



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ

ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ



**МИКОБИОЛОШКА АКТИВНОСТ И ДИСАЊЕ
ЗЕМЉИШТА У ЗАВИСНОСТИ ОД
ТЕМПЕРАТУРЕ И ВЛАЖНОСТИ**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ментор:
проф. др Симонида Ђурић

Кандидат:
Мр. Борис Најдовски

Нови Сад, 2025 године



UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF AGRICULTURE



**MYCROBIAL ACTIVITY AND SOIL
RESPIRATION DEPENDING ON THE
TEMPERATURE AND HUMIDITY**

DOCTORAL DISERTATION

Mentor:
Prof. dr Simonida Djuric

Candidate:
MSc. Boris Najdovski

Novi Sad, 2025.

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА¹

Врста рада:	Докторска дисертација
Име и презиме аутора:	Борис Најдовски
Ментор (титула, име, презиме, звање, институција):	Проф. др Симонида Ђурић Редовни професор Универзитет у Новом Саду – Пољопривредни факултет
Наслов рада:	Микобиолошка активност и дисање земљишта у зависности од температуре и влажности
Језик и писмо рада:	Српски језик, ћирилица
Физички опис рада:	Унети број: Страница: 135 Поглавља: 9 Референци: 97 Табела: 8 Слика: 3 Графикона: 69 Прилога: 5
Научна област:	Биотехничке науке
Ужа научна област (научна дисциплина):	Агрономија – Шумарство

¹ Аутор докторске дисертације потписао је и приложио следеће Обрасце:

5б – Изјава о ауторству;

5в – Изјава о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и дозвола за објављивање личних података;

5г – Изјава о коришћењу.

Ове Изјаве се чувају у институцији у штампаном и електронском облику и не корице се са радом.

Кључне речи / предметна одредница:	Земљиште, микробиолошка активност земљишта, дисања земљишта, температура, влага
Апстракт на језику рада:	Земљишни микробиолошки процеси представљају кључну компоненту циклуса угљеника и енергије у копненим екосистемима, при чему ензимске активности и респирација микроорганизама играју централну улогу у разградњи органске материје и ослобађању угљен-диоксида. Активност дехидрогеназе (DHA) је поуздан биоиндикатор укупне микробиолошке активности, док респирација земљишта (Rs) представља услове у којима се одвијају микробиолошки метаболички путеви. У прошлих десетак година на Фрушкој гори спроведена су бројна засебна истраживања земљишних карактеристика, микробиолошке активности и дисања земљишта. До сада није спроведено истраживање које би допринело бољем разумевању утицаја температуре и влажности земљишта на микробиолошку активност и дисање земљишта. Истражено подручје налази се у НП „Фрушка гора”, ГЈ Поповица – Мајдан – Змајевац, 20/с, у изданаčkoј шуми китњака (<i>Quercetum montanum typicum</i>) са примесом букве (<i>Fagus moesiaca</i> (Domin, Maly) Czeck). Терен је врло стрм, надморске висине 475–505 m, југоисточне експозиције, геолошка подлога су шкриљци, а земљиште је кисело смеђе. Укупно 32 теренске посете су спроведене у периоду 2014 – 2017. год. за мерења температуре и влажности ваздуха и земљишта, као и узорковање земљишта за лабораторијске анализе. У овом истраживању анализирани су односи између активности дехидрогеназе у земљишту (DHA), температуре земљишта (Soil T), влажности земљишта (SWC) и интензитет дисања земљишта (Rs) током три вегетационе сезоне (2014, 2015. и 2017. године) коришћењем линеарних и полиномијалних регресионих модела. Резултати показују да се однос између Soil T и DHA значајно разликује у зависности од године, што имплицира да утицај температуре вероватно зависи од интеракције са другим абнотским факторима. Однос између SWC и DHA такође указује на изразито нелинеаран карактер, полиномијални модели значајно боље објашњавају варијабилност DHA ($R^2 = 0.641 - 0.92$), што указује да

	постоји оптималан садржај воде у земљишту при којем је ДНА најизраженија. Анализа односа између Soil T и Rs земљишта показује позитивна корелација уз изражену међугодишњу варијабилност. Однос између SWC и Rs потенцира важност водног режима као лимитирајућег фактора микробиолошке активности. Анализа односа између ДНА и Rs указује на потенцијалну узајамну зависност ових биохемијских процеса, али у великој мери зависну од године и услова средине. Може се закључити да су ДНА и Rs значајно повезани са Soil T и SWC, али да нису конзистентне између сезона. Интеракције између микробиолошке активности и абиотских фактора показују изражену нелинеарност, што потврђује нужност коришћења вишестепених (полиномијалних) модела у еколошким студијама земљишних процеса.
Датум прихватања теме од стране надлежног већа:	08.12.2022.
Датум одбране: (Попуњава накнадно институција)	
Чланови комисије: (титула, име, презиме, звање, институција)	Председник: др Саша Орловић, редовни професор, Пољопривредни факултет Универзитета у Новом Саду, Институт за низијско шумарство и заштиту животне средине. Члан: др Саша Пекеч, научни саветник, Институт за низијско шумарство и заштиту животне средине. Ментор: Проф. др Симонида Ђурић, редовни професор, Пољопривредни факултет Универзитета у Новом Саду
Напомена:	

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF AGRICULTURE

KEY WORD DOCUMENTATION²

Document type:	Doctoral dissertation
Author:	Boris Najdovski
Supervisor (title, first name, last name, position, institution)	Prof. dr Simonida Djuric Full Professor University of Novi Sad – Faculty of Agriculture
Thesis title in English:	Mycrobial Activity and Soil Respiration Depending on the Temperature and Humidity
Language and script:	Serbian language (cyrillic)
Physical description:	Number of: Pages: 135 Chapters: 9 References: 97 Tables: 8 Illustrations: 3 Graphs: 69 Appendices: 5
Scientific field:	Biotechnology
Scientific subfield (scientific discipline):	Agronomy – Forestry
Subject, Key words:	Soil, soil microbial activity, soil respiration, temperature, humidity

² The author of the doctoral dissertation has signed the following Statements:

56 – Statement on the authorship,

5B – Statement that the printed and e-version of the doctoral dissertation are identical and authorization to use personal data,

5r – Copyright statement.

The paper and e-versions of Statements are held at the institution and are not included into the printed thesis.

Abstract in English:	Soil microbial processes are a key component of the carbon and energy cycle in terrestrial ecosystems, with enzymatic activities and microbial respiration playing a central role in the decomposition of organic matter and the release of carbon dioxide. Dehydrogenase activity (DHA) is a reliable bioindicator of total microbial activity, while soil respiration (Rs) represents the conditions under which microbial metabolic pathways occur. In the past decade or so, numerous separate studies of soil characteristics, microbial activity and soil respiration have been conducted on Fruška Gora. So far, no study has been conducted that would contribute to a better understanding of the influence of soil temperature and humidity on microbial activity and soil respiration. The studied area is located in the NP “Fruška Gora”, GJ Popovica – Majdan – Zmajevac, 20/c, in a coppice forest of sessile oak (<i>Quercetum montanum typicum</i>) with an admixture of beech (<i>Fagus moesiaca</i> (Domin, Maly) Czech). The terrain is very steep, altitudes 475–505 m, southeast exposure, geological base is shale, and the soil is dystric cambisol. A total of 32 field visits were conducted in the period 2014–2017. for measurements of air and soil temperature and humidity, as well as soil sampling for laboratory analysis. In this study, the relationships between soil dehydrogenase activity (DHA), soil temperature (Soil T), soil water content (SWC), and soil respiration rate (Rs) were analyzed during three growing seasons (2014, 2015, and 2017) using linear and polynomial regression models. The results show that the relationship between Soil T and DHA varies significantly depending on the year, implying that the influence of temperature likely depends on the interaction with other abiotic factors. The relationship between SWC and DHA also indicates a highly non-linear character, polynomial models significantly better explain the variability of DHA ($R^2 = 0.641 - 0.92$), which indicates that there is an optimal water content in the soil where DHA is most expressed. Analysis of the relationship between Soil T and Rs of the soil shows a positive correlation with pronounced interannual variability. The relationship between SWC and Rs emphasizes the importance of the water regime as a limiting factor for microbial activity. Analysis of the relationship between DHA and Rs indicates a potential mutual dependence of these biochemical processes, but largely dependent on the year and environmental conditions. It can be concluded that DHA and Rs are significantly related to Soil T and SWC, but are not consistent
-----------------------------	---

	between seasons. Interactions between microbiological activity and abiotic factors show marked non-linearity, which confirms the necessity of using multi-level (polynomial) models in ecological studies of soil processes.
Date of endorsement by the scientific board:	08.12.2022.
Date of defence: (Filled in by the institution)	
Thesis defence board: (title, first name, last name, position, institution)	Chair: dr. Saša Orlovic, Full Professor, Faculty of Agriculture, University of Novi Sad, Institute of Lowland Forestry and Environment Member: Saša Pekeč, Senior Research Associate, Institute of Lowland Forestry and Environment Mentor: Prof. dr Simonida Djuric, Full Professor, Faculty of Agriculture, University of Novi Sad
Note:	

ЗАХВАЛНИЦА

Пре свега, захвалио бих се ментору проф. др Симониди Ђурић на пруженој моралној, стручној и логистичкој подршци, без које би овај рад било много теже урадити.

Такође, велику захвалност дугујем свом професору и шефу катедре гајења шума на Факултету за шумарске науке, пејзажну архитектуру и екоинжењеринг „Ханс Ем” на Универзитету „Св. Кирил и Методиј” у Скопљу, у Републици Северној Македонији, проф. др Колету Василевском, за неисцрпну моралну и логистичку подршку, као и савете и критике у процесу докторских студија.

Поред тога, захваљујем се члановима комисије, проф. др Саши Орловићу и др Саши Пекечу, на свесрдној помоћи приликом израде ове дисертације, као и на саветима који су били прекретница за даљи истраживачки рад и напредак у свим животним сферама.

Захваљујем се др Марини Миловић руководиоцу израде докторске дисертације на свесрдној помоћи, саветима и сугестијама приликом израде ове докторске дисертације.

Хвала и др Андреју Пилиповићу, др Срђану Стојнићу и др Мартини Зорић на саветима, логистичкој подршци и помоћи при обимним теренским радовима.

На крају бих изразио највећу захвалност породици на изузетној моралној, физичкој и финансијској подршци у целом циклусу мог студирања.

Највише хвала мојој супрузи Драгани за толеранцију, разумевање и огромну подршку у тешким тренуцима који су били саставни део мојих докторских студија.

Коначно, ову дисертацију посвећујем синовима Симону и Давиду, као путоказ и доказ очинске љубави за боље сутра.

АПСТРАКТ

Земљишни микробиолошки процеси представљају кључну компоненту циклуса угљеника и енергије у копненим екосистемима, при чему ензимске активности и респирација микроорганизама играју централну улогу у разградњи органске материје и ослобађању угљен-диоксида. Активност дехидрогеназе (DHA) је поуздан биоиндикатор укупне микробиолошке активности, док респирација земљишта (Rs) представља услове у којима се одвијају микробиолошки метаболички путеви.

У прошлих десетак година на Фрушкој гори спроведена су бројна засебна истраживања земљишних карактеристика, микробиолошке активности и дисања земљишта. До сада није спроведено истраживање које би допринело бољем разумевању утицаја температуре и влажности земљишта на микробиолошку активност и дисање земљишта. Истражено подручје налази се у НП „Фрушка гора”, ГЈ Поповица – Мајдан – Змајевац, 20/с, у изданаčkoј шуми китњака (*Quercetum montanum typicum*) са примесом букве (*Fagus moesiaca* (Domin, Maly) Czezc). Терен је врло стрм, надморске висине 475–505 m, југоисточне експозиције, геолошка подлога су шкриљци, а земљиште је кисело смеђе. Укупно 32 теренске посете су спроведене у периоду 2014 – 2017. год. за мерења температуре и влажности ваздуха и земљишта, као и узорковање земљишта за лабораторијске анализе.

У овом истраживању анализирани су односи између активности дехидрогеназе у земљишту (DHA), температуре земљишта (Soil T), влажности земљишта (SWC) и интензитет дисања земљишта (Rs) током три вегетационе сезоне (2014, 2015. и 2017. године) коришћењем линеарних и полиномијалних регресионих модела. Резултати показују да се однос између Soil T и DHA значајно разликује у зависности од године, што имплицира да утицај температуре вероватно зависи од интеракције са другим абиотским факторима. Однос између SWC и DHA такође указује на изразито нелинеаран карактер, полиномијални модели значајно боље објашњавају варијабилност DHA ($R^2 = 0.641 - 0.92$), што указује да постоји оптималан садржај воде у земљишту при којем је DHA најизраженија. Анализа односа између Soil T и Rs земљишта показује позитивна корелација уз изражену међугодишњу варијабилност. Однос између SWC и Rs потенцира важност водног режима као лимитирајућег фактора микробиолошке активности. Анализа односа између DHA и Rs указује на потенцијалну узајамну зависност ових биохемијских процеса, али у великој мери зависну од године и услова средине. Може се закључити да су DHA и Rs значајно повезани са Soil T и SWC, али да нису конзистентне између сезона. Интеракције између микробиолошке активности и абиотских фактора показују изражену нелинеарност, што потврђује нужност коришћења вишестепених (полиномијалних) модела у еколошким студијама земљишних процеса.

Кључне речи: земљиште, микробиолошка активност земљишта, дисања земљишта, температура, влага

ABSTRACT

Soil microbial processes are a key component of the carbon and energy cycle in terrestrial ecosystems, with enzymatic activities and microbial respiration playing a central role in the decomposition of organic matter and the release of carbon dioxide. Dehydrogenase activity (DHA) is a reliable bioindicator of total microbial activity, while soil respiration (Rs) represents the conditions under which microbial metabolic pathways occur.

In the past decade or so, numerous separate studies of soil characteristics, microbial activity and soil respiration have been conducted on Fruška Gora. So far, no study has been conducted that would contribute to a better understanding of the influence of soil temperature and humidity on microbial activity and soil respiration. The studied area is located in the NP “Fruška Gora”, GJ Popovica – Majdan – Zmajevac, 20/c, in a coppice forest of sessile oak (*Quercetum montanum typicum*) with an admixture of beech (*Fagus moesiaca* (Domin, Maly) Czezc). The terrain is very steep, altitudes 475–505 m, southeast exposure, geological base is shale, and the soil is dystic cambisol. A total of 32 field visits were conducted in the period 2014–2017. for measurements of air and soil temperature and humidity, as well as soil sampling for laboratory analysis.

In this study, the relationships between soil dehydrogenase activity (DHA), soil temperature (Soil T), soil water content (SWC), and soil respiration rate (Rs) were analyzed during three growing seasons (2014, 2015, and 2017) using linear and polynomial regression models. The results show that the relationship between Soil T and DHA varies significantly depending on the year, implying that the influence of temperature likely depends on the interaction with other abiotic factors. The relationship between SWC and DHA also indicates a highly non-linear character, polynomial models significantly better explain the variability of DHA ($R^2 = 0.641 - 0.92$), which indicates that there is an optimal water content in the soil where DHA is most expressed. Analysis of the relationship between Soil T and Rs of the soil shows a positive correlation with pronounced interannual variability. The relationship between SWC and Rs emphasizes the importance of the water regime as a limiting factor for microbial activity. Analysis of the relationship between DHA and Rs indicates a potential mutual dependence of these biochemical processes, but largely dependent on the year and environmental conditions. It can be concluded that DHA and Rs are significantly related to Soil T and SWC, but are not consistent between seasons. Interactions between microbiological activity and abiotic factors show marked non-linearity, which confirms the necessity of using multi-level (polynomial) models in ecological studies of soil processes.

Keywords: soil, soil microbial activity, soil respiration, temperature, humidity.

Садржај

1. УВОД.....	9
2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ.....	11
2. 1. Ранија истраживања микробиолошке активности земљишта.....	11
2. 1. 1. Ранија истраживања бројности микроорганизама у земљишту.....	13
2. 2. Ранија истраживања о дисању земљишта.....	14
2. 3. Опште карактеристике Фрушке горе.....	17
2. 3. 1. Географски опис и положај Фрушке горе.....	17
2. 3. 2. Природне карактеристике Фрушке горе.....	18
2. 3. 2. 1. Орографске карактеристике.....	18
2. 3. 2. 2. Едафске карактеристике Фрушке горе.....	19
2. 3. 2. 2. 1. Геолошке карактеристике.....	19
2. 3. 2. 2. 2. Земљишне карактеристике.....	20
2. 3. 2. 3. Хидрографске карактеристике.....	21
2. 3. 2. 4. Климатске карактеристике.....	22
2. 3. 2. 5. Шумске састојине.....	23
3. РАДНА ХИПОТЕЗА.....	27
4. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА.....	28
5. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА.....	29
5. 1. Начин избора, величина и конструкција узорка.....	29
5. 2. Микробиолошка активност.....	30
5. 2. 1. Одређивање бројности испитиваних група микроорганизама у земљишту.....	30
5. 2. 1. 1. Метода агарних плоча.....	30
5. 2. 1. 2. Укупан број бактерија.....	31
5. 2. 1. 3. Бројност гљива.....	31
5. 2. 1. 4. Бројност актиномицета.....	32
5. 2. 1. 5. Бројност целулолитских микроорганизама.....	32
5. 2. 2. Одређивање дехидрогеназне активности земљишта.....	32
5. 3. Дисање земљишта.....	33
5. 4. Педолошке анализе.....	34
5. 5. Статистичке методе и обрада података.....	34
6. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА.....	36
6. 1. Природне карактеристике ужег истраженог подручја.....	36
6. 2. Шумске састојине ужег истраженог подручја.....	40
6. 3. Особине земљишта ужег истраженог подручја.....	41

6. 4. Микробиолошка активност ужег истраженог подручја.....	42
6. 4. 1. Бројност систематских група микроорганизама у шумском земљишту	42
6. 4. 1. 1. Укупан број бактерија у земљишту	42
6. 4. 1. 2. Укупан број актиномицета у земљишту	46
6. 4. 1. 3. Укупан број гљива у земљишту	51
6. 4. 1. 4. Бројност микроорганизама у 2014. години	56
6. 4. 1. 5. Бројност микроорганизама у 2015. години	58
6. 4. 1. 6. Бројност микроорганизама у 2016. години	60
6. 4. 1. 7. Бројност микроорганизама у 2017. Години.....	62
6. 4. 2. Бројност целулолитских микроорганизама у шумском земљишту	64
6. 4. 2. 1. Бројност целулолитских микроорганизама у шумском земљишту у 2015. години.....	64
6. 4. 2. 2. Бројност целулолитских микроорганизама у шумском земљишту у 2016. години.....	66
6. 4. 2. 3. Бројност целулолитских микроорганизама у шумском земљишту у 2017. години.....	68
6. 4. 2. 4. Зависност бројности целулолитских микроорганизама у шумском земљишту од температуре и влажности земљишта	70
6. 4. 3. Активност ензима дехидрогеназе (ДНА).....	73
6. 5. Дисање земљишта ужег истраженог подручја.....	76
6. 6. Зависност од абиотичких и биотичких фактора	77
6. 6. 1. Зависност од температуре и влажности ваздуха	77
6. 6. 2. Зависност температуре земљишта.....	80
6. 6. 3. Зависност влажности земљишта.....	82
6. 6. 4. Зависност евапорације земљишта.....	83
6. 6. 5. Зависност дехидрогеназне активности и дисања земљишта.....	84
6. 7. Корелација микробиолошке активности земљишта са абиотичким и биотичким факторима животне средине.....	85
6. 8. Корелација дисања земљишта са абиотичким и биотичким факторима животне средине	88
6. 9. Моделирање микробиолошке активности и дисања земљишта у зависности од температуре и влажности земљишта.....	91
6. 9. 1. Модел утицаја температуре земљишта на микробиолошку активност	92
6. 9. 2. Модел утицаја температуре земљишта на дисање земљишта.....	94
6. 9. 3. Модел утицаја влажности земљишта на микробиолошку активност.....	96
6. 9. 4. Модел утицаја влажности земљишта на дисање земљишта	98
6. 9. 5. Модел утицаја микробиолошке активности на дисање земљишта.....	100

6. 9. 6. Максималне вредности температуре и влажности земљишта за оптималне активности дехидрогеназе	102
7. ДИСКУСИЈА	104
7. 1. Климатски фактори	104
7. 2. Бројност микроорганизама.....	104
7. 2. 1. Дискусија о броју микроорганизама из периода 2014–2017. године.....	107
7. 2. 1. 1. Актиномицете	107
7. 2. 1. 2. Бактерије	107
7. 2. 1. 3. Гљиве.....	108
7. 2. 1. 4. Упоредна дискусија и еколошки значај броја микроорганизама	108
7. 3. Дискусија о моделима утицаја свих истражених варијабли.....	109
7. 3. 1. Упоредна дискусија и значај модела.....	111
8. ЗАКЉУЧАК.....	113
Коришћена литература.....	116

1. УВОД

У земљишту живе различите врсте микроорганизама (бактерије, гљиве, алге, протозое, вируси и лишајеви) које својом активношћу учествују у разлагању органских и неорганских материја које доспевају у земљиште, синтези хумуса и минерализацији органске материје. Присуство микроорганизама у земљишту зависи од његовог хемијског састава, влаге, рН и структуре (Torsvik & Øvreås, 2002). Стога је важно пратити њихову бројност, као и активност ензима дехидрогеназе. Већа активност дехидрогеназе указује на већи интензитет дисања и интензивнију минерализацију свеже органске материје и хумуса (Nardi et al., 2000).

Најзначајније групе микроорганизама у земљишту јесу бактерије, актиномицете и гљиве, а главна маса микроорганизама налази се на дубини 10–30 cm земљишног профила (Тодоровић и сарадници, 1985). Бројност микроорганизама је различита и креће се од неколико десетина до неколико милиона по 1 g апсолутно сувог земљишта (Јарак и Чоло, 2007).

Највећи део ензима у земљишту је микробиолошког порекла. Њиховом активношћу врше се синтеза и минерализација органске материје. При томе, најважније је утврђивање активности ензима приликом дисања (дехидрогеназе), који у том процесу преносе водоник од донатора до акцептора. Трансформације и акумулације органске материје у земљишту у копненим екосистемама углавном се јављају у горњим слојевима земљишта (Zaietes and Poch, 2016). Nardi и сарадници (2000) дошли су до закључка да све материје које корен ослобађа у земљиште представљају коренске излучевине. Кроз излучивање различитих једињења корен мења хемијска и физичка својства земљишта, утиче на бројност и активност микроорганизама у земљишту, стимулише корисне симбиозе, инхибира развој компетитивних биљних врста. Већа активност дехидрогеназе указује на већи интензитет дисања и интензивнију минерализацију свеже органске материје и хумуса (Говедарица и Јарак, 1995).

Дисање земљишта представља процес у оквиру екосистема који ослобађа CO_2 из земљишта кроз дисање корена, микробиолошко разлагање остатака и органске материје у земљиште и дисање фауне. Као један од кључних процеса екосистема, дисање земљишта повезано је са продуктивношћу еколошког система, плодношћу земљишта и регионалним и глобалним циклусима угљеника. Пошто глобални циклус угљеника регулише климатске промене, дисање земљишта такође постаје релевантно за климатске

промене, размену угљеника и политику заштите животне средине. Дисање земљишта данас се проучава са мултидисциплинарног аспекта и предмет је интересовања за екологе, педологе, микробиологе и агрономе, али и за научнике атмосфере, биогеокемисте и креаторе политике.

Шуме се понашају као складиште угљеника када апсорбују више угљеника него што га ослобађају. Насупрот томе, шуме могу бити и извори угљеника када ослобађају више угљеника него што га апсорбују, што резултира укупном емисијом угљеника. Од 1990. године шуме у свету годишње из атмосфере уклањају око 30% глобалне емисије CO₂ због сагоревања фосилних горива, производње цемента и промене у коришћењу земљишта, нпр. крчење шума (Pan et al., 2011).

Климатске промене нису само научно питање већ и један од главних изазова човечанства. Да би се он решио, створене су пословне могућности за трговање угљеником на глобалном тржишту. Ово тржиште пружа подстицаје за смањење атмосферског CO₂ од стране земаља које желе да испуне своје обавезе у оквиру Кјото протокола, као и добровољне националне или регионалне јурисдикције изван Кјото протокола.

У прошлих десетак година на Фрушкој гори спроведена су бројна засебна истраживања земљишних карактеристика, микробиолошке активности и дисања земљишта, а при томе су још мерени сви релевантни климатски параметри (температура и влажност у ваздуху и земљишту). До сада није спроведено истраживање које би допринело бољем разумевању утицаја температуре и влажности земљишта на микробиолошку активност и дисање земљишта.

Због потенцијала шума да задрже и складиште значајну количину угљеника постоји могућност да шумарски сектор ублажи климатске промене. Стога је смањење извора шумског угљеника и повећање складиштења угљеника у шумама важан циљ као мера ублажавања ефекта климатских промена на националном, регионалном и континенталном нивоу.

На локалном нивоу, с обзиром на то да сви сценарији климатских промена указују на то да ће регион Војводине бити под јаким утицајем који ће значајно смањити квалитет земљишта, у овој докторској тези, преко развоја модела, показате се корелације истражених параметара и могуће мере адаптације у шумарству.

2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

2. 1. Ранија истраживања микробиолошке активности земљишта

Као станиште микроорганизама, земљиште представља важну и неизбежну карику у ланцу кружења материје и енергије у природи. Бактерије у земљишту су витална компонента микробне заједнице земљишта, а налазе се у свим слојевима земљишта, посебно у органским (О) и акумулационим (А) хоризонтима, где су изложене различитим факторима животне средине (Fraser et al., 2018; Chodak et al., 2014). Оне доприносе трансформацији органских једињења у облике које биљке могу искористити, чиме се повећавају плодност и здравље земљишта (Pan et al., 2025). Микробне интеракције са коренима биљака, као што су ендофите, олакшавају унос хранљивих материја, што указује на сложен однос који наглашава значај бактерија у промовисању здравља биљака и формирању структуре земљишта (Pan et al., 2025). Бројне студије су показале да се укупан број бактерија може користити као индикатор опште активности земљишта (Imberger and Chiu, 2002; Radivojević et al., 2003; Milošević et al., 2004; Jarak et al. 2005; Radivojević et al., 2007).

Актиномицете доприносе разградњи органске материје и играју виталну улогу у кружењу хранљивих материја, посебно кроз производњу екстрацелуларних ензима, који олакшавају разградњу сложених органских супстанци (Solanki et al., 2024). У шумским екосистемима актиномицете представљају мали али важан део бактеријске популације, често чинећи око 4,5% укупне микробне заједнице (Solanki et al., 2024). Утицајне су у побољшању здравља земљишта и одржавању еколошке равнотеже јер учествују у деградацији органских материјала и ослобађају есенцијалне хранљиве материје, које посебно доприносе основним процесима у животној средини (Jog et al., 2016). Њихов број је уско везан за састав и разноврсност околне вегетације, која служи као примарни регулатор карактеристика земљишта и микробних заједница (Solanki et al., 2024; Pan et al., 2025). Ензимске активности актиномицета, као што су дехидрогеназе, играју кључну улогу у биохемијским процесима земљишта (Jog et al., 2016). Сезонске варијације утичу на нивое активности актиномицета, при чему је повећана активност дехидрогеназе примећена током топлијих месеци. Актиномицете реагују синергистички са другим микроорганизмима у земљишту, укључујући гљиве и бактерије, на тај начин повећавајући доступност хранљивих материја и структуру земљишта. Способне су да разграђују

пектин и ксенобиотики, супстанце које су знатно отпорније на микробну деградацију (Radivojević et al., 2007).

На разноврсност и активност гљива у шумском земљишту утичу и биотички фактори, као што је састав биљне заједнице, и абиотички фактори, укључујући рН земљишта, влажност и температуру земљишта (Fraser et al., 2018; Deveau et al., 2018). Гљиве су суштински разлагачи у шумским екосистемима, разграђују сложене органске материје и олакшавају доступност хранљивих материја за биљке. Разлагачи су сапрофитне гљиве које мртву органску материју претварају у биомасу својих ћелија, угљен-диоксид, органске киселине итд. Сапрофитска група гљива је важна за имобилизацију и складиштење хранљивих материја у земљишту. Најбројније гљиве разлагачи у земљишту јесу следеће: *Penicillium*, *Aspergillus*, *Pleurotus*, *Mucor*, *Alternaria*, *Trichoderma*, *Fusarium*, *Rhizopus* и др. (Јарак и Чоло, 2007). Њихове опсежне мреже хифа омогућавају им да испуне веће запремине земљишта у поређењу са бактеријама, због чега могу да приступе и разграђују супстрате који су отпорни на бактеријску деградацију (Deveau et al., 2018; Pan et al., 2025). Ова способност не само да помаже у рециклирању хранљивих материја већ и доприноси стабилизацији органске материје у земљишту, што је од виталног значаја за одржавање здравља и плодности земљишта (Solanki et al., 2024).

Интеракције бактерија, актиномицета и гљива у шумском земљишту играју кључну улогу у повећању активности дехидрогеназе, која је важан показатељ микробне активности и здравља земљишта (Lin et al., 2012). Истраживања показују да ови микроорганизми не само да коегзистирају већ и учествују у сложеним интеракцијама које могу бити или синергистичке или антагонистичке, значајно утичући на биохемијске процесе земљишта и функције екосистема (Deveau et al., 2018). Интеракције гљива и бактерија значајни су покретачи функција екосистема јер су укључене у сложене односе који могу варирати од узајамности до антагонизма, што делује на динамику микробне заједнице и здравље земљишта (Deveau et al., 2018). Неколико параметара земљишта, као што су рН земљишта, влага и концентрација хранљивих материја, корелирају са индексима микробне разноврсности, који заузврат утичу на активност дехидрогеназе у земљишту (Solanki et al., 2024).

2. 1. 1. Ранија истраживања бројности микроорганизама у земљишту

Бројност микроорганизама у земљишту може се одређивати директним и индиректним методама (Jarak & Đurić, 2006).

Разлагање органске материје у земљишту, као оксидационо-редукциони процес, катализују ензими дехидрогеназе и у земљишту су најчешће микробног порекла. Дехидрогеназе су ензими који катализују реакцију одвајања водоника из различитих органских једињења и његовог преласка на кисеоник (аеробне дехидрогеназе) или на органска једињења (анаеробне дехидрогеназе). Одређена истраживања указују на то да се општа микробиолошка активност земљишта може проценити на основу активности дехидрогеназе (Jarak & Đurić, 2006). Активност ензима дехидрогеназе зависи од укупне физиолошке активности микроорганизама, при чему већа активност дехидрогеназе указује на већи интензитет минерализације органске материје у земљишту (Tabatabai, 1982; Benitez et al., 2004). Варијације у условима животне средине, посебно температуре и влажности ваздуха и земљишта, представљају главне узроке сезонских варијација у вредностима активности дехидрогеназе (Wolinska and Stepniewski, 2012).

Раније је спроведено неколико студија о својствима земљишта Војводине (Avdalović, 1972; Živković et al., 1979; Milanovskij et al., 1991; Košanin & Knežević, 2005; Knežević et al., 2011; Đorđević et al., 2016; Kuzmanović et al., 2024) и њиховој микробној активности (Hajnal-Jafari et al., 2016). Међутим, већина ових студија је спроведена на пољопривредним земљиштима (Tintor et al., 2006; Vasin et al., 2014; Marinković et al., 2020) и у виноградима (Gabechaya et al., 2024; Andreeva et al., 2025). Активност ензима дехидрогеназе је претходно истраживана у шумским земљиштима Националног парка „Фрушка гора”, а фокус је стављен на обиље микроба у земљишту и њихов утицај на дехидрогеназе у 2015. години, што је указало на директну пропорционалну корелацију микроорганизама у земљишту и активности дехидрогеназе (Семан В., 2016). Ипак, активност дехидрогеназе у шумском земљишту недовољно је проучавана и није размотрен утицај сезонских абиотичких варијација.

2. 2. Ранија истраживања о дисању земљишта

Дисање земљишта представља процес у екосистему приликом ког се ослобађа CO_2 из земљишта кроз кореново дисање, микробиолошко разлагање различитих остатака и органске материје у земљишта и дисање фауне. Реч *дисање*, добијена од латинског префикса *re-* (*назад, поново*) и коренске речи *spirare* (дисати), дословно значи да се поново и изнова удише. На тај начин се описује процес размене гасова између организма и животне средине. Физиолошки, дисање представља серију метаболичких процеса који разграђују (или катаболишу) органске молекуле како би ослободили енергију, воду и угљен-диоксид у ћелији. Сви живи организми – биљке, животиње и микроорганизми – деле сличне путеве респирације како би добили енергију која подстиче живот док ослобађа CO_2 .

Дисање земљишта дефинише се још и као производња угљен-диоксида од стране организама и биљних делова у земљишту. Ови организми су микроби и фауна у земљишту, а делови биљке су корени и ризоми у земљишту. Поред тога, земљиште се често дефинише као мешавина мртвих органских материја, ваздуха, воде и стена које подстичу раст биљака (Buscot, 2005). Стога је логично говорити о земљишту које може да дише. Дисање земљишта значи да жива биомаса у земљишту издваја CO_2 , а организми у земљишту од катаболизма органске материје добијају енергију за живот.

Дисање земљишта обично чини највећи део дисајног система екосистема, што представља збир дисања земљишта и дисања надземних делова биљака. Постоји изразит сезонски шаблон високе респирације земљишта током лета и ниске респирације у зимском периоду, који се грубо понавља у наредним годинама (Najdovski et al., 2025).

Дисање земљишта представља кључни део загонетке земаљског система. Да бисмо разумели како функционише земаљски систем, морамо схватити коју улогу респирација земљишта игра у регулисању концентрације атмосферског CO_2 и климатске динамике (Berger et al., 2010).

Циклус угљеника у екосистему обично се покреће када биљке фиксирају CO_2 из ваздуха и претворе га у органска једињења угљеника кроз фотосинтезу. Неки од састојака органског угљеника користе се за раст биљних ткива, док су други разграђени да биљкама дају енергију. Током овог процеса CO_2 се враћа у атмосферу кроз респирацију биљака, чија одрасла ткива обухватају лишће, стабљике и корење. Истовремено, CO_2 се враћа у

атмосферу кроз дисање микроорганизама. Жива микробиолошка биомаса помеша се са органским остацима мртвих биљака и мртвих микроба како би се формирала органска материја у земљишту (Soil Organic Matter – SOM, у даљем тексту: земљишна органска материја – ЗОМ). ЗОМ може складиштити угљеник у земљишту стотинама и хиљадама година пре него што се разгради до CO_2 у процесу дисања микроба.

Кроз циклус угљеника CO_2 се производи из биљне респирације (R_p) и микробиолошког дисања (R_m), које се јавља током разградње остатака и ЗОМ. Биљна респирација (R_p) назива се још и аутотрофно дисање, које се може поделити на надземно биљно дисање (R_a) и подземно биљно дисање (R_b). Стопа ефлукса мерена на површини земљишта (R_s) представља збир кореновог и микробиолошког дисања: $R_s = R_b + R_m$.

Дисање земљишта је повезано са продуктивношћу еколошког система, плодношћу земљишта и регионалним и глобалним циклусима угљеника. Оно је веома осетљиво на промене у околини. Сензитивност дисања земљишта због промена температуре представља критичан параметар у регулисању глобалног угљеничног баланса. Резултати сезонских мерења указују на корелацију брзине земљишног дисања и повећања температуре (Raich and Schlesinger, 1992). Очекује се да ће глобално загревање стимулисати дисање земљишта и смањити садржај укупног угљеника у екосистемима на планети.

Дисање земљишта у великој мери зависи од времена и простора. Просторне и временске варијације у дисању земљишта резултат су варијација варијабли околине, биохемијских процеса респирације и транспортних процеса гаса CO_2 . Висок степен просторне и временске варијабилности у дисању земљишта не само да узрокује грешке у мерењима (Parkin and Kaspar, 2004) већ и отежава екстраполацију мерних тачака за процену регионалног и глобалног угљеничног биланса (carbon budget) (Law et al, 2001, Tang et al, 2005).

Раније је спроведено неколико истраживања о дисању шумских земљишта на Фрушкој гори (Јанковић и Стефановић, 1969; Стефановић, 1985; Pilipović et al., 2011; Najdovski et al., 2025). Према истраживању Јанковић и Стефановић (1969), у погледу сезонске динамике продуковања CO_2 , изразито је велико излучивање овог гаса у јуну и јулу, а након тога следи велики пад у августу, да би се потом у септембру опет повећало излучивање, док од октобра наступа нова депресија. Даље, исти аутори закључују да је излучивање CO_2 веће у току ноћи. Стефановић (1985) открива да земљиште игра значајну

улогу у процесима стварања CO_2 , тј. да је у јаче лесивираним земљиштима интензитет издавања CO_2 слабији у односу на кисело смеђе земљиште. Истраживање Пилиповића (2011) показало је значајне дневне варијације у дисању земљишта, које сразмерно прате температуру ваздуха и земљишта, као и садржај воде у земљишту. Поред тога, аутор закључује да влажност земљишта има мањи утицај на годишње варијације у дисању земљишта, али да је сезонски утицај влажности земљишта веома изражен од јула до септембра, када се дисање земљишта смањује. Дисање земљишта је у нелинеарној корелацији са садржајем воде у земљишту и највећи интензитет дисања забележен је при $0,25 \text{ m}^3/\text{m}^3$, док су вредности дисања земљишта при већем или мањем садржају воде у њему биле мање. Према овом истраживању, интензитет дисања земљишта већи је у мешовитим састојинама него у састојинама које чини само једна врста дрвећа.

