minsk, pp.115-140.
75. Danffer, D., Ziegler, H., 1982, *Botanika, morfologija i fiziologija*, Školska knjiga, Zagreb u: Kastori, R., 1995, *Fiziologija biljaka*, Nauka, Beograd.
76. Srećković, M., Ostojić, S., Polić, S., Kovačević, A., **Jevtić, S.**, Borna, N., Ratković Kovačević, N., Fidanovski, Z., Milosavljević, A., 2016, *Laserske tehnike u ekologiji, očuvanju kulturne baštine i drugim savremenim zadacima*, Energija, ekonomija, ekologija, No. 3-4, XVIII, Mapr 2016, UDC 620.9, ISSN 03548651, pp.241-251.
77. Cole, T.J., Ram, M.S., Dowll, F.E., Omwega, C.O., Overholt, W.A., Ramaswamy, S.B., 2003, *Near-infrared Spectroscopic Method to Identify Cotesia flavipes and Cotesia sesamiae*, Annals of the Entomological Society of America, Vol.96, No.6, pp. 865-869.
78. Ram, M.S., Dowell, F.E., Seitz, L.M., 2003, *FT-Raman Spectra of Unsoaked and NaOH-Soaked Wheat Kernels, Bran, and Ferulic Acid*, Cereal Chemistry, Vol.80, No.2, pp.188-192.
79. Ram, M.S., Seitz, L. M., Dowell, F.E., 2004, *Natural Fluorescence of Red and White Wheat Kernels*, Cereal Chemistry, Vol.81, No.2, pp.244-248.
80. Maghirang, E.B., Dowell, F.E., Baker, J.E., Throne, J.E., 2003, *Automated Detection of Single Wheat Kernels Containing Live or Dead Insects Using Near-Infrared Reflectance Spectroscopy*, Transactions of the ASAE, Vol.46, No.4, pp. 1277-1282.
81. Dowell, F.E., Pearson, T.C., Maghirang, E.B., Xie, F., Wicklow, D.T., 2002, *Reflectance and Transmittance Spectroscopy Applied to Detecting Fumonisin in Single Corn Kernels Infected with Fusarium verticilloides*, Cereal Chemistry, Vol.79, No.2, pp.222-226.

82. Vujošević-Simić, V., Babić, S., Dukić, M., Mikulić, A., 2004, *Optičke osobine uzoraka namirnica i razlika spektralnih karakteristika koeficijenata refleksije za ispravne i infestovane uzorke*, Zbornik radova za XLVIII Konf. za ETRAN, Sveska III, Čačak, str. 253-255.
83. Milanović, Đ., 1999, *UV-Ag dezinfekcija vode-alternativa za 21. vek*, Međunarodna konferencija „Voda za 21. vek“, Beograd 22. - 24. Mart 1999, Zbornik radova, pp. 373 – 382.
84. Milanović, Đ., 2008, *UV-Ag dezinfekcija vode i UV fotoreaktori*, u: monografiji Kujundžić, B., 2010, „Savremena eksploatacija i održavanje objekata i opreme vodovoda i kanalizacije“, Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Beograd, pp. 179-189.
85. Liu, Z., Chin, L.K., Ser, W., Ayi, T.C., Ho, W.M., Yap, P.H., Leprince-Wang, Y., Bourouina, T., 2013, *A Single Living Bacterious Refractive Index Measurement by Using Optofluidic Immersion Refractometry*, Inter.Conf. of Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences, Freiburg, Germany.
86. Srećković, M., Fidanovski, Z., Hribšek, M., Milosavljević, A., **Jevtić, S.**, Fidanovski, B., Ivanović, N., Janičijević, A., Nešić, I., Negovanović, V., 2012, *Savremene metrološke tehnike i kvantni generatori u energetici i ekologiji*, Energija, Vol. 5, pp.007-022.
87. Moore, B.C., ed., 1983, *Chemical and Biochemical Applications of Lasers*, Moscow, Mir.
88. Mašković, Lj., Radovanović, R., Bjelovuk, I., 2009, *Fire and explosion prevention in objects of possible terrorist attack*, NBP. Vol.XIV, No.3, pp.1-21.
89. Blagojević, M., Radovanović, R., Roganović, S., 2012, *Forenzička istraživanja kratkog spoja kao uzroka požara*, NBP Žurnal za kriminalistiku i pravo, 1, pp.79-96. Kriminalističko-policijska akademija Beograd. ISSN 0354-8872.
90. Nadić, D., Milašinović, S., 2009, *Political Ecology of Energetic Safety*, NBP, Vol XIV, No.3, pp.133-151.
91. Radosavljević Mihailović A., 2009, *Physical and Chemical Methods applied in forensic science*, NBP, Vol.XIV, No.3, pp.215-226.
92. Živković, S., 2012, *Modeling of the direction of the spread of forest fire to prediction*, NBP, Vol.XVII, No.2, pp.163-171.
93. Miladinović, V., Milašinović, N., 2012, *The Technology of forensic examination of burned copper cord*, NBP, pp.87-97.
94. Hu, X., Gu, X. Yu, T. Meng, Q., 2009, *Polarized Reflectance Characteristics of Plant Canopies Including Atmospheric Aerosol Optical Properties*, Multispectral Image Acquisition and Processing MIPPR 2009, Proc. of SPIE, Vol. 7494, doi 10.1117/12.83987.
95. Carter, G.A., Knapp, A.K., 2001, *Leaf Optical Properties in Higher Plants: Linking Spectral Characteristics to Stress and Chlorophyll Concentration*, American Journal of Botany, Vol 88(4), pp.677-684.
96. Lefsky, M.A., Cohen, W.B., Parker, G.G., Harding, D.J., 2002, *Lidar Remote Sensing for Ecosystem Studies*, Bioscience, Jan. 2002, Vol.52, No.1, pp.19-30.
97. Carey, P.R., 1985, *Biochemical Applications of Raman and Resonance Raman Spectroscopies*, Mir, Moskva, pp.17-18.

98. Castro-Esau, K. L., Sanchez-Azofeifa, G.A., Rivard, B., Wright, S.J., Quesada, M., 2006, *Variability in Leaf Optical Properties of Mesoamerican Trees and the Potential for Species Classification*, American Journal of Botany, Vol. 93(4), pp. 517-530.
99. Kalacska, M., Sanchez-Azofeifa, G.A., Eds., 2008, *Hyperspectral Remote Sensing of Tropical and Subtropical Forests*, CRC Press, Tylor&Francis, Boca Raton.
100. Charland, A.M., 2012, Master Thesis and Graduate Research, *Doppler Wind Lidar Observations of a Wildland Fire Plume*, The Faculty of the Department of Meteorology and Climate Science, San Jose State University, [online] http://scholarworks.sjsu.edu/etd_theses
101. Srećković, M., Jevtić, S., Fidanovski, Z., Tomić, Ž., Slavković, N., Sajfert, V., Milanović, Đ., Ostojić, S., Mitrović, N., 2013, *Laser applications in some ecological purposes (laser cleaning and isotope separation) with linear and nonlinear phenomena and lidar methods*, Proceedings of III International Conference "ECOLOGY OF URBAN AREAS 2013", Zrenjanin: CDROM, 11th October 2013, pp. 79-89, ISBN 978-86-7672-210-5.
102. Singh, S., Nalwa, H.S., 2007, *Nanotechnology and Healths Safety/Toxicity and Risk Assesment of Nanostructures Material on Human Healts*, J. Nanosc. Nanotechnology Vol.7 (9), pp.3048-70.
103. Gwinn, M.R., Vallyathan, V., 2006, *Nanoparticles: Health Effect /Pros and Cons. EHP, Environmental Health Perspectives*, Aug.18, Vol.114(2), pp.1818-1825.
104. Dixon, D., 22 August 2013, *Toxic nanoparticless might be entering human food supply*, University of Missouri-Columbia in: ScienceDaily [online] www.sciencedaily.com/releases/2013/08/130822194530.htm
105. Srećković, M., Bugarinović, A., Svoboda, V., Radovanović Polić, S., Janićijević, A., Borna, N., Kovačević Ratković, N., Janićijević, M., Fidanovski, Z., 2013, *Selected Aspects of laser application in the preservation of cultural heritage*, VI Contemporary Materials, p.103, Banja Luka.
106. Jenkins, F.A., White, H.E., eds., 2001, *Fundamentals of Optics*, McGraw-Hill Primis Custom Publishing, NY.
107. Azzam, R.M.A., Bashara, N.M., 1977, *Ellipsometry and Polarized Light*, North-Holland Publishing Company, New York.
108. Rzhhanov, A. V., ed., 1980, *Algorithms and Programs for Numerical Solution for Some Tasks in Ellipsometry*, Novosibirsk, Nauka (In Russian).
109. Ostojić, S., Šašić, R., 2006, *The Particle distribution function and applications*, Optoelectronics Adv.Mat., Vol.8 (4) pp.1402 -1409.
110. Srećković, M., Bugarinović, A., Tomić, Ž., Kovačević, A., Rajković, V., 2012, *Interakcija lasera sa materijalom u teoriji, eksperimentu i realnost*, Centar za talente Beograd II, Bgd.
111. Srećković, M., Kovačević, A., Milosavljević, A., Ostojić, S., Jevtić, S., Knežević, D., 2009, *Energetika, kvantna elektronika, nelinearna optika i laserska tehnika*, Energija, ekonomija, ekologija, No. 5, pp.005–017.
112. Срећковић, М., Константиновић, Љ., Станковић, С., Дукић, М., Васић, Р., Живковић, Д., Николић, Д., Бабић, С., Секулић, Р., 2001, *Утицај и примена ласера на биосистеме, организме и културе ћелија*, Зборник радова XLV конференције за ЕТРАН, Буковичка Бања, Свеска III, 4-7 јуна 2001, стр.211-214.
113. Klein, L. A., ed., 1997, *Millimeter wave and infrared multisensor design and signal processing*, Artech house inc., Boston, USA.

114. Pecora, R., ed., 1985, *Dynamic Light Scattering: Application of Photon Correlation Spectroscopy*, Plenum Press, New York, USA.
115. Shen, Y. R., 1989, *The Principles of Nonlinear Optics*, Nauka, Moscow, (In Russian).
116. Gousbet, G., Grehan, G., eds., 1988, *Optical Particle Sizing*, Plenum Publishing, New York, USA.
117. Bronk, B. V., Van der Merwe, W. P., Stanley, M., 1992, *In vivo measure of average bacterial cell size from a polarized light scattering function*, Cytometry, Vol.13, pp.155-162.
118. Hahn, D.W., 2009, *Light Scattering Theory*, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of Florida, [online]
<http://plaza.ufl.edu/dwhahn/Rayleigh%20and%20Mie%20Light%20Scattering.pdf>
119. Nicolae, D. Cristescu, C.P., 2006, *Laser remote sensing of tropospheric aerosol*, J.Optoelectron. Adv. Mater., Vol. 8, No. 5, pp.1781-1795.
120. Voet et al. Biopolymers 1, 93, 1963 in: Vo-Dinh, T., ed., 2003, *Biomedical Photonic Handbook*, CRC Press LLC, Boca Raton, USA.
121. Lopatin, B.N., Sidko, F.J., 1988, *Vvedenie v optiku vzvesei kletok*, Nauka, Sibirsko otdelenie, Novosibirsk.
122. Blagojević, M., 2009, *Endangerment of security as a consequence of global warming*, NBP. Vol.XIV, No.3, pp. 39-51.
123. Zhang, X.M., 2012, *Developing Fingerprints on the adhesive tape by fluorescence*, NBP. Vol. XVII, No.3, pp.131-140.
124. Sekulić, R., Slavković, N., Srećković, M., Kovačević, M., Stamenović, M., 2012, *The Influence of Gamma Radiation on Polarization Mode Dispersion of Fibers Applied in Communications*. Nucl.Techn. @ Radiat. Prot, Vol. 27 (2), pp.171-177.
125. Aleksandrev, E.V., Zapaskij, B.C., 1986, *Lazernaya magnitnaya spektroskopiya*, Nauka, Moskva.
126. Janičijević, A., Srećković, M., Davidović, M., 2013, *Interaction of radon progeny with solid track detectors and room glass surfaces in a function of retrospective dosimetry*, VI Contem. Materials, Banja Luka, p.73.
127. Bozier, K.E., Pearson, G.N., Collier, C.G., 2007, *Doppler Lidar Observations of Russian Forest Fire Plumes over Helsinki*, Weather, Vol. 62(8), pp.203-208.
128. Đokić, B., Srećković, M., Dinulović, M., Radovanović, R., Tomić, Ž., Zarubica, V., Đurđević, A., Karastojković, Z., 2008, *Simulacije u polju eksplozivnih procesa*, Proceedings of Infoteh, Jahorina, pp.658- 662.
129. Lazaridis M., Latos M., Aleksandropoulou V., Hov Ø., Papayannis A., Tørseth K., 2008, *Contribution of forest fire emissions to atmospheric pollution in Greece*, Air Qual. Atmos. Health, 1, Springer, pp.143–158.
130. Noon, R.K., 2001, *Forensic Engineering Investigation*, CRC Press LLC, Boca Raton.
131. Scott, J. H., Reinhardt, E. D., 2001, *Assessing crown fire potential models of surface and crown fire behavior*. Res. Pap. RMRS-RP-29. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rock Research Station. 59..
132. Mašković, Lj., Radovanović, R., Uroš, I., 2005, *Modeli minimizacije gustine oblaka eksplozivno-zapaljive smeše u zatvorenom prostoru*, Zbornik radova sa Međunarodnog naučno-stručnog savjetovanja kriminalista „Kriminalistika u teoriji