2. 3. Опште карактеристике Фрушке горе

Географски положај, величина масива и врло развијен рељеф, геолошко-петрографска и педолошка, као и макроклиматска и микроклиматска разноврсност, уз богату палеоботаничку и синдинамску прошлост учинили су планину Фрушку гору еколошки и вегетацијски веома сложеним системом.

2. 3. 1. Географски опис и положај Фрушке горе

Планина Фрушка гора налази се између $45^{\circ} 0'$ и $45^{\circ} 15'$ северне географске ширине и између $16^{\circ} 37'$ и $18^{\circ} 01'$ источне географске дужине, у јужном делу Панонске низије, између реке Дунав на северу и реке Саве на југу. Дужина планине је 75 km, а највећа ширина је 15 km, те је један од најдужих планинских ланаца у нашој земљи. У геоморфолошком смислу, Фрушка гора представља целину која везује славонске планине на северозападу са шумадијским планинама на југоистоку. Главни гребен са правцем пружања исток – запад јасно раздваја ову планину на два основна слива: Савски и Дунавски. У морфолошком смислу могу се издвојити две рељефне целине: фрушкогорски планински масив и околна лесна зараван (Просторни план, 2019).

Национални парк „Фрушка гора” је фрагментарна целина (Просторни план, 2019) и састоји се из пет већих (Централни масив, Липик, Ворово, Надош и Опаљеник) и 19 мањих комплекса (Чортановачка шума, Курјаковац 1, Курјаковац 2, Крушедолски пашњак, Нерадински до, Лединци – Старо Село, Врдник колонија, Јазачки пашњаци, Реметски до, Манђелошки пашњаци, Лежимирски пашњаци, Косаниште, Куњат, Аде и спрудови – Бразилија, Черевихке ливаде – Липска страна, Милованово брдо, Дангуба, Марков до и Шидско Церје). Највећи део националног парка налази се унутар Централног масива. Подручје Националног парка „Фрушка гора” простире се између $45^{\circ} 03' 23''$ и $45^{\circ} 13' 34''$ северне географске ширине и $19^{\circ} 11' 45''$ и $20^{\circ} 03' 13''$ источне географске дужине (План управљања, 2019.).

Постојећа граница Националног парка „Фрушка гора” утврђена је Законом о националним парковима („Сл. гласник РС”, број 84/15), а истим законом одређене су и границе режима заштите унутар националног парка, као и границе заштитне зоне. Национални парк „Фрушка гора” простире се на деловима територија: града Новог Сада – општина Петроварадин, града Сремске Митровице, општина Бачка Паланка, Беочин,

Инђија, Ириг, Сремски Карловци и Шид, у оквиру 45 катастарских општина: Беочин, Черевих, Раковац, Баноштор, Свилош, Грабово, Сусек, Луг, Шид, Привина Глава, Моловин, Ђипша, Сот, Љуба, Беркасово, Ердевик, Бингула, Нештин, Визић, Лежимир, Манђелос, Бешеново Прњавор, Шуљам, Чалма, Дивош, Гргуревци, Ириг, Врдник, Гргетек, Велика Ремета, Нерадин, Јазак Прњавор, Мала Ремета, Крушедол Прњавор, Лединци, Сремска Каменица, Петроварадин, Буковац, Сремски Карловци, Чортановци, Инђија, Стари Сланкамен, Нови Сланкамен, Љуково и Крчедин (Просторни план, 2019).

Проглашењем за национални парк, уз просторно дефинисање граница парка, утврђена је просторна целина површине 25.548 ha, од чега је у државном власништву 24.391 ha (План управљања, 2019).

2. 3. 2. Природне карактеристике Фрушке горе

2. 3. 2. 1. Орографске карактеристике

Фрушка гора је ниска планина са више геоморфолошких целина и доминира рељефом Срема и Војводине. Рељеф је специфичног сочивастог облика, а главни гробен са правцем пружања исток – запад (дужине око 75 km и ширином око 15 km) јасно раздваја ову планину на два основна слива: Савски и Дунавски (План управљања, 2019).

На истоку и северу Фрушка гора ограничена је алувијалном равни реке Дунав, а на југу и западу уоквирена Сремском лесном заравни. Највиши врх је Црвени чот (539 m н. в.) и изражене су четири терасе на вертикалном профилу овог планинског ланца: од 450 до 539 m надморске висине, од 380 до 400 m надморске висине, од 310 до 360 m надморске висине и од 180 до 250 m надморске висине. Од највиших делова терен се периклинално спушта образујући терасе које су одвојене стрмим одсецима на северној страни и нешто блажим на јужној страни. Геолошку подлогу у овом делу профила чине: шкриљци, филити, серпентини, периодити, кристаласти шкриљци, андезити, дацити. (Просторни план, 2019). Ниске падине најчешће су покривене лесом, а виши положаји језерско-маринским наслагама. Ниже положаје карактеришу лесне заравни на холоценом и плеистоценом лесу, које на најнижим положајима чини барски лес. Положаје уз речне токове одликују алувијалне равни. Поред Црвеног чота, значајни врхови јесу: Змајевац (453 m н. в.), Велики Градац (471 m н. в.), Венац (451 m н. в.) и Стражилово (321 m н. в.). На јужној страни, чија је основна карактеристика блажа изломљеност терена, лесне заравни издељене су ужим долинама и потоцима који се благо спуштају ка сремској равници. Изражен рељеф

комплекса Фрушке горе овом подручју даје посебну естетску вредност, а тиме је знатно увећан ранг вредности природне опремљености шуме за рекреацију. У том контексту посебну вредност представљају видиковци који пружају пун доживљај пејзажа са северне и јужне стране националног парка дубоко у војвођанску равницу (План управљања, 2019).

2. 3. 2. 2. Едафске карактеристике Фрушке горе

2. 3. 2. 2. 1. Геолошке карактеристике

Подручје планине Фрушке горе има изузетно богат геолошки диверзитет, који је углавном резултат процеса сучељавања различитих тектонских јединица. Планина Фрушка гора представља хорстовску форму насталу у палеозоику. Геолошку подлогу чине: шкриљци, филити, серпентини, периодити, кристаласти шкриљци, андезити, дацити. Ниске падине најчешће су покривене лесом, а виши положаји језерско-маринским наслагама. Ниже положаје карактеришу лесне заравни на холоценом и плеистоценом лесу које на најнижим положајима чини барски лес. Положаје уз речне токове одликују алувијалне равни (Djordjevic et al. 2016; Košanin & Knežević, 2006).

Ова планина је током своје дуге геолошке прошлости пролазила кроз различите динамичке процесе праћене вулканском активношћу. Сprovedена бројна и разноврсна геолошка истраживања указују на јасни ток природних промена на овом простору од пре око 500 милиона година. Фрушка гора се постепено уздиже, за разлику од већине околних тектонских блокова, који милионима година тону и с временом их прекривају млађи седименти. На геолошку разноврсност Фрушке горе знатно је утицао и вулканизам. Неколико фаза вулканске активности оставило је трага у геолошкој историји Фрушке горе, пре свега, у виду наслага туфова и вулканских ефузија, а све се то дешава у геолошкој епохи креде, палеогена, доњег и средњег миоцена. Појава туфова, стена које су настале таложењем вулканског пепела у широј околини Врдника, указује на то да је ове крајеве потресала ерупција подводних вулкана. (Hadžić et al., 2005).

На подручју Фрушке горе налази се већи број лежишта различитих минералних ресурса, неметала и угља. Угаљ се не експлоатише, за разлику од неметала, јединих сировина које се експлоатишу на овом простору: цементни лапорци, кречњаци, доломити, пешчари, трахит, магнезит, песак, азбест итд. (План управљања, 2019).

2. 3. 2. 2. 2. Земљишне карактеристике

У складу са разноврсном геолошком подлогом и израженим флорногеографским и климатским разликама, и типови земљишта веома су различити, а према Јовићу и Кнежевићу (1990), у шумама Фрушке горе јављају се следећа земљишта: иницијална земљишта (сироземи), рендзине и парарендзине, хумусно-силикатно земљиште (ранкер), чернозем (карбонатни, еродирани, заруђени и огађњачени), гајњаче и кисело смеђе земљиште.

Иницијална земљишта (сироземи) представљају неразвијена земљишта на растреситим продуктима распадања стеновите подлоге, која је уситњена. Развијена су на глинама, пешчарима и лесу. Претежно се користе за виноградарску производњу.

Рендзине Фрушке горе су релативно плитка земљишта, неповољног водног режима, што је последица њихове пропустљивости. Парарендзине су распрострањеније од рендзина и јављају се на карбонатно-силикатним подлогама (лесу и лапорцу). По правилу су карбонатне. Рендзине се обично користе као слаби пашњаци, а парарендзине као воћарско-виноградарско земљиште.

Ранкери се срећу на врло малом простору Фрушке горе и немају великог значаја јер су то плитка земљишта, врло ниске производне способности, чак и за шумарство.

Гајњаче припадају групи смеђих земљишта која се образују под утицајем листопадне шумске вегетације, најбоље на благо валовитом терену. Потенцијална плодност гајњаче је врло висока.

У нижим и равнијим деловима преовлађују земљишта типа чернозема и алувијума различитог састава.

Черноземи се сматрају производно најбољим земљиштима и карактеристични су за равничарска подручја. Постоје многи подтипови чернозема и сви су углавном врхунског квалитета.

Алувијуми су настали као речне плавине, у овом случају као плавине Дунава, због чега су често различитог механичког састава. Најчешће су то земљишта врхунских производних могућности.

2. 3. 2. 3. Хидрографске карактеристике

Планину Фрушку гору карактерише веома густа и релативно правилно распоређена хидрографска мрежа, са великим бројем водотока који су основним планинским гребеном раздвојени у два слива: Савски и Дунавски, а они обухватају читав низ мањих сливова. Површинске воде чине извори, врела, густа речна мрежа, баре и вештачка језера. Хидрографија ове планине резултат је релативно велике количине падавина, геолошког састава и већег броја сталних извора (План управљања, 2019).

Бројност потока на главном планинском венцу утицала је на површинску ограниченост њихових сливова, због чега се истиче значај сталних извора. Источни и западни ниски огранци планине Фрушке горе хидрографски се разликују од била. Ове области су сиромашне водом, што је последица промене у надморској висини, геолошком саставу, годишњој количини падавина и вегетацији. За разлику од главног венца, који је богат водом, источни гребен је изразито безводан крај.

Северне падине обилују дубоким долинама у горњим и средњим токовима, док су у доњим токовима долине проширене и граде уске долирске равни. Најдужи потоци и реке налазе се на северној падини Фрушке горе, јер се са венца издужене планинске косе понегде спуштају све до обале Дунава. Што се јужних падина тиче, само изворишни делови потока припадају области Фрушке горе и имају дубоке и изразите долине без долирских равни; поточне долине се проширују преко лесних заравни и полако губе свој карактер. Потоци јужне падине знатно су краћи у односу на потоке северне падине, пошто релативну висину била Фрушке горе смањује Сремска лесна зараван. Већина ових потока (и северне и јужне падине) врши интензивну дубинску ерозију терена.

Када је реч о водном режиму, фрушкогорски потоци носе највеће количине воде у рано пролеће и у касну јесен. Највише потока пресушује средином лета и остаје такво до средине јесени. Крај зиме представља други период и тад је количина воде мала, али потоци не пресушују. Ова колебања водостаја у поточима не подударају се са годишњом расподелом падавина.

Највећи број водотока има сталну воду преко читаве године, а велики број је несталног карактера (бујичног) и активан је само у време великих киша. При ниским водостајима, посебно на јужној страни, протицање воде је врло споро и у доњим

токовима има карактер забарених и запушених канала. Према Катастру бујичних токова Фрушке горе (1987. год.) ка реци Сави гравитира 17 мањих или већих речица и потока (сливова), а ка реци Дунаву 39 потока и поточића (односно њихових сливова). У Катастру извора на Фрушкој гори је регистровано 187 извора, од чега се 115 налази у Дунавском сливу, а 72 у Савском. Многи од регистрованих извора располажу чистом и питком водом, а од укупног наведеног броја доста њих је каптирано (уређено).

2. 3. 2. 4. Климатске карактеристике

Климатске карактеристике планине Фрушке горе условљене су њеним географским положајем (географска ширина, рељеф – Панонска низија) и рељефом (правац пружања, надморска висина, изглед рељефа). Подручје Фрушке горе налази се на граници простирања умерено континенталне климе, а због промена климатских карактеристика дуж висинског градијента и утицаја шумског покривача овде клима има супконтиненталне карактеристике. Међутим, Фрушка гора својим положајем, обликом и вегетацијом утиче на стварање специфичне локалне климе, која се донекле разликује од климе околних подручја. Интересантно је поменути да, иако је Фрушка гора ниска планина, како се висина повећава, клима постаје све влажнија и хладнија, тако да на гребенима има одлике планинске климе са хладнијом зимом и свежијим летом (Milosavljević et al., 1973; Бабић, 2015).

Разлике у температурама и количини падавина између подножја и врха Фрушке горе првенствено су последица промене надморске висине. Код просечних вредности температуре за област Фрушке горе може се видети да је најнижа средња вредност температуре ваздуха у јануару ($-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$), а највиша је у јулу ($21,4\text{ }^{\circ}\text{C}$). Вредност средње годишње температуре области Фрушке горе износи $11,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температуре изнад $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ трају од раног пролећа до касне јесени, тачније у Сремским Карловцима од априла до новембра, а на гребену Фрушке горе од маја до новембра (Основа газдовања шумама ГЈ „Поповица – Мајдан – Змајевац”, 2017).

Подручје Фрушке горе представља подручје најбогатије падавинама у Војводини. Средња годишња количина падавина на овој планини износи око 661 mm, од чега око 58% падне у вегетационом периоду. Степен релативне влажности ваздуха углавном је осредњи (76%). Највлажнији месеци су мај и јун, а најсувљи септембар и октобар; други максимум падавина јавља се у децембру. Мањак влаге у земљишту на

подручју Фрушке горе траје од јула до октобра. Вишак воде у земљишту на истраживаном подручју јавља се у хладнијем делу године, од јануара до априла, и износи 14,1% годишње количине падавина. На подручју Фрушке горе преовладавају западни ветрови, који су врло чести целе године, а затим следе ветрови из правца запад – југозапад. Веома су чести и ветрови из југоистока и чешће се јављају у јесен, пролеће и зиму, а ређе током лета. Ветрови из правца југ – југоисток и југ – југозапад овде су веома ретки (План управљања, 2019).

2. 3. 2. 5. Шумске састојине

Богата и разноврсна шумска вегетација Фрушке горе припада разреду *Quercus-Fagetea* Br.-Bl & Vieger 1937. и сврстана је у два реда: *Quercetalia pubescentis* J. Br.-Bl.&G.Br.-Bl. 1931. и *Fagetalia sylvaticae* Pawlowski, с већим бројем свеза, подсвеза, асоцијација, географских варијаната и субасоцијација (Tomić & Rakonjac, 2013).

Шумске заједнице су мешовитог или чистог састава. Монодоминантне шуме граде китњак, буква и понегде липа или граб, док у грађу дводоминантних шума најчешће улазе липа и буква, а ређе граб и китњак (Cvjetićanin et al., 2005). Ретке су чисте букове, као и чисте грабове шуме (Основа газдовања шумама ГЈ „Поповица – Мајдан – Змајевац”, 2017). Климарегионални тип шуме на Фрушкој гори је шума китњака и граба са костриком *Aculeato-Quercus-Carpinetum* из савеза *Carpinion betuli illyrico-moesiacum*, која стога заузима и највеће површине. Поред ње, у вегетацији листопадних шума (*Quercus – Fagetea*) значајно место имају и заједнице букве и липе – *Tilio-Fagetum submontanum* из савеза *Fagion moesiaca* (Stefanović, 1977; Jović et al., 1991; Томић, 2013).

На основу синтезе досадашњих истраживања, геолошког, педолошког, фитоценолошког и типолошког карактера, на подручју Националног парка „Фрушка гора” дефинисани су следећи типови шума:

Табела 1. Типови шума (План развоја шума, 2015).

ТИПОВИ ШУМА		P (ha)	%
11	Тип шуме барске иве (<i>Salicetum cinareae</i>) на алфа – и алфа/бета – глеју	6,38	0,0
12	Тип шуме беле врбе (<i>Salicetum albae</i>) на бета – глеју	37,45	0,2
14	Тип шуме беле врбе са остругом (<i>Rubeto-Salicetum albae</i>) на гама – глеју	92,78	0,4
35	Тип шуме беле и црне тополе (<i>Populetum albo-nigrea</i>) на алувијалном наносу	82,84	0,4
83	Тип шуме топола на алувијалном семиглеју и флувисолу	200,98	0,9
111	Тип шуме лужњака, граба и јасена (<i>Caprino-Fraxino-Quercetum roboris inundatum</i>) на алувијалном смеђем земљишту у плавном подручју	141,08	0,6
135	Тип шуме лужњака, граба и цера са липом (<i>Carpino – Quercetum roboris tiliatesum</i>) на гајњачи до лесивираној гајњачи	2.509,71	11,2
138	Тип шуме лужњака и граба у терестричним условима (ван речног полоја) (<i>Tilio-Carpino-Quercetum roboris</i>) у долинама на делувијуму	588,75	2,6
139	Тип шуме лужњака, граба и цера са липама (<i>Tilio-Carpino-Quercetum robori-cerris pauperum</i>) на парарендзини, огајњаченој парарендзини и хумусној гајњачи	1.356,65	6,0
144	Тип шуме лужњака, граба и цера са липама у долинама већих надморских висина (<i>Tilio-Carpino-Quercetum robori-cerris collinum</i>) на деливијуму	659,70	2,9
201	Тип шуме различитих храстова и граба (<i>Carpino-Polyquercetum typicum</i>) на интервалу земљишта од дубоке парарендзине на лесу до лесивиране гајњаче	630,26	2,8
221	Тип шуме различитих храстова и граба са буквом (<i>Carpino-Polyquercetum fagetosum</i>) на интервалу земљишта од парарендзине на лесу и лапорцу до хумусних гајњача и смеђих земљишта на лапорцима	866,17	3,9
246	Тип шуме китњака, граба и цера (<i>Carpino-Quercetum petraeae-cerris typicum</i>) на интервалу земљишта од парарендзине на лесу и лапорцу до лесивиране гајњаче	738,15	3,3

261	Тип шума китњака и граба са лазаркињом (<i>Quercus – Carpinetum asperulosum</i>) на гајњачи до лесивираној гајњачи и лесивираном смеђем земљишту на серпентиниту	609,05	2,7
263	Тип шуме китњака и граба са клокочињом (<i>Quercus-Carpinetum staphyletosum</i>) на киселом смеђем до лесивираном киселом смеђем земљишту	766,89	3,4
265	Тип шуме китњака и граба малих надморских висина (<i>Quercus-Carpinetum hygrophyllum</i>) на различитим земљиштима	114,30	0,5
342	Тип шуме цера на заравни (<i>Quercetum cerris typicum</i>) на чернозему и гајњачи до лесивираној гајњачи	365,48	1,6
371	Тип шуме различитих храстова са црним јасеном (<i>Orno-Polyquercetum</i>) на слабо развијеним земљиштима на кречњацима и базичним силикатним стенама	383,14	1,7
372	Тип шуме различитих храстова са црним јасеном (<i>Orno-Polyquercetum</i>) на киселим смеђим земљиштима	104,83	0,5
381	Тип шуме цера и крупнолисног медунца на нагибима (<i>Quercetum cerris-virgilianae xerphyllum</i>) на интервалу земљишта од парарендзина на лесу до рендзина и плићких смеђих земљишта на лапорцима, лапоровитим кречњацима и доломитима	1.319,83	5,9
383	Тип шуме цера и крупнолисног медунца на платоима (<i>Quercetum cerris-virgilianae typicum</i>) на интервалу земљишта од дубоких парарендзина на лесу до плићких лесивираних гајњача	549,07	2,4
401	Тип шуме медунца и крупнолисног медунца (<i>Orno-Quercetum pubescentis-virgilianae typicum</i>) на интервалу земљишта од парарендзина на лесу и лапорцима до смеђих земљишта на лапорцима и лапоровитим кречњацима	215,69	1,0
433	Тип шуме грабића са храстовима (<i>Carpino orientalis-Polyquercetum</i>) на скелетном смеђем земљишту	91,07	0,4
461	Тип шуме китњака и цера са богатим спратом жбуња (<i>Quercetum petraea-cerris galietosum</i>) на рендзинама, парарендзинама, посмеђеним парарендзинама, плитким еутричним смеђим земљиштима и гајњачама	455,13	2,0
462	Тип шуме китњака и цера са сладуном (<i>Quercetum petraeae-cerris fernetosum</i>) на лесивираним киселим смеђим земљиштима	1,11	0,0
463	Тип шуме китњака и цера (<i>Quercetum petraeae-cerris typicum</i>) на лесивираним гајњачама и бескарбонатном делувијуму	383,73	1,7

465	Тип шуме китњака и цера (<i>Quercetum petraea-cerris pauperum</i>) на киселим смеђим и лесивираним киселим смеђим земљиштима	434,73	1,9
481	Тип шуме китњака (<i>Quercetum montanum typicum</i>) на киселом смеђем земљишту	325,56	1,5
482	Тип шуме китњака (<i>Quercetum montanum typicum</i>) на киселом смеђем и лесивираном киселом смеђем земљишту	2.203,60	9,8
484	Тип шуме китњака (<i>Quercetum montanum carietetosum pilosae</i>) на гајњачи до лесивираној гајњачи	1.184,06	5,3
485	Тип шуме китњака (<i>Quercetum montanum serpentinicum</i>) на лесивираном смеђем земљишту на серпентиниту	118,25	0,5
601	Тип шуме букве и китњака (<i>Quercus-Fagetum typicum</i>) на гајњачи до лесивираној гајњачи и еутричним смеђим до лесивираним еутричним смеђим земљиштима	1.672,50	7,5
602	Тип шуме букве и китњака (<i>Quercus-Fagetum typicum</i>) на киселом смеђем и лесивираном киселом смеђем земљишту	2.563,72	11,4
603	Тип шуме букве и китњака (<i>Quercus-Fagetum caricetosum silvaticae</i>) на бескарбонатном делувијуму	200,07	0,9
631	Тип брдске шуме букве (<i>Fagetum moesiacaе submontanum typicum</i>) на киселом смеђем до лесивираном киселом смеђем земљишту	258,57	1,2
632	Тип брдске шуме букве са јаворима (<i>Fagetum moesiacaе submontanum aceretosum</i>) на делувијуму	213,71	1,0
Укупно		22.444,99	100,0

3. РАДНА ХИПОТЕЗА

У прошлих десетак година на Фрушкој гори спроведена су бројна засебна истраживања земљишних карактеристика, микробиолошке активности и дисања земљишта, при томе су још мерени сви релевантни климатски параметри (температура и влажност у ваздуху и земљишту). До сада нема истраживања које би допринело бољем разумевању утицаја температуре и влажности земљишта на микробиолошку активност и дисање земљишта.

Због потенцијала шума да задрже и складиште значајну количину угљеника постоји могућност да шумарски сектор ублажи климатске промене. Стога смањење извора шумског угљеника и повећање складиштење угљеника у шумама представља важан циљ као меру ублажавања ефекта климатских промена на националном, регионалном и континенталном нивоу.

Сви сценарији климатских промена указују на то да ће регион Војводине бити под јаким утицајем који ће значајно смањити приносе. Очекује се да абиотички и биотички фактори утичу на интензитет активности дехидрогеназе и дисање у шумском земљишту.

Предмет истраживања ове докторске дисертације јесте одређивање степена утицаја температуре и влажности земљишта на микробиолошку активност и дисање земљишта на једној биолошкој тачки у НП „Фрушка гора” анализом прикупљених података и израда модела микробиолошке активности и дисања земљишта.

Ова докторска теза показује корелацију истражених параметара и могуће мере адаптације у шумарству преко утврђивања модела утицаја: температуре земљишта на микробиолошку активност (активност ензима дехидрогеназе) и на дисање земљишта, влажност земљишта на микробиолошку активност (активност ензима дехидрогеназе) и на дисање земљишта и комбиновани модел зависности микробиолошке активности и дисања земљишта.

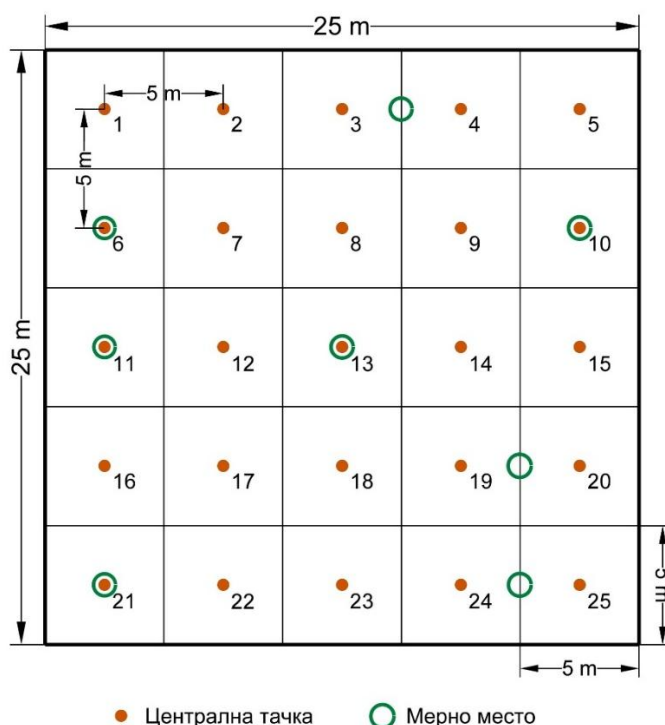
4. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Циљ истраживања јесте одређивање интеракције абиотичких фактора (клима) и биотичких фактора (бактерије, актиномицете и гљиве) у земљишту шумске заједнице *Quercetum montanum typicum* у НП „Фрушка гора” и утврђивање њиховог утицаја на активност ензима дехидрогеназе и дисање земљишта. То ће се извести анализом специфичних података са локалитета као што су: температура и влажност ваздуха и земљишта, број бактерија, актиномицета и гљива, интензитет дехидрогеназне активности и дисање земљишта у периоду од четири године.

5. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

5. 1. Начин избора, величина и конструкција узорка

У описаној састојини постављена је огледна површина димензија 25 x 25 m која је подељена на поља димензија 5 x 5 m. У центру сваког поља димензије 5 x 5 m означено је укупно 25 тачака, од којих су на осам репрезентативних тачака вршена континуирана мерења микробиолошке активности и дисања земљишта, од маја до септембра у периоду 2014–2017. године (Слика 1). Огледно подручје је ограђено и обезбеђено од људских прилаза.



Слика 1. Скица огледног поља

Дисање и температура земљишта одређени су апаратом ADC BioScientific Ltd. LCpro+, а влажност земљишта помоћу цилиндара по Копецком. Мерене су температуре и влажност ваздуха на 30 cm и 200 cm изнад земље, као и температура и влажност земљишта на 15 cm дубине.

На истим репрезентативним тачкама одређивана је и микробиолошка активност земљишта и узети су узорци земљишта за утврђивање бројности микроорганизама у 1 g апсолутно сувог земљишта (просушено 24 часа на 105 °C) и активности ензима дехидрогеназе.

5. 2. Микробиолошка активност

У оквиру микробиолошке активности одређена је укупна бројност бактерија, актиномицета, гљива, целулолитичких микроорганизама (бактерије, актиномицете и гљиве) и активност ензима дехидрогеназе. Анализе су урађене у Лабораторији за микробиологију Департмана за ратарство и повртарство Пољопривредног факултета у Новом Саду (Србија).

5. 2. 1. Одређивање бројности испитиваних група микроорганизама у земљишту

Бројност испитиваних група микроорганизама одређена је индиректном методом агарних плоча (Jarak & Đurić, 2006).

5. 2. 1. 1. Метода агарних плоча

Бројност микроорганизама одређена је засејавањем 0,5 ml суспензије земљишта на селективне хранљиве подлоге за испитиване група микроорганизама. Засејане подлоге су инкубиране на 28°C, а након истека времена инкубације избројане су израсле колоније и одређена је бројност испитиваних група микроорганизама. Све анализе рађене су у три понављања.

Узорак земљишта који се користио за припрему разређења сушен је на 105 °C четири сата како би се израчунала апсолутно сува маса земљишта јер се број микроорганизама изражава на 1 g апсолутно сувог земљишта према формули (Jarak & Đurić, 2006):

$$N \text{ (CFU/g сувог земљишта)} = a * b * c / d$$

где су:

N – број микроорганизама у 1 g апсолутно сувог земљишта,

a – просечан број колонија израслих на засејаним Петријевим посудама,

b – коефицијент корекције на 1 ml (2 – јер је засејавање вршено са 0,5 ml),

c – разређење којим је извршено засејавање,

d – маса једног грама апсолутно сувог земљишта из кога је извршено засејавање.

Узорак земљишта разређен је у физиолошком раствору. Бројност микроорганизама одређена је методом децималног разређења, од 10^{-1} до 10^{-7} , засејавањем одговарајућег разређења земљишта на селективне хранљиве подлоге за следеће групе микроорганизама:

1. укупан број бактерија на земљишном агару;
2. број гљива на подлози по Чапеку;
3. број актиномицета на синтетичком агару;
4. бројност целулолитских микроорганизама (бактерија, гљива и актиномицета) на подлози по Waksman-Carey.

Колоније израсле на селективним хранљивим подлогама су пребројане и прерачунате на милилитар испитиваног супстрата по формули: $N = a * b * c$, а затим је бројност микроорганизама прерачуната на 1 g апсолутно сувог земљишта. Добијени подаци су обрађени статистички.

5. 2. 1. 2. Укупан број бактерија

Укупан број бактерија одређен је на агаризованом земљишном екстракту (Poshon and Tardieux, 1962). Засејавање је вршено стерилном пипетом са 0,5 ml суспензије земљишта из 10^{-7} разређења, у празну Петријеву посуду и преливено са 10 ml растопљеног земљишног агара уз лагано ротирање кутије. Засејана подлога је инкубирана у термостату на 28 °C пет дана. Након тог периода пребројане су израсле колоније.

5. 2. 1. 3. Бројност гљива

Бројност гљива одређена је на Czapek-Dox подлози. Засејавање је вршено стерилном пипетом са 0,5 ml суспензије земљишта из 10^{-4} разређења у празну Петријеву посуду и преливено расхлађеном отопљеном Czapek-Dox подлогом. Инкубација је трајала пет дана на 28 °C и након тог периода пребројане су израсле колоније.

5. 2. 1. 4. Бројност актиномицета

Број актиномицета је одређен на синтетичкој подлози по Красиљникову (1965).

Разређење за засејавање одређује се према типу земљишта, то је најчешће 10^{-5} (Јарак & Ђурић, 2006). Засејавање је вршено стерилном пипетом са 0,5 ml суспензије земљишта из 10^{-4} разређења и преливено са око 20 ml отопљене подлоге. Инкубација је трајала 7 дана на 28 °C. Након тог периода пребројане су израсле колоније, које су компактне, обрасле танким мицелијама, а многе су и пигментисане.

5. 2. 1. 5. Бројност целулолитских микроорганизама

Укупан број целулолитских микроорганизама одређен је на чврстој хранљивој подлози по Waksman-Carey.

Ова подлога се разликује од претходно споменутих због употребе филтер-папира, који је потребан као извор угљеника за целулолитске микроорганизме. Прво се један слој хранљиве подлоге разлије у стерилне Петријеве посуде, па се преко њега ставља стерилан филтер-папир када се хранљива подлога охлади. Стерилном пипетом се наноси 0,5 ml суспензије из 10^{-4} разређења земљишта преко целе површине филтер-папира. Након засејавања филтер-папир преливен је отопљеном подлогом. Инкубација је трајала 21 дан на 28 °C, након чега су пребројане израсле колоније. Израсле су колоније жуте и наранчасте боје, као и колоније гљива.

5. 2. 2. Одређивање дехидрогеназне активности земљишта

Активност ензима дехидрогеназе одређена је спектрофотометријском методом по Lenhard (1956), модификованој по Thalmann (1968). Ова метода се заснива на способности ензима дехидрогеназе (*DHA*) да водоник са супстрата преноси на безбојни *TTC* (1,3,5 трифенилтетразолијум-хлорид), при чему га редукује и преводи у црвено обојени *TPF* (трифенил-формазан). Активност дехидрогеназе одређује се на основу мерења интензитета црвене боје *TPF*-а.

Поступак за одређивање *DHA* почиње просејавањем сувог земљишта кроз сито, а затим се мери 10 g земљишта и ставља се у тамне флашице од 100 ml. У флашицу се

дода 10 ml 0,5% раствора *TTC* у трис-пуферу, промеша и инкубира 24 часа у термостату на 30 °C. На инкубацију се ставља и контролни узорак (слепа проба), који садржи само раствор *TTC* у трис-пуферу, без земљишта. Након инкубације у узорке и у контролу дода се 40 ml раствора за екстракцију да би се екстраховао *TPF*, промућка се и инкубира још два сата на собној температури и затим се профилира. Запремина филтрата треба да је идентична запремини раствора који се користе за прављење стандардне криве. Очитавање се врши тако што се у једну кивету сипа слепа проба, а у остале три филтрат. Најпре се слепа проба стави на таласну дужину од 546 nm и скала се подеси на 0 (тако се изврши корекција измерених вредности за узорак). Након тога се очитава интензитет црвене боје – екстинкција узорка. Очитане вредности се упоређују са очитаним вредностима на стандардној криви. Активност дехидрогеназе се изражава у $\mu\text{g TPF}$ на g земљишта.

5. 3. Дисање земљишта

Мерење дисања земљишта изведено је помоћу преносног апарата за измену гасова ADC LCPro+, који се најчешће користи за одређивање интензитета фотосинтезе и транспирације у биљкама, с тим што се на апарат уместо коморе за одређивање фотосинтезе ставља комора за мерење дисања земљишта (Pilipović et al., 2014., Knežević et al., 2011).

Мерење дисања земљишта се овим уређајем изводи по принципу „отвореног система”, где се за сваку анализу доводи нов спољашњи ваздух у комору. Поступак мерења је извршен на следећи начин: на тачки на којој је планирано мерење уклони се евентуална вегетација и неразграђено опало лишће и стави комора за мерење дисања земљишта. Ради што мањег поремећаја земљишта комора је била утиснута у земљу максимално 1 cm, зависно од растреситости земљишта. Приликом мерења инструмент бележи податке о евапорацији H_2O , дисању земљишта и температури ваздуха у комори. Након постављања коморе на тачку сачекано је да се параметри стабилизују и потом је извршено мерење. Једнодневна мерења су извршена у току преподнева од маја до септембра, са размаком од 15 дана. Поред мерења дисања земљишта, истог дана је одређен садржај влаге у земљишту на дубинама од 15 cm. У време мерења дисања земљишта мерени су и температура и влажност ваздуха на 30 cm и 200 cm висине. Подаци мерења су обрађени програмом R Studio, верзија 2024.12.0+467.

5. 4. Педолошке анализе

Педолошки профил је отворен у непосредној близини на огледној површини, на 35 m удаљености од центра огледног поља у правцу према западу. Морфолошке карактеристике педолошког профила су одређене на терену као и детерминација земљишта. Додатно су узети узорци земљишта по генетичким хоризонтима за испитивање појединих особина ради потврде детерминисаног земљишта на терену.

Лабораторијско проучавање особина земљишта обављено је у педолошкој лабораторији Факултета за шумарске науке, пејзажну архитектуру и екоинжењеринг „Ханс Ем” при Универзитету „Св. Кирил и Методиј” у Скопљу, која је матична институција аутора. Оно је изведено по стандардним педолошким методама описаним у приручницима за испитивање земљишта ЈДПЗ-а (Cencelj, 1966; Živković, 1966; Racz, 1971; Bošnjak et al., 1997; Kastori et al., 2006).

5. 5. Статистичке методе и обрада података

Статистичка методологија коришћена у истраживању имала је за циљ да се анализирају временске промене у броју микроорганизама кроз више датума узорковања, уз узимање у обзир хијерархијске структуре података и прекомерне дисперзије, која се често јавља код бројивих података. Подаци су анализирани коришћењем генерализованих линеарних мешаних модела (GLMM), приступа који је погодан за хијерархијске податке где су посматрања груписана унутар случајних ефеката, што су репликације и узорци у нашем случају.

Модели су оцењени коришћењем glmmTMB модела (Brooks et al., 2017), који омогућава укључивање фиксних и случајних ефеката, као и дистрибуцију специфичних за бројиве податке. Почетно је оцењен Поасонов модел, под претпоставком еквидисперзије, где су средња вредност и варијанса зависне променљиве једнаке. Да би се узела у обзир могућа прекомерна дисперзија, оцењен је и негативни биномни модел, који уводи додатни параметар дисперзије, омогућавајући варијанси да премаши средњу вредност. Оба модела су укључивала фиксне ефекте за датум узорковања и репликације, као и случајни ефекат (интерцепт) за променљиву узорка како би се ухватила неопажена хетерогеност на нивоу узорка.

Коришћењем пакета DHARMA (Hartig, 2024) изведене су дијагностике резидуала за процену уклапања модела. Генерисани су Q-Q дијаграми за процену униформности резидуала, а примењени су и формални тестови за оцену дисперзије бројивих података. Резултати дијагностике коришћени су као водич за избор модела, при чему је Акаикеов информативни критеријум (AIC) коришћен као квантитативна мера за упоређење модела. Модел са најнижом AIC вредношћу изабран је као најприкладнији за појединачне податке или променљиве.

Након тога урађена је пост хок анализа за упоређивање броја актиномицета између различитих датума узорковања. Процењене маргиналне средине су израчунате на (енгл. *response*) скали одговора коришћењем пакета emmeans (Lenth, 2025), а затим су оцењени вишеструки контрасти како би се идентификовале статистички значајне разлике између датума. Статистичка значајност је визуелизована груписањем датума помоћу словних ознака, што је олакшало интерпретацију вишеструких поређења.

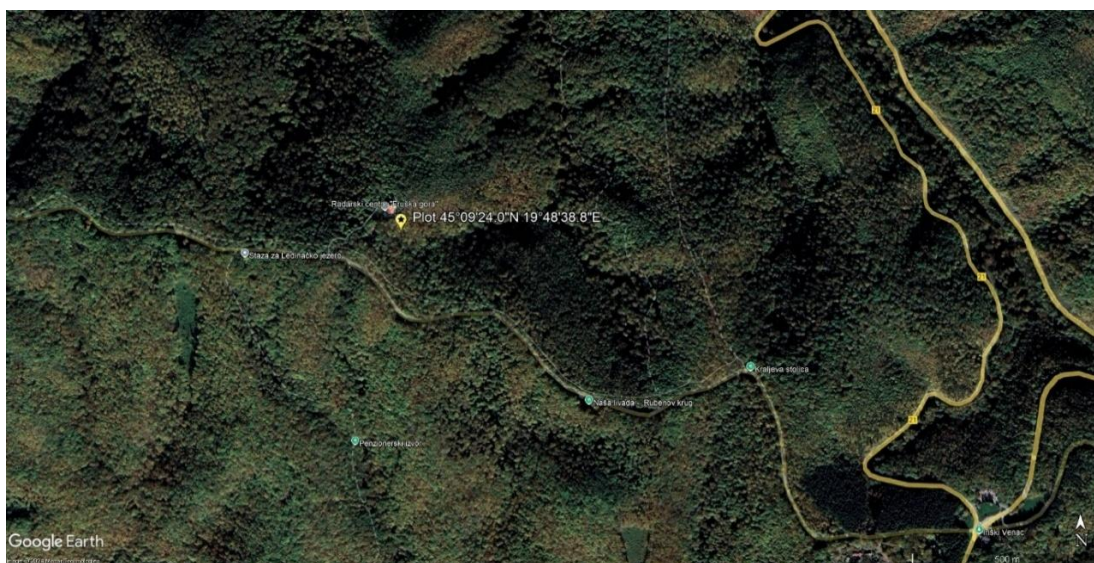
Пирсонове линеарне корелације су коришћене за процену односа између бројности микроорганизама и метеоролошких променљивих. Такође, израчунате су корелације између бројности микроорганизама и активности ДНА ензима у земљишту.

Линеарни и полиномијални регресиони модели коришћени су како би се оценио облик зависности метеоролошких променљивих на активност ДНА и респирацију земљишта. AIC вредност уз дијагностику модела коришћена је како би се одабрао погодан модел за описивање зависности наведених модела.

6. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

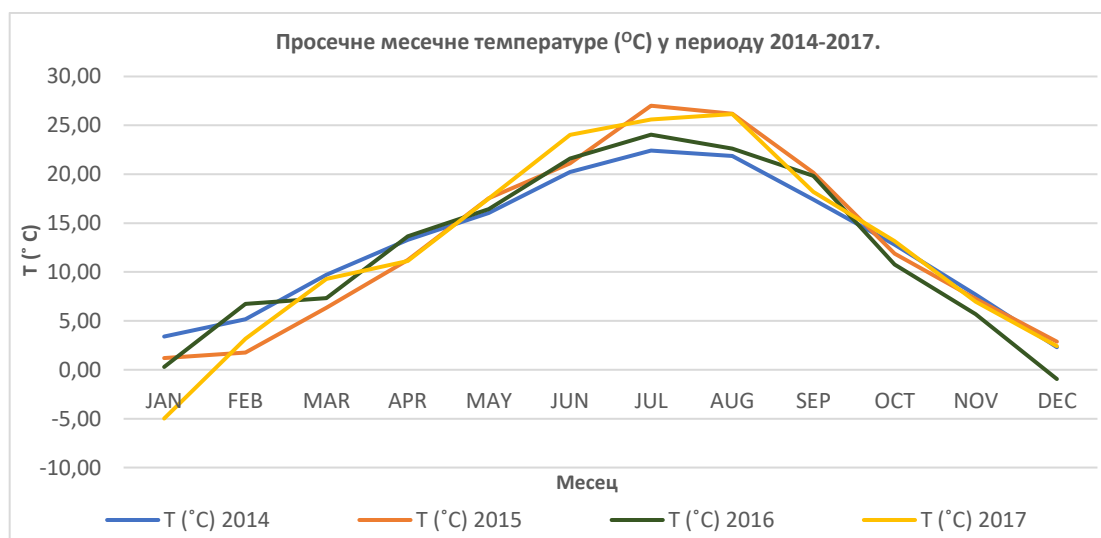
6. 1. Природне карактеристике ужег истраженог подручја

Истражено подручје налази се у Националном парку „Фрушка гора”, ГЈ Поповица – Мајдан – Змајевац, 20/с (Слика 2). Терен је врло стрм, надморске висине 475–505 m, југоисточне експозиције, геолошка подлога су шкриљци, а земљиште је кисело смеђе.

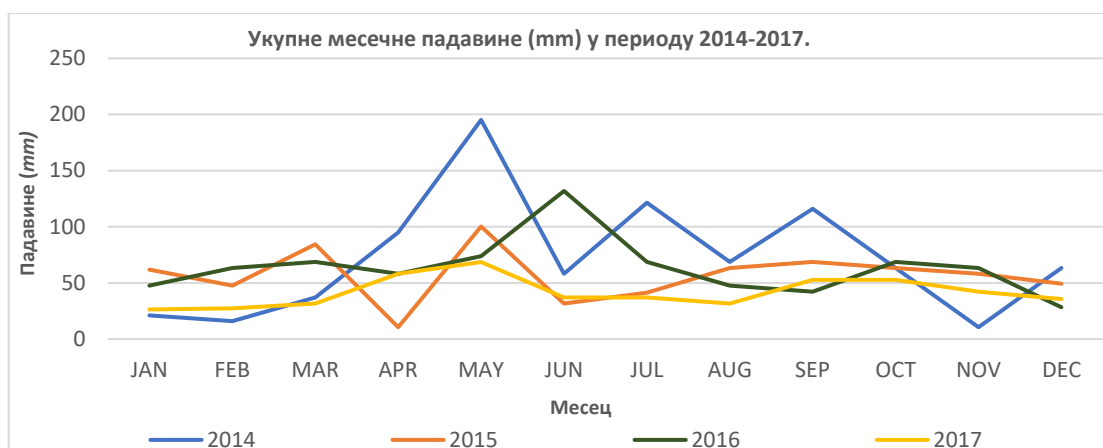


Слика 2. Локација огледног поља у НП „Фрушка гора”

Климатски подаци (падавине и температура ваздуха) добијени су од NASA POWER DAV сервиса (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>), верзија 2.4.6, за тачну локацију огледног поља на дан 26. 12. 2024.

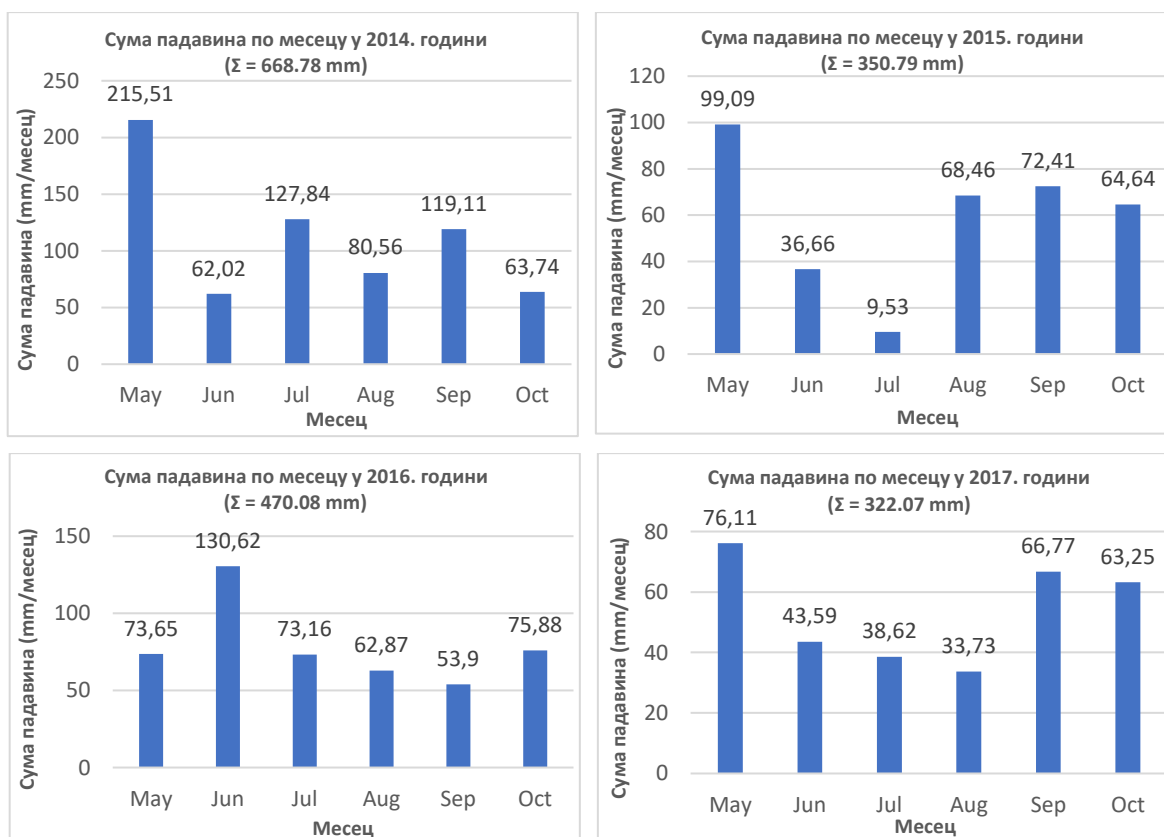


Графикон 1. Просечне месечне температуре огледног поља у периоду 2014–2017. године



Графикон 2. Укупне годишње падавине огледног поља у периоду 2014–2017. године

Анализа ових података за период 2014–2017. године открива да се средња годишња температура ваздуха креће између 12,34 °C и 12,88 °C. Годишњи збир падавина је већи 2014. и 2016. године. Највиша средња месечна температура ваздуха од 27,01 °C израчуната је за јул 2015. године. Средње месечне температуре ваздуха испод 0 °C забележене су у децембру 2016. и јануару 2017. године, а период од јуна до септембра значајно је топлији и сувљи током читавог истраживања (Графикон 2).



Графикон 3. Сума падавина по месецима за истражени период 2014–2017. године

Према анализи података о падавинама, приказаној на Графикону 3, највише падавина забележено је у 2014. години (668.78 mm), затим 2016. године (470.08 mm), 2015. године (350.79 mm), а 2017. је година са најмање падавина (322.07 mm).

У све четири године најсушнији су јул и август. Јун је, осим 2016. године, био врло сув у преостале три године. У мају су током све четири године забележене највеће падавине у односу на остале периоде истраживања, осим 2016. године, када је више падавина забележено током јуна. У септембру и октобру све четири године падавине су знатно обилније у односу на сушни период од јуна до августа.

С обзиром на то да је истражено подручје део Фрушке горе, покривено природним шумским заједницама, најмеродавнији закључци обезбеђују се из индекса аридности шума (Forestry Aridity Index – FAI). Овај индекс је посебно осмишљен да опише сушне услове у Мађарској (Führer et al., 2011), а касније је успешно примењен на војвођански регион у северној Србији (Gavrilov et al., 2019). Годишња вредност индекса аридности шума (Führer et al., 2011) дефинише се као:

$$FAI = C_g \times \frac{T_{VII-VIII}}{(P_{V-VII} + P_{VII-VIII})}$$

где је $T_{VII-VIII}$ просечна температура у јулу и августу у °C, P_{V-VII} представља укупну количину падавина од маја до јула, а $P_{VII-VIII}$ је укупна количина падавина за јул – август, оба у mm, а $C_g = 100 \text{ mm/}^{\circ}\text{C}$ је константа.

Индекс аридности шума узима у обзир температурне карактеристике и карактеристике падавина у периоду када је производња органске материје директно под утицајем ових параметара. У зависности од добијене вредности (тзв. FAI број), дефинише четири шумске климатске категорије: [I] буква (FAI <4.75), [II] граб – храст (FAI 4.75 – 6.00), [III] китњак – цер (FAI 6.00 – 7.25) и [IV] шумско – степска (FAI >7.25).

Табела 2. Индекс аридности шума за истражено подручје по годинама

	2014.	2015.	2016.	2017.
$T_{VII-VIII}$ (°C)	22.14	26.60	23.34	25.88
P_{V-VII} (mm)	405.37	145.28	277.43	158.32
$P_{VII-VIII}$ (mm)	208.40	77.99	136.03	72.35
C_g	100.00	100.00	100.00	100.00
FAI број	3.61	11.91	5.65	11.22
Категорија	I	IV	II	IV

Индекс аридности шума нам омогућава да моделирамо очекивани утицај климатских промена на основу различитих сценарија, другим речима, да закључимо како ће се променити подручје одређених климатских категорија (Führer et al., 2011).

Према резултатима истраживања приказаним у Табели 2, забележене су значајне варијације главних климатских фактора (температура ваздуха у °C и количине падавине у mm) од маја до августа за све четири године истраживања. Током истраживаног периода 2014. године укупна количина падавина је највећа (613.77 mm), а просечна вредност температура ваздуха најтоплијег дела године је најнижа (22.14 °C) у односу на све остале године истраживања, резултирајући индексом аридности шума из I климатске категорије (FAI = 3.61). Године 2016. укупне количине падавина су мање, а температуре ваздуха веће у односу на 2014. годину, што узрокује индекс аридности шума из II климатске категорије (FAI = 5.65). Године 2015. и 2017. биле су значајно сушне, са мало укупне количине падавина и вишим температурама ваздуха, што је резултирало индексима аридности шума из IV климатске категорије (FAI = 11.91 у 2015. години и FAI = 11.22 у 2017. години).

Добијени индекси аридности шума у сагласности су са приказаним вредностима укупне количине падавина за период 2014–2017. године (Графикон 3) и још више наглашавају да веће температуре ваздуха доводе до појаве знатно сушних (аридних) услова у истраженом подручју. Тачније, ови индекси указују на то да је истражено подручје, али и читаво подручје Фрушке горе, у одређеном ризику од појаве суше као потенцијално ограничавајућег фактора развоја шумске вегетације.

6. 2. Шумске састојине ужег истраженог подручја

Истражено подручје налази се у Националном парку „Фрушка гора”, ГЈ Поповица – Мајдан – Змајевац, 20/с, у изданаочној шуми китњака (*Quercetum montanum typicum*) са примесом букве (*Fagus moesiaca* (Domin, Maly) Czecz). Ове шуме су добро проучене и детаљно описане у бројним радовима у прошлих педесетак година као мезијске брдске букове шуме са китњаком (*Quercus petraea*).

То су мешовите шуме са склопљеним или готово потпуно склопљеним спратом високог дрвећа на коме доминирају мезијска буква (*Fagus moesiaca*) и китњак (*Quercus petraea*). На другом спрату дрвећа и спрату жбунова јавља се релативно велики број дрвенастих врста (*Carpinus betulus*, *Tilia argentea*, *Acer campestre*, *Ulmus montana*, *Fraxinus ornus*, *Cornus mas* и др.), али је њихова бројност знатно мања у односу на букву и китњак. Спрат приземне флоре је углавном добро развијен – изграђен већином од врста: *Carex pilosa*, *Asperula odorata*, *Carex digitata*, *Festuca heterophylla*, *Solidago virgaurea*, *Poa nemoralis*, *Galium pseudoaristatum*, *Hieracium sabaudum*, *Daphne laureola*, *Stachys sylvatica*, *Mycelis muralis*, *Cynoglossum montanum*, *Glechoma hirsuta*, *Fragaria vesca*, *Mellitis mellisiphyllum*, *Ruscus hypoglossus*, *Dryopteris filix-mas*, *Polystichum aculeatum*, *Sambucus nigra*, *Ruscus aculeatus* и др. (Слика 3). Китњаково-букове шуме јављају се на прелазним стаништима између северно експонираних заклоњених увала и јужно експонираних гребена и главица, у зони храстових шума. Заједнице се развијају на смеђим и лесивираним смеђим земљиштима (Хадровић, 2015).



Слика 3. Природне особине станишта огледног поља

6. 3. Особине земљишта ужег истраженог подручја

Карактеристике земљишта ужег истраженог подручја утврђене су путем ископавања и морфолошког описа педолошког профила. Уз сагласност са условима терена, профил је отворен на удаљености од 35 m из центра огледног поља, у правцу према западу. Приликом отварања и теренских анализа педолошког профила на наведеној локацији утврђено је кисело смеђе земљиште.

Морфолошка грађа профила киселог смеђег земљишта је A-(B)-R (Avdalović, 1972). Подтипови овог земљишта издвајају се према типу геолошке подлоге (Škorić et al., 1985). У складу са критеријумима наведене педолошке класификације, на нивоу подтипа издвојен је подтип на амфиболитским шкриљцима.

Анализирани профил је дубине 50 cm, са хумусним A хоризонтом који је тамније смеђе до смеђе боје и веома мале моћности до 5 cm, испод њега се налази камбични (B) хоризонт изразито смеђе боје, а чија је моћност 45 cm. Према текстурном саставу хумусни хоризонт је песковита иловача, док је камбични хоризонт иловача, а са дубином садржај песка се смањује, а повећава удео глине. Према Antić et al. (1987) учешће фракције глине код ових земљишта је до 20%, док је учешће укупне глине (прах + глина) до 50%.

Према хемијским особинама (Knežević et al., 2011) ово земљиште има киселу реакцију, те се pH вредност благо повећава са дубином, одликује га висок садржај хумуса у хумусном A хоризонту, који опада са дубином, и знатно је мањи у камбичном (B) хоризонту, такође, садржај азота по хоризонтима је у корелацији са садржајем хумуса. Према Antić et al., (1987) адсорптивни комплекс овог типа земљишта карактерише висок тотални капацитет (T) за катјоне у хумусном хоризонту, а доста је мањи у нижем делу профила, док Knežević et al., (2011) утврђују да је степен zasiћености базама (V) низак код овог земљишта.

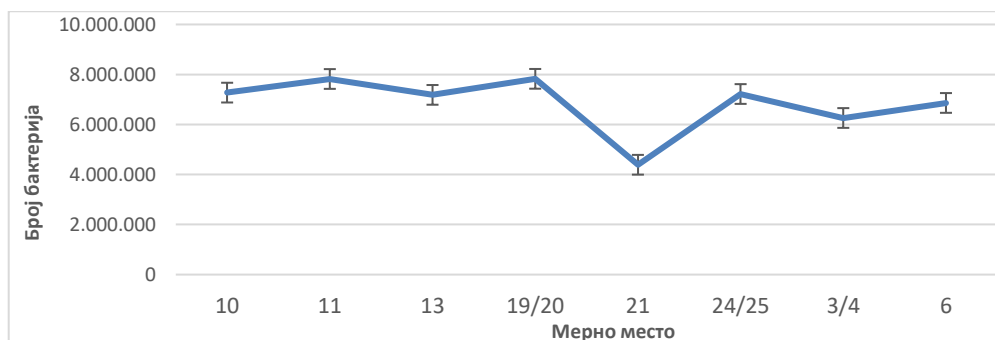
6. 4. Микробиолошка активност ужег истраженог подручја

6. 4. 1. Бројност систематских група микроорганизама у шумском земљишту

6. 4. 1. 1. Укупан број бактерија у земљишту

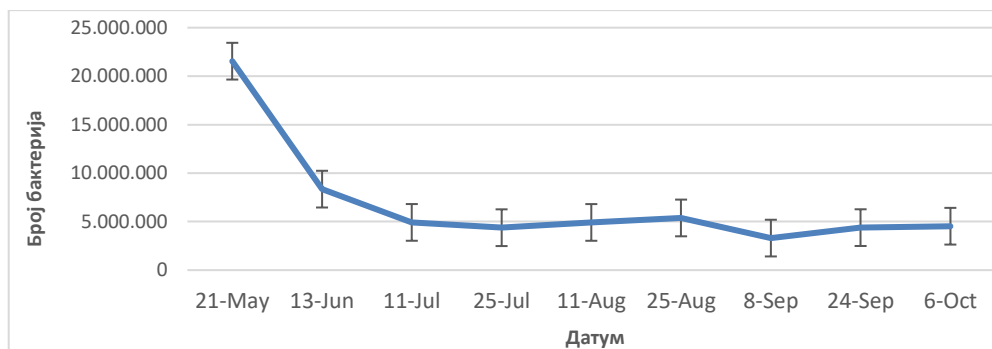
Бактерије су најбројнија и најразноврснија систематска група. Многи аутори у прошлости су њихов број користили као укупан број микроорганизама. Бројна истраживања су показала да се укупан број бактерија може користити као показатељ опште активности једног земљишта (Imberger and Chiu, 2002; Радивојевић и сар., 2003; Јарак и сар., 2005; Радивојевић и сар., 2007). Укупан број бактерија користи се као показатељ потенцијалне плодности земљишта и већи је у земљишту са више органске материје, неутралне реакције, са добрим водним и ваздушним режимом (Јарак и Чоло, 2007).

Укупан број бактерија у земљишту (Прилог 1) у 2014. години кретао се од 12.05×10^5 до 451.46×10^5 ћелија по једном граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја бактерија утврђена је на мерном месту 11 приликом другог понављања узимања узорка 25. 7. 2014. године и износила је 12.05×10^5 ћелија по граму земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја бактерија утврђена на истом мерном месту приликом првог узорковања 21. 5. 2014. године и износила је 451.46×10^5 ћелија по граму земљишта.



Графикон 4. Просечна заступљеност укупног броја бактерија 2014. године у зависности од места узимања узорка

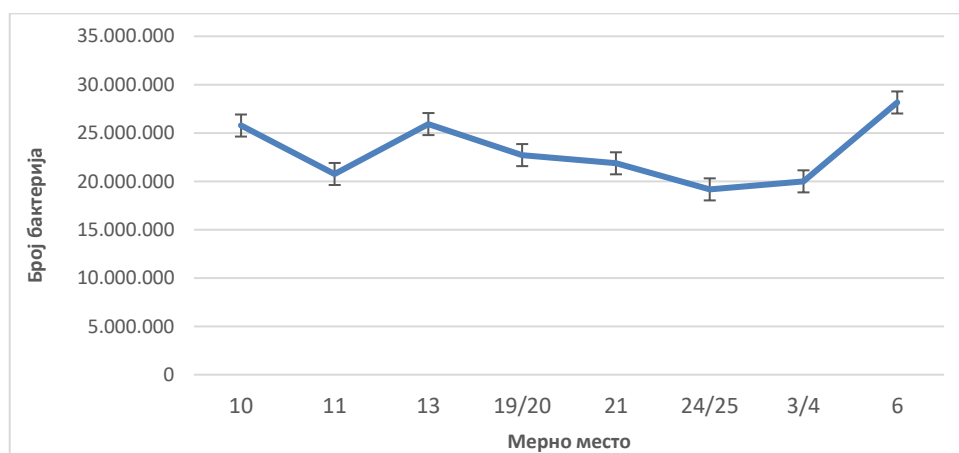
Анализа података је показала да заступљеност укупног броја бактерија у зависности од места узимања узорка (Графикон 4) има најмању просечну вредност на мерном месту 21 и највећу просечну вредност на мерном месту 19/20. Просечне вредности укупног броја бактерија на осталим мерним местима приближне су и крећу се од 6 до 8 милиона ћелија по једном граму апсолутно сувог земљишта.



Графикон 5. Просечна заступљеност укупног броја бактерија у 2014. години у зависности од времена узимања узорка

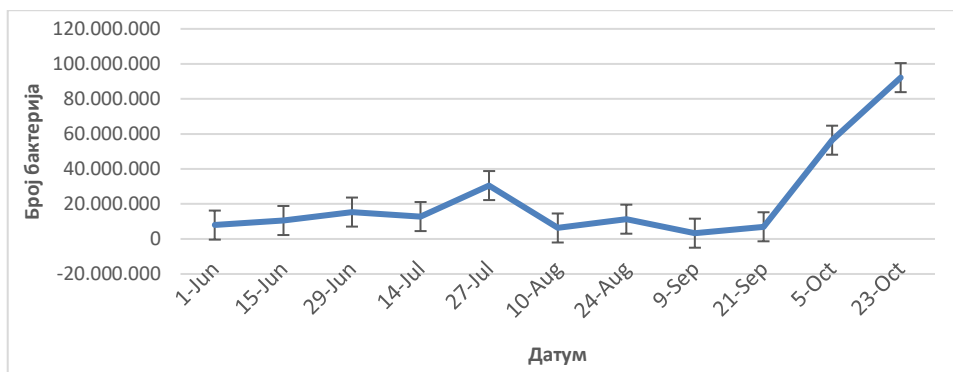
Према резултатима истраживања заступљености укупног броја бактерија у зависности од времена узимања узорка (Графикон 5), најмања просечна вредност је утврђена 8. 9. 2014. године, а највећа просечна вредност 21. 5. 2014. године и значајно се разликује од бројности утврђене при каснијим узорковањима. Од јуна до октобра 2014. године вредности просечне заступљености укупног броја бактерија приближне су и у распону 4,5–8,5 милиона ћелија по једном граму апсолутно сувог земљишта.

Укупан број бактерија у земљишту 2015. године (Прилог 1) кретао се од 2.29×10^5 до $2.438.34 \times 10^5$ ћелија по једном граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја бактерија утврђена је на мерном месту 3/4 приликом трећег понављања узимања узорка 9. 9. 2015. године и износила је 2.29×10^5 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја бактерија утврђена на мерном месту 6 приликом првог узорковања 27. 7. 2015. године и износила је $2.438.34 \times 10^5$ ћелија по граму апсолутно сувог земљишта.



Графикон 6. Просечна заступљеност укупног броја бактерија 2015. године у зависности од места узимања узорка

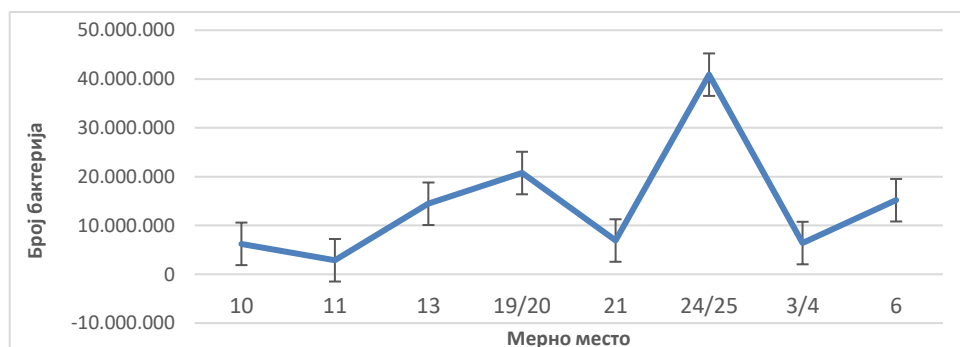
Анализа података је показала да заступљеност укупног броја бактерија у зависности од места узимања узорака (Графикон 6) има најмању просечну вредност на мерном месту 24/25, а највећу просечну вредност на мерном месту 6. Просечне вредности укупног броја бактерија на осталим мерним местима приближне су и крећу се у распону 19–26 милиона ћелија по једном граму апсолутно сувог земљишта.



Графикон 7. Просечна заступљеност укупног броја бактерија 2015. године у зависности од времена узимања узорака

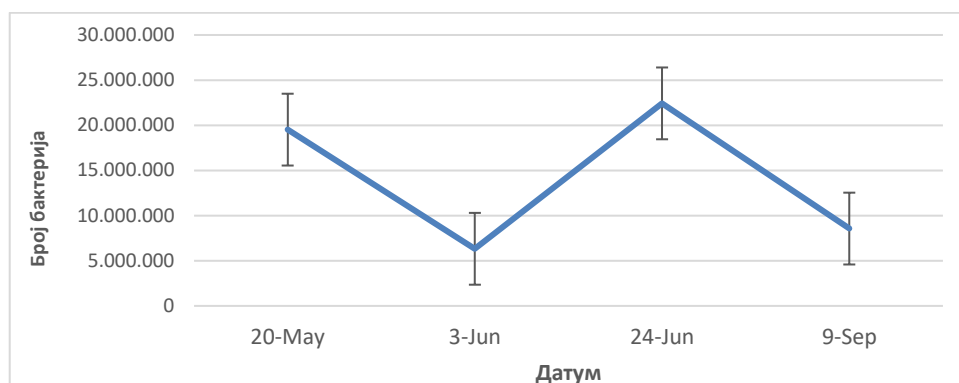
Према резултатима истраживања заступљености укупног броја бактерија у зависности од времена узимања узорака (Графикон 7), најмања просечна вредност утврђена је 9. 9. 2015. године, а највећа просечна вредност 23. 10. 2015 године и значајно се разликује у односу на бројност утврђену при ранијим узорковањима.

Укупан број бактерија у земљишту у 2016. години (Прилог 1) кретао се од 9.76×10^5 до $1,175.89 \times 10^5$ ћелија по једном граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја бактерија утврђена је на мерном месту 11 приликом трећег понављања узимања узорака 3. 6. 2016. године и износила је 9.76×10^5 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја бактерија утврђена на мерном месту 24/25 приликом трећег понављања узимања узорака 24. 6. 2016. године и износила је $1,175.89 \times 10^5$ ћелија по граму апсолутно сувог земљишта.



Графикон 8. Просечна заступљеност укупног броја бактерија 2016. године у зависности од места узимања узорака

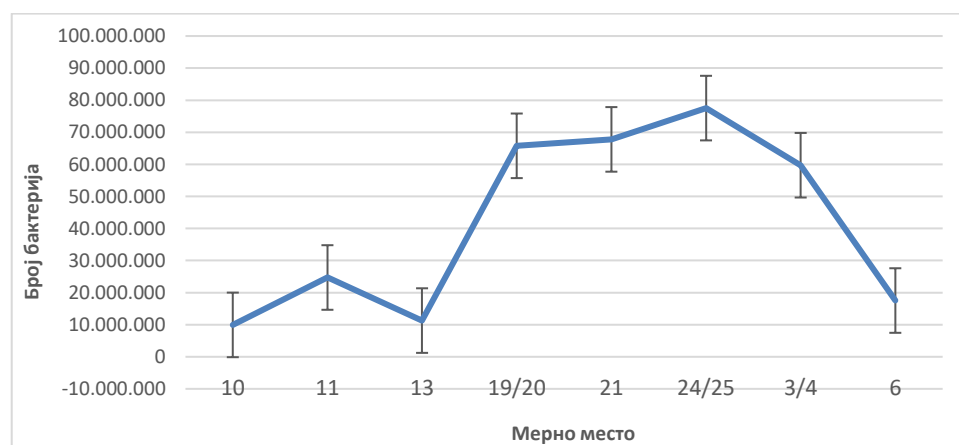
Анализа података је показала да заступљеност укупног броја бактерија у зависности од места узимања узорак (Графикон 8) има најмању просечну вредност на мерном месту 11, а највећу просечну вредност на мерном месту 24/25.



Графикон 9. Просечна заступљеност укупног броја бактерија 2016. године у зависности од времена узимања узорак

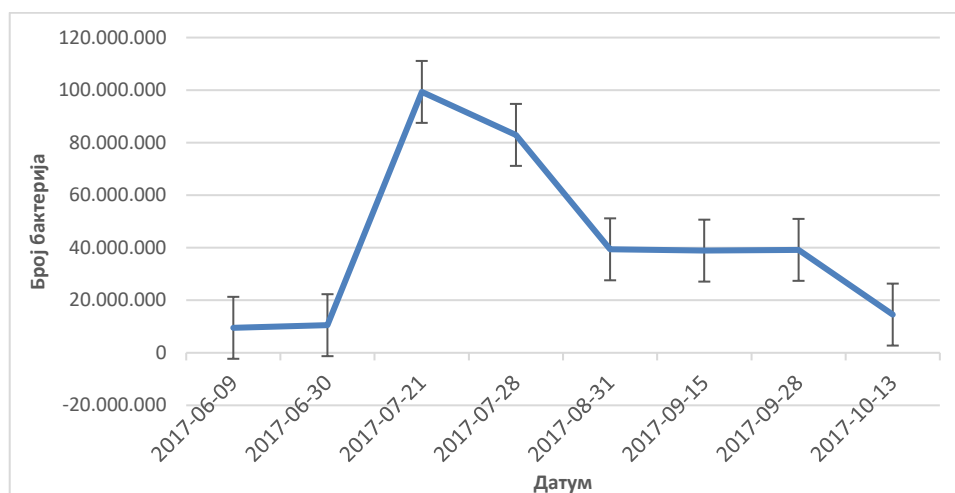
Према резултатима истраживања заступљености укупног броја бактерија у зависности од времена узимања узорак (Графикон 9), најмања просечна вредност је утврђена 3. 6. 2016. године, а највећа 24. 6. 2016. године.

Укупан број бактерија у земљишту у 2017. години (Прилог 1) кретао се од 20.15×10^5 до $6.648.96 \times 10^5$ ћелија по једном граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја бактерија утврђена је на мерном месту 10 приликом другог понављања узимања узорак 6. 9. 2017. године и износила је 20.15×10^5 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја бактерија утврђена на мерном месту 24/25 приликом трећег понављања узимања узорак 21. 7. 2017. године и износила је $6.648.96 \times 10^5$ ћелија по граму апсолутно сувог земљишта.



Графикон 10. Просечна заступљеност укупног броја бактерија 2017. године у зависности од места узимања узорак

Анализа података је показала да заступљеност укупног броја бактерија у зависности од места узимања узорака (Графикон 10) има најмању просечну вредност на мерном месту 10, а највећу просечну вредност на мерном месту 24/25.



Графикон 11. Просечна заступљеност укупног броја бактерија 2017. године у зависности од времена узимања узорака

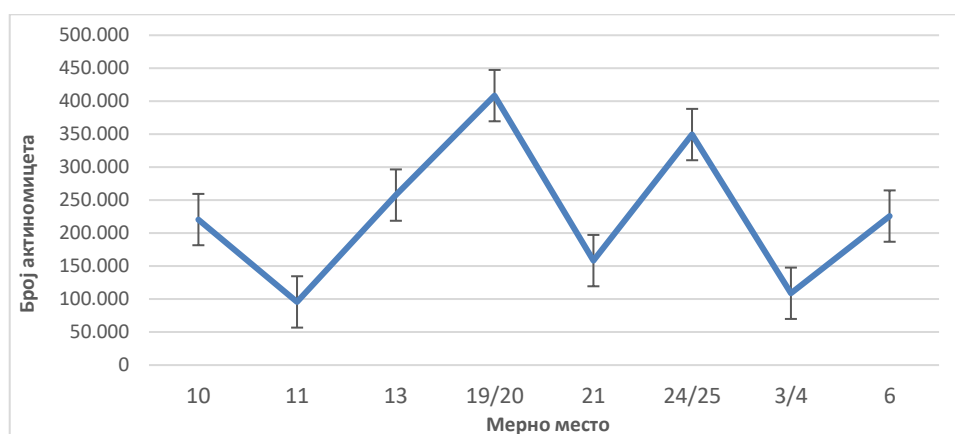
Према резултатима истраживања заступљености укупног броја бактерија у зависности од времена узимања узорака (Графикон 11), најмања просечна вредност је утврђена 9. 6. 2017. године, а највећа 21. 7. 2017. године и значајно се разликује у односу на бројност утврђену при ранијем узорковању.

6. 4. 1. 2. Укупан број актиномицета у земљишту

Актиномицете су специфична група бактерија које имају заједничка својства по којима се разликују од осталих бактерија. Имају кончаст облик ћелије који подсећа на хифу гљива. Колоније су им кожасте и чврсте конзистенције. Слично као гљиве, формирају супстратни, надсупстратни и ваздушни мицелијум, на коме се стварају спороноски са спорама (конидијама) (Јарак и Чоло, 2007). Актиномицете су хетеротрофни микроорганизми, углавном сапрофити и значајне су као учесници у трансформацијама органске материје у земљишту. Способне су да разлажу пектин, лигнин, ксенобиотику, материје које су знатно отпорније на микробиолошку разградњу (Радивојевић и сар., 2007).