- i praksi", ISBN 99938-43-14-8, Banja Luka, 17-18. Novembar 2005, Banja Luka, pp.129-141.
133. Banakh, V.A., Falits, A.V., 2002, *Ground to Space Laser Beam Propagation and Communication*, Proceedings of Laser's 2001, pp.172-177, eds. W.Corcoran and T.Corcoran, SoQue, McLean.
134. Aleksić, Ž., 2001, *Analiza optičkih detektora dima transmisivnog tipa i poboljšanje pouzdanosti njihovog funkcionisanja*, Doktorska teza, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu.
135. Niederleitner, J., 1976, *Detecting holdover fires with AGA Thermovision 750 infrared scanner*, Information Report NOR-X-151.
136. Petrović, L., Radovanović, R., 2003, *Komparativni prikaz nekih biometrijskih sistema za identifikaciju i autentifikaciju u informacionim sistemima*, Zbornik radova 11. savetovanja sa međunarodnim učešćem „Rizik požara, eksplozije, havarije i provale u osiguranju i organizacija sistema zaštite", Dunav Preving, Beograd, pp.288-293.
137. Petrović, L., Radovanović, R., 2005, *Elektromagnetno zračenje kao uzrok zagađenja životne sredine*, Knjiga apstrakata konferencije sa međunarodnim učešćem „Životna sredina i ljudsko zdravlje", ISBN 0354-3285-2, Društvo za širenje nauke i prakse u zaštiti životne sredine SCG „Ecologica", Fakultet za fizičku hemiju, Privredna komora Srbije, Privredna komora Beograda, Beograd, pp. 64-67.
138. Simić, B., Knežević, D., Srećković, M., Nikolovski, D., 2013, *Savremeni problemi termovizije*, Tehnika, Elektrotehnika, Vol 62(2), pp. 272-284.
139. Srećković, M., Milosavljević, A., Blečić, Ž., Nemeš, K., Bugarinović, A., Milovanović, A., Cvetković, N., Fidanovski, Z., Djordjević, O., Radovanović, R., **Babić, S.**, Stanković, S., Karastojković, Z., Kutin, M., 2001, *Laser Influence and Interaction on Microalloyed Steels*, Proceedings of Laser's 2000, Albuquerque, New Mexico, December 2000, Eds. V.J. Corcoran & T.A. Corcoran, SoQue, McLean 2001, pp.736-743.
140. Steffens, J., da Costa, R. F., Landulfo, E., Guardani, R., Moreira, Jr. P. F., Held, G., 2011, *Remote sensing detection of atmospheric pollutants using lidar, sodar and correlation with air quality data in an industrial area*, SPIE Proc., Vol.8182, Bellingham, pp.0Z.
141. *Zakon o zaštiti od požara*, Sl.glasnik RS br. 111/09 i 20/2015.
142. Zarubica, V., Srećković, M., 2012, *Realizacija metoda etaloniranja i proračun budžeta merne nesigurnosti mernih instrumenata (merila) u laboratorijama različitih namena*, Velarta, Beograd.
143. Zarubica, V., Srećković, M., Sajfert, V., Marinović, D., Vasiljević, M., Popović, S., Milanović, Đ., **Jevtić, S.**, Obradović, S., Milanović, S., 2013, *Optical and Laser Methods in Sugar Contents Measurements and Diagnostics in Various Application*, II Int.Conf Ecology of Urban Areas 2013, October 2013, Zrenjanin, Serbia, pp. 344-349.
144. Пантелић, С., Милутиновић-Николић, А., Милић, С., Константиновић, Љ., Госпавић, Р., Славковић, Н., **Бабих, С.**, 2000, *Биомагнетски аналитички системи са употребом система са оптичким влакнима*, Зборник радова XLIV конференције за Етран, Соко Бања, Свеска III, јун 2000, стр.195-198.
145. R. Plus, Private communication.

146. Mamula Tartalja, D., Srećković, M., 2013, A Survey of Approaches for Morphological, Optical and Transport characterization of Fe₃O₄ and □-Fe₂O₃ nanoparticles, *Physica Scripta*, Vol.2014, T162, 2014, ioscience.iop.org/1402-4896/2014/T162_014054, sept. 2014.
147. Walton, W.D., McGrattan, K.B., Mullin, J.V., 1996, *ALOFT-PC a Smoke Plume Trajectory Model for Personal Computers*, Arctic and Marine Oilspill Program (AMOP) Technical Seminar, June 12-14 1996, Calgary, Canada, Vol.2, pp.987-997.
148. Jevtić, S., Srećković, M., Radovanović, R., 2014, *Lidarske metode u ranom otkrivanju i praćenju požarnih procesa i simulacija, Lidar methods in early detection and monitoring of fires and computer simulation*, NBP Journal of Criminalistics and Law, Vol.XIX, No.2, pp.171-187.
149. Zorić, M., Radovanović, R., 2010, *Analitičke metode za identifikaciju eksploziva u forenzičkoj laboratoriji*, Zbornik radova sa Drugog naučnog skupa sa međunarodnim učešćem „Pravo i forenzika u kriminalistici”, ISBN 978-86-7020-171-2, COBISS.SR-ID 177999628, KPA, Beograd, str.259-269.
150. <http://www.intechopen.com/books/air-quality/methods-for-online-monitoring-of-air-pollution-concentration>
151. *Zakon o eksplozivnim materijama, zapaljivim tečnostima i gasovima*, Sl.glasnik RS br.44/77, 45/85, 18/89, Sl.glasnik RS br. 53/93, 67/93, 48/94, 101/2005.
152. *Zakon o prometu eksplozivnim materijama*, Sl.list SFRJ br. 30/85, 6/89, 53/91, Sl.list SRJ br. 24/94, 28/96, 68/2002.
153. *Zakon o transportu opasnog terete*, Sl.glasnik RS br. 88/2010.
154. Živanović, S., 2012, *Modelovanje pravca širenja šumskog požara*, NBP Žurnal za kriminalistiku i pravo, Beograd, Kriminalističko-policijska akademija Beograd, Vol 17(2), pp.163-171.
155. NIST National Institute of Standards and Technology, (1997). Software retrieved on October 11th. 2012 from <http://www.fire.nist.gov/fire/aloft/>
156. <http://media-2.web.britannica.com/eb-media/20/620-004-5B4216B9.gif>
157. Anson, N.M., Hemery, Y.M., Bast, A., Haenen, G.R.M.M., 2012, *Optimizing the Bioactive Potential of Wheat Bran by Processing*, *Food Funct.*, Vol.3, pp.362-375 [online] <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2012/fo/c2fo10241b#!divAbstract>
158. Spurway, R.A., 1988, *How is grain protein formed*, Agricultural Research Institute, Wagga Wagga, [online] <http://www.regional.org.au/au/roc/1988/roc198823.htm>
159. Jacquemod, S., 2011, *Databases* [online] <http://opticleaf.ipgp.fr/index.php?page=database>
160. Srećković, M., Ostojić, S., Kaluđerović, B., Fidanovski, Z., Latinović, Z., Jevtić, S., Milanović, Đ., 2015, *Some Considerations Related to Quantum Electronics, Acoustics and Science of Materials*, Based on Experiment and Theory, Materials Protection, Zaštita materijala, Vol.56, br.2, pp.129-139.
161. Dalzell, W. H. and Sarofim, A. F., 1969, *Optical constants of soot and their application to heat-flux calculations*, *J. Heat Transfer*, Vol. 91, pp.100-104.
162. Jones, S.H., King, M.D., and Ward, A.D., 2013, *Determining the unique refractive index properties of solid polysyterne aerosol using broadband Mie scattering from optically trapped beads*, *Phys. Chem.&Chem. Phys.*, Vol.15, pp.20735-20741. Doi: 10.1039/c3cp53498g. epub 2013 nov 6.

Contemporary problems in experiments, theory and application of interest in ecology with lasers in laboratory and remote detection

S. JEVTIC^{a,d,*}, M. SRECKOVIC^b, S. OSTOJIC^c, N. MITROVIC^d, R. RADOVANOVIC^e

^a*Railway Technical School, Zdravka Celara 14, Belgrade*

^b*Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, Bul. Kralja Aleksandra 73, Belgrade*

^c*Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Karnegijeva 4, Belgrade*

^d*Faculty of Technical Sciences, University of Kragujevac, Cacak, Svetog Save 65*

^e*The Academy of Criminalistics and Police Studies, Cara Dusana 196, Belgrade, Serbia*

Multiple sensor systems and applications in ecology deserve multidisciplinary approach. Concerning laser implementation in monitoring, main parameters and processes have to be chosen in description of object of interest. The purpose of this paper is to underline the links and usability of scattering matrices in the description of biological objects (cells, nuclei, bacteria, etc). Light scattering processes are unavoidable in application and measurements, based on laser systems. Depending on the measurement systems, angular scattering and differential cross sections carry valuable information, and measurements should confirm chosen simplifications from theory. Shape recognition, size and chemical content could be certainly of interest in one part of ecological monitoring (water). Thermal imaging of objects depends on emissivity (water, ground, etc.) and some simplifications of derived cases are added to the previous.

(Received August 16, 2015, accepted September 9, 2015)

Keywords: Laser scattering, Biological cells, Ecology

1. Introduction

Contemporary life pace, trends in industry and traffic have been causing considerable pollution of air and hydro sphere. Different events are organized in order to define environment on global scale. Theoretical and experimental issues that could arise during application of lasers and optical methods in control of human environment (atmosphere, water surfaces, soil, plant covered areas - lower levels and canopy) are analyzed in this paper. In order to apply different types of monitoring, based on scattering, fluorescence, absorption and other processes of interest in control, considerable amount of laboratory measurements of optical and other properties have to be done, which will be indirectly controlled by various physical processes, including acoustic. Lasers implementation in measuring technique brings forward, not only linear but nonlinear optical properties where nonlinear processes based methods are in some cases used from the start. Spotlights are on analytical approaches of important constants related to water and all water surfaces, existing software tools in the area and on consequences arising from irregular use of existing data.

For chosen cases, some areas' properties related to conditions of water and its pollution will be rated, as well as monitoring of air pollution using software packages, and considering theories of scattering on organic and inorganic scattering centers, angular distribution for specific micro organisms (bacteria) will be evaluated.

Among a huge number of data and parameters defined for fire description (as well as fire products, some of them could be treated with same methods, in industrial and real day to day conditions utilizing optical methods). Optical and acoustic methods coupling and other relations with material constants will point out possible indirect measurements i.e. products detection of interest in ecology and other areas of interest for humans [1-3].

2. Theory, experiment and simulations

Multiple sensor systems and applications in ecology - From almost half a century ago, the uses of lidar are growing as do main decisions in solving a detection problem (or monitoring). Monitoring is related to comparisons of a few of techniques which coupled achieve their full importance in ecology, although primarily they are derived for other areas [4-8]. The comparison must include multidisciplinary approach and independent from the chosen technique and devices, application of certain sensor system must include meticulous preliminary study for correct description of monitored objects with characteristic parameters, which must be correctly measured. The influence of atmosphere must be taken into account, depending on geographical location, meteorological situation as well as season during the year. Comparisons could be done on various levels. Besides differences in devices based on millimeter waves,

microwaves, infrared imager, infrared tracker, laser radar, visible imager adequate parallels should be drawn with use of acoustic and other techniques concerning control of the atmosphere. A large number of references show various data about remote sensing or recognition of different: oil types, plant types (on soil or on water surfaces), state of canopy and lower vegetation levels but significant data about local types is missing. Remote recognition of algae and maturity of various plants (vegetation periods) by different multisensor systems in portions of electromagnetic spectra (wheat, woodlands, alfalfa, corn, soy beans, cotton, oats, grass) could be done. Volcanic eruptions and distribution of fire products and products of combustion have been monitored remotely [5-14].

Up-to-date technologies for nanoparticles production or methods for their recognition are important. For some time precious nanoparticles could be commercially obtained from mud of swamps or waste waters [15,16].