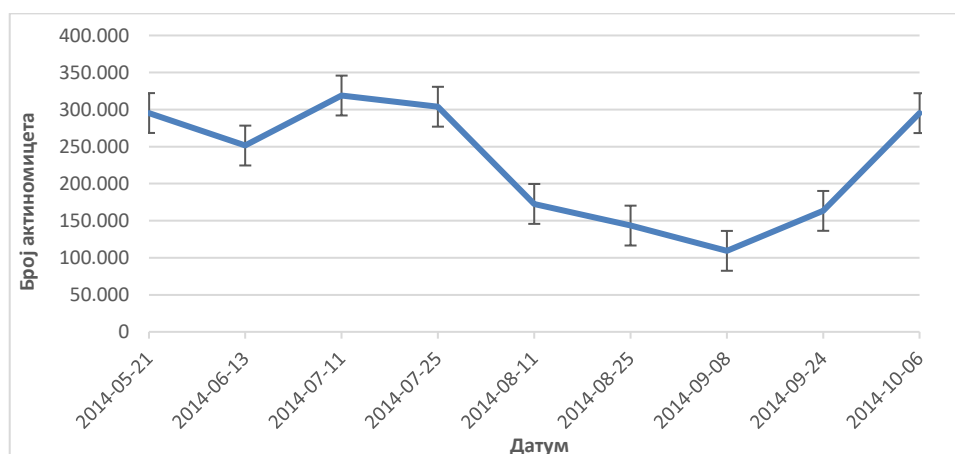
Родови актиномицета значајни за земљиште јесу: *Streptomyces*, *Nocardia*, *Frankia*, *Micromonospora*, *Microbispora*, *Thermomonospora* и *Thermoactinomyces* (Јарак и Чоло, 2007).

Укупан број актиномицета у земљишту у 2014. години (Прилог 2) кретао се од 2.39×10^4 до 107.66×10^4 ћелија по једном граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја актиномицета утврђена је на мерном месту 6 приликом првог узимања узорка 8. 9. 2014. године и износила је 2.39×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја актиномицета утврђена на мерном месту 24/25 приликом другог понављања узимања узорка 25. 7. 2014. године и износила је 107.66×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта.



Графикон 12. Просечна заступљеност укупног броја актиномицета 2014. године у зависности од места узимања узорка

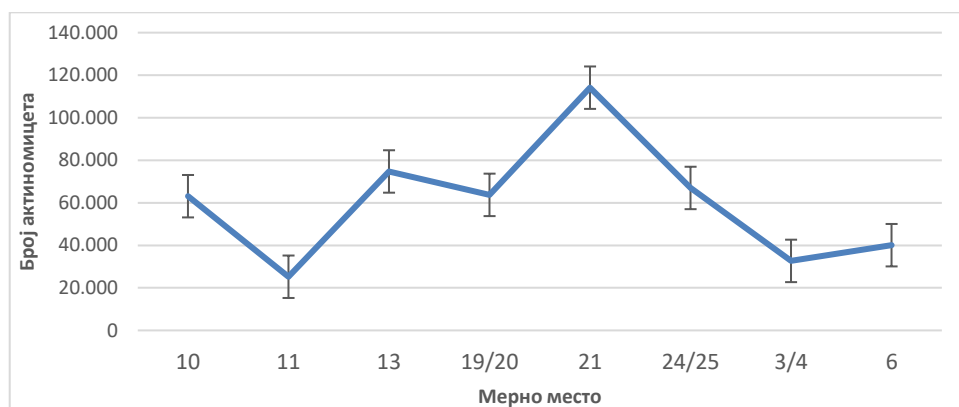
Анализа података је показала да заступљеност укупног броја актиномицета у зависности од места узимања узорка (Графикон 12) има најмању просечну вредност на мерном месту 11, а највећу просечну вредност на мерном месту 19/20.



Графикон 13. Просечна заступљеност укупног броја актиномицета 2014. године у зависности од времена узимања узорка

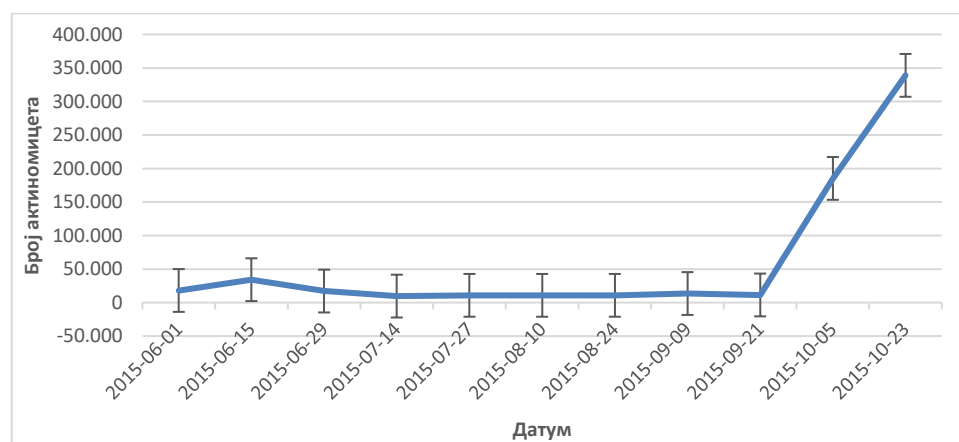
Према резултатима истраживања заступљености укупног броја актиномицета у зависности од времена узимања узорак (Графикон 13), најмања просечна вредност утврђена је 8. 9. 2014. године, а највећа 11. 7. 2014. године.

Укупан број актиномицета у земљишту у 2015. години (Прилог 2) кретао се од 0.025×10^4 до 68.23×10^4 ћелија по једном граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја актиномицета утврђена је на мерном месту 6 приликом другог узимања узорак 1. 6. 2015. године и износила је 0.025×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја актиномицета утврђена на мерном месту 21 приликом другог понављања узимања узорак 23. 10. 2015. године и износила је 68.23×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта.



Графикон 14. Просечна заступљеност укупног броја актиномицета 2015. године у зависности од места узимања узорак

Анализа података је показала да заступљеност укупног броја актиномицета у зависности од места узимања узорак (Графикон 14) има најмању просечну вредност на мерном месту 11, а највећу просечну вредност на мерном месту 21.

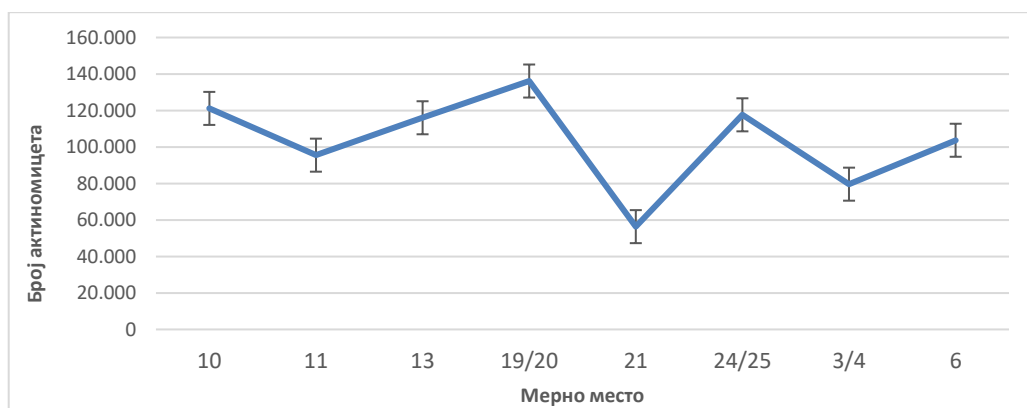


Графикон 15. Просечна заступљеност укупног броја актиномицета 2015. године у зависности од времена узимања узорак

Према резултатима истраживања заступљености укупног броја актиномицета у зависности од времена узимања узорак (Графикон 15), најмања просечна вредност утврђена је 14. 7. 2015. године, а највећа 23. 10. 2015. године.

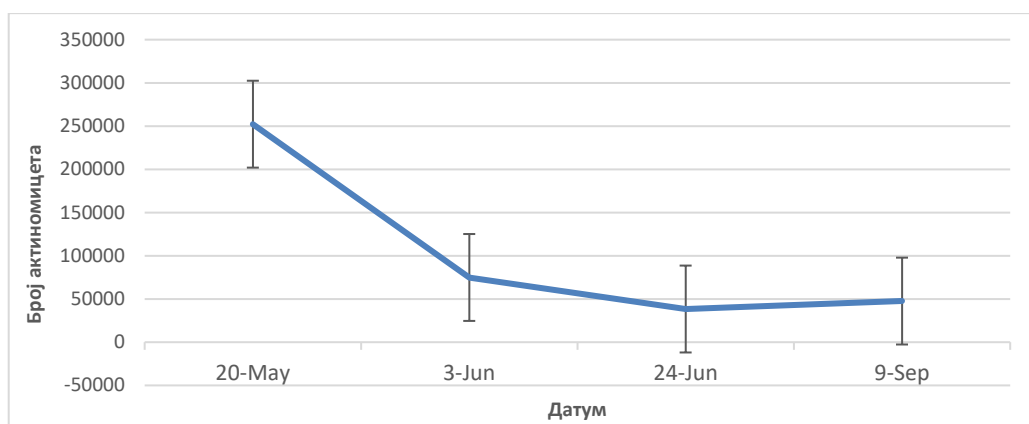
Из графикона 14 и 15 јасно се види да су вредности мерења укупног броја актиномицета у октобру 2015. године на свим мерним местима значајно веће у односу на бројност утврђену приликом ранијих узорковања.

Укупан број актиномицета у земљишту у 2016. години (Прилог 2) кретао се од 2.18×10^4 до 47.9×10^4 ћелија по једном граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја актиномицета утврђена је на мерном месту 19/20 приликом другог узимања узорак 9. 9. 2016. године и износила је 2.18×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја актиномицета утврђена на истом мерном месту, 19/20, приликом првог узимања узорак 20. 5. 2016. године и износила је 47.9×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта.



Графикон 16. Просечна заступљеност укупног броја актиномицета 2016. године у зависности од места узимања узорак

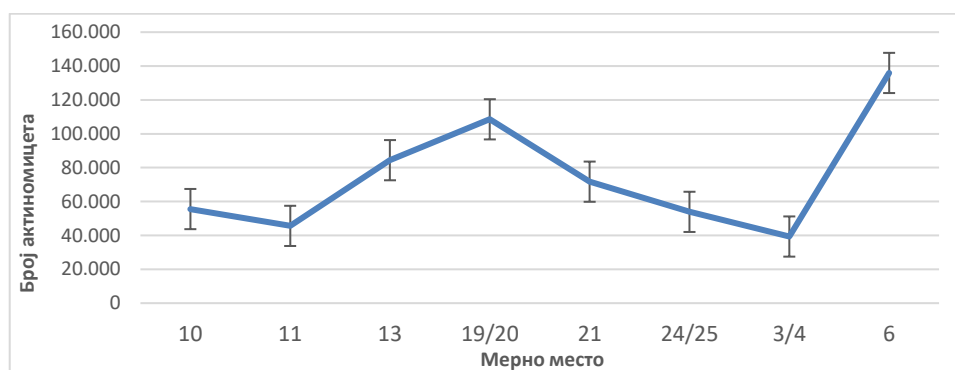
Анализа података је показала да заступљеност укупног броја актиномицета у зависности од места узимања узорак (Графикон 16) има најмању просечну вредност на мерном месту 21, а највећу просечну вредност на мерном месту 19/20.



Графикон 17. Просечна заступљеност укупног броја актиномицета 2016. године у зависности од времена узимања узорка

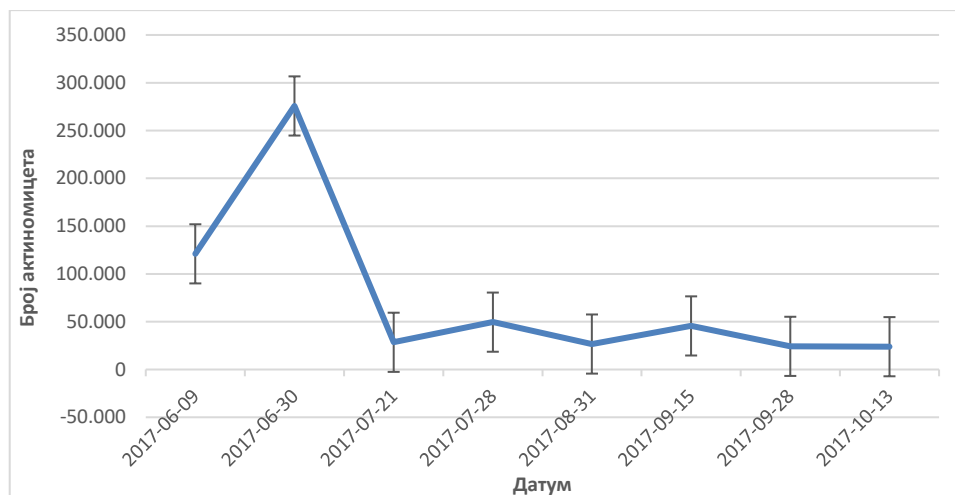
Према резултатима истраживања заступљености укупног броја актиномицета у зависности од времена узимања узорка (Графикон 17), најмања просечна вредност утврђена је 24. 6. 2016. године, а највећа 20. 5. 2016. године.

Укупан број актиномицета у земљишту у 2017. години (Прилог 2) кретао се од 1.92×10^4 до 84.65×10^4 ћелија по једном граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја актиномицета утврђена је на мерном месту 13 приликом првог узорковања 21. 7. 2017. године и износила је 1.92×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја актиномицета утврђена на мерном месту 6 приликом другог понављања узимања узорка 30. 6. 2017. године и износила је 84.65×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта.



Графикон 18. Просечна заступљеност укупног броја актиномицета 2017. године у зависности од места узимања узорка

Анализа података је показала да заступљеност укупног броја актиномицета у зависности од места узимања узорка (Графикон 18) има најмању просечну вредност на мерном месту $\frac{3}{4}$, а највећу просечну вредност на мерном месту 6.



Графикон 19. Просечна заступљеност укупног броја актиномицета 2017. године у зависности од времена узимања узорка

Према резултатима истраживања заступљености укупног броја актиномицета у зависности од времена узимања узорка (Графикон 19), најмања просечна вредност утврђена је 13. 10. 2017. године, а највећа 30. 6. 2017. године.

6. 4. 1. 3. Укупан број гљива у земљишту

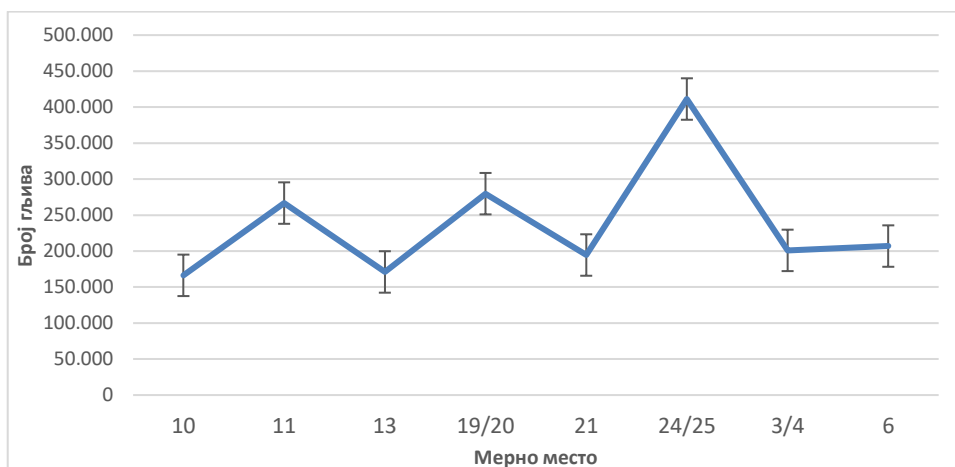
Гљиве су хетеротрофни ацидофилни микроорганизми, бројне су у земљиштима са великом количином органске материје. Аероби су, па су бројније у површинским слојевима земљишта (Јарак и Чоло, 2007).

Разлагачи су сапрофитне гљиве које трансформишу мртву органску материју у биомасу својих ћелија, угљен-диоксид, органске киселине и др. Као и бактерије, ова група гљива значајна је за имобилизацију и чување хранљива у земљишту.

Најбројније гљиве разлагачи у земљишту су: *Penicillium*, *Aspergillus*, *Pleurotus*, *Mucor*, *Alternaria*, *Trichoderma*, *Fusarium*, *Rhizopus* и др. (Јарак и Чоло, 2007).

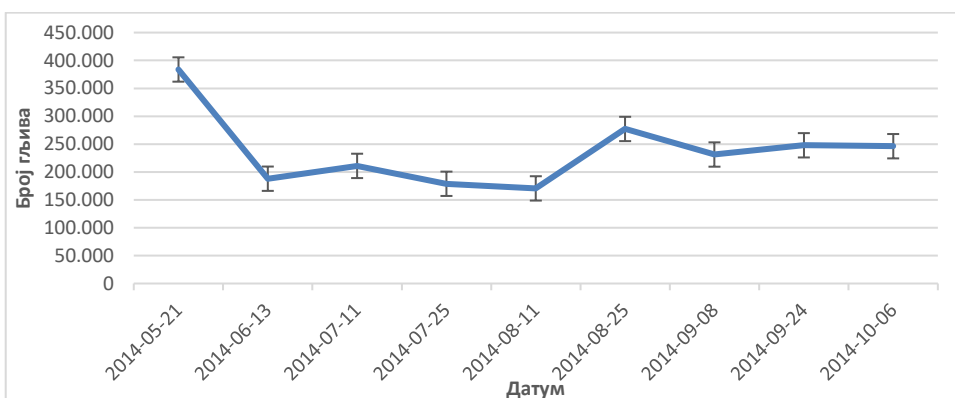
Укупан број гљива у земљишту у 2014. године (Прилог 3) кретао се од 2.22×10^4 до 77.76×10^4 ћелија по једном граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја гљива утврђена је на мерном месту 10 приликом другог понављања узимања узорка 13. 6. 2014. године и износила је 2.22×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја гљива утврђена

на мерном месту 10 приликом трећег понављања узимања узорка 21. 5. 2014. године и износила је 77.76×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта.



Графикон 20. Просечна заступљеност укупног броја гљива 2014. године у зависности од места узимања узорка

Анализа података је показала да заступљеност укупног броја гљива у зависности од места узимања узорка (Графикон 20) има најмању просечну вредност на мерном месту 10, а највећу на мерном месту 24/25.

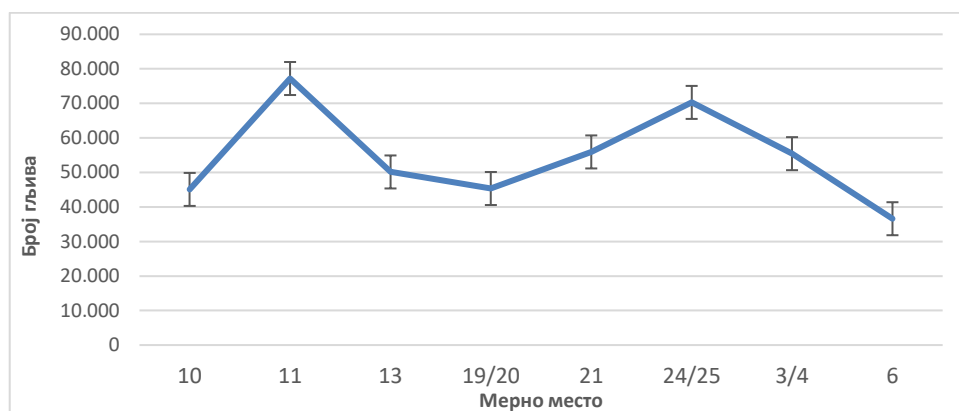


Графикон 21. Просечна заступљеност укупног броја гљива 2014. године у зависности од времена узимања узорка

Према резултатима истраживања заступљености укупног броја гљива у зависности од времена узимања узорка (Графикон 21), најмања просечна вредност утврђена је 11. 8. 2014. године, а највећа просечна вредност 21. 5. 2014. године и значајно се разликује у односу на бројност утврђену приликом каснијих узорковања.

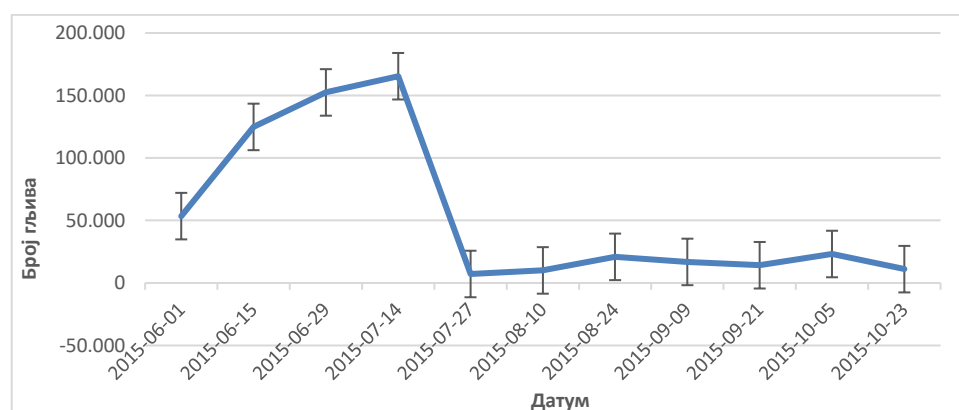
Укупан број гљива у земљишту у 2015. години (Прилог 3) кретао се од 0.021×10^4 до 26.9×10^4 ћелија по једном граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја гљива утврђена је на мерном месту 10 приликом сва три понављања узимања узорка 27. 7. 2015. године и износила је 0.021×10^4 ћелија по граму апсолутно

сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја гљива утврђена на мерном месту 21 приликом другог понављања узимања узорака 29. 6. 2015. године и износила је 26.9×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта.



Графикон 22. Просечна заступљеност укупног броја гљива 2015. године у зависности од места узимања узорака

Анализа података је показала да заступљеност укупног броја гљива у зависности од места узимања узорака (Графикон 22) има најмању просечну вредност на мерном месту 6, а највећу на мерном месту 11.

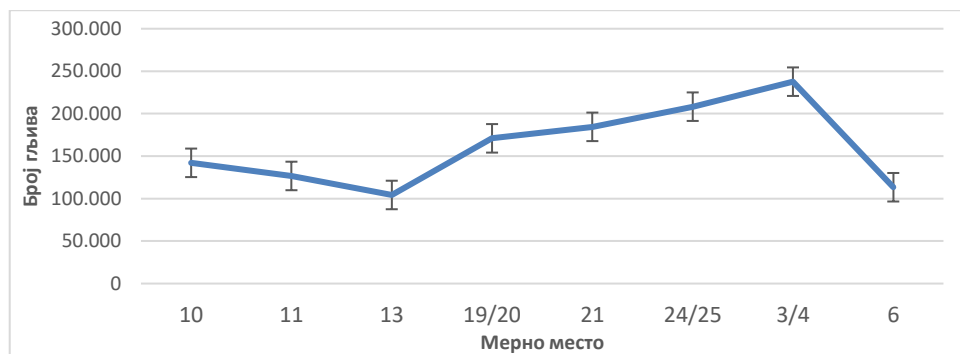


Графикон 23. Просечна заступљеност укупног броја гљива 2015. године у зависности од времена узимања узорака

Према резултатима истраживања заступљености укупног броја гљива у зависности од времена узимања узорака (Графикон 23), најмања просечна вредност је утврђена 27. 7. 2015. године, а највећа 14. 7. 2015. године. Резултати мерења у јуну и јулу 2015. године значајно су већи у односу на бројност утврђену приликом каснијих узорковања.

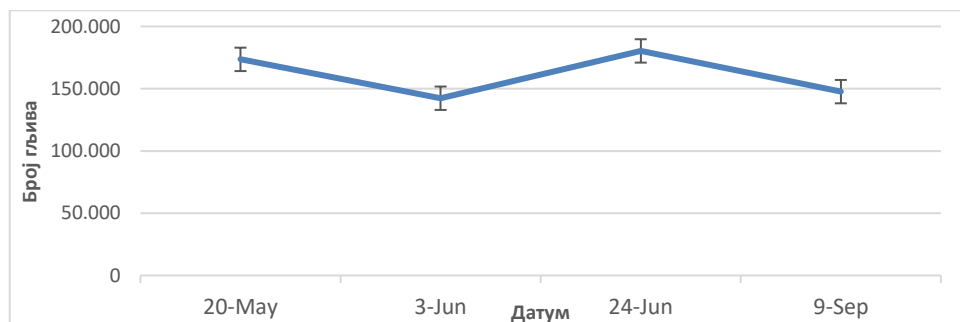
Укупан број гљива у земљишту у 2016. години (Прилог 3) кретао се од 2.21×10^4 до 56.91×10^4 ћелија по једном граму апсолутно сувог земљишта. Најмања

заступљеност укупног броја гљива утврђена је на мерном месту 13 приликом трећег понављања узимања узорака 9. 9. 2016. године и износила је 2.21×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја гљива утврђена на мерном месту 24/25 приликом првог узимања узорака 20. 5. 2016. године и износила је 56.91×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта.



Графикон 24. Просечна заступљеност укупног броја гљива 2016. године у зависности од места узимања узорака

Анализа података је показала да заступљеност укупног броја гљива у зависности од места узимања узорака (Графикон 24) има најмању просечну вредност на мерном месту 13, а највећу на мерном месту 3/4.



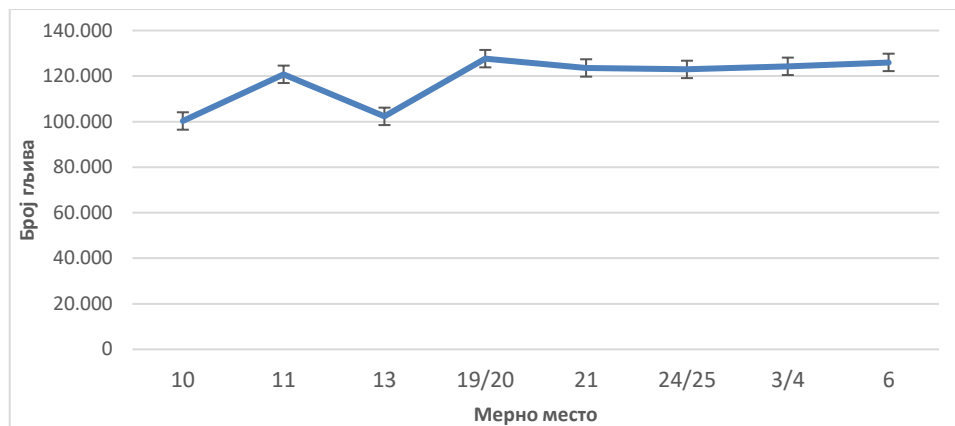
Графикон 25. Просечна заступљеност укупног броја гљива 2016. године у зависности од времена узимања узорака

Према резултатима истраживања заступљености укупног броја гљива у зависности од времена узимања узорака (Графикон 25), најмања просечна вредност је утврђена 3. 6. 2016. године, а највећа просечна вредност 24. 6. 2016. године.

Вредности просечне заступљености укупног броја гљива 2016. године у зависности од места и времена узимања узорака су приближне.

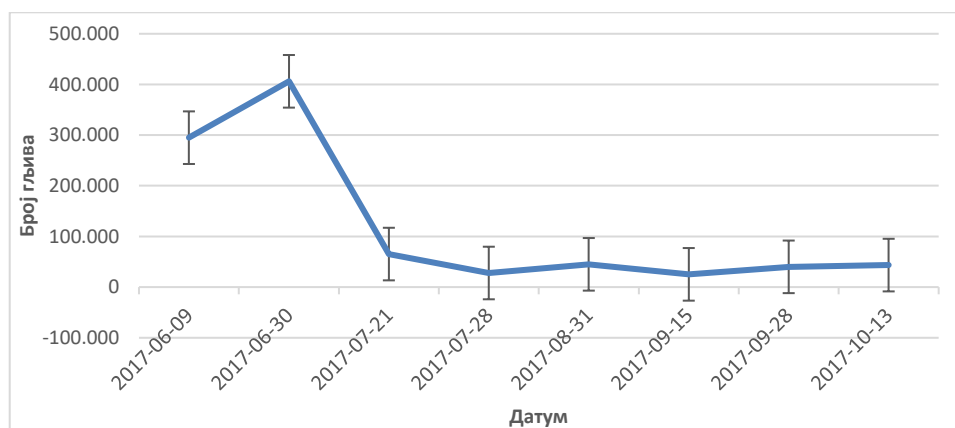
Укупан број гљива у земљишту у 2017. години (Прилог 3) кретао се од 2.02×10^4 до 74.72×10^4 ћелија по једном граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја гљива утврђена је на мерном месту 21 приликом првог и

другог узорковања 28. 7. 2017. године и износила је 2.02×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја гљива утврђена на мерном месту 13 приликом другог узимања узорака 30. 6. 2017. године и износила је 74.72×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта.



Графикон 26. Просечна заступљеност укупног броја гљива 2017. године у зависности од места узимања узорака

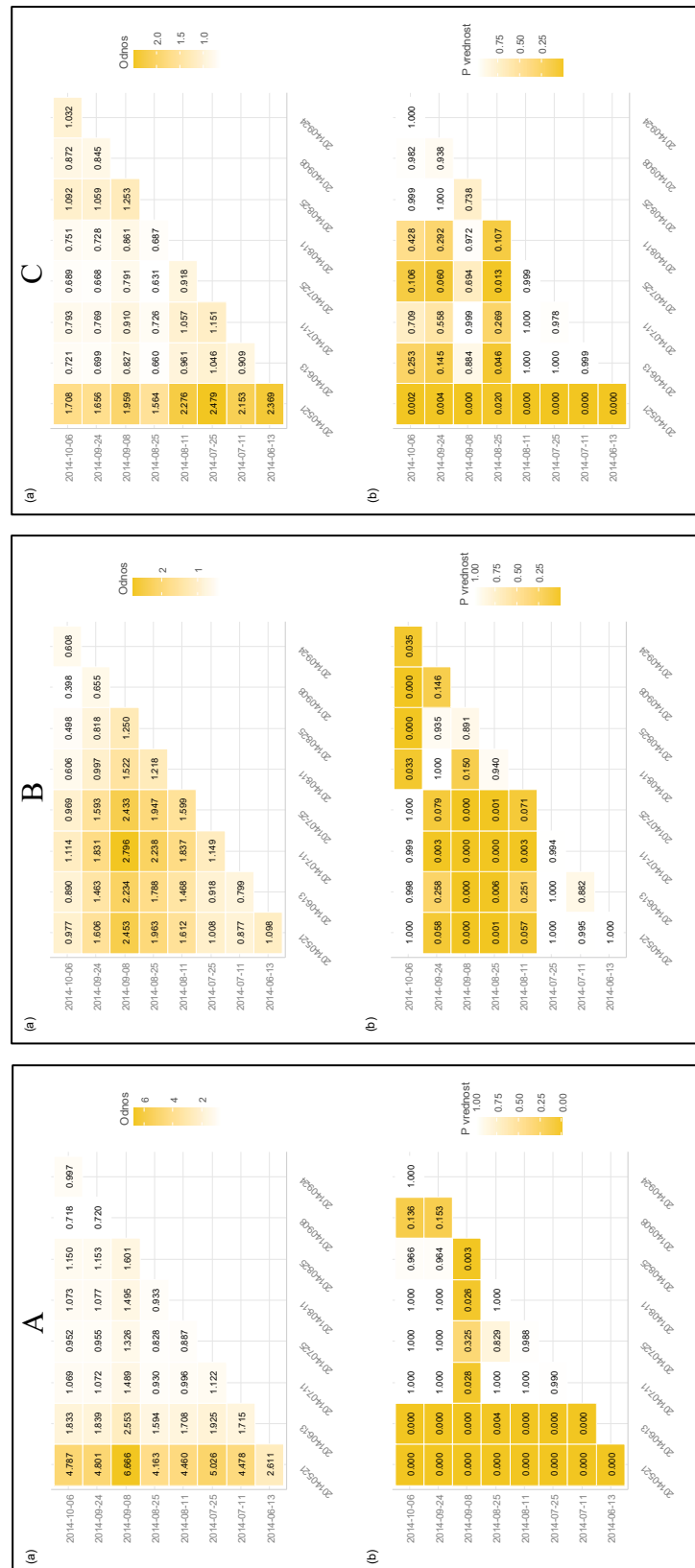
Анализа података је показала да заступљеност укупног броја гљива у зависности од места узимања узорака (Графикон 26) има најмању просечну вредност на мерном месту 10, а највећу на мерном месту 19/20. Мерења укупне бројности бактерија током 2017. године на свим мерним местима крећу се у нормалном распону.



Графикон 27. Просечна заступљеност укупног броја гљива 2017. године у зависности од времена узимања узорака

Према резултатима истраживања заступљености укупног броја гљива у зависности од времена узимања узорака (Графикон 27), најмања просечна вредност утврђена је 15. 9. 2017. године, а највећа 30. 6. 2017. године. Мерења укупне бројности бактерија током маја и јуна 2017. године значајно се разликују у односу на бројност утврђену приликом каснијих узорковања.

6. 4. 1. 4. Бројност микроорганизама у 2014. години



Графикон 28. Однос и р-вредност за бактерије (А), актиномицете (В) и гљиве (С) у 2014. години.

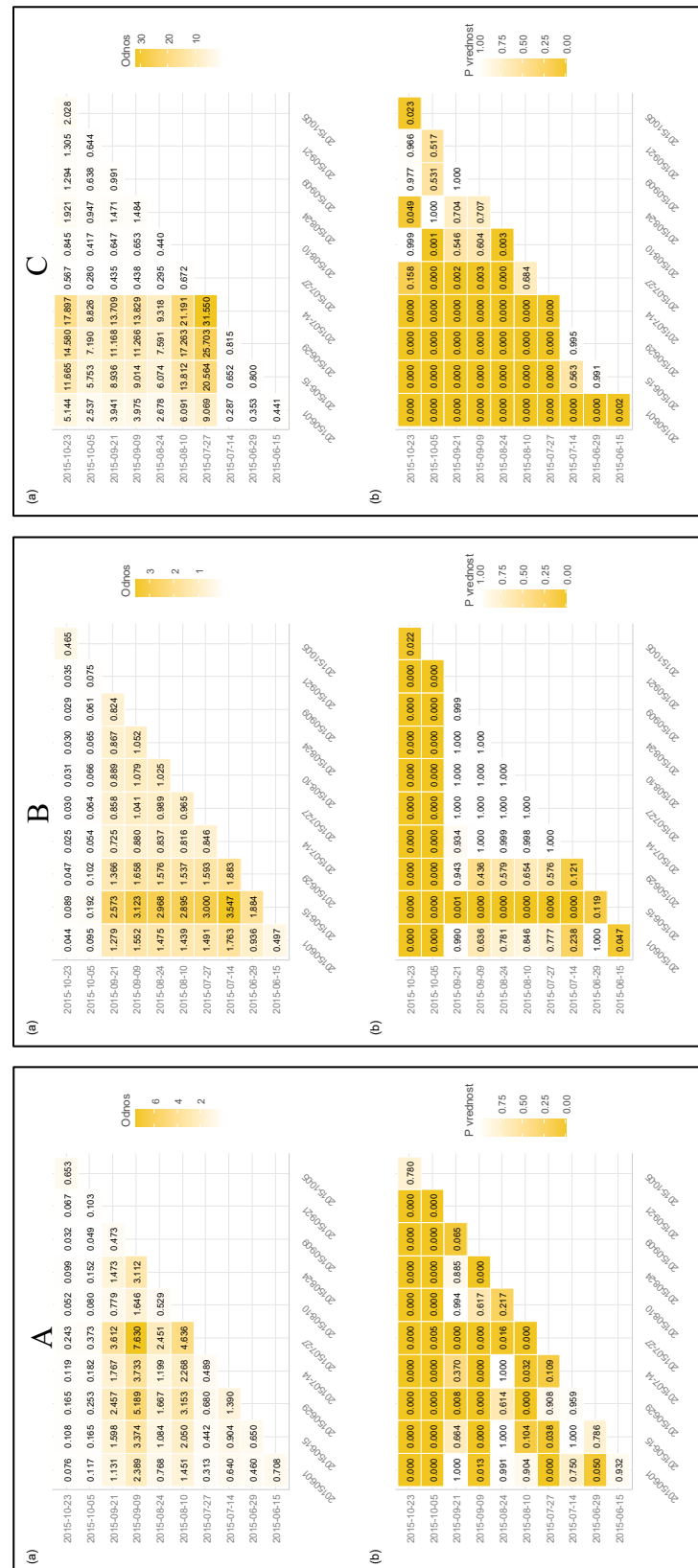
Анализа бројности микроорганизама током 2014. године (Графикон 28) показала је значајне варијације у зависности од датума узорковања. Резултати за актиномицете нису показали статистички значајне разлике између датума, при чему су однос бројева упарених датума варирали између 0.877 и 1.612, уз p -вредности знатно изнад 0.05, што указује на висок степен преклапања узорака и одсуство јасног тренда опадања или раста бројности у зависности од времена.

Насупрот томе, анализа бројности бактерија показала је конзистентан и статистички важан пад током летњих месеци. Број бактерија забележен 21. маја био је значајно виши у односу на касније датуме, при чему су сви односи бројности према каснијим датумима били већи од 2.6, а у неким случајевима чак и изнад 5. Ове разлике су биле изузетно значајне ($p < 0.0001$), а то указује на снажан сезонски ефекат који је вероватно последица промена у еколошким условима, попут температуре и влажности, што може утицати на раст и размножавање бактерија.