Main parameters for the use of lasers in description of objects of interest in ecology - Lasers are included in variety of techniques even as the part of combined technique of chromatographic type with lasers [17], as well as circular dichroism, isometry, polarimetry, ellipsometry [18]. Main quantitative indicators of optical characteristics of the material: index of refraction, coefficient of reflection, emissivity could be counted in macroscopic parameters. Cross sections for scattering, absorption, fluorescence are representatives of microscopic objects. In this kind of approach using different measuring methods, object of monitoring could and must be separated. Part of continuous area covered with plants (higher levels - canopy), part of the atmosphere with smoke and dust products etc. could be studied using the same approach. Both macroscopic parameters (reflection coefficient - mean values or wheat, barley and corn fields) and observation of pollution centres (bacteria, viruses, etc.) in the a) atmosphere and b) water carry valuable information about the samples.

Next level must include measurement techniques, collecting data from overall object including angular methods and their role, must be considered through use of various light, natural sources, polarised (different types) light of different wavelengths or monochromatic sources. In this set of tasks in this paper, accent will be on angular distributions, analytical approaches, measurement techniques and inclusion of matrices [19-24].

Starting from the previous consideration with multisensors, different sensors could be added (optical analyzer for the acquisition of UV absorption spectra for the estimation of qualitative and quantitative parameters), for disinfection problems and UV reactors and in general for water technology and sanitary engineering [25-27]. If a threshold limit is exceeded, or if a given UV spectrum shape is obtained (corresponding to a high polluted state, for example), the warning is generated and system make decision to start sampling. This procedure is a simplification of the previous SCADA (supervisory control and data acquisition) system, largely used for more

complex industrial environments (drinking water plants, waste water, etc.).

Exact results for homogenous spherical particle using Lorenz-Mie solutions of Maxwell equations stand for uniform plane electromagnetic wave. Approximations deal with Gaussian beam and multimode case or some other shape and their influence could be different for static and dynamic scattering.

Other group of approximations refers to relation of refraction index of material and surrounding media, where diffraction is predominant for angles less than 6° and characteristic size (diameter d) larger than $10\mu\text{m}$. Third approximation group is used for near or far-field cases.

The effect of particle shape ($d \gg \lambda$, $d \ll \lambda$) must be taken into account. If $d \gg \lambda$, scattered field has three components (diffraction, reflection and refraction) and the particle shape influence could be accounted separately. When $d \ll \lambda$, particle acts like dipole and scattering is expressed in terms of polarisability.

The shape, concentration and anomalous diffraction are issues for further analysis. For some time, correction programs have been in use, which include correction if particles are not spherical (for laser sizer), i.e. solid cubes, and octahedron.

In scattering theory there are many series which are not convergent in classic (Cauchy) sense. Because of these facts a general convergence and boundary conditions have to be used with various criteria resulting in a sum, which could in exact mathematical description be related to physical reality.

Considering relationship between light scattering and size distribution we will name the case of aerosols of different origin. Differential mass cross section ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$) of smoke nuisance aerosols and smoke aerosols of nonflaming and flaming fires have to include two polarisations for separation of larger and smaller particles from forward scattered spectra. The relation of symmetric intensities ($I_{45^\circ} / I_{135^\circ}$) and dependence of scattering parameter $q = 4\pi\lambda^{-1} \sin(\theta/2)$ as well as ratio of polarisation were selected to complete the differentiation in this particular case and could also be used in biology.

The gravimetric and angular scattering measurement is used, to obtain aerosol mass concentration. Light scattering methods differentiate soot from other products.

Size distribution and absolute concentration could be the starting points of various interpretations. Volumetric concentration and size distribution determined simultaneously from instantaneous measurements depend of source intensity profile (laser beam profile) in forward scattering (small angles). Particle generator have carefully designed nozzle for spray forming, having in mind that the particles of different size are located in the middle or at the outline of beam. Special attention have to be paid for accuracy of determining small particles ($\sim 5\mu\text{m}$), with analysis based on Mie scattering and rigorous pursue. Human health is vulnerable, independent of material toxicity, to specific particle sizes.

In general, laser scattering theory and experiment with rich history, provides tremendous possibilities for penetration deep into the material on Earth and in Space,

but every experimental device, in a principal, is designed for limited practical problems. Their operation is followed by precise calibration procedures and using the working conditions minimizing the influence of approximations to the smallest possible level. The purpose of operating of some laser scattering devices has to be defined in advance for polymer, biological cell - viability or specific lidar monitoring, etc.

Scattering coefficients for various surfaces (snow, snow on grass, concrete, asphalt, plowed ground) are studied [13] using millimeter-wave radar sensors. The incident angle was changed from 1-80°. Polarisation components of backscattered signals are analysed i.e. hh, vv, RHC/LHC (Fig. 1). The data for snow differ for dry and wet surfaces (percentage) showing maxima for small incident angles. Comparison of concrete, asphalt and plowed ground shows that small incident angles once again provoke more intensive scattering. For adequate recognition of dry and wet snow better choice are larger incident angles (20°). For comparison of concrete, asphalt and plowed ground, is more convenient to use specific angles $\theta_{\text{scatt}} > 10^\circ$.

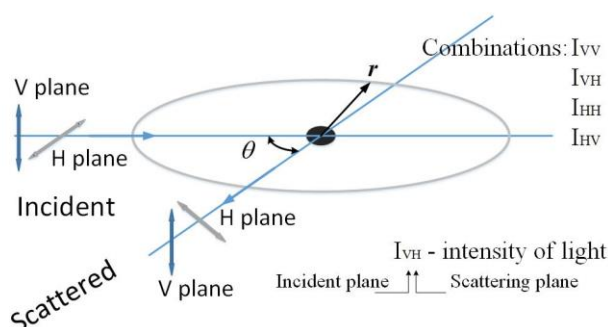


Fig. 1. Definition of indexes

Radar monitoring investigation had shown that target temperature contrast strongly depend on target nature. Interesting fact is that: a) thin grass and tree, b) grass without corner reflector, c) shingle roof and thick grass and d) corner reflector on grass are in various ranges of relative radar backscatter returns (in dB) [13].

Results for radiometer temperature (K) versus incidence angle are very different comparing water, asphalt, concrete, plowed ground, road, sand, grass, bushes (in both polarisations). In some regions (for both polarisations) there is intersection between grass and bushes on one side and concrete and asphalt on the other. These facts are drawn from passive millimeter-wave sensor monitoring [13].

Milimeter-wave and infrared multisensor methods can be useful also by using infrared imaging techniques which could be comparable with lidar methods [28,29]. Thermal imaging strongly depends on emissivity of the material. In the second part of our paper we will present some of our analytical studies of water emissivity based on references (using different software) [13].

Dynamical light (laser) scattering has as one of its tasks to study biological micro objects (bacteria, spores, viruses, etc.) from animal and human origins. In dynamical study of biological systems by dynamical light scattering, various movements are modelled: the characteristic cases are chaotic movement, directed movement, influence of temperature variations to motility, blood flow and concentration of blood particles, influence of electrical and magnetic fields, surface active molecules (micelles, colloids). In experiments firstly of static type, inclusion of polarisation monitoring of the scattering components gave a series of new possibilities including nonlinear effects [30-33].

Classic scattering theories thus were further developed using laser techniques. Experiment became more complete and results, with existing software, gave fast responses about polydispersity, microorganism's size, depolarisation factors, etc.

In the second part of the paper we calculated some of characteristic angular distributions which describe (or could describe) particular microobjects (sphere, rod, Gaussian coils), which were derived from dynamic and static scatterings. Note, that data obtained by dynamic light scattering are more complete but they demand costly and more complex measuring systems.

Scattering matrices application and measurement -

Matrix descriptions of various processes arising in biomaterials offer much more complete information in comparison to *usual* descriptions with optical constants (refraction indices, coefficients of reflection, coefficients of absorption, Rayleigh factors, depolarisation, etc.). Contemporary methods include polarisation of incident light easier (laser beam) i.e. relatively new techniques of measurement in description of various materials parameters [34]. The development of matrix optics as well as computer development and analytics are inseparable. There were two development trends - one following the change at optical beam direction and the other one the change of polarisation characteristics. Among matrix formalisms the development of different Stokes' vectors and Mueller matrices, Jones' and other matrices including column vectors 1x2, 1x3, 1x4, etc and corresponding transport matrices connecting input and final values are, according to chosen formalisms square: 2x2, 3x3, or more complex. Having in mind the class of lattice for inorganic materials, with inclusion of all nonlinear and anisotropic processes and issues necessary for adequate description of beam propagation, we achieve complete set of needed formalisms. In essence, all of it was part of the plan to in some other way (user friendly) bring closer the complex tensor calculus to the final end users. Its further use is possible without the detail knowledge of tensor calculus and descriptions of anisotropic materials of biological or inorganic origins.

In advanced measurement methods it is considered that Mueller matrices with 4x4 (16) elements could point out a variety of properties of the measurement assembly especially if it is about the scattering centres systems - absorption - fluorescence. The inclusion of angular

distribution of certain components of Stokes vectors offer possibilities for further interpretations and determination whether a scattering centre is a living organism (i.e. bacteria) or not (some blood components, etc). This paper could not include all needed descriptions of specific parts of scattering theory concerning particles dimensions and the relationship between wave vectors of incident and scattered light including the role of refraction index (Mie, Rayleigh, Lorenz-Mie,...) and questions whether an integral scattering, spectral dependencies and the cases of elastic and inelastic scatterings (Brillouin, Raman, thermal, etc) should be monitored [30-33].

The majority of optical measurements increased their resolutions with the introduction of lasers and the series of new methods followed that could have not been based on spontaneous irradiation. For Stokes parameters, nephelometers are used, which often give information only for the transmitted beam. In wider sense, angular distribution is monitored and demand more complex measuring system, including different polarisations combining R and L (Right circular and Left circular) [18 a, b], par and nor (light polarised parallel and perpendicular to the scattering plane), $\pm$ denote (light polarised obliquely to the scattering plane at $+45^\circ$ and -45°) - fig 1. According to the references used a certain connection among elements of Mueller matrix – scattering matrix elements and geometry of scattering exists, including polarisers i.e. analyzers. Description theory using scattering matrices has wide area of application and for ecology is of great importance – skylight polarisation, stardust, astrophysics, etc.

Photoelastic (and others) modulators improved nephelometry as well as ellipsometry and other optical and laser based methods.

Modern cases both solved and unsolved are: spherical particles with multilayer coatings, aspherical particles, cluster particles, special structures, etc [32, 35].

Biological cells – nuclei, bacteria and light scattering - Angular distribution of scattering processes is widely applied as nondestructive technique for study of microscopic objects of various origins. By analysing geometric shape of scattering centres, various ranges of sizes and structures (multi and single layers) can be modelled in cases of: viruses, bacteria, eukaryotic cells, etc [36]. Before laser-era, scattering devices and new developed variants of elastic and inelastic scattering measuring methods were based on possibilities of theory of static scattering.

Ranges of scattering centres sizes and their shapes determine the angular distributions; matrix elements have particular significance providing the viability of scattering centre's biological model. This present unique set of characteristics. Reproducible differences in S_{34}/S_{11} [30-32] were found for particles that could not be distinguished by other techniques. Cases of varieties for bacterial spores which can be recognized and differentiated by specific mutation could be found in references, too. This way mutations of laser irradiated bacteria could be monitored (power of laser included in measurement have to be lower

than that in system used for laser-material interaction i.e. various irradiation) in order to study laser influence [30,31].

Using formalism of correlation functions and their measurements, blood flow in living and dead animals could be clearly differentiated (basically dynamics of living and dead organisms is thus monitored and could serve for differentiation of *living* and *dead* bacteria). Normalized photocount correlation function for freely swimming bacteria, for diffusing particle and for random walk based on theory is completely useful to differ motile and nonmotile *E. coli* [30,31].

Mutations which are obtained by exposition to different electromagnetic radiations (spontaneous and stimulated in various electromagnetic portions) could be measured easier this way instead of monitoring the usual biological processes (chemical and genetic analyses as well as monitoring of morphological changes). For biological particles Rayleigh – Gans theory was commonly the starting position (where $S_{34}=0$).

According to area where scattering is used for commercial measuring, numerous data exist but for each and every new scattering application: new materials, biological effects which were not measured previously, etc it is necessary to provide measurement data. It is necessary to provide in detail new data about the same scattering centers, surroundings and for specific chosen wavelength. Those data vary locally on Earth and in cosmic conditions.

Scattering formalisms - For performing tasks we set through this paper, many different approaches were taken into account and results of scattering theory have to be included so it is not possible to name all formula on which calculations are based. Therefore we will mention only some of the transient or final formula. Disperse relations are certainly included through Lorentz- Lorenz or other approximations and respective theory linked to molar refraction approaches.