Сличан тренд опадања бројности уочава се и код гљива, при чему су све разлике у бројности између 21. маја и каснијих датума биле статистички значајне ($p < 0.0001$). Односи бројности указују на постепено смањење популације гљива током времена, при чему је бројност у јулу и августу била око два пута мања у односу на мај. Ови резултати могу рефлектовати промене у доступности хранљивих материја, конкуренцију са другим микроорганизмима или абиотичке факторе који неповољно утичу на раст гљива.

На крају, док популација актиномицета није показала значајне промене у зависности од времена узорковања, бактерије и гљиве су имале изражен сезонски пад током летњих месеци. Ови налази указују на потенцијално различите еколошке факторе који утичу на различите групе микроорганизама и наглашавају важност даљих истраживања о утицају сезонских промена на микробну динамику у датом екосистему.

6. 4. 1. 5. Бројност микроорганизама у 2015. години



Графикон 29. Однос и р-вредност за бактерије (А), актиномицете (В) и гљиве (С) у 2015. години

Анализа бројности микроорганизама током 2015. године (Графикон 29) указује на значајне сезонске варијације у популацијама актиномицета, бактерија и гљива. Ови резултати осветљавају потенцијалне еколошке факторе који могу утицати на микробну динамику у различитим периодима године.

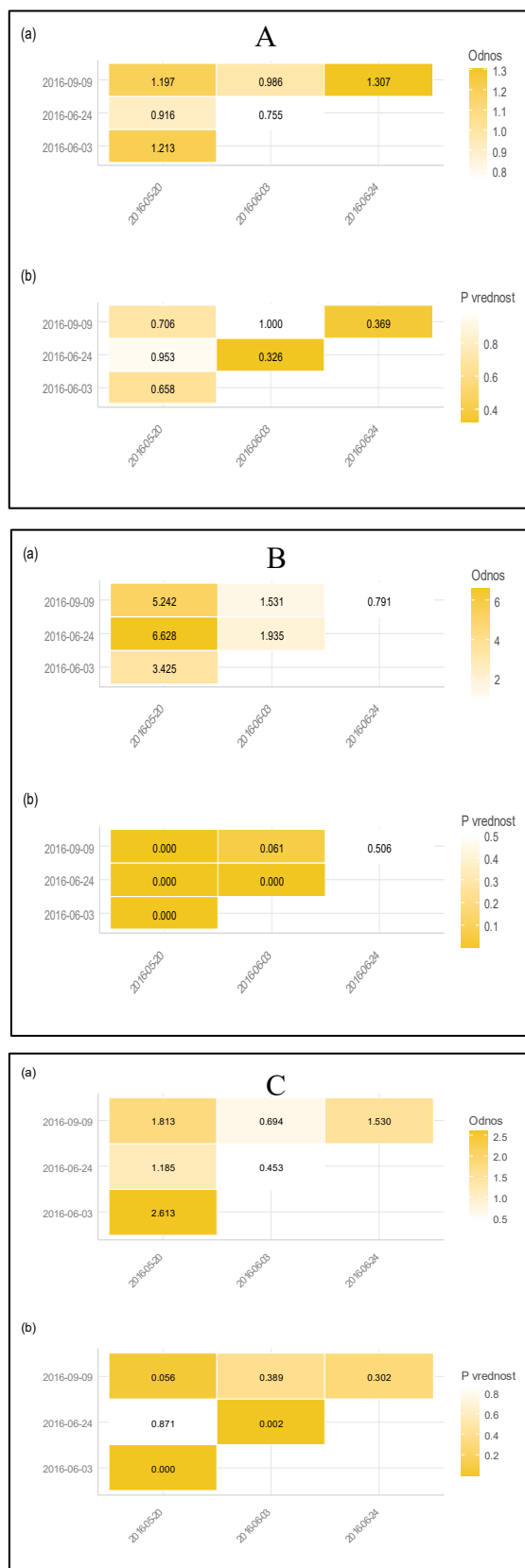
Бројност актиномицета показала је флукуацију током године, при чему су уочене статистички значајне разлике између одређених датума. На пример, бројност актиномицета 1. јуна била је значајно нижа у односу на 15. јун ($p = 0.0472$), док је у поређењу са каснијим датумима, попут 5. и 23. октобра, забележен драстичан пад ($p < 0.0001$). Иако су одређени датуми показали повећање бројности, генерални тренд указује на опадање актиномицета у каснијим месецима.

Када је реч о бактеријама, примећен је значајан сезонски ефекат. У поређењу са почетним узорковањима у јуну, број бактерија је показао изражено смањење у каснијим месецима. На пример, број бактерија 1. јуна био је 11.7% од вредности забележене 5. октобра ($p < 0.0001$). Слично томе, бројност бактерија у јулу и августу је варијала, а опадала је у септембру и октобру, при чему су све разлике биле статистички значајне ($p < 0.0001$). Ови резултати сугеришу на то да фактори попут температуре, влажности и доступности хранљивих материја могу играти кључну улогу у сезонској динамици бактеријских популација.

Гљиве су показале још израженији сезонски образац у односу на бактерије и актиномицете. Од јуна до октобра бројност гљива је значајно опала, при чему су сви односи између почетних и каснијих датума били статистички значајни ($p < 0.0001$). На пример, бројност гљива 1. јуна била је преко девет пута већа од бројности забележене 27. јула, док је у септембру и октобру тај однос био између четири и пет пута већи у корист ранијих узорака. Овај драстични пад може бити последица сезонских промена у условима средине, конкуренције са другим микроорганизмима или промене доступности супстрата погодног за раст гљива.

У закључку, резултати за 2015. годину потврђују значајне сезонске флукуације у бројности микроорганизама, при чему је тренд смањења током лета и јесени најизраженији код гљива, затим код бактерија, док су актиномицете показале мање конзистентан образац промене. Ови налази упућују на потребу за даљим истраживањем специфичних фактора који утичу на еколошку динамику микробиолошких заједница у различитим годишњим добима.

6. 4. 1. 6. Бројност микроорганизама у 2016. години



Графикон 30. Однос и р-вредност за бактерије (А), актиномицете (В) и гљиве (С) у 2016. години

Анализа бројности микроорганизама током 2016. године (Графикон 30) показала је специфичне сезонске варијације актиномицета, бактерија и гљива, али са нешто мањим интензитетом у односу на претходне године.

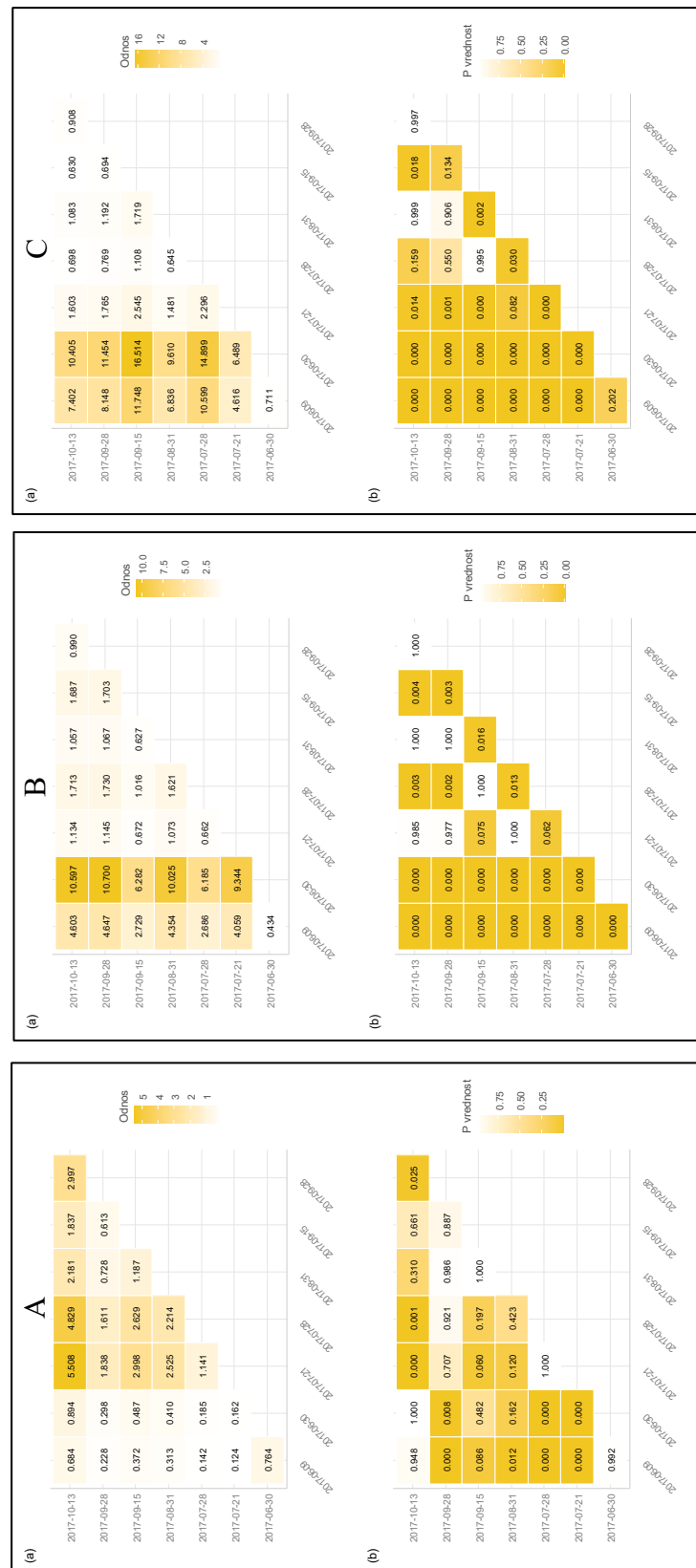
Бројност актиномицета значајно је опала током године. На почетку истраживаног периода, 20. маја, број актиномицета био је већи више од три пута него 3. јуна ($p < 0.0001$), док је у поређењу са 24. јуном и 9. септембром овај пад био још израженији ($p < 0.0001$). На пример, у септембру је број актиномицета био мањи него у мају више од пет пута. С друге стране, између каснијих датума, попут 24. јуна и 9. септембра, није било статистички значајних разлика ($p = 0.5061$), што указује на стабилизацију бројности у другој половини године.

Код бактерија су забележене сличне промене, при чему је тренд опадања био нешто мање изражен. Највећа разлика у бројности уочена је између 20. маја и 3. јуна, где је број бактерија опао за више од два и по пута ($p = 0.0001$). Иако су поједини парови датума показали значајне разлике, попут смањења од 3. јуна до 24. јуна ($p = 0.0024$), однос између каснијих датума није био конзистентно значајан, што сугерише одређену варијабилност у динамици бактеријских популација током године.

За разлику од претходних година, бројност гљива током 2016. године није показала значајне промене између већине датума. На пример, између 20. маја и 3. јуна број гљива је опао за само 1.2 пута, али та разлика није била статистички значајна ($p = 0.6577$). Слично томе, упоређивање других датума, попут 3. јуна и 9. септембра, показало је одсуство значајних разлика ($p = 0.9998$), што указује на релативно стабилан ниво популације гљива током целе године.

Закључно, иако су 2016. године примећени сезонски падови у бројности актиномицета и бактерија, ови трендови су били мање изражени него претходних година. Бројност гљива није показала јасне сезонске обрасце, што може указивати на отпорност ових микроорганизама на промене еколошких услова или на стабилнију доступност супстрата потребног за њихов раст. Ови резултати сугеришу потребу за даљом анализом специфичних фактора који утичу на динамику микробиолошких заједница током године.

6. 4. 1. 7. Бројност микроорганизама у 2017. Години



Графикон 31. Однос и р-вредност за бактерије (А), актиномицете (В) и гљиве (С) у 2017. години

Анализа бројности микроорганизама током 2017. године (Графикон 31) показала је изражене сезонске промене код актиномицета, бактерија и гљива, са значајним падовима у популацијама током летњих и јесењих месеци.

Бројност актиномицета је показала статистички значајне разлике између већине датума. У поређењу са почетним узорковањем, 9. јуна, број актиномицета је био већи него 21. јула више од четири пута, 31. августа и 13. октобра ($p < 0.0001$). Посебно значајан пад примећен је од 30. јуна до каснијих датума, при чему је број актиномицета био десет пута мањи у септембру и октобру ($p < 0.0001$). Ови резултати указују на снажан сезонски утицај на актиномицете, при чему се њихова бројност постепено смањује током године.

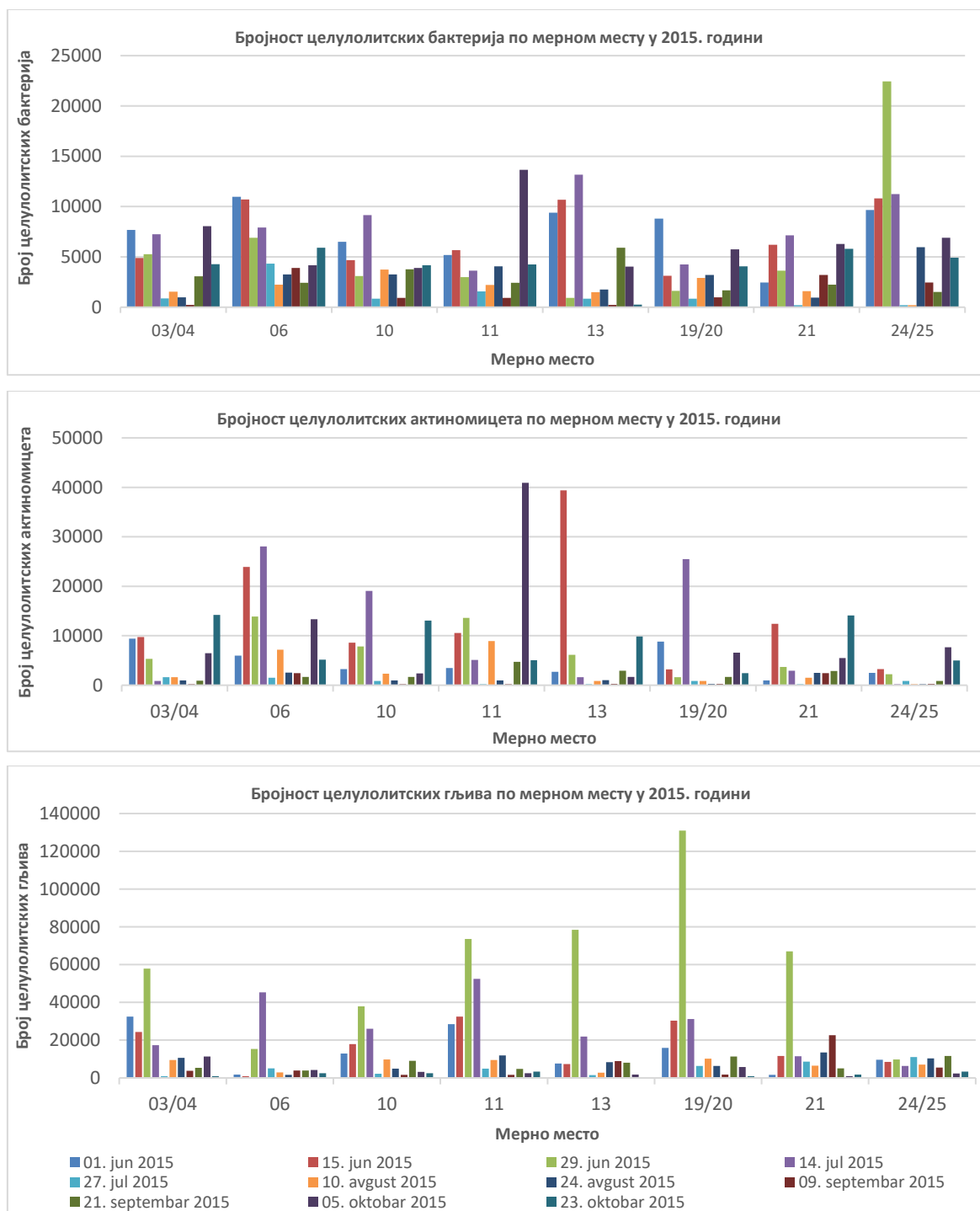
Бактерије су 2017. године такође показале изражен сезонски тренд. Њихова бројност је значајно опала између јуна и јула, при чему је број бактерија 9. јуна био само 12,4% вредности забележене 21. јула ($p < 0.0001$). Овај тренд опадања наставио се и у августу и септембру, а појединих датума број бактерија био је и до пет пута мањи него ранијих месеци. Иако су одређене разлике између каснијих датума биле статистички значајне, примећена је стабилизација бројности у последњим месецима истраживања.

Код гљива су сезонске промене биле најизраженије. У јуну и јулу су забележене високе вредности бројности, док је у каснијим месецима примећен драматичан пад. На пример, бројност гљива 9. јуна била је више од десет пута већа него 28. јула и 15. септембра ($p < 0.0001$). Слично томе, између 30. јуна и 15. септембра забележен је пад од чак 16,5 пута ($p < 0.0001$). Ови налази потврђују да су гљиве изузетно подложне сезонским променама, вероватно услед варијација у температури, влажности и доступности хранљивих материја.

Закључно, 2017. година потврдила је изражене сезонске варијације у бројности микроорганизама, при чему су актиномицете, бактерије и гљиве показале јасан тренд смањења током летњих и јесењих месеци. Ови налази упућују на значајан утицај еколошких фактора на динамику микробних популација и наглашавају потребу за даљим истраживањима како би се боље разумели механизми који регулишу њихов сезонски циклус.

6. 4. 2. Бројност целулолитских микроорганизама у шумском земљишту

6. 4. 2. 1. Бројност целулолитских микроорганизама у шумском земљишту у 2015. години



Графикон 32. Бројност целулолитских бактерија, актиномицета и гљива у 2015. години

Према резултатима истраживања, укупан број целулолитских бактерија у 2015. године кретао се од 0.021×10^4 до 3.14×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја бактерија утврђена је на мерном месту 13

приликом другог и трећег узорковања 27. 7. 2015. године и износила је 0.021×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја бактерија утврђена на мерном месту 24/25 приликом првог узорковања 29. 6. 2015. године и износила је 3.14×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта.

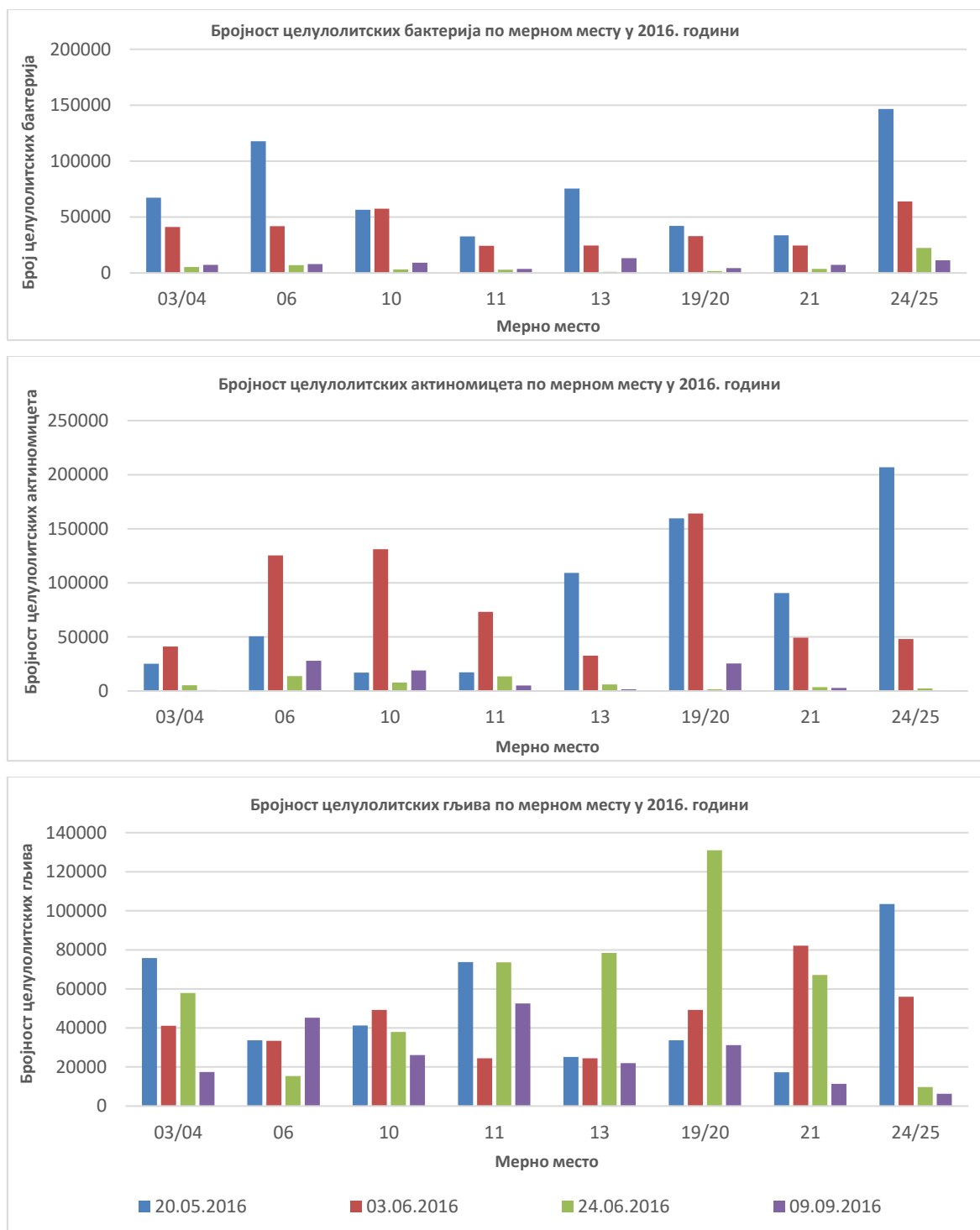
Број целулолитских актиномицета у 2015. години кретао се од 0.021×10^4 до 6.64×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја актиномицета утврђена је на мерном месту 13 приликом сва три узорковања 27. 7. 2015. године и износила је 0.021×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја актиномицета утврђена на мерном месту 13 приликом другог узорковања 15. 6. 2015. године и износила је 6.64×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта.

Број целулолитских гљива у 2015. години кретао се од 0.021×10^4 до 13.47×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја гљива утврђена је на мерном месту 13 приликом првог и другог узорковања 27. 7. 2015. године и износила је 0.021×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја гљива утврђена на мерном месту 19/20 приликом трећег узорковања дана 29. 6. 2015. године и износила је 13.47×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта.

Према Графикону 32, целулолитски микроорганизми у 2015. години знатно су бројнији током јуна и јула, док је у осталом периоду истраживања (август – октобар) њихова бројност мања. Целулолитске гљиве показују значајно већу просечну бројност 29. јуна и 14. јула 2015. године, тј. у периоду са најмање падавина, са високим вредностима температуре ваздуха и земљишта. Целулолитске бактерије показују ванредне вредности 29. јуна на мерном месту 24/25, 14. јула на мерном месту 13 и 5. октобра на мерном месту 11. Целулолитске актиномицете показују значајне ванредне вредности 15. јуна на мерном месту 13 и 5. октобра на мерном месту 11.

Анализа података из 2015. године и графички приказ 32 јасно показују да место узимања узорка нема значајан утицај на бројност целулолитских микроорганизма у земљишту, већ на њихову бројност најзначајније утиче датум узорковања. Може се закључити да постоји директна сразмерна зависност између бројности целулолитских микроорганизма и екстремних климатских догађаја (највеће температуре ваздуха и земљишта и најмање количине падавина).

6. 4. 2. 2. Бројност целулолитских микроорганизама у шумском земљишту у 2016. години



Графикон 33. Бројност целулолитских бактерија, актиномицета и гљива у 2016. години

Број целулолитских бактерија у 2016. године кретао се од 0.021×10^4 до 20.69×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја бактерија утврђена је на мерном месту 24/25 приликом другог узорковања 9. 9.

2016. године и износила је 0.021×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја бактерија утврђена на истом мерном месту, 24/25, приликом првог узорковања 20. 5. 2016. године и износила је 20.69×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта.

Број целулолитских актиномицета у 2016. години кретао се од 0.021×10^4 до 36.94×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја актиномицета утврђена је на мерном месту 24/25 приликом сва три узорковања 9. 9. 2016. године и износила је 0.021×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја актиномицета утврђена на мерном месту 19/20 приликом првог узорковања 3. 6. 2016. године и износила је 36.94×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта.

Број целулолитских гљива у 2016. години кретао се од 0.21×10^4 до 18.1×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја гљива утврђена је на мерном месту 24/25 приликом другог узорковања 9. 9. 2016. године и износила је 0.21×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја гљива утврђена на истом мерном месту 24/25 приликом трећег узорковања 20. 5. 2016. године и износила је 18.1×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта.

Према Графикону 33, целулолитски микроорганизми у 2016. години знатно су бројнији током маја и јуна, док их је у септембру мање. Целулолитске бактерије и актиномицете показују ванредне вредности 20. маја на мерном месту 24/25. Целулолитске гљиве значајно су бројније 20. маја и 24. јуна 2016. године, тј. у периоду са умереним и редовним падавинама, са умерено високим температурама ваздуха и земљишта, а ванредне вредности бележе се 24. јуна на мерном месту 19/20.

Из Графикана 33 уочава се да место узимања узорака нема значајан утицај на бројност целулолитских микроорганизама у земљишту, већ датум узорковања најзначајније утиче на њихову бројност. И у 2016. години, као и 2015. године, може се закључити да екстремни климатски догађаји (највеће температуре ваздуха и земљишта и најмање количине падавина) имају најзначајнији утицај на бројност целулолитских микроорганизама.

6. 4. 2. 3. Бројност целулолитских микроорганизама у шумском земљишту у 2017. години



Графикон 34. Бројност целулолитских бактерија, актиномицета и гљива у 2017. години

Број целулолитских бактерија у 2017. години кретао се од 0.2×10^4 до 6.6×10^4 ћелије по граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја бактерија утврђена је на мерном месту 21 приликом трећег узорковања 28. 7. 2017.

године и износила је 0.2×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја бактерија утврђена на мерном месту 3/4 приликом првог узорковања 21. 7. 2017. године и износила је 6.6×10^4 ћелије по граму апсолутно сувог земљишта.

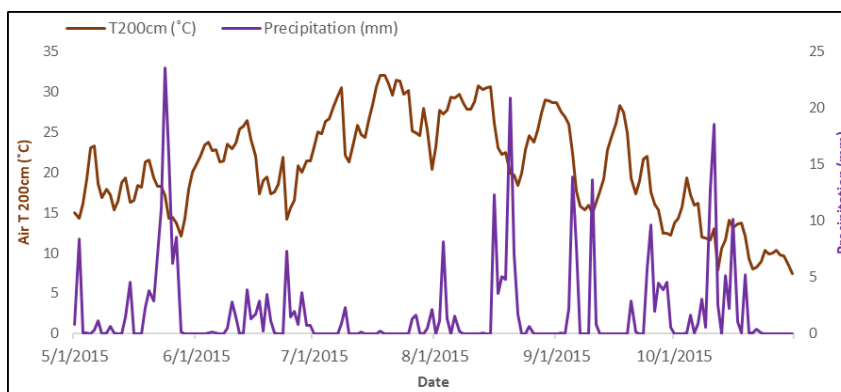
Број целулолитских актиномицета у 2017. години кретао се од 0.2×10^4 до 26.7×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја актиномицета утврђена је на мерном месту 21 приликом трећег узорковања 28. 7. 2017. године и износила је 0.2×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја актиномицета утврђена на мерном месту 3/4 приликом првог узорковања 21. 7. 2017. године и износила је 26.7×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта.

Број целулолитских гљива у 2017. години кретао се од 0.2×10^4 до 31.58×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта. Најмања заступљеност укупног броја гљива утврђена је на мерном месту 21 приликом првог узорковања 31. 8. 2017. године и износила је 0.2×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта, док је највећа заступљеност укупног броја гљива утврђена на мерном месту 11 приликом трећег узорковања 15. 9. 2017. године и износила је 31.58×10^4 ћелија по граму апсолутно сувог земљишта.

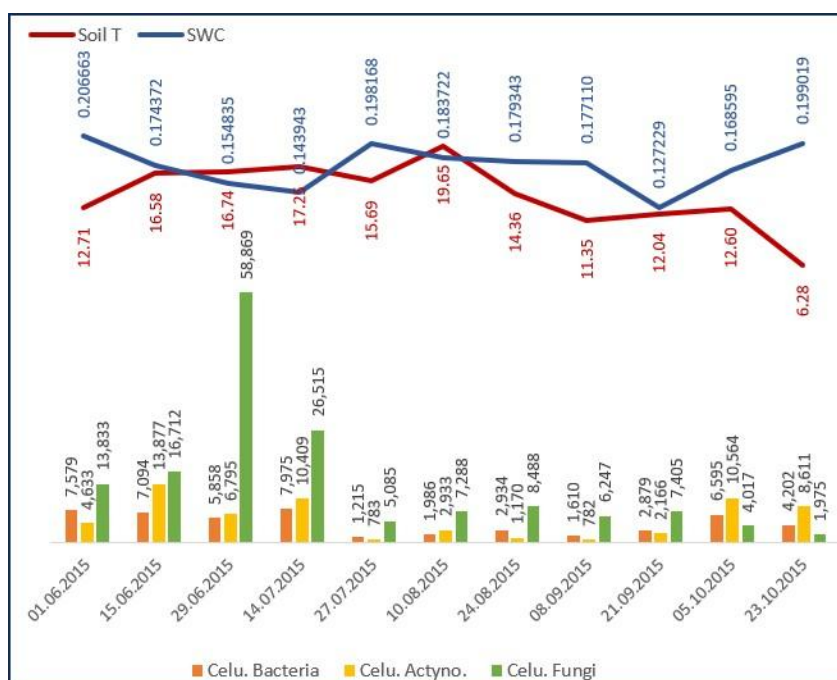
Према Графикону 34, целулолитски микроорганизми у 2017. години знатно су бројнији током јула, док је у јесењем периоду њихова бројност мања. Целулолитске бактерије најбројније су 21. јуна 2017. године на скоро свима мерним местима. Целулолитске актиномицете показују значајне ванредне вредности 21. јула на мерном месту 6 и 31. августа на мерном месту 19/20. Целулолитске гљиве показују значајно већу просечну бројност 15. септембра 2017. године, тј. у периоду са умереним и редовним падавинама, са умерено високим температурама ваздуха и земљишта.

Из Графикона 34 се уочава да место узимања узорка нема значајан утицај на бројност целулолитских микроорганизма у земљишту, већ датум узорковања најзначајније утиче на њихову бројност. Може се закључити да и у 2017. години постоји јасна директна сразмерна зависност између бројности целулолитских микроорганизма и екстремних климатских догађаја (највеће температуре ваздуха и земљишта и најмање количине падавина).

6. 4. 2. 4. Зависност бројности целулолитских микроорганизама у шумском земљишту од температуре и влажности земљишта

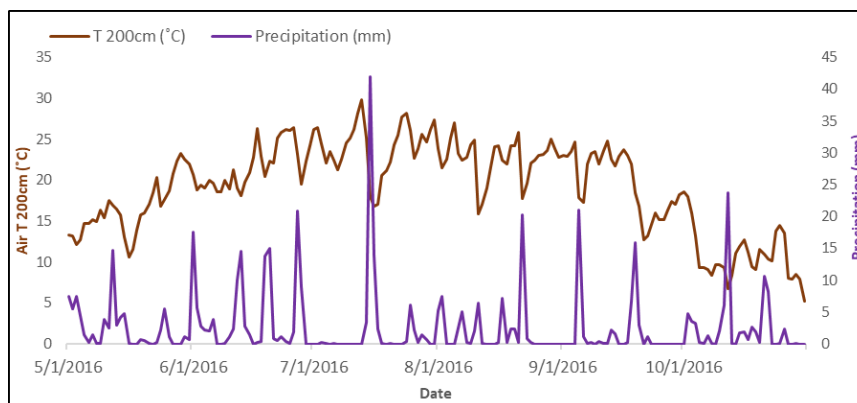


Графикон 35. Зависност температура ваздуха и падавине у 2015. години



Графикон 36. Зависност бројности целулолитских микроорганизама од температуре и влажности земљишта у 2015. години

Из Графикона 36 може се закључити да у 2015. години постоји обрнуто сразмерна зависност између температуре земљишта и влажности земљишта (повећањем температуре земљишта влажност земљишта опада). Бројност целулолитских микроорганизама је значајно већа током јуна и јула, што је период са најмање падавина и значајно високим температурама ваздуха (Графикон 35). Целулолитске гљиве су углавном најбројније, осим приликом узорковања у октобру, када преовлада број целулолитских актиномицета. Уочава се тренд пораста бројности целулолитских актиномицета и гљива са порастом температуре земљишта, док бројност целулолитских бактерија показује мању зависност од ове промене.

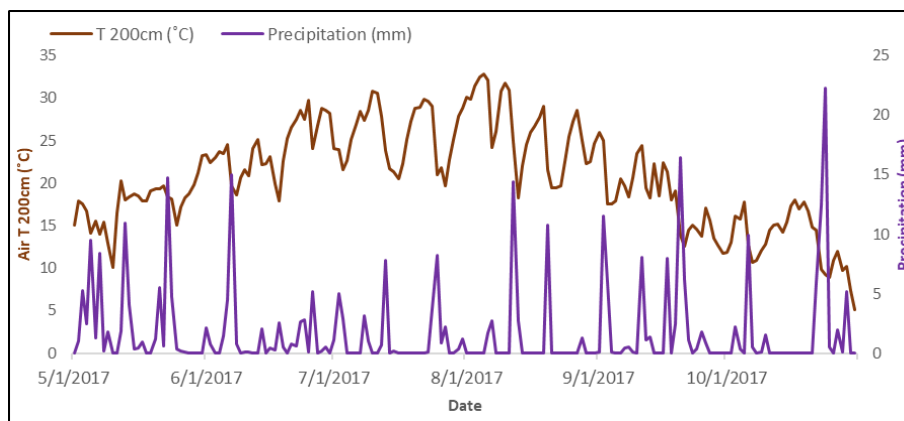


Графикон 37. Зависност температура ваздуха и падавине у 2016. години

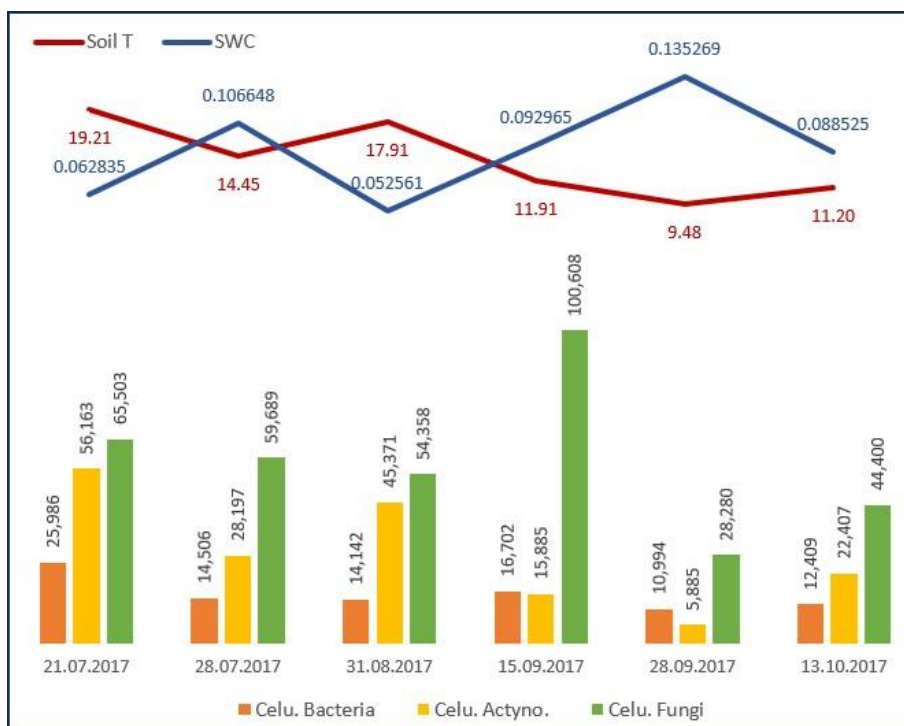


Графикон 38. Зависност бројности целулолитских микроорганизама од температуре и влажности земљишта у 2016. години

Из Графикона 38 може се закључити да у 2016. години постоји обрнуто сразмерна зависност између температуре земљишта и влажности земљишта (повећањем температуре земљишта влажност земљишта опада). Бројност целулолитских микроорганизама је значајно већа током маја и прве половине јуна, што је период са најмање падавина и значајно високим температурама ваздуха (Графикон 37). Из анализе доступних података уочава се да су у ранијем периоду 2016. године најбројније целулолитске актиномицете, чија се бројност повећава како температура земљишта расте. У каснијим узорковањима најбројније су целулолитске гљиве, чија се бројност повећава са повећањем температуре земљишта и значајним смањењем влажности земљишта. Број целулолитских бактерија је значајно већи у условима веће влажности земљишта.



Графикон 39. Зависност температура ваздуха и падавине у 2017. години



Графикон 40. Зависност бројности целулолитских микроорганизама од температуре и влажности земљишта у 2017. години

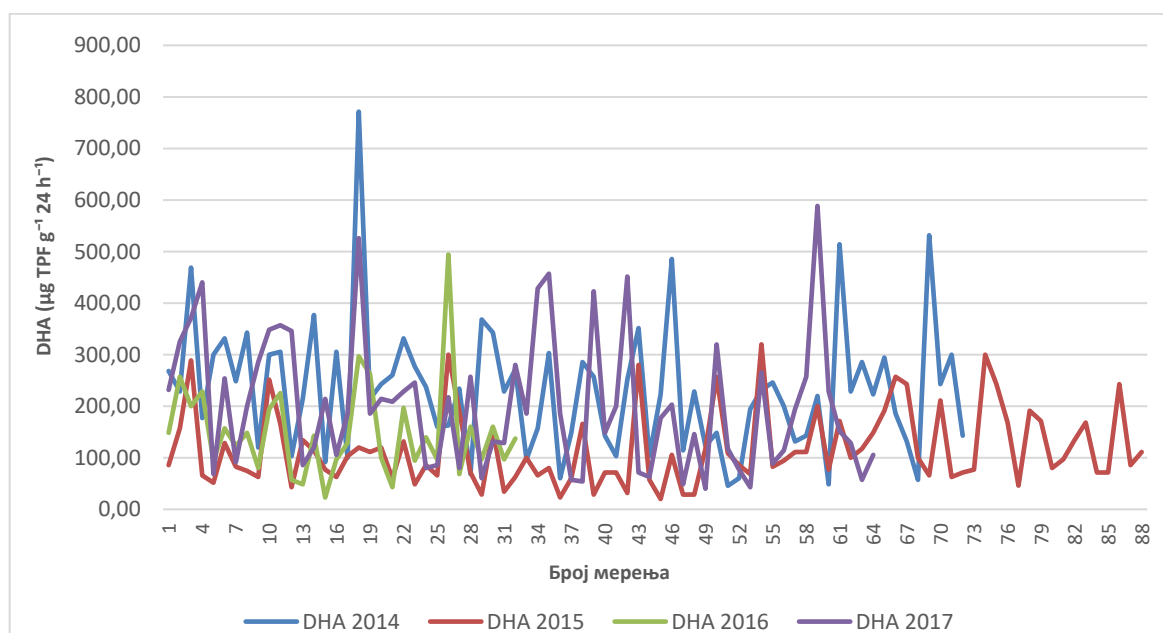
Из Графикона 40 може се закључити да и у 2017. години постоји обрнуто сразмерна зависност између температуре земљишта и влажности земљишта (повећањем температуре земљишта влажност земљишта опада). Бројност целулолитских микроорганизама је већа у топлијем и сушнијем периоду од јула до августа (Графикон 39). Од друге половине августа до краја октобра падавине су чешће и обилније, због чега се смањује температура ваздуха и земљишта. Приликом свих узорковања најбројније су целулолитске гљиве, затим целулолитске актиномицете и бактерије. Уочава се тренд пораста бројности целулолитских актиномицета и гљива са порастом температуре земљишта, док бројност целулолитских бактерија показује мању зависност од ове промене.

6. 4. 3. Активност ензима дехидрогеназе (ДНА)

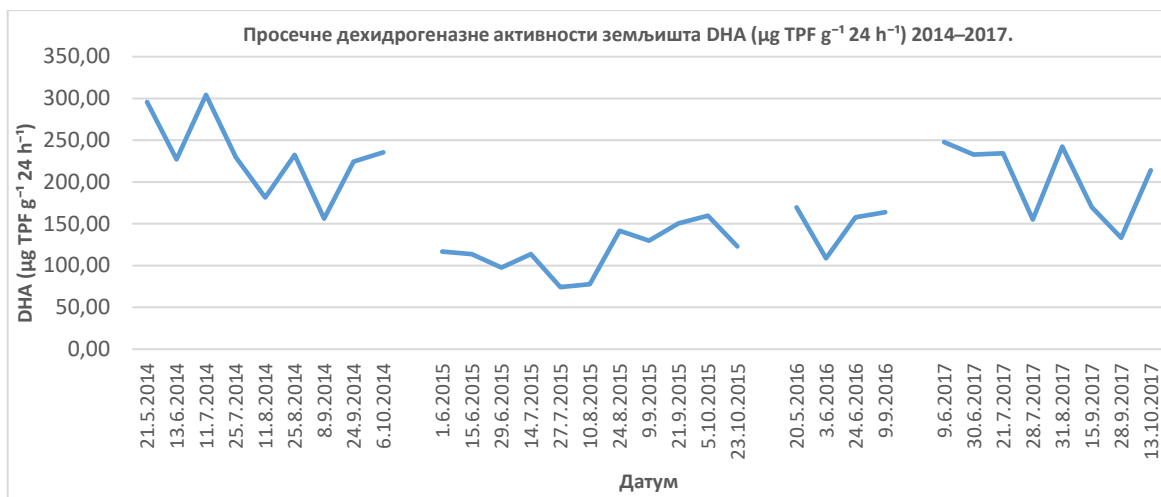
Ензими дехидрогеназе у земљишту су најчешће микробиолошког порекла и каталишу разградњу органске материје у земљишту, која је у основи оксидо-редукциони процес. Дехидрогеназе су конститутивни ензими свих микроорганизама, па се на основу дехидрогеназне активности може проценити општа микробиолошка активност земљишта (Jarak & Đurić, 2006).

Активност ензима дехидрогеназе (ДНА) зависи од укупне физиолошке активности микроорганизама, при чему већа активност дехидрогеназе указује на већи интензитет дисања, односно минерализације органске материје у земљишту (Tabatabai, 1982; Benitez et al., 2004).

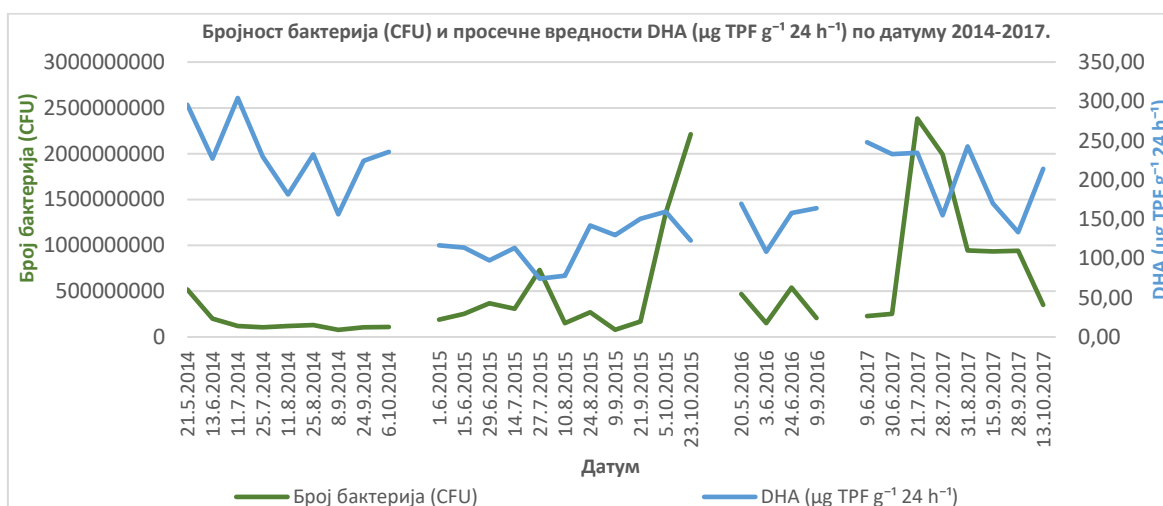
Измерене вредности ензима дехидрогеназе (у $\mu\text{g TPF g}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$) у 2014. години кретале се од 45.71 на 8. 9. 2014. године на мерном месту 10, до 771.43 на 11. 7. 2014. године на мерном месту 6. Године 2015. вредности су ишле од 20.00 на 10. 8. 2015. године на мерном месту 13, до 320.00 на 24. 8. 2015. године на мерном месту 19/20. Године 2016. забележене су вредности од 22.86 на 3. 6. 2016. године на мерном месту 21, до 494.29 на 9. 9. 2016. године на мерном месту 6. У 2017. години вредности износе од 40.00 на 28. 9. 2017. године на мерном месту 3/4, до 588.57 на 13. 10. 2017. године на мерном месту 10 (Графикон 41). Времена и места узимања узорка немају знатан утицај на дехидрогеназне активности земљишта (Прилог 4).



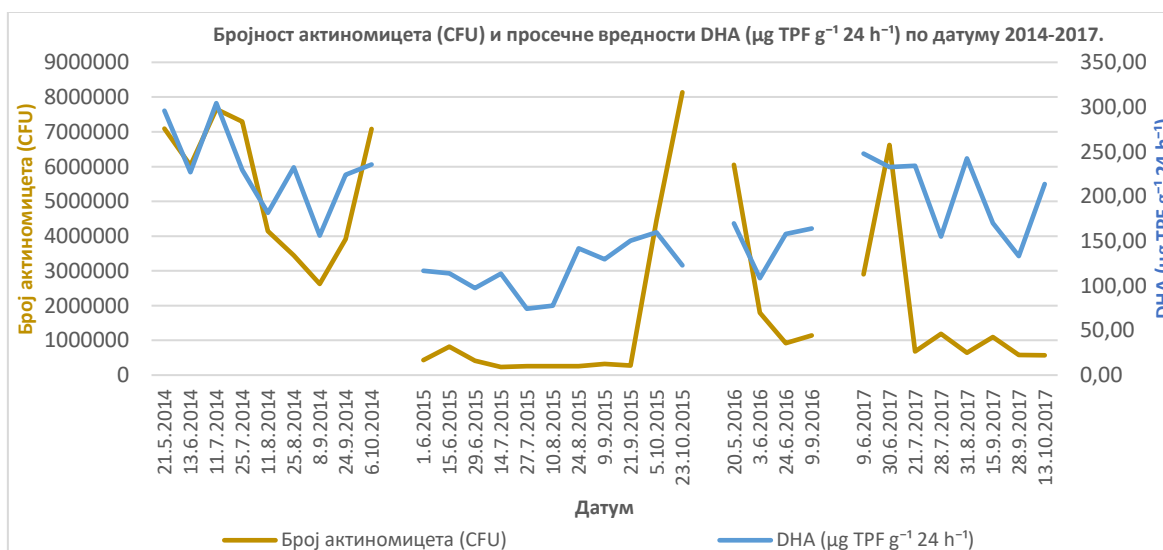
Графикон 41. Кретање вредности дехидрогеназне активности земљишта по годинама



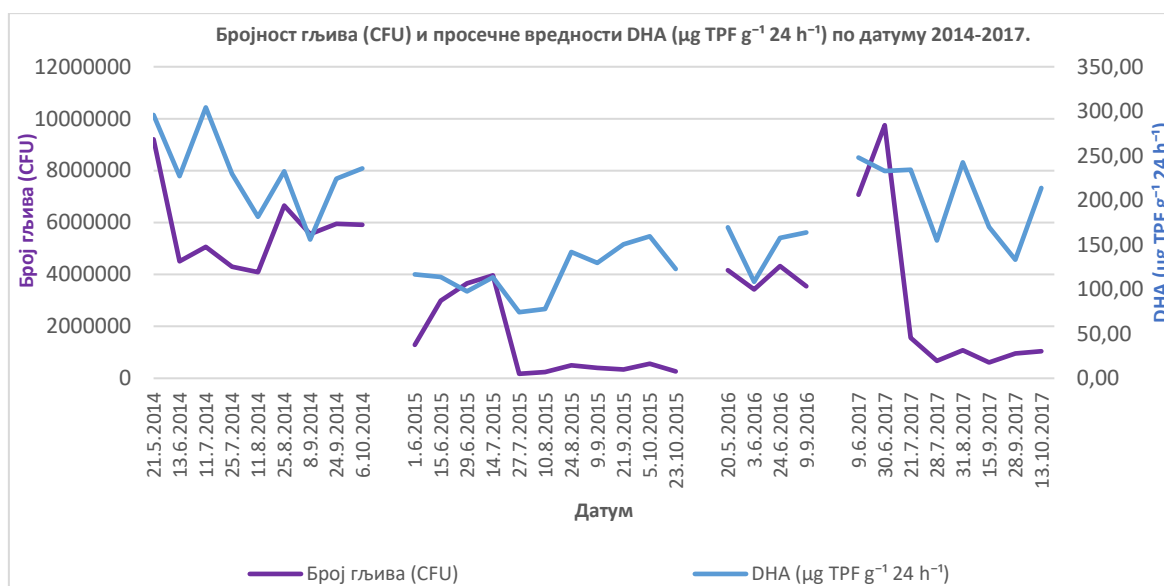
Графикон 42. Кретање просечне вредности дехидрогеназне активности земљишта 2014–2017. године



Графикон 43. Бројност бактерија (CFU) и просечне вредности DNA ($\mu\text{g TPF g}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$) по датуму



Графикон 44. Бројност актиномицета (CFU) и просечне вредности DNA ($\mu\text{g TPF g}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$) по датуму

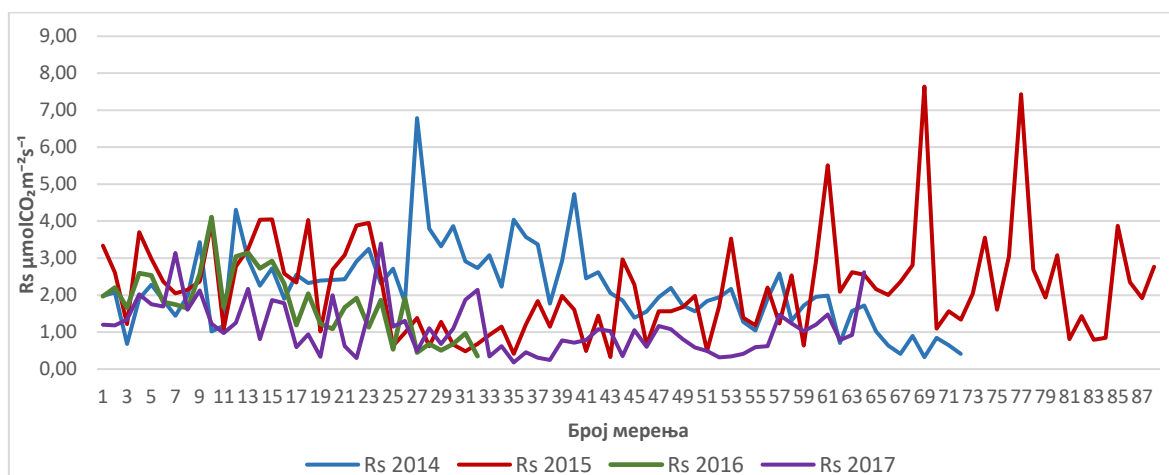


Графикон 45. Бројност гљива (CFU) и просечне вредности DHA ($\mu\text{g TPF g}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$) по датуму

Према анализама представљеним у графиконима 42–45, вредности активности ензима дехидрогеназе током периода испитивања варирале су између 80 и 300 $\mu\text{g TPF g}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$. Такође, ова анализа активности ензима дехидрогеназе открила је значајно променљиве вредности током истраживања: 45.71–771.43 $\mu\text{g TPF g}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$ (мерно место 10 на 8. 9. 2014, и мерно место 6 на 11. 7. 2014) у 2014. години; 20.00–320.00 $\mu\text{g TPF g}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$ (мерно место 13 на 10. 8. 2015. и мерно место 19/20 на 24. 8. 2015) у 2015. години; 22.86–494.29 $\mu\text{g TPF g}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$ (мерно место 21 на 3. 6. 2016. и мерно место 6 на 9. 9. 2016) у 2016; и 40.00–588.57 $\mu\text{g TPF g}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$ (мерно место 3/4 на 28. 9. 2017. и мерно место 10 на 13. 10. 2017) у 2017. години.

6. 5. Дисање земљишта ужег истраженог подручја

Имајући у виду утицај климатских промена на шумске екосистеме, један од циљева ове дисертације јесте да истражи утицај различитих температурних режима на интензитет дисања земљишта. Кретање вредности дисања земљишта у периоду истраживања приказано је на Графикону 46.



Графикон 46. Кретање вредности дисања земљишта по годинама



Графикон 47. Кретање просечне вредности дисања земљишта 2014–2017. године

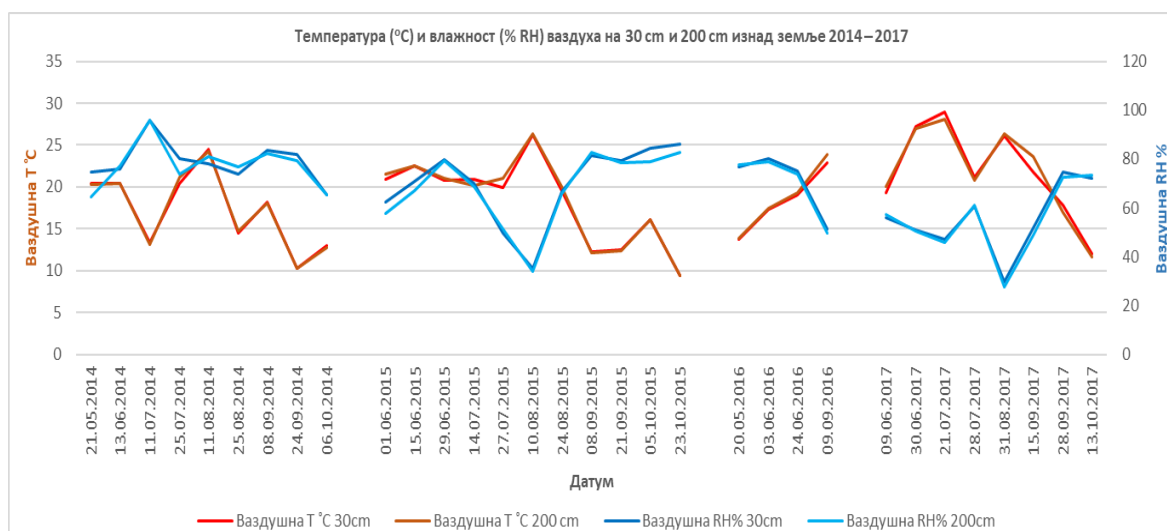
Током 2014. године измерене вредности дисања земљишта кретале су се у распону од $0.05 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 8. 9. 2014. године на мерном месту 21, до $6.92 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 25. 7. 2014. године на мерном месту 13. Године 2015. вредности дисања земљишта биле су у распону од $0.02 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 24. 8. 2015. године на мерном месту 6, до $7.93 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 21. 9. 2015. године на мерном месту 13. Вредности дисања земљишта у 2016. години кретале су се од $0.29 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 20. 5. 2016. године на мерном месту 13 до $4.14 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 3. 6. 2016. године на мерном месту

6. Измерене вредности дисања земљишта 2017. године износе од $0.09 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 31. 8. 2017. године на мерном месту 10, до $3.54 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 21. 7. 2017. године на мерном месту 24/25.

Временски ток показује јасан сезонски шаблон (*pattern*) високе респирације земљишта током топлијег периода (јун – август) и ниско дисање у хладнијем периоду (април – мај и септембар – октобар). Сезонски шаблон се грубо понавља све четири године истраживања.

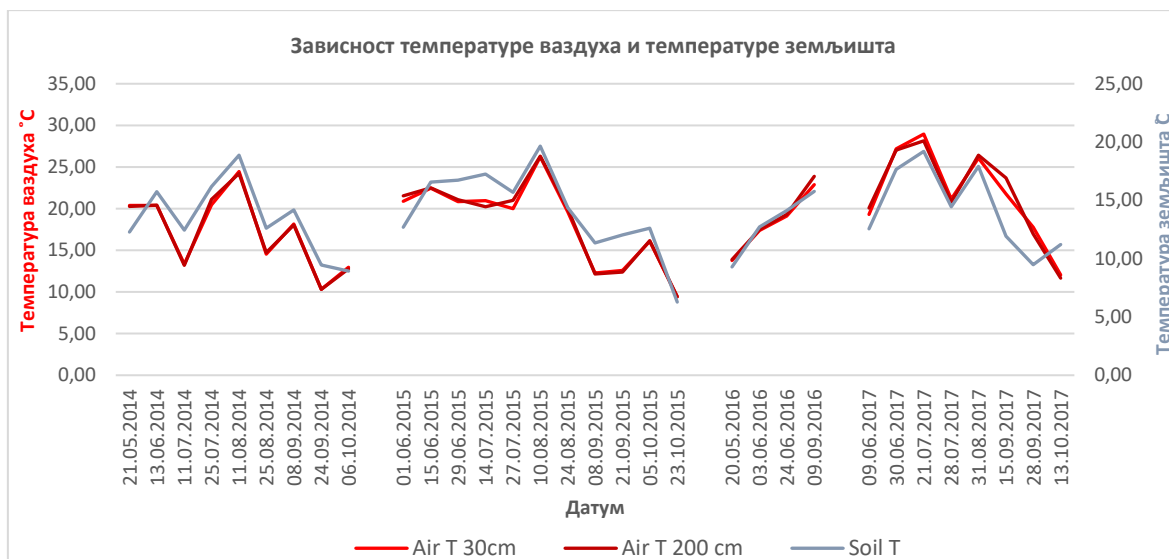
6. 6. Зависност од абиотичких и биотичких фактора

6. 6. 1. Зависност од температуре и влажности ваздуха



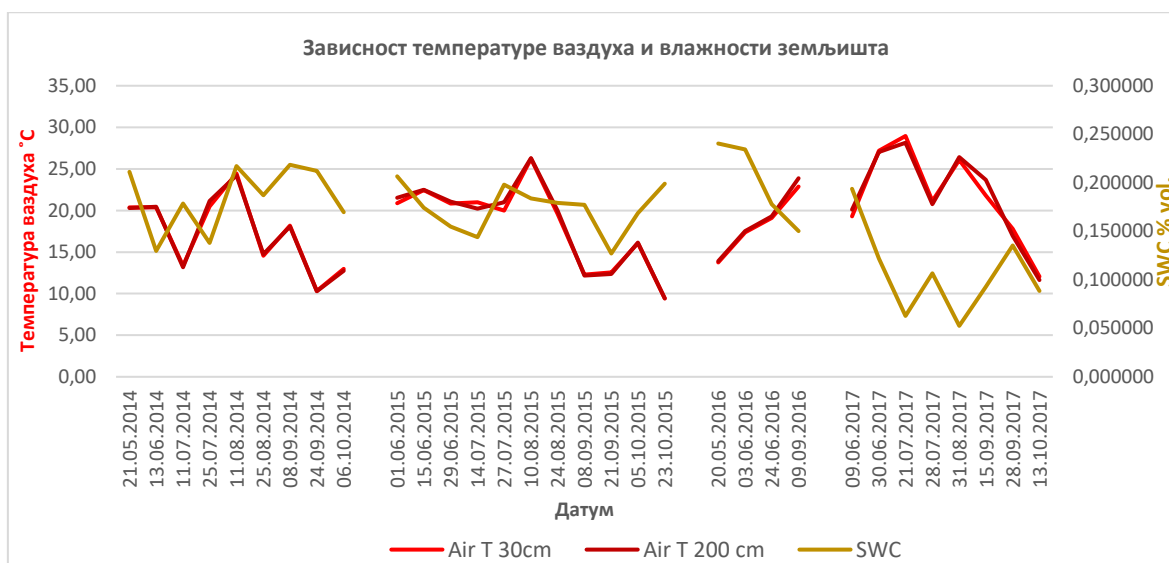
Графикон 48. Зависност температуре ваздуха и влажности ваздуха

Из Графикона 48 уочава се директно сразмерна зависност вредности температуре и влажности ваздуха на 30 см и 200 см изнад земље (с повећањем температуре смањује се влажност ваздуха).



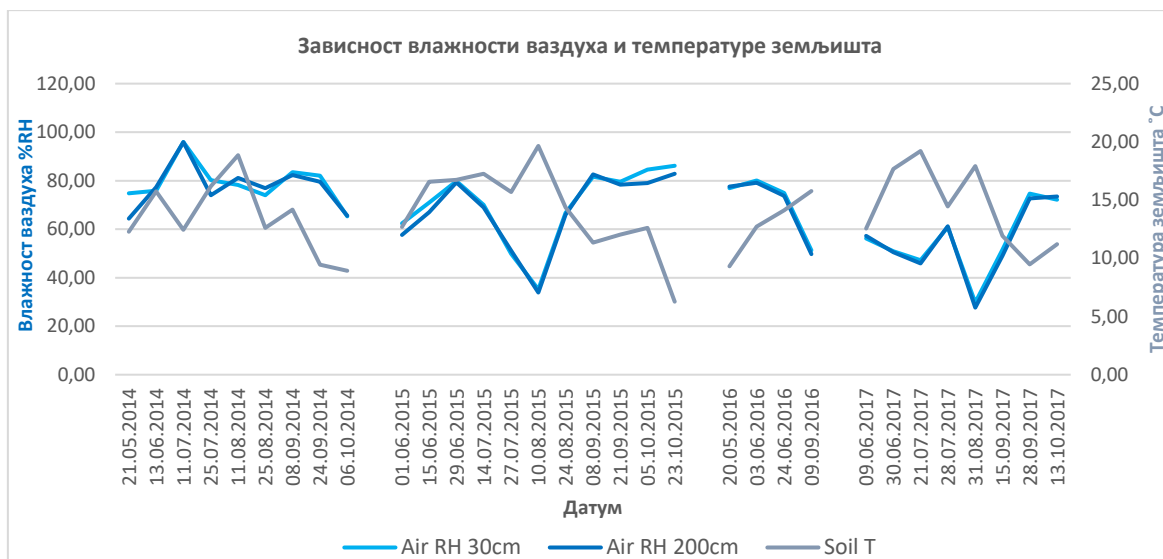
Графикон 49. Зависност температуре ваздуха и температуре земљишта

Из Графикона 49 може се закључити да постоји директно сразмерна зависност између температуре ваздуха и температуре земљишта (с повећањем температуре ваздуха температура земљишта расте).



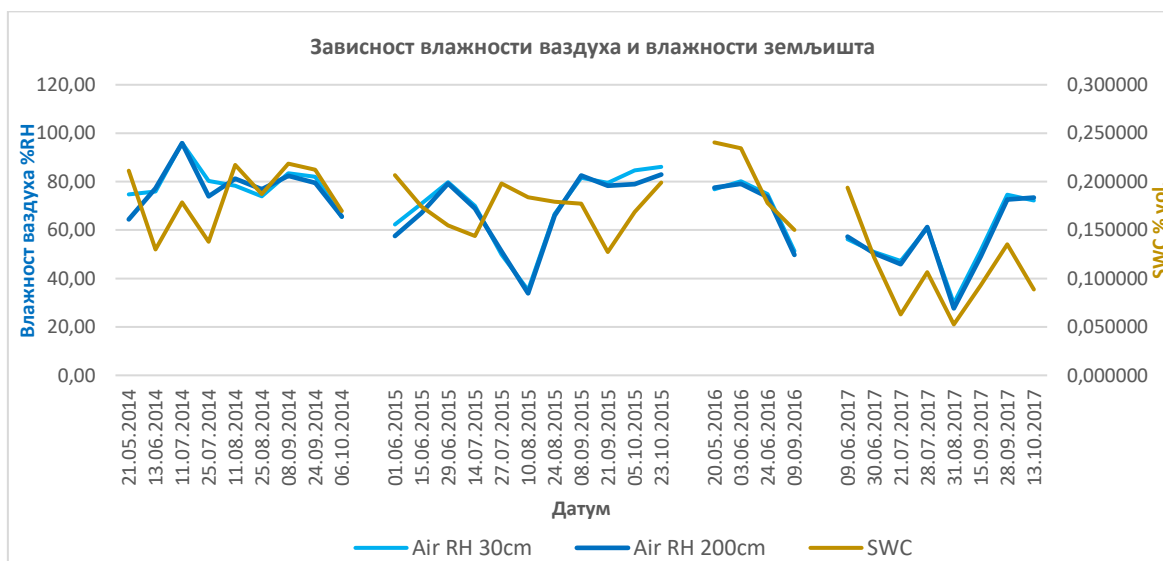
Графикон 50. Зависност температуре ваздуха и влажности земљишта

Приказ анализе података у Графикону 50 указује на обрнуто сразмерну зависност температуре ваздуха и влажности земљишта (с повећањем температуре ваздуха влажност земљишта опада).



Графикон 51. Зависност влажности воздуха и температуре земљишта

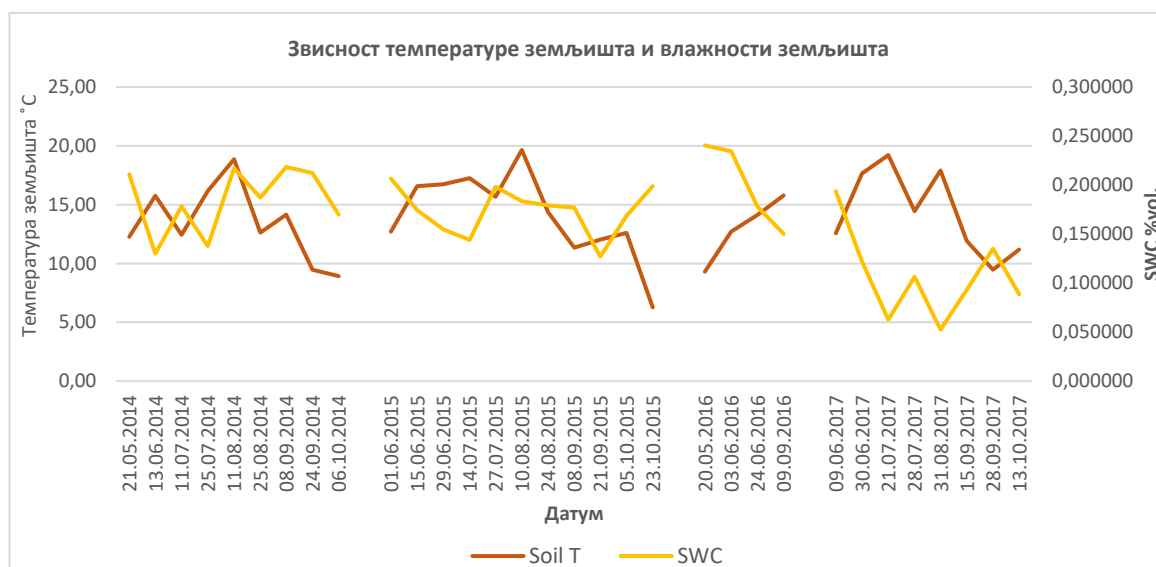
Из Графикона 51 уочава се обрнуто сразмерна зависност влажности воздуха и температуре земљишта (с повећањем влажности воздуха температура земљишта опада).



Графикон 52. Зависност влажности воздуха и влажности земљишта

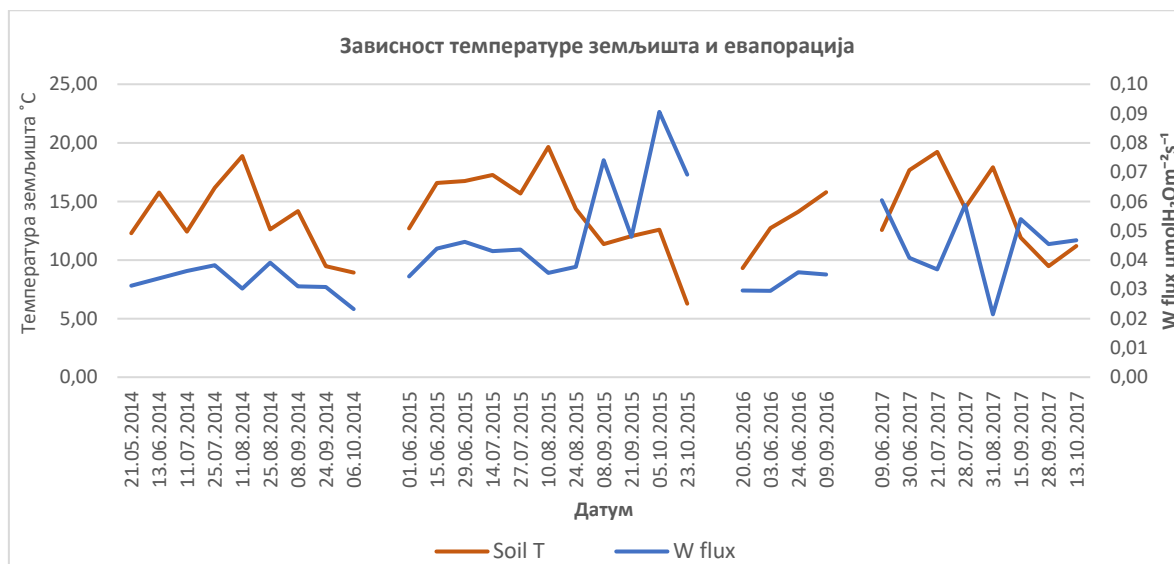
Према Графикону 52, влажност воздуха и влажност земљишта имају директну сразмерну зависност (с повећањем влажности воздуха повећава се влажност земљишта).

6. 6. 2. Зависност температуре земљишта



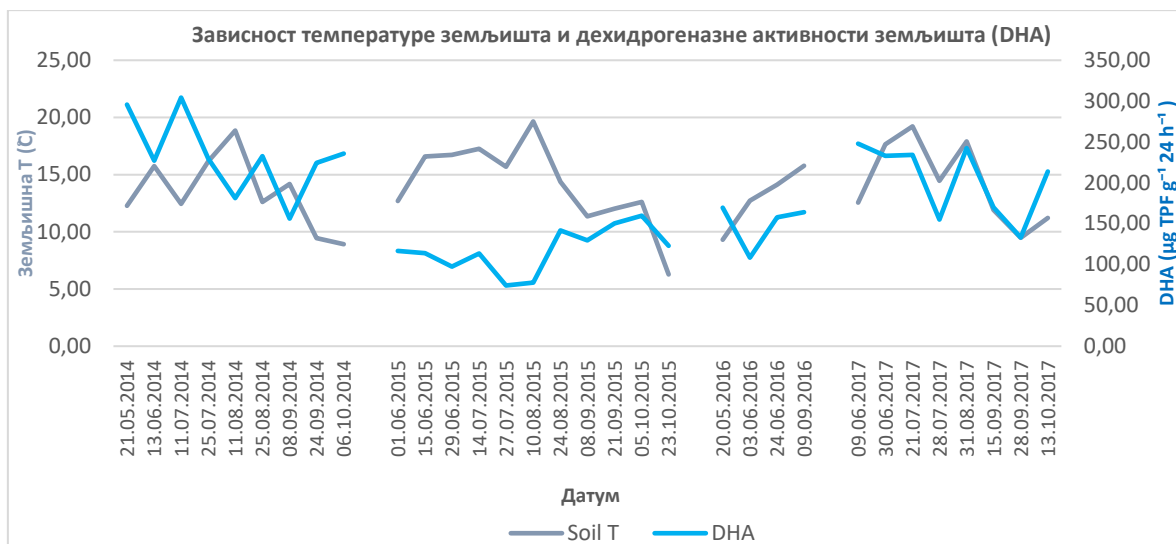
Графикон 53. Зависност температуре земљишта и влажности земљишта

Из Графикона 53 може се закључити да постоји обрнуто сразмерна зависност између температуре земљишта и влажности земљишта (с повећањем температуре земљишта влажност земљишта опада).



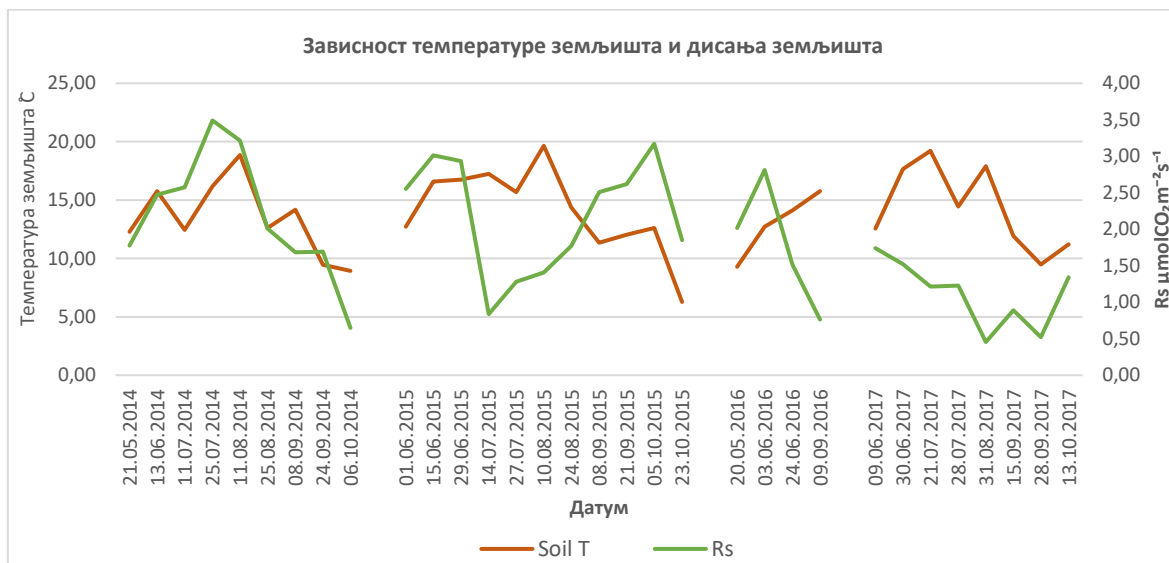
Графикон 54. Зависност температуре земљишта и евапорације

Из графикона 54 уочава се директно сразмерна зависност температуре земљишта и евапорације (с повећањем температуре земљишта повећава се евапорација).