Effective cross-sections [32,37-39] are of interest, being the specific representation of scattering:

$$\sigma_{eff} = (10\pi/3)a^2(ka)^4, \quad (1)$$

a is the radius, and the k is wave vector. For θ , angle formed with direction of incident wave scattering $\frac{d\sigma_{eff}}{d\Omega}(\theta)$ for cylindrical symmetry, at axes $\theta=0$, angular distribution is:

$$\frac{d\sigma_{eff}}{d\Omega}(\theta) = a^2(ak)^4 \left[\frac{5}{8}(1 + \cos^2 \theta) + \cos \theta \right] \quad (2)$$

D' Alembert theory (through function ψ) in spherical coordinates (r, θ, φ) has to include sphere harmonics.

$$\begin{aligned} \psi_{N,L} &= \cos(L\phi) P_N^L(\cos \theta) z_N(nkr), \\ \psi_{N,L} &= \sin(L\phi) P_N^L(\cos \theta) z_N(nkr), \end{aligned} \quad (3)$$

where P- Legendre polynomials, z - Bessel sphere functions. By using $x=2\pi a/\lambda$, differential cross section is calculated for a certain wavelength which represent mathematical solution of D' Alembert equation which could be found with different notations as in [4, 32, 37, 38], using functions of Riccati-Bessel and cross sections are:

$$\sigma_{\text{eff}} = \frac{2\pi}{k^2} \sum (|a_N|^2 + |b_N|^2), \sigma_{\text{eff}} = \frac{10\pi}{3} a^2 (ka)^4 \quad (4)$$

3. Results and discussion

Emissivity. Data fitting using passive mm wave sensors - Planck's radiation law, radiative transfer theory (designation temperature), impedance mismatch effects, significance of system input noise temperature, total power radiometry, Dick's radiometers, noise injection radiometers, brightness temperature contrast, minimal detectable temperatures (data for thermal vision) S/N clutter, angle tracking error, background clutter signature are unavoidable issues considering monitoring with passive millimeter wave sensors. Material signatures with polar molecules are very important for material of interest in ecology having in mind that water has defined dipole moments. Debye formulation of dielectric constants is related to relaxation time of polar molecules and conductivity [13]

$$e(\theta=0) = 1 - \left| \frac{1 - \sqrt{\epsilon_r}}{1 + \sqrt{\epsilon_r}} \right|^2, \quad (5)$$

$$e_H(\theta) = 1 - \left| \frac{\cos \theta - \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}} \right|^2 \quad (6)$$

$$e_V(\theta) = 1 - \left| \frac{\epsilon_r \cos \theta - \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}}{\epsilon_r \cos \theta + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}} \right|^2 \quad (7)$$

$$\epsilon = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \quad (8)$$

$$\epsilon_r = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + (j\omega\tau)^{1-\alpha_\tau}} - j \frac{\sigma_c}{\omega\epsilon_0} \quad (9)$$

where $\omega=2\pi f$ is circular frequency, ϵ_∞ dielectric constant at infinite frequency, ϵ_s is static value of dielectric constant, τ relaxation time, σ_c ionic conductivity, α_τ empirical parameter for defining distribution of relaxation times, ϵ_0 permittivity of free space (vacuum) [13].

Considering that emissivity depends on dielectric constant and that emissivity is key factor for thermal imaging techniques we analysed and simplified results of Kline-Swift model [13]. We fitted angular emissivity for different components of this model results. The results are presented in Tables 1 and 2.

Tables 1 and 2 contain coefficients of fitting polynomial for angular dependance of emissivity of water where parameters are temperatures (0°, 18°, 40°C) and salinity 0‰ and 34‰ (open ocean).

Table 1. Coefficients of fitting polinomial for angular dependance of emissivity of water where parameters are temperatures (0°, 18°, 40°C) and salinity 0‰ (x is incident angle)

Horizontal emissivity for water salinity 0‰				
Temperature [°C]	Approximation	A	B	C
0	A+Bx+Cx ²	0.52179	1.7124x10 ⁻⁴	-6.2165x10 ⁻⁵
18		0.46041	1.03169x10 ⁻⁴	-5.71728x10 ⁻⁵
40		0.42263	-7.90443x10 ⁻⁵	-4.93171x10 ⁻⁵

Vertical emissivity for water salinity 0‰					
Temperature [°C]	Approximation	A	B	C	D
0	A+Bx+Cx ² +Dx ³	0.5231	-3.0835x10 ⁻⁴	5.36207x10 ⁻⁵	3.14323x10 ⁻⁷
18		0.45941	1.64951x10 ⁻⁴	2.80597x10 ⁻⁵	5.91349x10 ⁻⁷
40		0.42176	1.95402x10 ⁻⁴	1.82316x10 ⁻⁵	7.70573x10 ⁻⁷

Table 2. Coefficients of fitting polinomial for angular dependance of emissivity of water where parameters are temperatures (0°, 18°, 40°C) and salinity 34‰ (open ocean). (x is incident angle)

Horizontal emissivity for water salinity 34‰ (open ocean)				
Temperature [°C]	Approximation	A	B	C
0	$A+Bx+Cx^2$	0.52515	1.65477×10^{-4}	-6.31229×10^{-5}
18		0.45629	2.02139×10^{-4}	-5.66565×10^{-5}
40		0.42124	-3.33436×10^{-5}	-5.02257×10^{-5}

Vertical emissivity for water salinity 34‰ (open ocean)					
Temperature [°C]	Approximation	A	B	C	D
0	$A+Bx+Cx^2+Dx^3$	0.52756	-4.59304×10^{-4}	6.1836×10^{-5}	2.4826×10^{-7}
18		0.45818	2.97883×10^{-4}	2.08897×10^{-5}	7.27728×10^{-7}
40		0.42029	6.63203×10^{-4}	7.74969×10^{-6}	8.45621×10^{-7}

Angular distributions and analysis for determination of optimal detection angle -

Among biophysical methods for characterisation of living (and dead) microorganisms in various fluids on-chip immersion refractometry method stands out. Since water is natural environment, thus measurements in water are of great importance for investigation of various types of bacteria, etc. Important cases are connected to bacteria *E.coli* and *Bacillus Suptilis*. For the use of this method a significant data base including a large number of bacteria and water types could be of interest [30].

For *E.coli* using immersion method [34] was obtained index of refraction. MiePlot software demands that for calculation there must be entered at least 4 different indexes of refraction (on different λ) so we used this index for the simulation. For spectra of interest we approximated index to be the measured value from reference and then the angular scattering was obtained at principal line of commonly used He-Ne laser. Chosen conditions were: the environment was water, the shape of the sample is approximately in diameter $2.83 \mu\text{m}$ (approximation, because the *E.coli* is rod shaped) [34], wavelength of light $\lambda=632.8\text{nm}$. Angular scattering - polar plot was depicted in Figure 2. for above mentioned conditions.

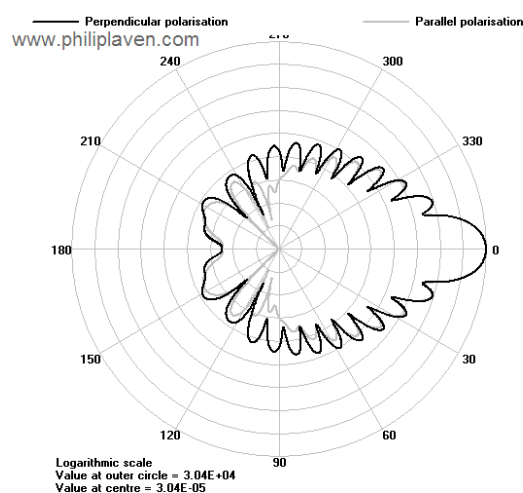


Fig. 2. Angular scattering - Polar plot for case of *E.coli* in water environment. The used simulation values are: shape sphere (approximation) diameter is $2.83 \mu\text{m}$, $\lambda=632.8\text{nm}$

Matrix approach based on theory and software packages - Scattering matrices were calculated using MiePlot software. Characteristic elements normalised (or not) were calculated. The case of *E.coli* in water environment for the scattering angles from 0 to 180° is presented in Fig. 3 using data from [34].

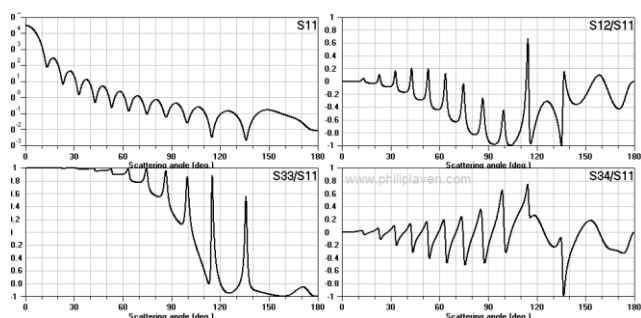


Fig. 3. Scattering matrix for case of *E.coli* in water environment. The used simulation values are: diameter is $2.83 \mu\text{m}$, $\lambda=632.8\text{nm}$

Case of water in air is depicted in Fig. 4. Specific data related to this calculation is given in text following figure.

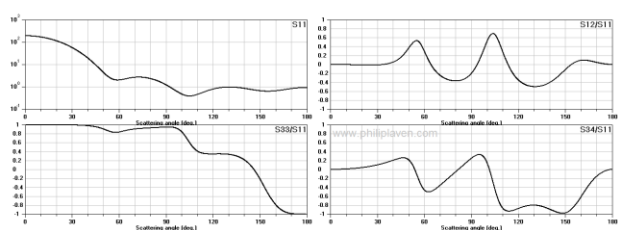


Fig. 4. Mueller matrix elements- case of water in air. The used simulation values are: shape sphere, radius is $0.4 \mu\text{m}$, $\lambda=632.8\text{nm}$

Angular distribution for different sphere shaped scattering centres - As results of Mie theory and respective software packages angular scattering intensity on various most common laser lines (or filtered spontaneous sources) scattering were simulated and simulation results are presented in Figs. 6-9. The results of models were obtained using MatLab (6a, 7a, 8 and 9) and Mathematica (6b and 7b).

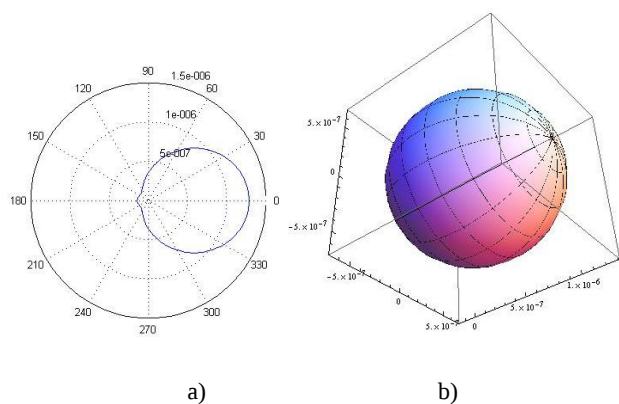


Fig. 6. Angular scattering distribution $\lambda=589.3\text{nm}$ from scattering centre of diameter $a=1.88 \mu\text{m}$ in 2D a) and 3D b) presentation

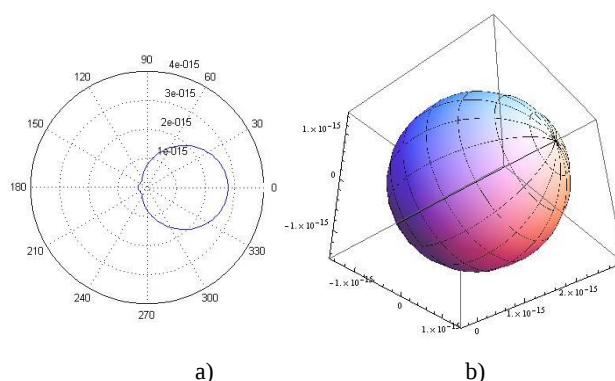


Fig. 7. Angular distribution for $\lambda=1060 \text{ nm}$ ($\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$) from scattering centre of diameter $a=0.1 \mu\text{m}$ in 2D a) and 3D b) presentation

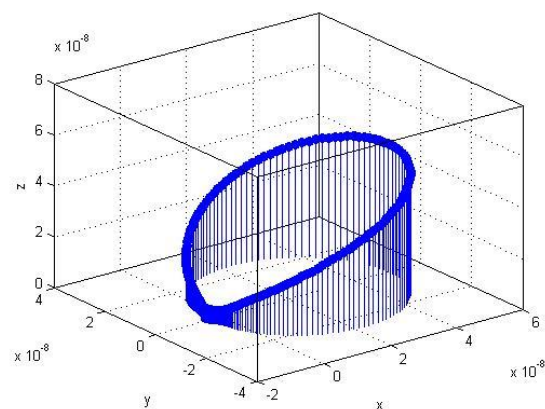


Fig. 8. Angular distribution for Ar^+ ion laser $\lambda=514 \text{ nm}$, from scattering centre of diameter $a=1 \mu\text{m}$ in 3D presentation (stream)

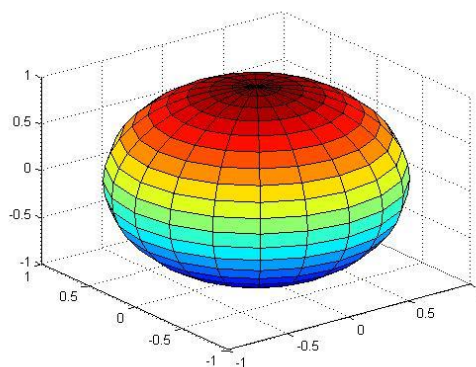


Fig. 9. Angular distribution for Ar^+ ion laser $\lambda=514 \text{ nm}$, from scattering centre of diameter $a=1 \mu\text{m}$ in 3D presentation

Examination of character of dynamics and morphology of bioobjects with methods of dynamic spectroscopies (Hertzian spectroscopy) and determination of optical constants of pigments in cells are high accuracy methods providing a lot of gathered information about the living cell (viruses, bacteria, elements of blood stream dynamics, chloroplasts). Scattering theories where the

scattering centres are regular and irregular geometric objects (linear dimensions 20-15000 nm) are constantly developed. Complex formulation of refraction index for the cell in fluids, as well as absorption processes in visible and NIR define the level of approximation for application of light scattering. Dynamical properties and morphology, translational and rotational coefficient of diffusion, fluctuation frequencies of light intensity, scattered from centres of interest showing specific movement (dynamics) have been a topic of numerous papers. The broadening (and shifting) of characteristic spectral line shapes on moving microorganisms is very important for many analyses including polydispersity as well as the fluctuations of different origin. Dispersion properties, various bioobjects and biological processes are included in basic method of measurement related to distribution probability, amplitudes and intensities with autocorrelation and spectra development. One of the results of statistical investigation is connection of movement dynamics with the forms of scattered spectral lines, which could have not been measured before the era of quantum generators. The multiple scattering was also studied and various engineering approaches are formed for the issues of climate change and cosmos problems studies, for oceanography, etc. In the near era of development the levels of polarisation and scattering centres in multilayer objects are introduced in the description.