Графикон 55. Зависност температуре земљишта и дехидрогеназне активности земљишта

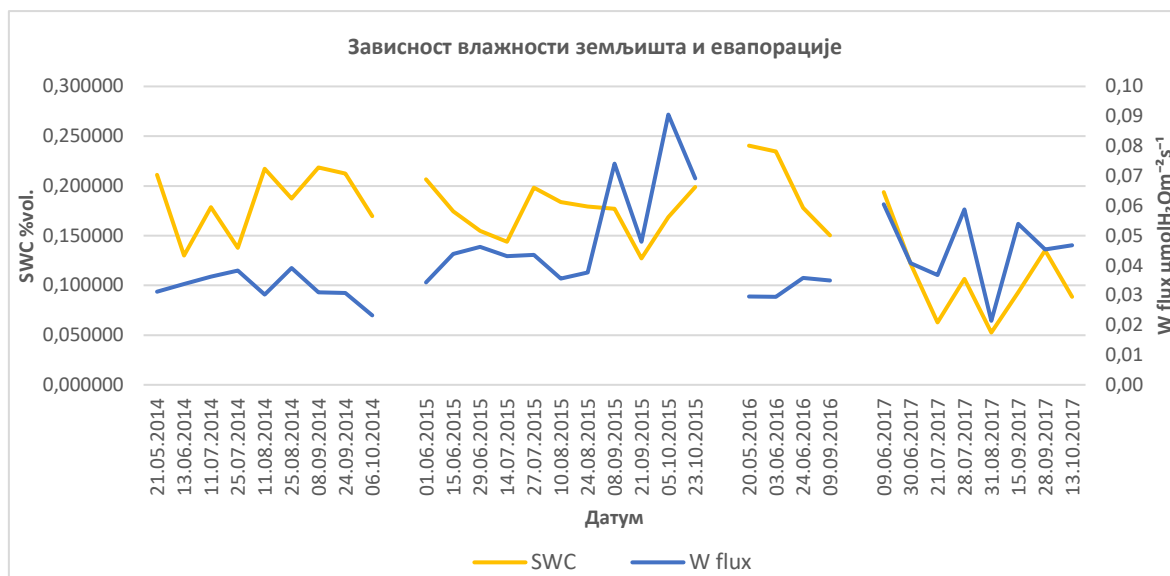
Према приказу у Графикону 55, температура земљишта и дехидрогеназна активност земљишта показују обрнуто сразмерну зависност (с повећањем температуре земљишта дехидрогеназна активност земљишта опада).



Графикон 56. Зависност температуре земљишта и дисања земљишта

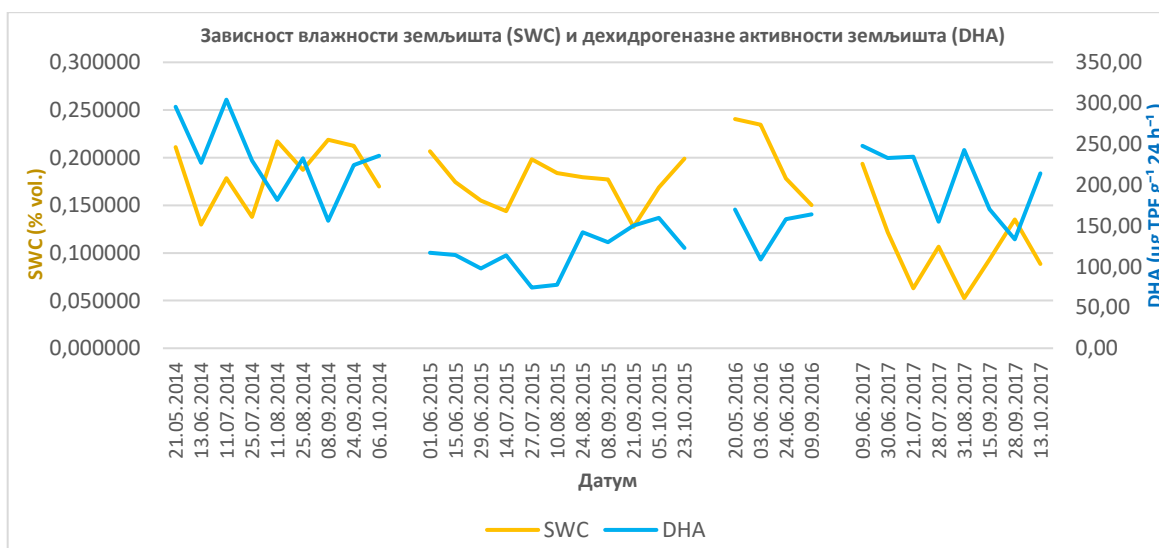
Приказ анализе података у Графикону 56 указује на обрнуто сразмерну зависност температуре земљишта и дисања земљишта (с повећањем температуре земљишта дисање земљишта опада).

6. 6. 3. Зависност влажности земљишта



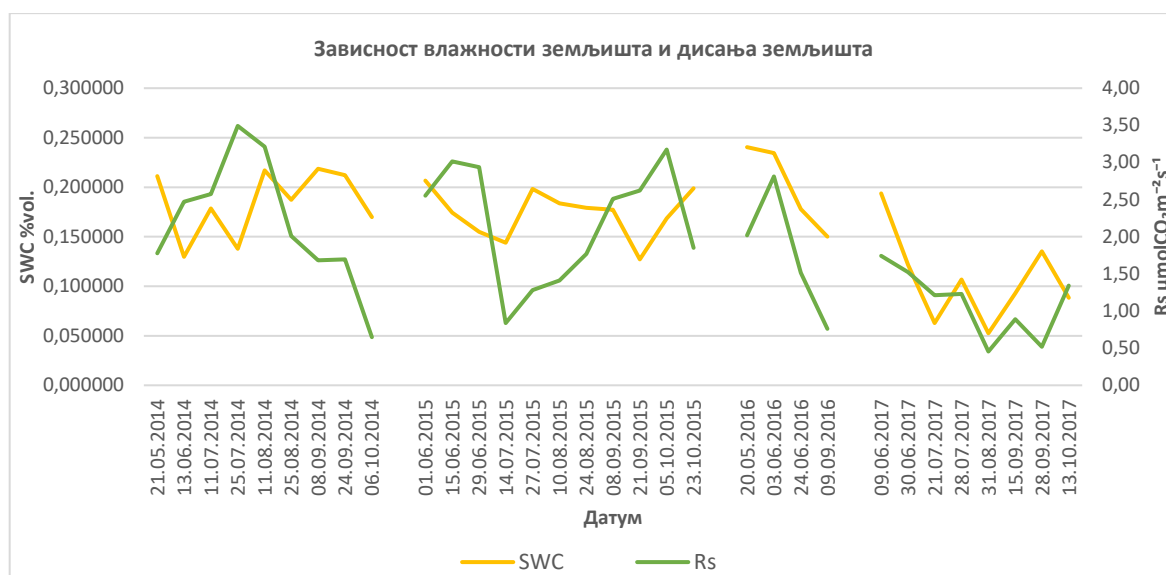
Графикон 57. Зависност влажности земљишта и евапорације

Према приказу у Графикону 57, влажност земљишта и евапорација показују обрнуто сразмерну зависност (с повећањем влажности земљишта евапорација опада).



Графикон 58. Зависност влажности земљишта и дехидрогеназне активности земљишта

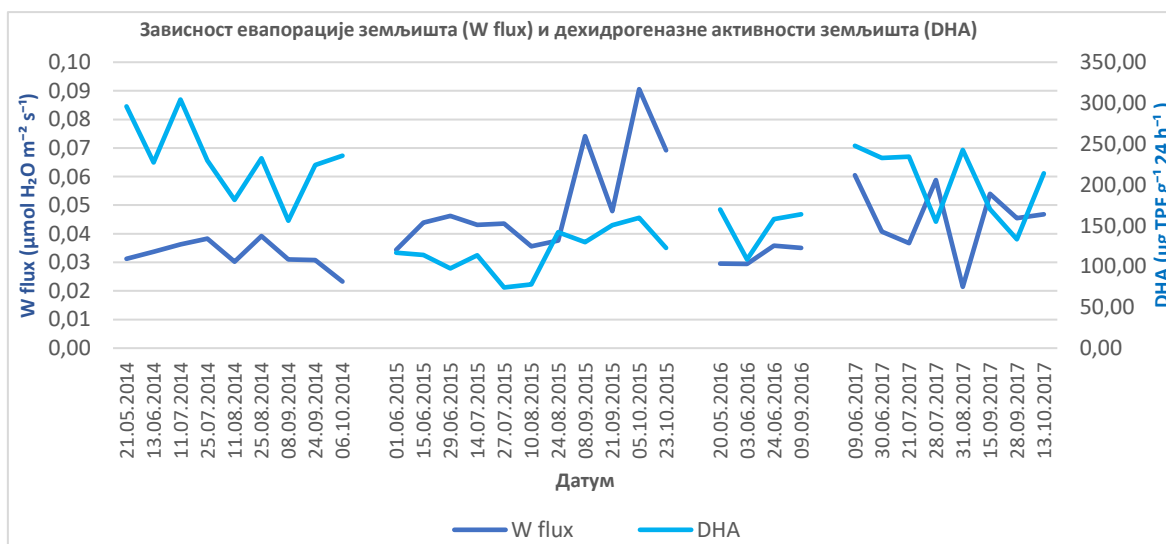
Из Графикона 58 може се закључити да постоји директно сразмерна зависност између влажности земљишта и дехидрогеназне активности земљишта (с повећањем влажности земљишта повећава се дехидрогеназна активност).



Графикон 59. Зависност влажности земљишта и дисања земљишта

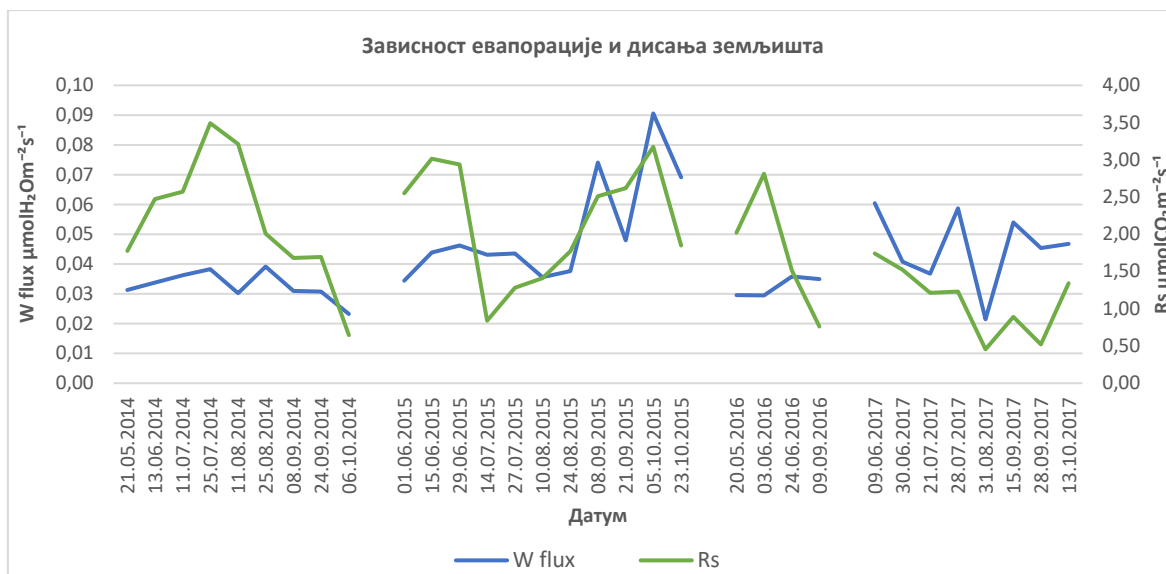
Приказ анализе података у Графикону 59 указује на обрнуто сразмерну зависност влажности земљишта и дисања земљишта (с повећањем влажности земљишта дисање земљишта опада).

6. 6. 4. Зависност евапорације земљишта



Графикон 60. Зависност евапорације и дехидрогеназне активности земљишта

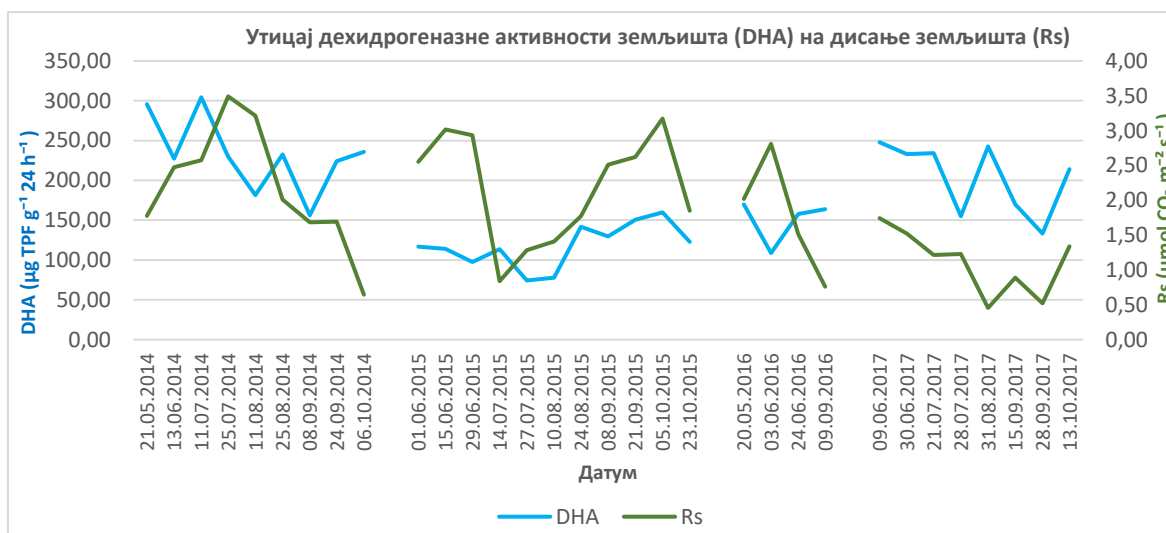
Из Графикона 60 може се закључити да постоји директно сразмерна зависност између евапорације и дехидрогеназне активности земљишта (с повећањем евапорације повећава се дехидрогеназна активност).



Графикон 61. Зависност евапорације и дисања земљишта

Из Графикона 61 закључује се да постоји директно сразмерна зависност између евапорације и дисања земљишта (с повећањем евапорације повећава се дисање земљишта).

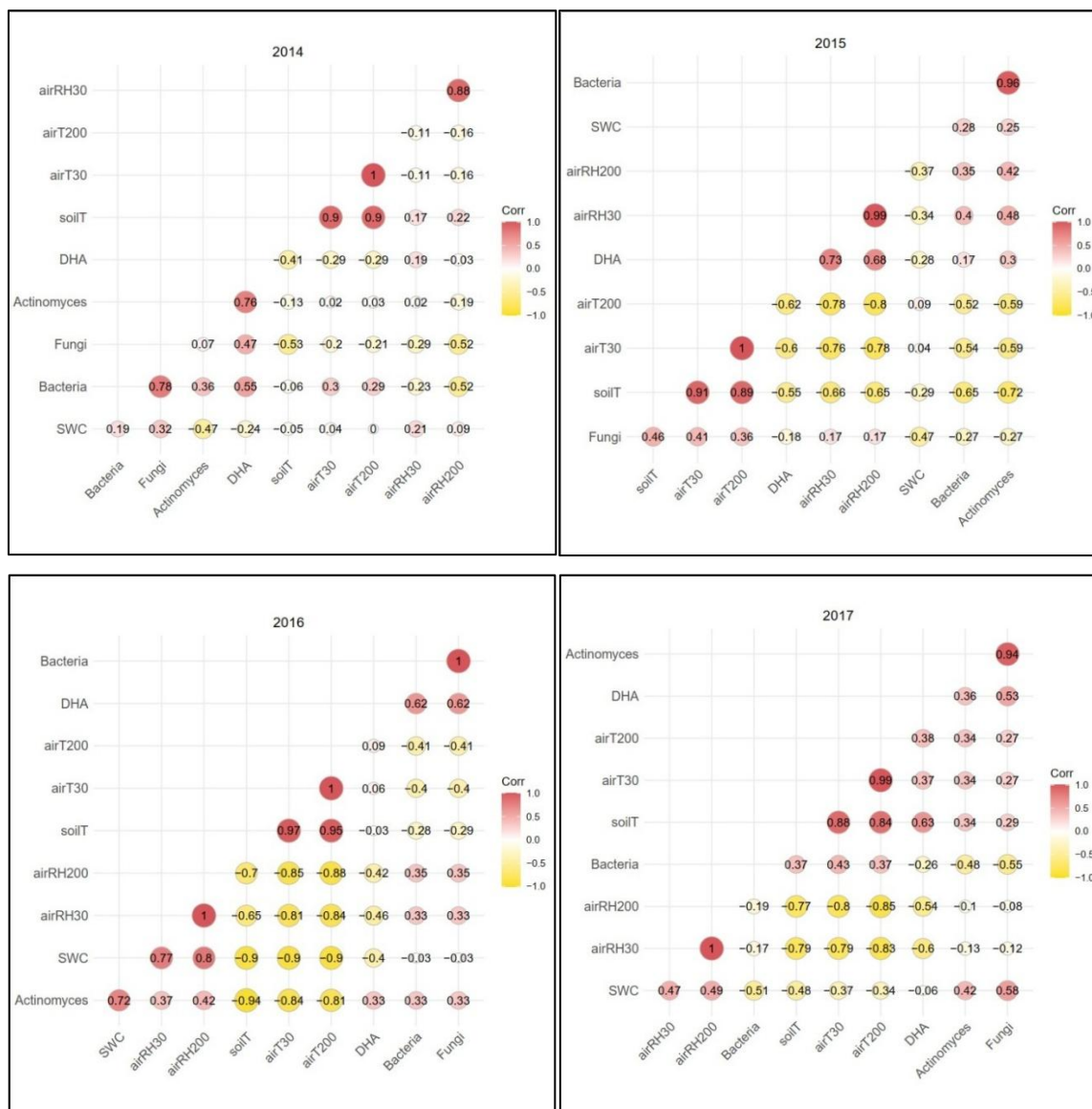
6. 6. 5. Зависност дехидрогеназне активности и дисања земљишта



Графикон 62. Зависност дехидрогеназне активности и дисања земљишта

Према приказу у Графикону 62, дехидрогеназна активност и дисање земљишта везује директна сразмерна зависност (с повећањем дехидрогеназне активности повећава се дисање земљишта).

6. 7. Корелација микробиолошке активности земљишта са абиотичким и биотичким факторима животне средине



Графикон 63. Коефицијенти корелације свих варијабли микробиолошке активности у земљишту

Графикон 63 представља визуелни приказ корелације биотичких и абиотичких варијабли са микробиолошке активности земљишта.

Године 2014. ДНА има значајну позитивну корелацију са бројем бактерија (0.55), актиномицета (0.76) и гљива (0.47) и значајну негативну корелацију са температуром земљишта (-0.41) и влажношћу земљишта (-0.24). Број бактерија је у позитивној корелацији са бројем гљива (0.78), актиномицета (0.36), влажношћу земљишта (0.19) и температуром ваздуха на 30 cm (0.3) и 200 cm (0.29), а у негативној корелацији са влажношћу ваздуха на 30 cm (-0.23) и 200 cm (-0.52). Број актиномицета има значајну позитивну корелацију са ДНА (0.76) и бројем бактерија (0.36), а

негативну корелацију са влажношћу земљишта (-0.47). Број гљива има значајну позитивну корелацију са бројем бактерија (0.78), ДНА (0.47) и влажношћу земљишта (0.32) и негативну корелацију са температуром земљишта (-0.53) и влажношћу ваздуха на 30 cm (-0.29) и 200 cm (-0.52). Вредности абиотичких фактора показују само значајну позитивну корелацију са неким као што су: температура ваздуха на 30 cm са температуром ваздуха на 200 cm (1.0) и температуром земљишта (0.9), температура ваздуха на 200 cm са температуром земљишта (0.9) и влажност ваздуха на 30 cm са влажношћу ваздуха на 200 cm (0.88).

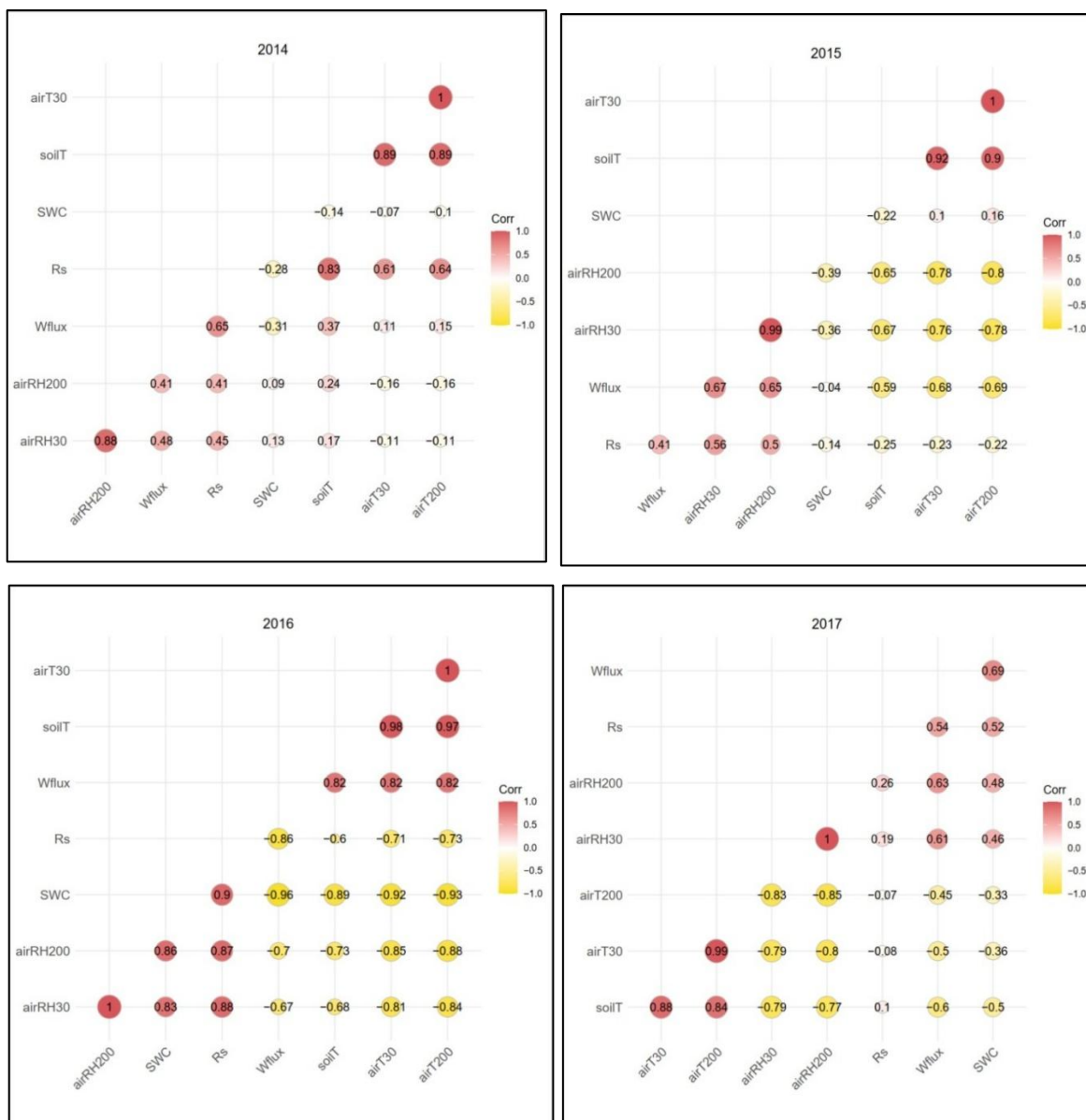
У 2015. години ДНА има значајну позитивну корелацију са влажношћу ваздуха на 30 cm (0.73) и 200 cm (0.68), и негативне значајне корелације са температуром ваздуха на 30 cm (-0.6) и 200 cm (-0.62) и температуром земљишта (-0.55). Број бактерија има значајну позитивну корелацију са бројем актиномицета (0.96), влажношћу ваздуха на 30 cm (0.4) и 200 cm (0.35) и влажношћу земљишта (0.28) и значајну негативну корелацију са температуром ваздуха на 30 cm (-0.54) и 200 cm (-0.52) и температуром земљишта (-0.65). Број актиномицета има значајну позитивну корелацију са бројем бактерија (0.96), влажношћу ваздуха на 30 cm (0.48) и 200 cm (0.42) и значајну негативну корелацију са температуром ваздуха на 30 cm (-0.59) и 200 cm (-0.59) и температуром земљишта (-0.72). Број гљива има позитивну корелацију са температуром земљишта (0.46) и температуром ваздуха на 30 cm (0.41) и 200 cm (0.36), и негативну корелацију са влажношћу земљишта (-0.47). Међу абиотичком групом фактора температура ваздуха на 30 cm има значајну позитивну корелацију са температуром ваздуха на 200 cm (1.0) и температуром земљишта (0.91), као и значајну негативну корелацију са влажношћу ваздуха на 30 cm (-0.76) и 200 cm (-0.78); температура ваздуха на 200 cm има значајну негативну корелацију са влажношћу ваздуха на 30 cm (-0.78) и 200 cm (-0.8) и позитивну корелацију са температуром земљишта (0.89); влажност ваздуха на 30 cm има позитивну корелацију са влажношћу ваздуха на 200 cm (0.99) и негативну корелацију са температуром ваздуха на 30 cm (-0.76) и 200 cm (-0.78) и температуром земљишта (-0.66); док влажност ваздуха на 200 cm има значајну негативну корелацију са температуром земљишта (-0.65).

Године 2016. ДНА има значајну позитивну корелацију са бројем бактерија (0.62), гљива (0.62) и актиномицета (0.33), а негативну корелацију са влажношћу ваздуха на 30 cm (-0.46) и 200 cm (-0.42) и влажношћу земљишта (-0.4). Број бактерија има значајну позитивну корелацију са бројем гљива (1.0), позитивну корелацију са

бројем актиномицета (0.33), влажношћу ваздуха на 30 cm (0.33) и 200 cm (0.35) и негативну корелацију са температуром ваздуха на 30 cm (−0.4) и на 200 cm (−0.41). Број актиномицета има значајну позитивну корелацију са влажношћу земљишта (0.72) и позитивну корелацију са бројем бактерија (0.33), гљива (0.33), ДНА (0.33), влажношћу ваздуха на 30 cm (0.37) и 200 cm (0.42), као и значајну негативну корелацију са температуром земљишта (−0.94) и температуром ваздуха на 30 cm (−0.84) и на 200 cm (−0.81). Број гљива има значајну позитивну корелацију са бројем бактерија (1.0) и позитивну корелацију са влажношћу ваздуха на 30 cm (0.33) и 200 cm (0.35). Абиотичке варијабле имају вишеструко значајну корелацију, што указује на њихову међузависност и разноликост утицаја. Температура земљишта има значајну позитивну корелацију са температуром ваздуха на 30 cm (0.97) и на 200 cm (0.95), и значајну негативну корелацију са влажношћу земљишта (−0.9) и влажношћу ваздуха на 30 cm (−0.65) и на 200 cm (−0.7). Влажност земљишта има значајну позитивну корелацију са влажношћу ваздуха на 30 cm (0.77) и на 200 cm (0.8), али и значајно негативну корелацију са температуром земљишта (−0.9) и температуром ваздуха на 30 cm (−0.9) и на 200 cm (−0.9).

Године 2017. ДНА има значајну позитивну корелацију са бројем гљива (0.53) и температуром земљишта (0.63), и значајну негативну корелацију са влажношћу ваздуха на 30 cm (−0.6) и 200 cm (−0.54). Број бактерија има негативну корелацију са бројем гљива (−0.55), актиномицета (−0.48) и са влажношћу земљишта (−0.51). Број актиномицета има значајну позитивну корелацију са бројем гљива (0.94). Број гљива има позитивну корелацију са влажношћу земљишта (0.58). Абиотичке варијабле у 2017. години имају вишеструке значајне позитивне и негативне корелације, што је резултат њихове међузависности и разноликости утицаја. Температура ваздуха на 30 cm има значајну позитивну корелацију са температуром ваздуха на 200 cm (0.99). Влажност ваздуха на 30 cm има значајну позитивну корелацију са влажношћу ваздуха на 200 cm (1.0). Температура земљишта има значајну позитивну корелацију са температурама ваздуха на 30 cm (0.88) и 200 cm (0.84), и негативну корелацију са влажношћу ваздуха на 30 cm (−0.79) и 200 cm (−0.77). Влажност земљишта има позитивну корелацију са влажношћу ваздуха на 30 cm (0.47) и на 200 cm (0.49), али и негативну корелацију са температуром земљишта (−0.48).

6. 8. Корелација дисања земљишта са абиотичким и биотичким факторима животне средине



Графикон 64. Коефицијенти корелације свих варијабли са дисањем земљишта

Графикон 64 представља визуелни приказ корелације биотичких и абиотичких варијабли са дисањем земљишта.

У 2014. години дисање земљишта (R_s) има значајну позитивну корелацију са температуром земљишта (0.83), температуром ваздуха на 30 cm (0.61) и 200 cm (0.64), влажношћу ваздуха на 30 cm (0.45) и 200 cm (0.41) и евапорацијом (0.65). Евапорација земљишта има позитивну корелацију са температуром земљишта (0.37) и влажношћу ваздуха на 30 cm (0.48) и 200 cm (0.41). Влажност земљишта има негативну корелацију са евапорацијом (-0.31) и дисањем земљишта (-0.28). Температура земљишта има

високо значајне коефицијенте корелације са дисањем земљишта (0.83), температуром ваздуха на 30 cm (0.89) и 200 cm (0.89), као и са евапорацијом (0.37). Није утврђена значајна корелација између температуре и влажности ваздуха, међутим, постоје високо значајне корелације температуре ваздуха на 30 cm и 200 cm (1.0) и влажности ваздуха на 30 cm и 200 cm (0.88).

У 2015. години дисање земљишта (R_s) има значајну позитивну корелацију са евапорацијом (0.41) и влажношћу ваздуха на 30 cm (0.56) и 200 cm (0.5). Евапорација земљишта има позитивну корелацију са влажношћу ваздуха на 30 cm (0.67) и 200 cm (0.65), као и дисањем земљишта (0.41), али негативну корелацију са температуром земљишта (−0.59), као и температуром ваздуха на 30 cm (−0.68) и 200 cm (−0.69). Влажност земљишта има негативну корелацију са влажношћу ваздуха на 30 cm (−0.36) и 200 cm (−0.39). Температура земљишта има значајну негативну корелацију са евапорацијом (−0.59) и влажношћу ваздуха на 30 cm (−0.67) и 200 cm (−0.65), као и високо значајну позитивну корелацију са температуром ваздуха на 30 cm (0.92) и 200 cm (0.9). Температура ваздуха на 30 cm и на 200 cm имају високо значајну корелацију (1.0). Значајне негативне корелације одражавају однос еколошких фактора. Влажност ваздуха на 30 cm има значајну негативну корелацију са температуром ваздуха на 30 cm (−0.76) и 200 cm (−0.78), а влажност ваздуха на 200 cm има негативну корелацију са температуром ваздуха на 30 cm (−0.78) и 200 cm (−0.8).

У 2016. години дисање земљишта (R_s) има значајну позитивну корелацију са влажношћу земљишта (0.9) и влажношћу ваздуха на 30 cm (0.83) и 200 cm (0.86), као и значајну негативну корелацију са евапорацијом (−0.86), температуром земљишта (−0.6) и температуром ваздуха на 30 cm (−0.71) и 200 cm (−0.73). Евапорација земљишта има високо значајну позитивну корелацију са температуром земљишта и ваздуха на 30 cm и 200 cm (идентичан коефицијент корелације износи 0.82), али и значајну негативну корелацију са дисањем земљишта (−0.86), влажношћу земљишта (−0.96) и влажношћу ваздуха на 30 cm (−0.67) и 200 cm (−0.7). Влажност земљишта има високо значајну позитивну корелацију са дисањем земљишта (0.9) и влажношћу ваздуха на 30 cm (0.83) и 200 cm (0.86), као и високо значајну негативну корелацију са евапорацијом (−0.96), температуром земљишта (−0.89) и температуром ваздуха на 30 cm (−0.92) и 200 cm (−0.93). Температура земљишта има високо значајну позитивну корелацију са евапорацијом (0.82) и температуром ваздуха на 30 cm (0.98) и 200 cm (0.97), као и значајну негативну корелацију са дисањем земљишта (−0.6), влажношћу земљишта (−

0.89) и влажношћу ваздуха на 30 cm (-0.68) и 200 cm (-0.73). Коефицијент корелације 1.0 везује температуру ваздуха на 30 cm и 200 cm, као и влажност ваздуха на 30 cm и 200 cm. Још више, влажност ваздуха на 30 cm има значајну негативну корелацију са температуром ваздуха на 30 cm (-0.81) и 200 cm (-0.83), а влажност ваздуха на 200 cm има значајну негативну корелацију са температуром ваздуха на 30 cm (-0.85) и 200 cm (-0.88).

У 2017. години дисање земљишта (R_s) има значајну позитивну корелацију са евапорацијом (0.54), влажношћу земљишта (0.52) и влажношћу ваздуха на 30 cm (0.19) и 200 cm (0.26). Евапорација земљишта има значајну позитивну корелацију са дисањем земљишта (0.54), влажношћу земљишта (0.69) и влажношћу ваздуха на 30 cm (0.61) и 200 cm (0.63), али и негативну корелацију са температуром земљишта (-0.6) и температуром ваздуха 30 cm (-0.5) и 200 cm (-0.45). Влажност земљишта има значајну позитивну корелацију са дисањем земљишта (0.52), евапорацијом (0.69) и влажношћу ваздуха на 30 cm (0.46) и 200 cm (0.48), али и негативну корелацију са температуром земљишта (-0.5) и температуром ваздуха на 30 cm (-0.36) и 200 cm (-0.33). Температура земљишта има значајну позитивну корелацију са температуром ваздуха на 30 cm (0.88) и 200 cm (0.84) и негативну корелацију са евапорацијом (-0.6), влажношћу земљишта (-0.5) и влажношћу ваздуха на 30 cm (-0.79) и 200 cm (-0.77). Температуре ваздуха на 30 cm и на 200 cm имају високо значајну корелацију (0.99), као и влажности ваздуха на 30 cm и на 200 cm (1.0). Влажност ваздуха на 30 cm има значајну негативну корелацију са температуром земљишта (-0.79) и температуром ваздуха на 30 cm (-0.79) и 200 cm (-0.83), а влажност ваздуха на 200 cm има значајну негативну корелацију са температуром земљишта (-0.77) и температуром ваздуха на 30 cm (-0.8) и 200 cm (-0.85).

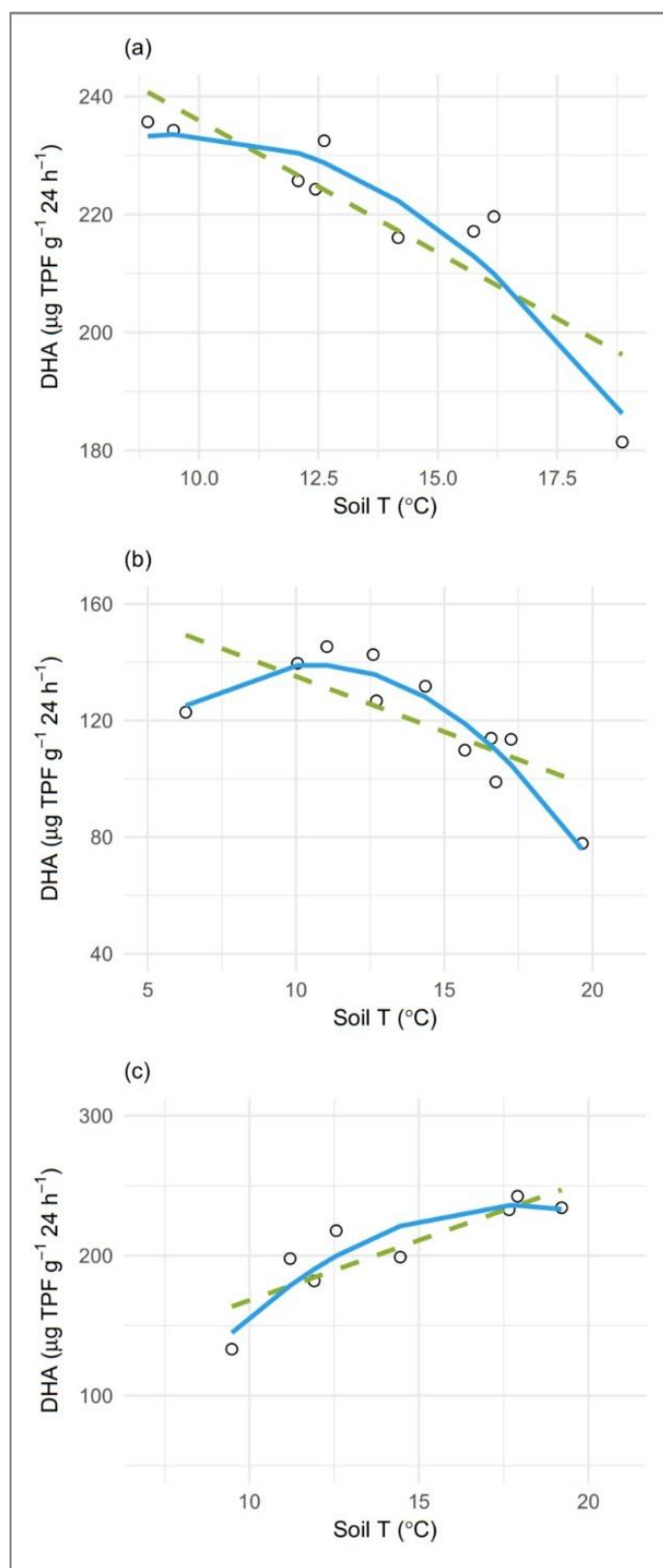
6. 9. Моделирање микробиолошке активности и дисања земљишта у зависности од температуре и влажности земљишта

У ранијим анализама ове дисертације утврђена је јасна зависност температуре и влажности земљишта од еколошких (абиотичких) фактора: температуре ваздуха, влажности ваздуха и количине падавина, као и њихов индиректни утицај на бројност микроорганизама у земљишту (бактерије, актиномицете и гљиве) и активност ензима дехидрогеназе. Добијене вредности тих анализа даље су обрађене одговарајућим статистичким методама у програму RStudio (2024.12.1+563) и коришћене су приликом утврђивања модела.