4. Conclusion

Laser measuring methods for laboratory and remote monitoring are widely applied. Still, in spite of large experimental and theoretical background a numerous specific cases are yet to be examined, having in mind the parallel techniques which are to confirm results of particular measurements. In this paper we wanted to point out the complexity of theories, calculus, measurements and software packages (unavoidable approximations).

Data for water and other samples and materials differ in references. Differences could be related to years of measurements and resolution of the measurement methods, including different light sources. Numerous systems could be of interest concerning the water purity research. One of the measurement methods, which compare pollutants indexes of refraction and those of immersion liquid is specific from optical parameters' point of view.

Explicitly we obtained using MiePlot results (principal line of He-Ne laser):

- angular scattering for *E.coli* in water environment (intensity - polar plot),
- scattering matrices elements for *E.coli* in water environment,
- matrix elements for case of sphere shape water in air.

Using Matlab and Mathematica we obtained results for several cases of spherical centres and various wavelengths and various diameters of scatterers (different visualizations).

References

- [1] K. B. Konyaev, Spectral analysis of oceanography, Gidrometeoizdat, Leningrad, (1981), (In Russian).
- [2] N. I. Lyubimov, L. I. Nosenko, Handbook of physics and chemistry parameters, Nedra, Moscow, (1978). (In Russian)
- [3] Yu. S. Tolčénkov, Optical properties of landscape, Nauka, Leningrad, (1974). (In Russian)
- [4] D. Nicolae, C. P. Cristescu, J. Optoelectron. Adv. Mater., **8**, 1781 (2006).
- [5] M. Srećković, S. Bojanić, Lj. Konstantinović, M. Dukić, N. Cvetković, J. Mirčevski, D. Nikolić, D. Živković, S. Babić, N. Rakočević, S. Stanković, R. Vasić, J. Ilić, Proc. of Lasers 2000, McLean, Eds. Corcoran, SoQue, 2001, p.628.
- [6] M. Srećković, I. Pippi, S. Ostojic, N. Rakočević, Elektrotehnika, **51**, 1, (2002). Tehnika LVII, (2002) (in Serbian).
- [7] M. Srećković, P. Vujković Cvijin, D. Ignjatović, Elektrotehnika, **35**, 215 (1986). (In Serbian).
- [8] M. Srećković, M. Pavlović, Z. Veinović, Z. Ostojic, Lidars, ladars, colidars, dials, Futura, Belgrade, (2015). (in press)
- [9] S. Jevtic, M. Sreckovic, R. Radovanovic, NBP – Jour. of Crim. and Law, **19**, 171, (2014).
- [10] M. Srećković, K. Zarubica, S. Pelemiš, V. Zarubica, S. Ostojic, S. Bojanić, F. Srećković, V. Sajfert, Proc. 4th Intern. Conf. Ecology of Urban Areas, Zrenjanin, Ed. V. Sajfert, 2014, p.366.
- [11] S. Ostojic, M. Srećković, Ž. Tomić, Đ. Milanović, S. Jevtić, V. Mlinar, V. Sajfert, Proc. of 4th Intern. Conf. Ecology of Urban Areas, Zrenjanin, Ed. V. Sajfert, 2014, p.377.
- [12] M. Srećković, A. Bugarinović, V. Svoboda, S. Radovanović Polić, A. Janičijević, N. Borna, N. Kovačević Ratković, M. Janičijević, Z. Fidanovski, Proc. of Contemporary Materials, Banja Luka, Ed. D. Mirjanic, ANURS, 2014, p.539.
- [13] Ed. L. A. Klein, Millimeterwave and infrared multisensor design and signal processing, Artech house inc., Boston, USA, (1997).
- [14] R. Measures, Laser Remote Sensing, John Wiley and Sons, New York, USA (1984).
- [15] Eds. Ch. Brechignac, Ph. Houdy, M. Lahmani, Nanomaterials and Nanochemistry, Springer- Verlag, Berlin, Germany, (2007).
- [16] Eds. P. Quevauviller, O. Thomas, A. van der Beken, Wastewater Quality Monitoring and Treatment, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, (2006).
- [17] M. Srećković, A. Milosavljević, S. Milić, Z. Karastojković, I. Nešić, Energija **10**, 063 (2008).
- [18] a) R. M. A. Azzam, N. M. Bashara, Ellipsometry and Polarized Light, North-Holland, Amsterdam, (1977). b) Ed. A. V. Rzhanov, Algorithms and Programs for numerical solution for some tasks in ellipsometry, Novosibirsk, Nauka, (1980). (In Russian).
- [19] V. N. Lopatin, F. Y. Sidko, Introduction to optics of cell dynamics, Novosibirsk, Nauka,

- (1988). (In Russian)
- [20] Z. Aleksic, PhD thesis, Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, Belgrade, (2002).
- [21] V. A. Golenischev-Kutuzov, V. V. Samarcev, B. M. Habibullin, Pulse Optical and Acoustical Coherent Spectroscopy, Nauka, Moscow, (1988).
- [22] Eds. T. Y. Young, K. S. Fu, Handbook of Pattern Recognition and Image Processing, USA, Orlando, (1986).
- [23] M. Srećković, Ž. Tomić, S. Jevtić, D. Jevtić, S. Ostojić, N. Ratković Kovačević, A. Bugarinović, M. Dragović, J. Rakić, Proc. of. Infoteh-Jahorina, Jahorina, Fac.of East Sarajevo, **14**, 782 (2015).
- [24] M. Sreckovic, S. Ostojic, B. KaluderoVIC, Z. Fidanovski, Z. Latinovic, S. Jevtic, D. Milanovic, Materials Protection **56**, 129 (2015).
- [25] Dj. Milanovic, Phd thesis, Technical Faculty Zrenjanin, University of Novi Sad, (2010).
- [26] Dj. Milanovic, A 21th Century Alternative Proc.of Inter. Conf., Water Technology and Sanitary Engineering Association, Belgrade, (1999) p. 373.
- [27] Dj. Milanovic, In: Handbook of Contemporary Operation and Maintenance of Water Supply and Sewage Disposal Facilities, Eds M. Ivetic, S. Petkovic, B. Kujundzic, Association for Water Technology, Belgrade, (2009).
- [28] C. Talianu, D. Nicolae, J. Ciuciu, M. Ciobanu, V. Babin, J. Optoelectron. Adv. Mater., **8**, 243 (2006).
- [29] D. Nicolae, C. Talianu, J. Ciuciu, M. Ciobanu, V. Babin, J. Optoelectron. Adv. Mater. **8**, 238 (2006).
- [30] B. J. Berne, R. Pecora, Dynamic Light Scattering With Application to Chemistry, Biology and Physics, John Wiley&Sons, NY, USA (1976).
- [31] Ed. R. Pecora, Dynamic Light Scattering: Application of Photon Correlation Spectroscopy, Plenum Press, New York, USA (1985).
- [32] C. F. Bohren, D. R. Huffman, Absorption and Scattering of Light by Small Particles, John Wiley and Sons, New York, USA, (1983).
- [33] Y. R. Shen, The Principles of Nonlinear Optics Nauka, Moscow, (1989). (In Russian).
- [34] Y. Liu, L. K. Chin, W. Ser, T. C. Ayi, W. M. Ho, P. H. Yap, Y. Leprince-Wang, T. Bourouina, Eurosensors 2014, 28th European Conference on Solid State Transducers, **87**, (2014), p.356. doi:10.1016/j.proeng.2014.11.743
- [35] Eds. G. Gousbet, G. Grehan, Optical Particle Sizing, Plenum Publishing, New York, USA (1988).
- [36] B. V. Bronk, W. P. Van der Merwe, M. Stanley, Cytometry, **13**, 155 (1992).
- [37]http://www.orc.soton.ac.uk/publications/theses/1460T_lnn/1460T_lnn_03.pdf
- [38]<http://plaza.ufl.edu/dwhahn/Rayleigh%2520and%2520Light%2520Scattering.pdf>
- [39] D. W. Weinert, T. G. Cleary, G. W. Mulholland, P. F. Beever, Fire Safety Science, Proc. of 7th Int. Symp. Intern. Ass. for Fire Safety Science (IAFSS), June 16-21, Worcester, MA, Ed. D. D. Evans, Intl. Assoc. for Fire Safety Science, Boston, MA, 2003, p.209.

*Corresponding author: jevtic.sanja@gmail.com

Laser influence to biosystems

Sanja D. Jevtić¹, Mileša Ž. Srećković², Svetlana S. Pelemiš³, Ljubica M. Konstantinović⁴, Predrag B. Jovanić⁵, Lazar D. Petrović⁶, Milan M. Dukić⁷

¹Railway Technical School, Belgrade, Serbia

²Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

³Faculty of Technology, University of East Sarajevo, Zvornik, Bosnia and Herzegovina

⁴School of Medicine, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

⁵Institute for Multidisciplinary Studies, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

⁶Faculty of Diplomacy and Security, University Union Nikola Tesla, Belgrade, Serbia

⁷North Carolina Central University, Durham, USA

Abstract

In this paper a continuous (cw) lasers in visible region were applied in order to study the influence of quantum generator to certain plants. The aim of such projects is to analyze biostimulation processes of living organisms which are linked to defined laser power density thresholds (exposition doses). The results of irradiation of corn and wheat seeds using He-Ne laser in the cw regime of 632.8 nm, 50 mW are presented and compared to results for other laser types. The dry and wet plant seeds were irradiated in defined time intervals and the germination period plant was monitored by days. Morphological data (stalk thickness, height and cob length) for chosen plants were monitored. From the recorded data, for the whole vegetative period, we performed appropriate statistical data processing. One part of experiments contains the measurements of coefficient of reflection in visible range. Correlation estimations were calculated and discussed for our results. Main conclusion was that there was a significant increment in plant's height and also a cob length elongation for corn.

Keywords: laser, biostimulation, biosystems, plants, doses, reflection coefficient, correlation.

Available online at the Journal website: <http://www.ache.org.rs/HI/>

SCIENTIFIC PAPER

UDC 621.375.826:632/635

Hem. Ind. **69** (4) 433–441 (2015)

doi: 10.2298/HEMIND140415059J

The influence of nuclear particles, electric fields, magnetic fields and electromagnetic (EM) radiation in the whole electromagnetic spectrum, including nuclear and atomic areas, belong to old problems, vastly studied, but not yet completely understood. Earlier investigations covered spontaneous radiation, while up-to-date investigations deal with stimulated radiation e.g. quantum generators (lasers, masers, uvasers, xrasers and gammarasers). There is not enough space for numbering positive or negative influences of electromagnetic radiations, generally speaking in contemporary civilization. In spite of administration and regulative, in dosimetric point of view and technical manuals, accidents are still present [1–8].

Bad influence to human health is in provoked thermal effects as well as electrochemical, mechanical and other effects. The radiation shows some kind of cumulative effects for the whole tissue, but it could be focused to lead to the processes in cells (cell surgery is known today, since first famous data were red blood cell drilled in nine places). Numerous are effects

induced by electric and magnetic fields in everyday's life as well as in military and medical applications of RF (radio frequency) devices portion [9–11].

Local irradiation of high intensity RF leads to skin and muscle burns and to ocular damage of various degrees (lens blurring), damage of reproductive organs, changes in central nervous system, blood flow and immune defense mechanisms [12,13].

Well known accidents with radar beams caused by human negligence, deserve further analysis to prove the statement that long irradiation to RF beams of low intensity leads to health damage, cancer disease and lasting consequences to offspring. This could also be considered from the point of view of stimulated radiation in this range, due to maser (quantum generator or amplifier) and its implementation in a number of processes. Sometimes first letter m represents molecular and sometimes microwave, what is common for engineers and physicists.

Industrial growth and power engineering are always focused to power transmission (power lines, high voltage devices, etc.) and human health. Doses regulative are constantly changing in the areas of: influence of electric and magnetic fields, nuclear specified radiation, laser and other quantum generator thresholds and allowed radiation power densities (total cumulative doses). All numbered fields could influence human

Correspondence: S. Pelemiš, Faculty of Technology, University of East Sarajevo, Karakaj 34a, 75400 Zvornik, Bosnia and Herzegovina.

E-mail: alannica@gmail.com

Paper received: 15 April, 2014

Paper accepted: 3 July, 2014

organs (heart, nervous system tissues, reproductive organs and other). Employees on power lines and transformers maintenance, electricians and other personnel in electrical based processes (induction furnace, electrified railways, etc.) are always in danger. Besides that, the influence of laser sources in communication purposes, various monitoring and measurements, laser therapy, mass media applications including open space laser shows present potential threat. Note that laser, maser, iraser, uvaser, xraser and gammaraser, work as quantum generators of stimulated radiation in various portions of the EM spectra, but the last two are not in commercial use.

Biological influences of various fields (electric and magnetic) are usually studied separately for DC and AC regimes, but also in transient regimes, which are very important due to high amplitude values. Some people consider that magnetic field has stronger effect to living creatures.

Usually, AC and DC regimes are vastly studied but transient regimes are very important in real applications of electric power. This is related to power network connections and usage of electrical devices. For dosimetry it is necessary to as precise as possible define this regime with possible overloading.

Electrical and magnetic fields in human body cause induced currents which, with defined density could affect organism, i.e. hearth functioning, nervous system tissues and others. In spite of tremendous work, there are still open issues in this area mainly targeting the fact, that these fields provoke other effects. Considering new methods of LLL therapy (low level laser) the novelties are biphasic dose responses [14–16].

The influence of modern electronic and electric systems is also particular problem of civilization and the questions of allowed doses, besides state regulative, are still opened, depending on various facts (television sets, video terminal, PC monitors, communication devices, GSM mobile devices, etc).

The levels of allowed EM radiation are often expressed by defined zones and allowed surface power densities. Note that both frequency and amplitude of electric field (intensity) have to be taken into account. Due to these facts all of these calculated numbers should be considered just as the quantitative values. Explicitly: the zone of very intensive radiation is with surface power density higher than 10 mW/cm^2 (15 min within 24 h), zone of moderate radiation $0.1\text{--}0.9 \text{ mW/cm}^2$ (3 h within 24 h) and zone of weak radiation with less than 0.1 mW/cm^2 .

Allowed levels of electromagnetic radiation power density are regulated by national standards. In Sweden, the level of EM power density is $450 \text{ }\mu\text{W/cm}^2$ corresponding to the electric field $E = 41 \text{ V/m}$. Serbian standard is more rigid, allowing levels of electromagnetic

power densities of $200 \text{ }\mu\text{W/cm}^2$, i.e., $E = 27.5 \text{ V/m}$ [9,10,17,18].

To compare mentioned values of electromagnetic power densities we remind that radiation of stars is approximately 14 pW/cm^2 and that for human body the value could be approximately $0.5 \text{ }\mu\text{W/cm}^2$.

The laser beam irradiation and allowed levels are new problems in spite of the fact that by frequency range they are parts of electromagnetic spectra. The main difference is that, depending on provoked processes, we could have all the effects as with spontaneous electromagnetic radiation, but many new ones as well.

In area of quantum generators dosimetry is not as detailed as in area of nuclear radiation where exposition and absorption are precisely defined and should be completed with different parameters, corrective factors and different units. Note that when high power lasers interact with the material many nuclear processes appear (X and gamma radiation, neutrons, etc.). Therefore, both dosimetries have to be united. Nuclear dosimetry worldwide still uses SI as well as other units, which is not allowed in our country. In presented paper we chose approach which is the most often implemented in references describing biostimulative (biomodulating) effects. We gave certain parameters for valuating possible maximal input energy levels. Our approach deals with optimal corrections for determining more precise doses and increasing of repeatability. It also deals with nominal laser power and time of exposition. It is interesting that in considering couplings between nuclear and laser radiation to objects from biosphere, laser beam can be used as means of measurement for evaluation of nuclear radiation influence by phosphorescent and other processes. Up to day it seems that only in nuclear dosimetry exist approaches with unit equivalent to biological tissues as rem (Röntgen equivalent man), but not in SI system. Interesting is that in laser influence to plant systems it could be used adequate unit per seed grain. [19–23].

Laser influence in biology and especially medicine usually is studied in four areas: for surgery, biostimulation (modulation, acupuncture), diagnosis and in production of drugs (generally) [16,24–27]. Minimal laser threshold for wound healing (influence to fibroblasts) and overall cell level influence for activation of targeted processes are the objects of numerous investigations [24].

Therefore, in this paper we start with experiments on plants and some objective physical processes which objectivize the point of view. In references, several tenths of cw mW, are used for biostimulation purposes and we wanted to see the influence of selected doses to plants, i.e., plant seeds. The objective was to obtain data which could be correlated and could trace per-

spective for future manipulation of facts. The aim is to give experimental data for determination of minimal levels of irradiation doses for defined purposes and to categorize those levels of influence.

Significant number of references dedicated to interaction of laser beams with materials exist [28–31]. Although mainstream attitudes are formed for several tents of years, a lot of experimental and theoretical work is still needed to obtain reliable data with good repeatability. This is especially true when applied to different plant seeds, related to specific geographical area and to growth of plant during specific year, with defined meteorological situation. Besides this, vegetative periods in plant growth, considering certain plant species influence the level of meteorological influences and other factors (soil type). During previous periods papers often dealt with better wheat crop, corn crop and crop of other plants, than followed more precise research of genetic content, etc. [28–31].

In this paper authors tried to elaborate on performed experiments and to remind of complexity of data which follow experiments. This includes descriptions using coefficient of absorption and reflection, laser beam polarization state, etc. enriched with correlation coefficient.

EXPERIMENTAL

Here presented experiments including wheat (*Triticum aestivum*) and several types of corn (*Zea mays* var. *Amilacae*; var. *Identata*) were conducted in few phases. Wheat and corn seed were irradiated with various types and levels of coherent electromagnetic radiation. Here is presented one of the series of samples and corresponding results.

Certain irradiated seeds were wet, while as control were used dry and wet non-irradiated seed. This principle is applied to all experiments.

The first part of experiment had the following phases:

1. Wet and dry seed were irradiated with He–Ne lasers and different energies. The output power of He–Ne was 50 mW, and wavelength 632.8 nm.

2. Laser beam was expanded by beam expander BET 50 type Laser Collimator Eloma 6, so that obtained beam was of 4.5 cm diameter. The beam was then reflected from the flat mirror to Petry's cup towards samples.

3. The reflected laser beam was monitored by pyroelectric radiometer type Rk3440 with appropriate probe type RkP 345. The density of laser beam was 0.4 mW/cm².

4. Irradiation energy doses were 1, 2, 4 and 6 J/cm², with exposition times of 250, 500 and 1000 s.

Most of the seeds were planted outdoors, with small part (less than 5%) in laboratory environment.

Control groups were planted with treated irradiated seeds in order to have more objective comparison of resulting data.

After germination, growth of the plants as well morphogenetic changes, were monitored and recorded (stalk thickness, height, cob length for the corn and in case of wheat plant height). Obtained changes were registered by days. Depending on plant family, vegetative periods were monitored (germination, blooming and fruit development) and at the end analyzed.

Results were processed and visual interpretation of time dependences of plant height, histograms and 3D relations were given. The correlation dependencies between cob length, height and stalk thickness were studied. All results are given by adequate graphical presentations.

The third part of the experiments was measurement of reflection coefficients of some selected seeds.

RESULTS

In Figure 1 the growth of the non-irradiated wet control group plants is presented in days. Characteristic corn plant sizes were measured for non-irradiated wet control seed and wet seed irradiated with He–Ne 6 J/cm² including plant thickness, heights and cob lengths Table 1. They were the subject of statistical analysis. Figure 2 represents histogram of plants sprouted from wet control seeds (height of plants).

In Figure 3 the results of the plant growth after wet seed irradiation using He–Ne laser 6 J/cm² are presented. Histogram of wet irradiated seed (He–Ne 6 J/cm²) is presented in Figure 4.

3D presentation of mutual correspondence between characteristic plant sizes: height, plant thickness and cob length for corn irradiated with He–Ne 6 J/cm² is presented in Figure 5.

The results of coefficient of reflection for wheat are presented in Figure 6 [32]. Figure 7 shows data about growth of plants germinated from wet wheat control seed.

DISCUSSION

The wheat (*Triticum aestivum*) was selected as typical long day plant representative. Corn (*Zea mays*) is representative of daily neutral plants, although some varieties belong to long day plants. Depending on growth and the size of the fruits for corn samples (different varieties) it is possible to determine which variety belongs to which type of the plants (long day or daily neutral plants). Concerning wheat as long day plants representative, it is possible to draw certain conclusions about growth of the plants irradiated with different types of laser irradiation (as well as preconditions of those seeds – wet or dry) [33–35].

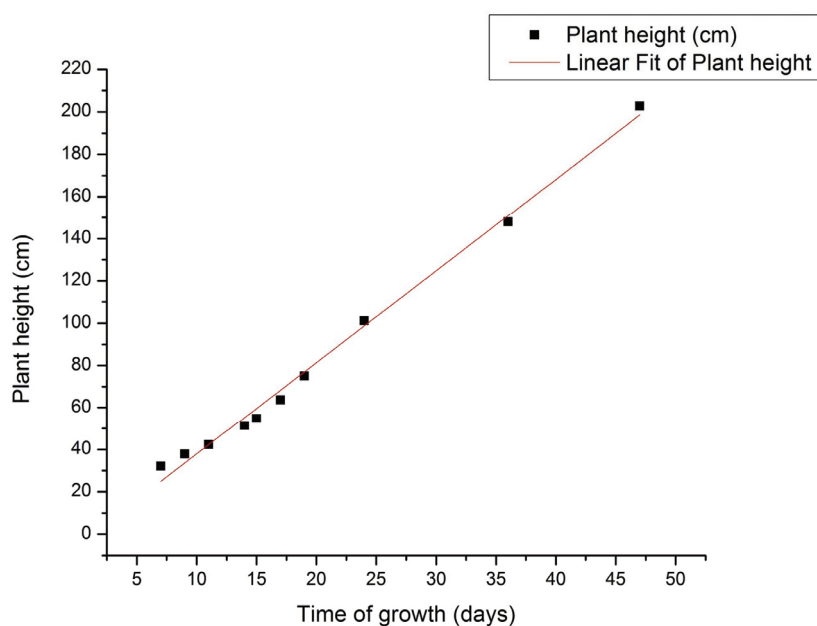


Figure 1. Corn control (non-irradiated) wet seed. Intercept value: -5.52 ; slope value: 4.34 cm/day.

Table 1. Corn comparison table of plant's characteristic dimensions of plants sprouted from non-irradiated wet control seeds and wet seeds irradiated with He–Ne 6 J/cm^2

Parameter	Stalk thickness, mm	Plant height, cm	Cob length, mm
Non-irradiated wet seed			
Mean	21.29	234.54	20.08
Std. dev.	2.8	36.02	7.14
Correlation coefficient	Stalk thickness – Plant height 0.764339	Plant height – Cob length 0.878498	Stalk thickness – Cob length 0.791254
Wet seed irradiated with He–Ne 6 J/cm^2			
Mean	21.42	256.56	22.23
Std. dev.	2.02	13.51	2.88
Correlation coefficient	Stalk thickness – Plant height 0.607617	Plant height – Cob length 0.395461	Stalk thickness – Cob length 0.673945

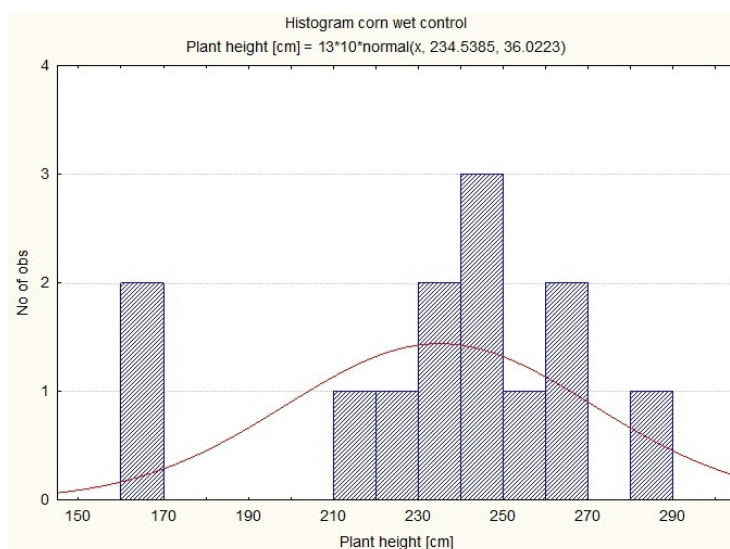


Figure 2. Histogram of wet control (non-irradiated) corn seeds.

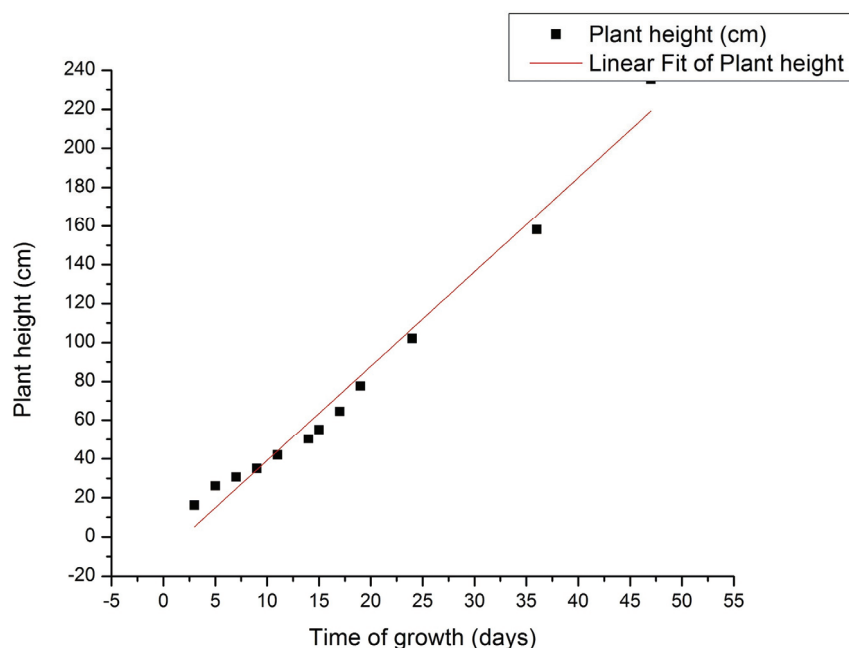


Figure 3. Corn irradiated wet seed (He–Ne laser, 6 J/cm^2). intercept value: -9.43 ; slope value: 4.86 cm/day .

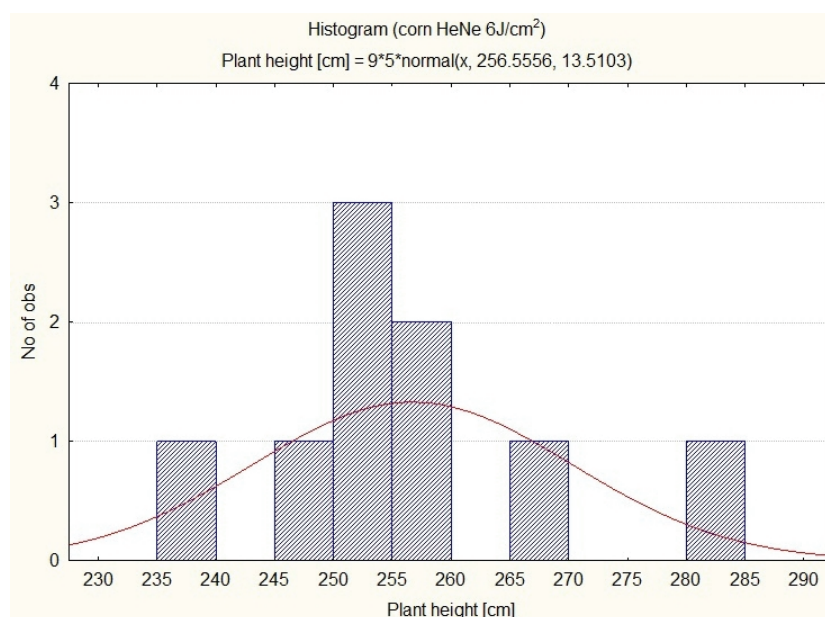


Figure 4. Histogram of wet irradiated corn seed (He–Ne laser, 6 J/cm^2).

In order to *in vivo* trace changes in living organisms, caused by various forms of electromagnetic radiation, mainly irradiated with laser beam, it is necessary to include a whole series of sciences, their methods and explanations. Domain in which results are commented is limited by used statistical methods, and plant characteristic monitoring, expected to be modified by irradiation (height, plant growth rate, fruit characteristics, organoleptic characteristics, genetic characteristics,...).

From the results obtained in this paper, it could be concluded that laser influence is certainly present. The

real level of the induced changes could be the object of discussion because the principal question of the quantitative interpretation of results should be confirmed in various plant varieties. On the other hand the data from references in purely biological and biomedical areas do not present enough facts for objectivistic approach, from technical point of view. In spite of obeying the rules in those areas the concrete details were not given, i.e., the coefficient of reflection, absorption for some irradiation of living cells and systems including the situation with plants.

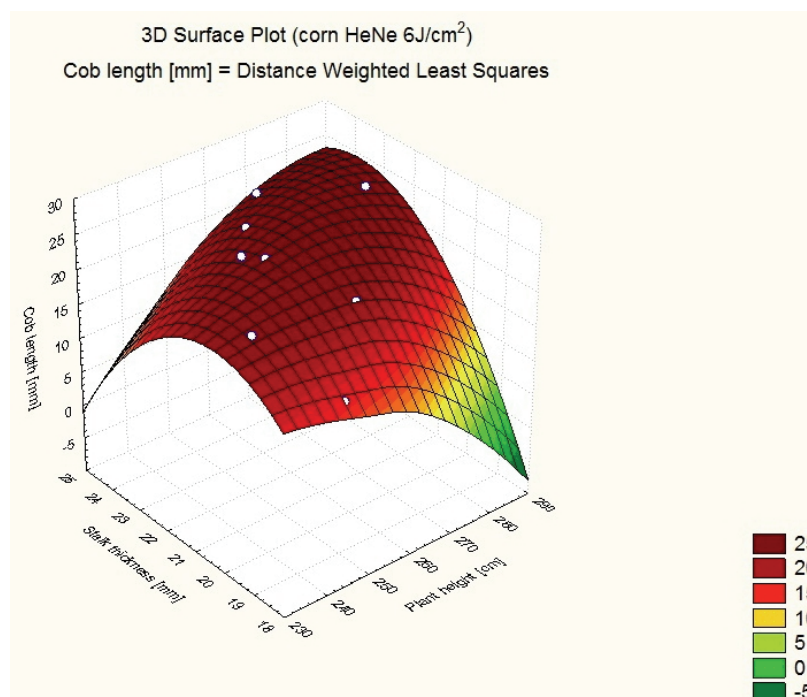


Figure 5. 3D dependence of plant height, stalk thickness and cob length for corn irradiated with He–Ne 6 J/cm².

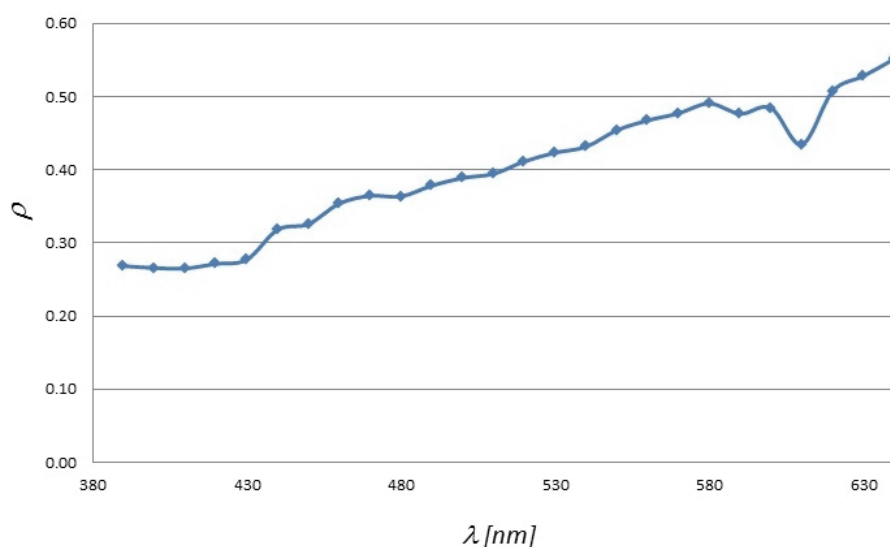


Figure 6. Reflection coefficient of wheat (regular sample).

The deepening of the discussion is related to question should the material whose coefficient of reflection is measured be in powder state (what is demand of the standard equipment) or left as grain.

Considering this paper, the aim of work was to present real parameters with correlation calculation. Some general conclusion could be: correlation dependencies show that from irradiated seed grow plants whose height is comparably greater than those germinated from control seeds. This is expected, concerning the fact that one of the first markers of genetic material change, due to irradiation, is elongation (contribution

to height) of plant. Wet corn seed under influence of laser radiation are more susceptible to changes than dry ones. More generally speaking, we could talk about influence of electromagnetic irradiation in laser range of wavelength, power density, etc.

CONCLUSION

It is a general recommendation to avoid unnecessary exposure to magnetic and electric fields and this correspond to the general mainstream in which allowed exposition thresholds (doses) are constantly reducing.

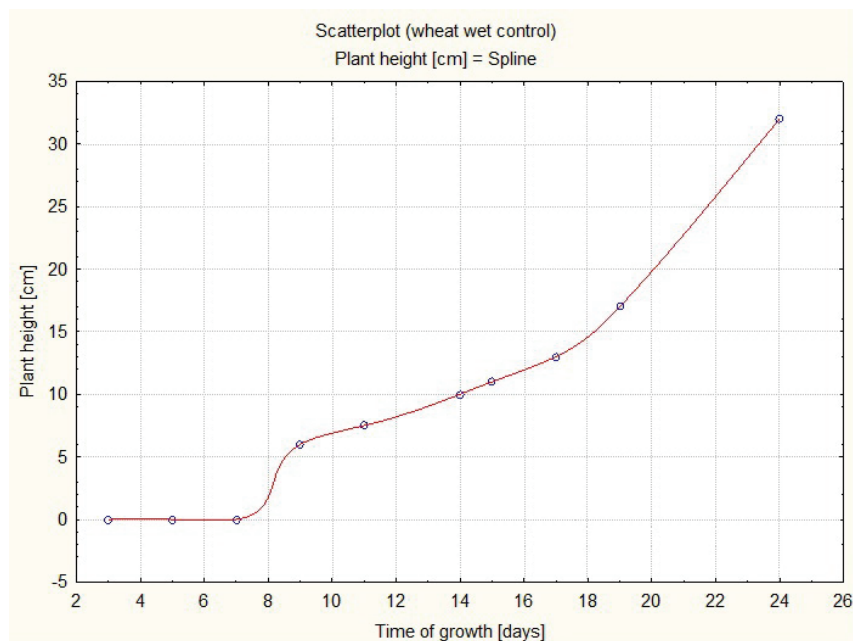


Figure 7. Wheat control (non-irradiated) wet seed.

It is possible to draw parallel between associated magnetic and electric fields of laser with other exposures to electric and magnetic fields (DC and AC). From correlation dependence of plant height and cob length it is possible to conclude that with plant elongation the crop is greater. Corresponding to our other experiments of similar type, here also the use of wet and dry control seed have shown to be a good practice. The results for He-Ne laser gave similar results as those in experiments with GaAs laser for same irradiation parameters, no matter the used wavelengths in visible and in NIR. These issues could be interpreted as quantitative values (real measurable magnitude values) for limited validity for selected exposition ranges – doses and to defined species.

Observing the plots obtained graphically by depicting the growth of plants sprouted from irradiated seeds one could conclude that plant irradiated with smaller irradiation energy (energy density) easily overcame crisis in growth between 30th and 40th day. Concerning plant growth, just by measuring height, it is obvious that irradiated plant needs more light for transition from second vegetative phase to third (germination, springing and flowering). Overall conclusion is that applied levels of energy influenced qualitative shift of plants.

For even further analysis of measured data for all types of plants and their varieties (wheat and corn) it is necessary, based on plant tissues parameters examined, to do appropriate model of seeds (i.e. wheat seed could be modeled using 7 layers with distinct parameters) before irradiation and then to compare real and theoretical cases.

REFERENCES

- [1] S. Martelucci, A.N. Chester (Eds.), *Lasers in Photobiology and Photo medicine*, Plenum Press, New York, 1984.
- [2] G.D. Najafpour, *Biochemical engineering and biotechnology*, Elsevier, Amsterdam, 2007.
- [3] D.H. Sliney, M.L. Wohlbarsht, *Safety with Lasers and Other Optical Sources*, Plenum Press, New York, 1980.
- [4] L. Goldman, *The Biomedical Laser*, Springer, Berlin, 1981.
- [5] D. H. Sliney, M. Bitran, W. Murray, *Infrared, Visible, and Ultraviolet Radiation*, John Wiley & Sons, New York, 2012.
- [6] K. Barat (Ed.), *Laser safety, Tools and training*, Taylor & Francis Group, Abingdon, 2009.
- [7] M. Srećković, P. Osmokrović, Lj. Konstantinović, V. Arsoški, *Izabrane primene lasera u medicini i interakcija lasera sa biomaterijalom*, Zavod za fiziku tehničkih fakulteta, Beograd, 2010 (in Serbian).
- [8] M. Jeremić, *Nejonizujuća zračenja i zaštita*, Medicinska knjiga, Beograd, 1995 (in Serbian).
- [9] L. Petrović, *The Review an Analysis of the Sources of Electromagnetic Interference*, 23. Conf. JUKO CIGRE, Herceg Novi, 1997, Section III group 36 - compatibility EEC (in Serbian).
- [10] L.D. Petrović, R.V. Radovanović, *Electromagnetic Radiation as the cause of environmental pollution*, conference, environment and human health, Belgrade, 2005, pp. 10 (in Serbian).
- [11] Г.М. Обатуров, *Биофизические модели радио-биологических эффектов*, Энергоатомиздат, Москва, 1987.
- [12] D.V. Palanker, S. Ohad, A. Lewis, N. Laufer, *Cold laser technique for cell surgery*, Proc. SPIE 1646, Laser-Tissue Interaction III, 69, 1992, doi:10.1117/12.137447

- [13] Y.Y. Huang, S.K. Sharma, J. Carroll, M.R. Hamblin, Biphasic Dose Response In Low Level Light Therapy – An Update, International Dose Response Society, University of Massachusetts, Dose Response **9** (2011) 602–618.
- [14] M.R. Hamblin, R. W. Waynant, J. Anders, Mechanisms for low-light Therapy, SPIE, 2007.
- [15] M.H. Niemz, Laser Tissue Interaction. Fundamentals and Applications, Springer-Verlag, Berlin, 2007.
- [16] M. Srećković, M. Hrnjak, D. Živković, S. Arandžević, B. Đuričić, J. Mirčevski, D. Mamula-Tartalja, Laser Interactions and Stimulative Effects in Biomedical Material and The Limits of Stimulatory Effects of Low Power Density He–Ne Laser Radiation on Fibroblast Proliferation in Vitro, Proc. of Lasers 98, Tucson, AR, 1998, W. Corcoran, T. Goldman (Eds.), SoQue, McLain, 1999, pp. 587–593.
- [17] M. Elezović, L. Petrović, R. Radovanović, Naponski udari u mreži za napajanje, Energetika 2007, Zlatibor, 2007, pp. 313–318 (in Serbian).
- [18] M. Elezović, L. Petrović, Imunost elektronske opreme na promene u mreži za napajanje, Energija – Ekonomija – Ekologija X, 2008, pp. 046–048 (in Serbian).
- [19] I. Draganić (Ed.), Radioaktivni izotopi i zračenja I, II, III, Naučna knjiga, Beograd, 1963.
- [20] The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection Annals of the ICRP. ICRP publication 103, **37** (2007) 2–4.
- [21] 10 CFR 20.1004. US Nuclear Regulatory Commission. 2009.
- [22] A.F. Harvey (Ed.), Coherent Light, Wiley-Interscience, New York, 1970, pp. 1144–1151.
- [23] B. Gladyszewska, Estimation of a Laser Biostimulation Dose, Int. Agrophys. **25** (2011) 403–405.
- [24] O.K. Скобелкин (Ед.), Ласеры в хирургии, Медицина, Москва, 1989.
- [25] M. Srećković, S. Arandžević, D. Nikolić, B. Đuričić, A. Marinović, D. Knežević, V. Branković-Srećković, D. Đapić, Primena terapijskih i dijagnostičkih laserskih tehnika u biomedicini, veterini i farmaciji, Zbornik XLII Konf. ETRAN, Vrnjačka banja, 1998, pp. 177–180 (in Serbian).
- [26] M. Srećković, R. Vasić, M. Dukić, S. Jevtić, P. Jovanić, The Influence of Diode and He-Ne Lasers On Corn and Wheat Seeds, J. Agric. Sci. Technol., **B 4** (2014) 165–175.
- [27] V. Vujošević-Simić, S. Babić, M. Dukić, A. Mikulić, Optičke osobine uzoraka namirnica i razlika spektralnih karakteristika koeficijenata refleksije za ispravne i infestovane uzorke, Zbornik XLVIII Konf.za ETRAN, Tom III, Čačak, 2004. pp. 253–255 (In Serbian).
- [28] T. Karu, Primary and Secondary Mechanisms of Action of Visible to Near-IR Radiation on cells, J. Photochem. Photobiol., **B 49** (1999) 1–17.
- [29] A.C. Hernandez, P.A. Dominguez, O.A. Cruz, R. Ivanov, C.A. Carballo, B.R. Zapeda, Laser in Agriculture, Int. Agrophys. **24** (2010) 407–422.
- [30] A. Dziwulska-Hunek, K. Kornarzynski, A. Matwijczuk, S. Pietruszewski, B. Szor, Effect of Laser and Variable Magnetic Field Simulation on Amaranth Seed Germination, Int. Agrophysics **23** (2009) 229–235.
- [31] F.D. Samuilov, R.L. Garifullina, Effects of Laser Irradiation on Microviscosity of Aqueous Medium in Imbibing Maize Seeds as Studied with a Spin Probe Method, Russ. J. Plant Physiol. **54** (2007) 128–131.
- [32] S. Babić, Određivanje optičkih karakteristika i obrada nekih neorganskih i organskih materijala pomoću koherentne i nekoherentne svetlosti, Magistarska teza, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2005 (in Serbian).
- [33] M. Srećković, S. Bojanić, Lj. Konstantinović, M. Dukić, N. Cvetković, J. Mirčevski, D. Nikolić, D. Živković, S. Babić, N. Rakočević, S. Stanković, R. Vasić, J. Ilić, Optical Parameters Measurements And Modeling in Biology And Some Laser Applications In Life, Proceedings of Laser's 2000, Albuquerque, NM, 2000, V.J. Corcoran, T.A. Corcoran (Eds.), SoQue, McLean, 2001, pp. 628–635.
- [34] M. Srećković, Lj. Konstantinović, S. Stanković, M. Dukić, R. Vasić, D. Živković, D. Nikolić, S. Babić, R. Sekulić, Uticaj i primena lasera na biosisteme, organizme i kulture ćelija, XLV Konf. ETRAN, Bukovička Banja, 2001, Zbornik, Tom III, pp. 211–214 (in Serbian).
- [35] S. Pelemiš, M. Srećković, S. Jevtić, F. Živić, Uticaj laserskih snopova u infracrvenom opsegu na bioorganizme i analiza modelovanja za materijale ekvivalentnih parametara, Savremeni materijali (2013) 117.

IZVOD

UTICAJ LASERA NA BIOSISTEME

Sanja D. Jevtić¹, Milesa Ž. Srećković², Svetlana S. Pelemiš³, Ljubica M. Konstantinović⁴, Predrag B. Jovanić⁵, Lazar D. Petrović⁶, Milan M. Dukić⁷

¹Železnička tehnička škola, Beograd, Srbija

²Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

³Tehnološki fakultet, Univerzitet u istočnom Sarajevu, Zvornik, Bosna i Hercegovina

⁴Medicinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

⁵Institute za multidisciplinarne studije, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

⁶Facultet za diplomatiju i bezbednost, Univerzitet Union Nikola Tesla, Beograd, Srbija

⁷North Carolina Central University, Durham, USA

(Naučni rad)

Uticaj laserskih snopova na žive organizme je već duže vremena predmet proučavanja koji zahteva multidisciplinarni pristup. Kako se podrazumevaju i vidljiva, UV i IC oblast, to se problem može posmatrati i kao proučavanje koje pripada široj problematici uticaja električnih, magnetnih polja i elektromagnetskih polja i talasa na žive organizme. U ovom radu su proučavani eksperimentalno procesi i rezultati delovanja He–Ne lasera na suva i vlažna semena pšenice (*Triticum aestivum*) i kukuruza – *Zea mays*, (var. *Amilacae*; var. *Identata*). Iako je uticaj elektromagnetnog (EM) zračenja na živa bića stari problem, koji je mnogo proučavan, on je još uvek sa mnogo nerešenih pitanja. Ako uz problematiku spontanog EM zračenja postoji veliki broj nerazjašnjenih procesa, utoliko pre to važi za oblast stimuliranih zračenja – kvantnih generatora, koji komercijalno (ili u eksperimentalnom stadijumu) rade od gama do RF (radio frekvencija) oblasti. Laseri su već odavno uključeni u praksu u okviru biomedicine, biologije, a u humanoj medicini odavno su uključeni u oblasti hirurgije, biostimulacije, dijagnostike, farmakologije, akupunkture, itd. Oblast primene lasera se vrlo brzo uključuje u mnogo svakodnevnih primena, a na delovanje zračenja na bioorganizme (biosisteme) se, i pored postojeće regulative, ne obraća dovoljno pažnje. Nove oblasti primene lasera vrlo kratkih impulsa i fenomeni nelinearne optike, otvaraju mnogo novih pitanja. Pragovi za terapeutska dejstva (biostimulaciju) se istražuju i pripadaju zadacima laserske dozimetrije i njenih preciznih stavova, koji se razlikuju od države do države. U radu su opisani izvršeni eksperimenti sa ozračavanjem semena pšenice i kukuruza (suvih i vlažnih). Korišćen je gasni He–Ne laser kontinualnog dejstva (cw, 632,8 nm, 50 mW). Posle klijanja praćen je rast biljaka po danima (debljina i visina stabljike, dužina klipa kukuruza, a za pšenicu visina biljke). Posle praćenja vegetativnih perioda i roda izvršena je analiza dobijenih rezultata sa statističkom obradom podataka. Korišćene su predstave u vidu histograma, 2D predstave i interpretacija u 3D na bazi metode najmanjih kvadrata i neke korelacione analize. U mnogo referenci se uključuje samo talasna dužina lasera i doza, bez osvrtnja na koeficijente refleksije i absorpcije biosistema. Zato je ovde dat koeficijent refleksije, tipičan za pšenicu, kao kvalitativna mera za uračunavanja pravilnije doze, prema tipu lasera. Koeficijenti refleksije biljaka mogu da posluže i za daljinske kontrole (LIDAR) stanja biljnih vrsta na terenu. Eksperimentalni rezultati sa He–Ne laserom su u dobroj saglasnosti (kvalitativnoj) sa rezultatima, dobijenih na bazi poluprovodničkih lasera sa uporedivim dozama. To važi i za uticaj vlažnosti semena, bez obzira da li se radi o He–Ne, gasnim ili poluprovodničkim laserima na opsegu od 800–900 nm.

Ključne reči: Laser • Biostimulacija • Biosistemi • Biljke • Doze • Koeficijent refleksije • Korelacija



Изјава о ауторству

Потписани-а Сања Јевтић
Број уписа _____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Примена ласерских техника за одређивање оптичких

параметара материјала

- резултат сопственог истраживачког рада
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и интелектуалну својину других лица

У Чачку, 01.06.2016.

Потпис аутора

Сања Јевтић



**Изјава о истоветности штампане и електронске верзије
докторске дисертације**

Име и презиме аутора Сања Јевтић
Број уписа _____
Студијски програм _____
Наслов дисертације Примена ласерских техника за одређивање оптичких параметара материјала

Потписани-а Сања Јевтић

Изјављујем да је штампана верзија моје докторске дисертације истоветна електронској верзији коју сам предао/ла на увид јавности у библиотеци и на званичној интернет страници Факултета техничких наука у Чачку.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране докторске дисертације. Ови лични подаци се могу објавити на званичној интернет страници Факултета техничких наука у Чачку.

у Чачку, 01.06.2016.

Потпис аутора

Сања Јевтић

ОБРАЗАЦ 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Крагујевцу унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Примена ласерских техника за одређивање оптичких параметара материјала

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Крагујевцу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
- ☒ 3. Ауторство - некомерцијално – без прераде
4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, чији је кратак опис дат је на обрасцу број 4.).

Потпис аутора

У Крагујевцу, 01.06.2016.



Сања Јевтић