Из анализе зависности абиотичких и биотичких фактора закључено је да за 2016. годину недостају подаци за моделирање микробиолошке активности и дисања земљишта у зависности од температуре и влажности земљишта. Ово је резултат тога што је 2016. година била година са више падавина и због влажних услова на огледном пољу мерења нису вршена на сваких 15 дана (узорци узети из земљишта презасићеног водом нису релевантни за анализирање бројности микроорганизама, дехидрогеназне активности и дисања земљишта). Доступни подаци из 2016. године били су релевантни за анализе зависности абиотичких и биотичких фактора, као и бројности микроорганизама. У прилозима (Прилог 5) приказан је графикон дисперзија тачака свих варијабли из 2016. године, а у њему се уочава да мали број података (мерења) не указује ни на какву статистичку значајну функцију. Стога, донета је одлука да подаци из 2016. године не буду предмет моделирања микробиолошке активности и дисања земљишта у зависности од температуре и влажности земљишта.

Приликом моделирања упоређени су линеарни и полиномијални регресиони модели ради процене односа између биотичких (DHA, Rs) и абиотичких варијабли (температура земљишта – Soil T и влажности земљишта – SWC). За сваки модел наведени су коефицијенти детерминације (R^2) и Акаикеовог информацијског критеријума (AIC), што омогућава формално поређење модела у погледу квалитета предикције и сложености.

6. 9. 1. Модел утицаја температуре земљишта на микробиолошку активност



Графикон 65. Модел утицаја температуре земљишта (Soil T) на микробиолошку активност (DHA) по годинама (a) 2014, (b) 2015. и (c) 2017.

Табела 3. Резултати линеарних и полиномијалних регресионих модела за утицај Soil T на DHA

DHA ~ Soil T				
Година	Модел	Једначина	R^2	AIC
2014.	Линеарни	$y = 280.7 - 4.48 \times \text{soilT}$	0.730	67.9
	Полиномијални	$y = 180.7 + 10.9 \times \text{soilT} - 0.56 \times \text{soilT}^2$	0.764	63.2
2015.	Линеарни	$y = 173.23 - 3.81 \times \text{soilT}$	0.520	94.4
	Полиномијални	$y = 53.78 + 16.16 \times \text{soilT} - 0.77 \times \text{soilT}^2$	0.860	80.6
2017.	Линеарни	$y = 89.29 + 8.58 \times \text{soilT}$	0.740	74.2
	Полиномијални	$y = -181.14 + 46.87 \times \text{soilT} - 1.32 \times \text{soilT}^2$	0.770	72.3

2014.

- Линеарни модел: негативна корелација између температуре и DHA ($R^2 = 0.73$), AIC = 67.9
- Полиномијални модел: нешто боља адаптација ($R^2 = 0.764$), AIC = 63.2
- Тумачење: DHA опада с порастом температуре земљишта, али крива указује на могући оптимум. Полиномијални модел боље описује закривљеност у подацима.

2015.

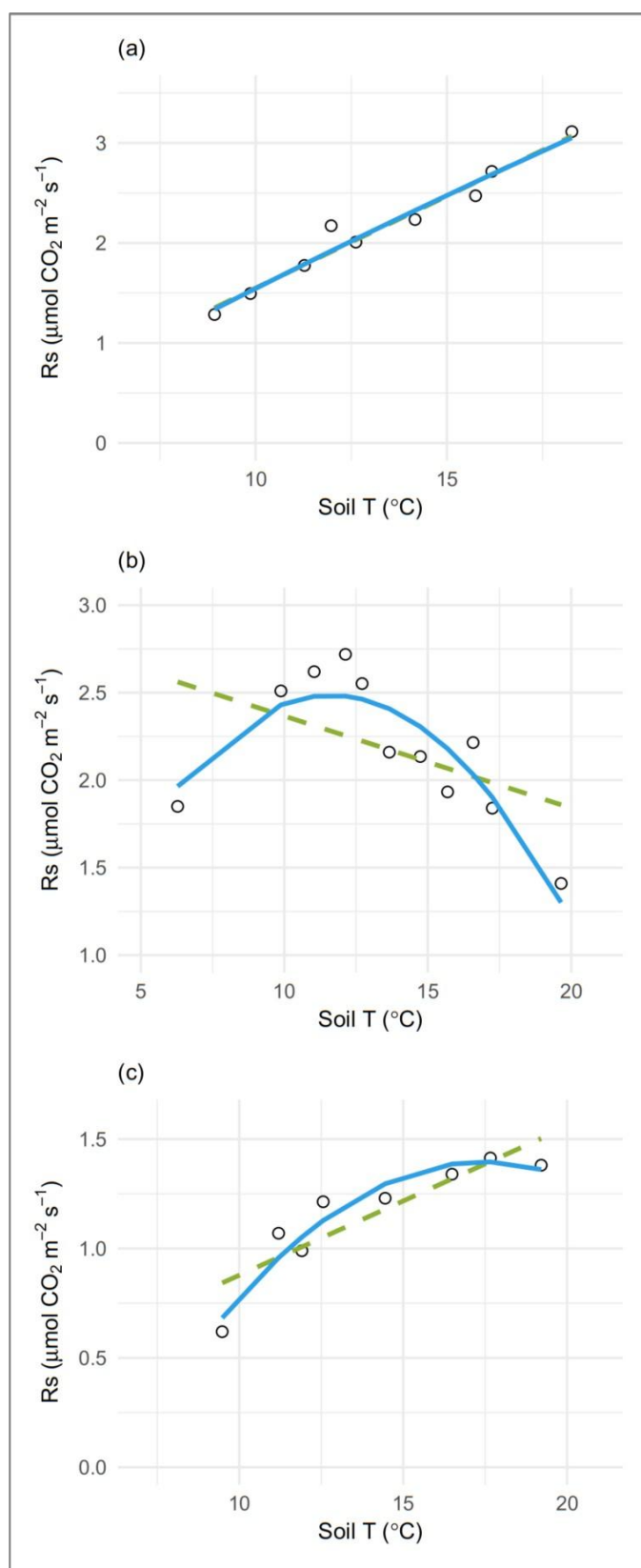
- Линеарни модел: слабија корелација ($R^2 = 0.52$)
- Полиномијални модел: знатно боља адаптација ($R^2 = 0.86$)
- Тумачење: Јасан нелинеарни однос — DHA расте са температуром земљишта до одређене вредности, након чега опада.

2017.

- Линеарни модел: позитиван однос ($R^2 = 0.74$), за разлику од 2014.
- Полиномијални модел: благо побољшање ($R^2 = 0.77$)
- Тумачење: DHA расте с температуром земљишта, али постоји наговештај сатурације при вишим температурама.

Однос DHA и температуре земљишта је нелинеаран и зависи од године/услова. Полиномијални модел је конзистентно бољи.

6. 9. 2. Модел утицаја температуре земљишта на дисање земљишта



Графикон 66. Модел утицаја температуре земљишта (Soil T) на дисање земљишта (Rs) по годинама (a) 2014, (b) 2015. и (c) 2017.

Табела 4. Резултати линеарних и полиномијалних регресионих модела за утицај Soil T на Rs

Rs ~ soilT				
Година	Модел	Једначина	R^2	AIC
2014.	Линеарни	$y = -0.288 + 0.18 \times \text{soilT}$	0.960	-8.86
	Полиномијални	$y = -0.49 + 0.21 \times \text{soilT} - 0.001 \times \text{soilT}^2$	0.951	-6.93
2015.	Линеарни	$y = 2.89 - 0.052 \times \text{soilT}$	0.240	13.1
	Полиномијални	$y = 0.014 + 0.42 \times \text{soilT} - 0.018 \times \text{soilT}^2$	0.760	-0.21
2017.	Линеарни	$y = 0.199 + 0.06 \times \text{soilT}$	0.780	-5.8
	Полиномијални	$y = -2.03 + 0.39 \times \text{soilT} - 0.001 \times \text{soilT}^2$	0.890	-12.8

2014.

- Линеарни модел: одлична корелација ($R^2 = 0.96$)
- Полиномијални модел: нешто лошији ($R^2 = 0.951$)
- Тумачење: Респирација снажно расте с температуром. Линеарни модел овде боље одговара.

2015.

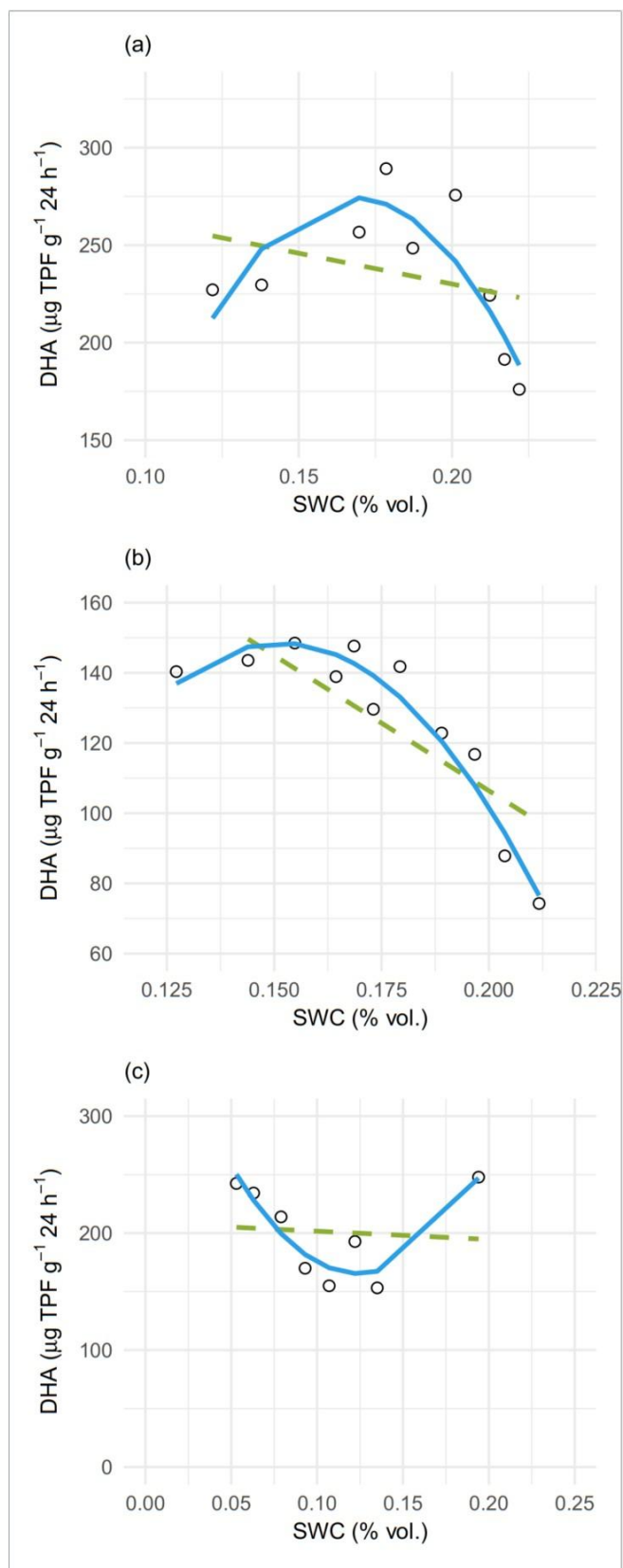
- Линеарни модел: врло лоша корелација ($R^2 = 0.24$)
- Полиномијални модел: знатно бољи ($R^2 = 0.76$)
- Тумачење: Rs расте са температуром до одређене тачке, па опада – типична нелинеарна динамика.

2017.

- Линеарни модел: добра корелација ($R^2 = 0.78$)
- Полиномијални модел: још боља корелација ($R^2 = 0.89$)

Закључак: У начелу, Rs расте с температуром земљишта, али се нелинеарност може јавити услед стресних услова (нпр. екстремних температура које инхибирају микробну активност).

6. 9. 3. Модел утицаја влажности земљишта на микробиолошку активност



Графикон 67. Модел утицаја влажности земљишта (SWC) на микробиолошку активност (DHA) по годинама (a) 2014, (b) 2015. и (c) 2017.

Табела 5. Резултати линеарних и полиномијалних регресионих модела за утицаја SWC на DHA

DHA ~ SWC				
Година	Модел	Једначина	R^2	AIC
2014.	Линеарни	$y = 293.3 - 315 \times \text{SWC}$	0.009	94.5
	Полиномијални	$y = -552.9 + 9860.4 \times \text{SWC} - 29380 \times \text{SWC}^2$	0.641	85.6
2015.	Линеарни	$y = 250.54 - 770.58 \times \text{SWC}$	0.640	95.4
	Полиномијални	$y = -305.15 + 5993.69 \times \text{SWC} - 1979.75 \times \text{SWC}^2$	0.920	78.4
2017.	Линеарни	$y = 208.66 - 70.51 \times \text{SWC}$	0.006	86.2
	Полиномијални	$y = 432.8 - 4161.1 \times \text{SWC} + 16752.2 \times \text{SWC}^2$	0.780	73.2

2014.

- Линеарни модел: практично без корелације ($R^2 = 0.009$)
- Полиномијални модел: значајно бољи ($R^2 = 0.641$)
- Тумачење: DHA зависи од SWC, али нелинеарно. Вероватно постоји оптимални ниво влажности за максималну ензимску активност.

2015.

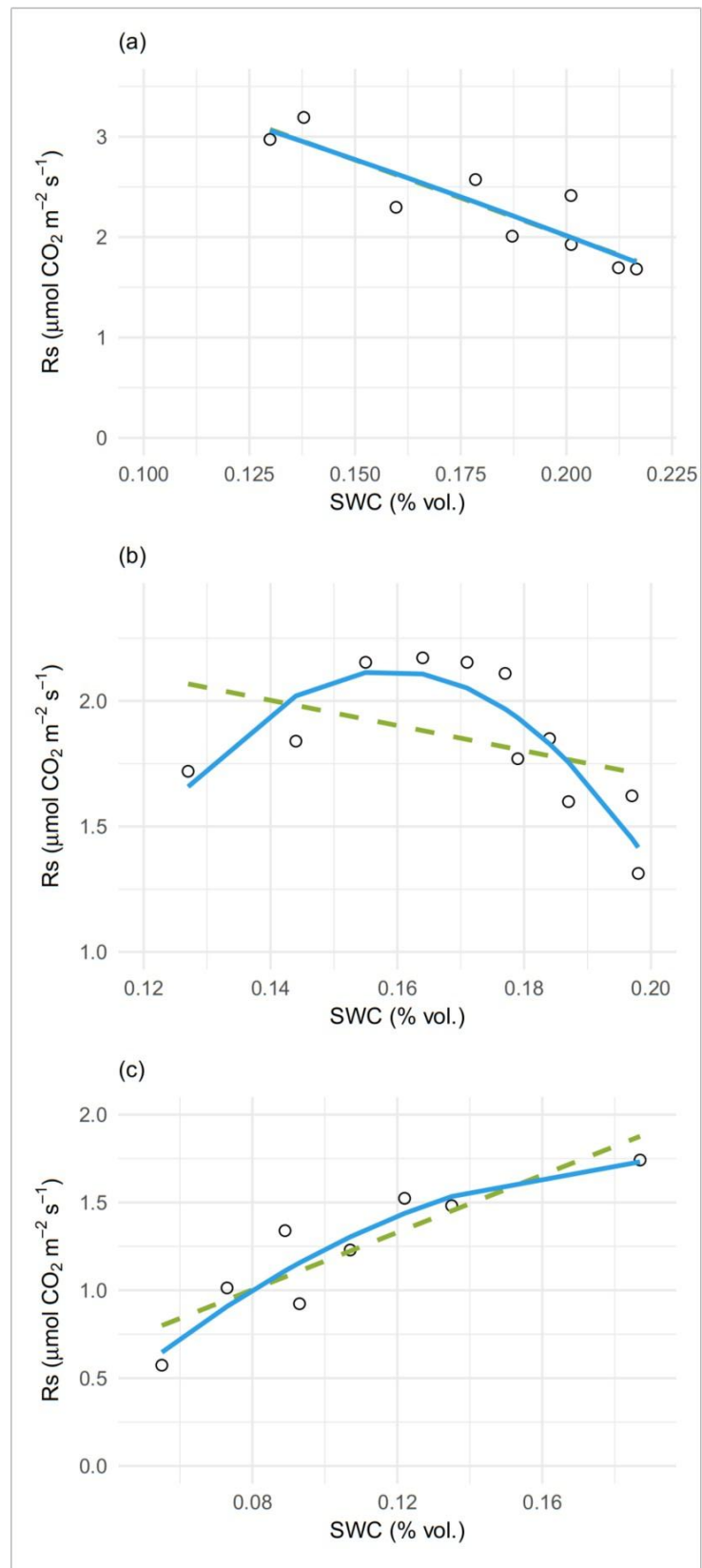
- Линеарни модел: средње јака негативна веза ($R^2 = 0.64$)
- Полиномијални модел: изузетно добра адаптација ($R^2 = 0.92$)
- Тумачење: DHA расте до одређеног нивоа влажности, након чега опада (можда због анаеробних услова).

2017.

- Линеарни модел: врло слаба веза ($R^2 = 0.006$)
- Полиномијални модел: $R^2 = 0.78$
- Тумачење: И овде се потврђује нелинеарни карактер односа.

DHA у највећој мери зависи од SWC на нелинеаран начин – постоји оптимална влажност за ензимску активност, а одступања од тог оптимума (превише суво или previше мокро) смањују DHA.

6. 9. 4. Модел утицаја влажности земљишта на дисање земљишта



Графикон 68. Модел утицаја влажности земљишта (SWC) на дисање земљишта (Rs) по годинама (a) 2014, (b) 2015. и (c) 2017.

Табела 6. Резултати линеарних и полиномијалних регресионих модела за утицај SWC на Rs

Rs ~ SWC				
Година	Модел	Једначина	R^2	AIC
2014.	Линеарни	$y = 5.04 - 15.13 \times \text{SWC}$	0.790	4.98
	Полиномијални	$y = 4.69 - 10.985 \times \text{SWC} - 11.98 \times \text{SWC}^2$	0.730	6.96
2015.	Линеарни	$y = 2.70 - 5.03 \times \text{SWC}$	0.150	6.2
	Полиномијални	$y = -9.41 + 145 \times \text{SWC} - 457.35 \times \text{SWC}^2$	0.740	-7.0
2017.	Линеарни	$y = 0.35 + 8.16 \times \text{SWC}$	0.780	-0.42
	Полиномијални	$y = -0.37 + 21.59 \text{SWC} - 55.27 \times \text{SWC}^2$	0.800	-1.7

2014.

- Линеарни модел: добра корелација ($R^2 = 0.79$)
- Полиномијални модел: слабија ($R^2 = 0.73$)
- Тумачење: Rs опада с порастом SWC – превише воде може смањити дифузију кисеоника.

2015.

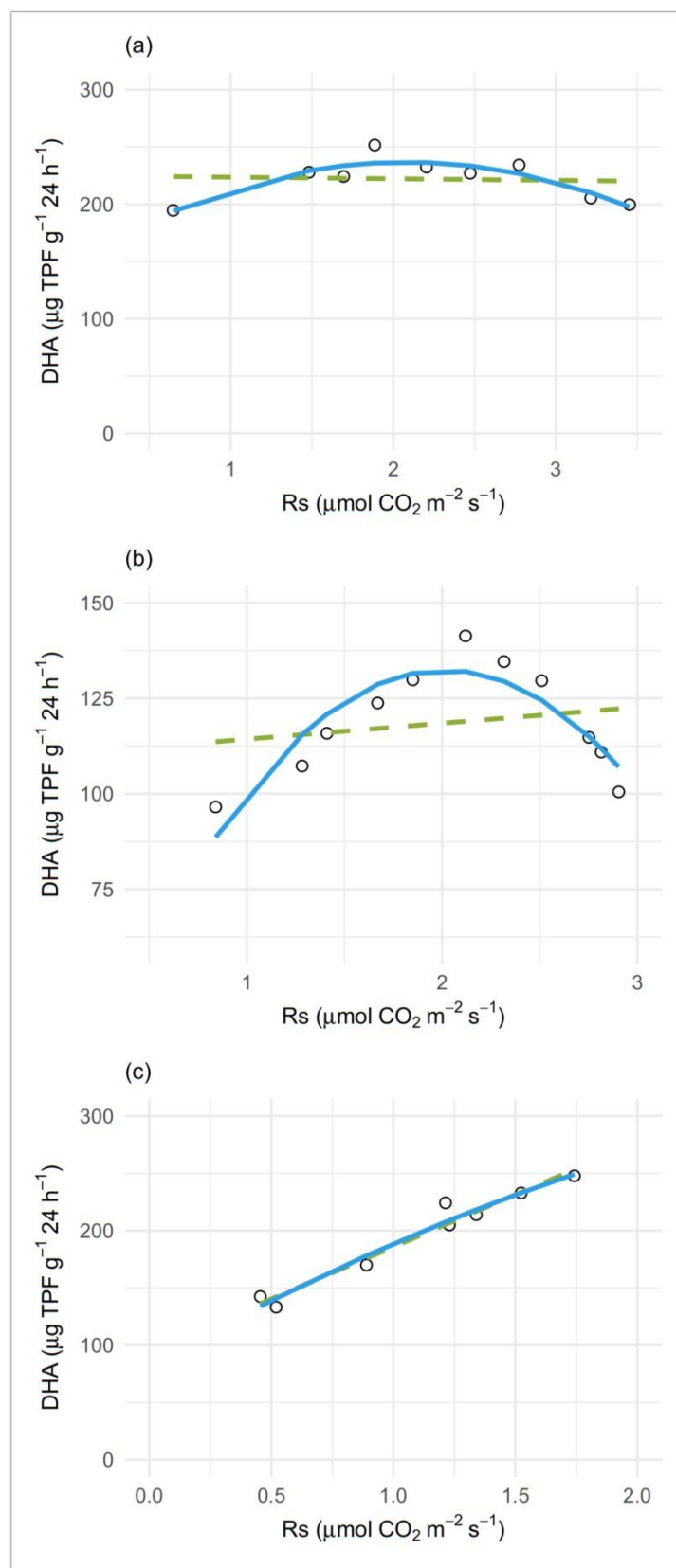
- Линеарни модел: слаба веза ($R^2 = 0.15$)
- Полиномијални модел: добра ($R^2 = 0.74$)
- Тумачење: Нелинеаран однос – могуће да Rs има оптималну тачку влажности.

2017.

- Оба модела добра: линеарни ($R^2 = 0.78$), полиномијални ($R^2 = 0.80$)

Rs зависи од SWC, а оптимална влажност омогућава максималну микробну активност. Екстремно висок или низак садржај воде у земљишту има инхибирајући ефекат.

6. 9. 5. Модел утицаја микробиолошке активности на дисање земљишта



Графикон 69. Модел утицаја микробиолошке активности (DHA) на дисање земљишта (R_s) по годинама (a) 2014, (b) 2015. и (c) 2017.

Табела 7. Резултати линеарних и полиномијалних регресионих модела за утицај DHA на Rs

DHA ~ Rs				
Година	Модел	Једначина	R^2	AIC
2014.	Линеарни	$y = 225.01 - 1.35 \times Rs$	0.004	82.9
	Полиномијални	$y = 147.0 + 86.3 \times Rs - 20.7 \times Rs^2$	0.760	69.3
2015.	Линеарни	$y = 110.1 + 4.17 \times Rs$	0.030	94.4
	Полиномијални	$y = 3.45 + 128.16 \times Rs - 31.84 \times Rs^2$	0.780	77.7
2017.	Линеарни	$y = 94.93 + 90.87 \times Rs$	0.950	62.2
	Полиномијални	$y = 81.91 + 120.63 \times Rs - 14.11 \times Rs^2$	0.940	64.0

2014.

- Линеарни модел: готово без корелације ($R^2 = 0.004$)
- Полиномијални модел: добар ($R^2 = 0.76$)
- Тумачење: DHA се мења са Rs, али на сложен нелинеаран начин.

2015.

- Линеарни модел: слаба веза ($R^2 = 0.03$)
- Полиномијални модел: $R^2 = 0.78$
- Тумачење: Потврда претходног налаза – DHA зависи од Rs, али веза није једноставна.

2017.

- Линеарни модел: врло јака веза ($R^2 = 0.95$)
- Полиномијални: слично ($R^2 = 0.94$)
- Тумачење: Снажна линеарна веза. Могуће је да су услови те године били стабилнији.

Однос између Rs и DHA варира – некада је веома линеаран, а некада сложен. Очигледно су у неким годинама заједнички услови (нпр. температура, влажност) више утицали на оба процеса.

- Полиномијални модели су у готово свим случајевима показали бољу адаптацију него линеарни, што указује на нелинеарне еколошке релације између температуре, влажности, респирације и ензимских активности у земљишту.

- Година значајно утиче на изражене корелације – вероватно услед разлика у падавинама, температури и управљању земљиштем.
- Rs и DHA су међусобно повезане, али се снага и облик те везе мењају кроз године, зависно од екстерних (еколошких) фактора.

6. 9. 6. Максималне вредности температуре и влажности земљишта за оптималне активности дехидрогеназе

Према подацима у табелама 3, 4, 5, 6 и 7, полиномијални модели су генерално бољи од линеарних за предикцију зависних варијабли дехидрогеназне активности (DHA) у односу на температуру и влажност земљишта (Soil T и SWC).

Израчунате су вредности врховима параболе, тј. оптималне вредности температуре и влажности земљишта (Soil T и SWC) за дехидрогеназне активности (DHA).

За параболе облика $y = ax^2 + bx + c$, врх (екстрем) параболе налази се на:

$$x_{vrh} = -b / 2a.$$

Код полиномијалног модела нпр. за утицај температуре земљишта на дехидрогеназну активност (Табела 5) једначина је:

$$DHA = 180.7 + 10.9 \times soilT - 0.56 \times soilT^2$$

коефицијенти одговарају следећим вредностима

$$a = -0.56$$

$$b = 10.9$$

$$c = 180.7 \text{ (intercept)}$$

Дакле, за врх параболе:

$$Soil T_{(optimalno)} = -10.9 / 2 \times (-0.56) = 10.9 / 1.12 = 9.73$$

Табела 8. Максималне вредности температуре и влажности земљишта за оптималне активности дехидрогеназе

Година	Температура земљишта (°C)	Влажност земљишта (% vol.)
2014.	9.73	0.168
2015.	10.50	1.510
2017.	17.80	0.160

Године 2014. максимална вредност ДНА достиже се при температури земљишта од приближно 9.73 °C и влажности земљишта од приближно 0.168% vol. У 2015. години израчунате су максималне вредности температуре земљишта од 10,5 °C и влажности земљишта од 1.51% vol., док су у 2017. години максималне вредности температуре земљишта 17,8 °C и влажности земљишта од 0.16% vol.

Ове вредности се могу интерпретирати као оптималне за ДНА активност за сваку од истражених година. Преко утврђене вредности (изнад максималне вредности температуре и влажности земљишта) ефекат температуре постаје негативан – дакле, даље загревање може имати инхибирајући ефекат на ДНА преко значајног смањивања влажности земљишта.

7. ДИСКУСИЈА

7. 1. Климатски фактори

Резултат истраживања климатских података разликује се од резултата ранијег истраживања (Gavrilov et al., 2019), где се наводи да у Војводини и југоисточном Банату нема промена аридности у испитиваном периоду 1949–2017. У том погледу, мора се имати у виду да се поменуто истраживање односи на много дужи период и да је непостојање значајног тренда вероватно резултат „компензације” сушних и влажнијих година. Још више, аутори споменуте студије наводе да су екстремне вредности индекса аридности шума и за Војводину и за Банат (максимуми 23.30 и 24.90, а минимуми 3.73 и 2.45) достигнуте 2000. и 1975. године. Према томе, утицај екстремних климатских догађаја на здравље и развој шумске вегетације мора бити детаљно истражен у блиској будућности.

Анализа климатских параметара потврђује све сценарије климатских промена у Србији које указују на то да ће регион Војводине бити под јаким утицајем и да је неопходно размотрити адекватне мере адаптације у шумарству и пољопривреди који ће се супротставити предвиђеном значајном смањењу приноса и успешног развоја природне вегетације у овом делу Републике Србије.

7. 2. Бројност микроорганизама

Микроорганизми у земљишту утичу на разградњу органске материје и изузетно су значајни за карактеристике земљишта. У земљишту живе бактерије, гљиве, алге, протозое, вируси и лишајеви, који активно учествују у стварању и еволуцији земљишта и постизању његове плодности (Jarak & Đurić, 2006). Бактерије у шумском земљишту доприносе разградњи органске материје и рециклажи хранљивих материја у екосистемима и чине једно од најразноврснијих станишта на Земљи (Lopez-Mondejar et al., 2015).

Због значајне улоге микроорганизама у земљишту важно је пратити њихов број, као и активност ензима дехидрогеназе. Микроорганизми у земљишту у листопадним шумама умерене климе испољавају велике сезонске варијације у условима животне средине, као што су температура и влага (Lopez-Mondejar et al., 2015). Ензимска

активност одражава интензитет процеса који се одвијају у земљишту и стога се користи као индикатор опште биогености и плодности земљишта (Радивојевић и сар., 2003; Benitez et al., 2005; Carbonell et al., 2000). Број бактерија, актиномицета и гљива у земљишту условљен је еколошким факторима као што су температура и влажност ваздуха и земљишта, као и пракса управљања земљиштем (Šantrić et al., 2018). Сви претходно наведени налази одговарају резултатима овог истраживања.

Године 2014. (Графикон 28) значајне позитивне корелације биле су присутне у оквиру групе абиотичких варијабли, броја бактерија, актиномицета и гљива, што је негативно корелирало са абиотичким променама, а ДНА је снажно позитивно корелирао са бројем микроорганизама. Ови налази сугеришу на то да су микроорганизми у тлу под стресом због врућег, сувог времена, што смањује активност микроба и утиче на ДНА. Резултат кореспондира са налазима претходних истраживања (Кузмановић и сар., 2024; Maestre et al., 2015).

Уочене су значајне корелације између варијабли абиотичке групе у 2015. Години (Графикон 29). У оквиру групе биотичких варијабли значајна је само јака позитивна корелација између броја бактерија и актиномицета. Не постоји значајна корелација између броја гљива и било које од биотичких или абиотичких варијабли. ДНА је искључиво под утицајем абиотичких варијабли и нема значајну корелацију са било којим микроорганизмом. Овај налаз, који је у супротности са ранијим студијама спроведеним у истом региону (Кузмановић и сар., 2024; Семан В., 2016; Vasic et al., 2019), може се објаснити падавинама које се чешће јављају током вегетационог периода и у већим количинама сваке године.

У 2016. години (Графикон 30) значајне корелације постојале су у оквиру абиотичке групе варијабли, а унутар биотичке групе број гљива и бактерија, које су биле у снажној позитивној корелацији. Број актиномицета је имао јаку негативну корелацију са температуром ваздуха и земљишта и јаку позитивну корелацију са влажношћу земљишта, што указује на њихову велику варијабилност услед варијација природних услова. Није било значајне корелације између броја гљива и било које од биотичких или абиотичких варијабли. Снажне позитивне везе између ДНА и броја бактерија и гљива указују на то да више бактерија повећава ензимску активност, а то је хипотеза коју подржавају друге студије (Lopez-Mondejar et al., 2015; Subhani et al., 2001).

Слично ранијим годинама ове студије, и 2017. је открила низ значајних корелација унутар групе абиотских варијабли, при чему је влажност земљишта имала посебно снажан позитиван утицај на број гљива (Графикон 31). Број гљива у категорији биотичких фактора имао је јаку негативну корелацију са бактеријама и јаку позитивну корелацију са актиномицетама. Ово сугерише да, пошто гљиве и актиномицете могу генерисати споре, влажна клима са мање бактерија у земљишту пружа идеалне околности за њихов настанак (Pan et al., 2025; Jog et al., 2016; Deveau et al., 2018). Сезонске варијације животне средине утичу на популацију гљива, а самим тим и на активност дехидрогеназе, о чему сведочи висока позитивна корелација ДНА са бројем гљива и температуром земљишта и негативна корелација са влажношћу ваздуха.

Претходна истраживања показују да интеракције између бактерија, актиномицета и гљива у шумском земљишту повећавају ДНА, што је важан показатељ микробне активности и здравља земљишта (Lin et al., 2012). Такође, бактерије се сматрају најутицајнијим типом земљишних микроорганизама за ДНА, а претежно се налазе у највишим слојевима земљишта и изложене су различитим условима животне средине (Frac et al., 2018; Chodak et al., 2014), па самим тим условљавају актиномицете и гљиве. Смањење бактерија у влажној средини омогућава повећање актиномицета и гљива због њихових природних способности и подстиче разлагање органских материјала отпорних на бактеријску деградацију (Pan et al., 2025; Deveau et al., 2018). У овој студији утврђене су јаке корелације између абиотичких варијабли и микроорганизама у земљишту (бактерије, актиномицете и гљиве), које заједно утичу на активност дехидрогеназе, што одговара резултатима претходно наведених студија.

7. 2. 1. Дискусија о броју микроорганизама из периода 2014–2017. године

Анализа сезонских варијација у бројности актиномицета, бактерија и гљива од 2014. до 2017. године (Графикони 28–31) показала је доследне сезонске шаблоне, али и одређене међугодишње разлике, које указују на потенцијалне варијације у еколошким факторима који утичу на микробне заједнице. Све три групе микроорганизама показале су тенденцију смањења бројности током летњих и јесењих месеци, при чему је интензитет овог тренда варирао између година и између појединачних група.

7. 2. 1. 1. Актиномицете

Актиномицете су показале најмање изражен сезонски пад у поређењу са бактеријама и гљивама, али су и даље бележене статистички значајне разлике у бројности између почетних и каснијих месеци у свакој анализираној години. Година 2016. показала је најслабији сезонски ефекат, са благим падом између маја и септембра и одсуством значајних разлика између каснијих датума. С друге стране, 2017. година забележила је најоштрији пад, при чему су вредности из јуна биле и до десет пута веће у односу на септембар и октобар ($p < 0.0001$). Ови резултати указују на то да актиномицете поседују релативно већу отпорност на сезонске промене, али да се њихов број може значајно смањити у годинама са екстремнијим еколошким условима.

7. 2. 1. 2. Бактерије

Бактеријске популације су показале конзистентан сезонски пад у свим анализираним годинама, али са различитим интензитетом. Најизраженији сезонски пад забележен је 2015. године, када је број бактерија у јулу и августу био вишеструко мањи него у мају ($p < 0.0001$). Година 2017. такође је показала значајан пад између јуна и јула, где су вредности опале на само 12–18% почетне бројности ($p < 0.0001$). С друге стране, у 2016. години постојао је тренд опадања, али је био мање изражен, са већом варијабилношћу између појединачних месеци и одсуством снажног континуалног пада. Ове разлике могу бити повезане са међугодишњим варијацијама у температури, падавинама или доступношћу хранљивих материја.

7. 2. 1. 3. Гљиве

Гљиве су у свим анализираним годинама показале најизраженији сезонски пад бројности, при чему су почетне вредности из пролећних месеци биле вишеструко веће од оних забележених у каснијим месецима. Овај тренд био је нарочито изражен у 2015. и 2017. години, где су почетне бројности биле и до 10–16 пута веће у односу на септембар и октобар ($p < 0.0001$). С друге стране, 2016. година била је специфична јер нису уочене значајне разлике између већине месеци, што указује на то да је бројност гљива у тој години била стабилнија. Ови резултати сугеришу да су гљиве, иако најподложније сезонским променама, под утицајем додатних фактора који могу варирати између година.

7. 2. 1. 4. Упоредна дискусија и еколошки значај броја микроорганизама

Кумулативна анализа резултата из периода 2014–2017. године (Графикони 28–31) потврђује да су сезонске варијације снажно изражене код свих анализираних група микроорганизама, али да њихов интензитет може варирати између година. Генерално гледано, бактерије и гљиве показују израженији сезонски пад бројности у односу на актиномицете, што може указивати на њихову већу осетљивост на промене у температури, влажности и доступности хранљивих материја.

Посебно је занимљиво што је 2016. година показала мање изражен сезонски тренд у односу на друге године, што може указивати на повољније еколошке услове који су омогућили стабилнију динамику микроорганизама током целе године. Насупрот томе, 2015. и 2017. годину карактеришу нагли сезонски падови, што може бити последица екстремнијих климатских услова, попут виших температура и сушнијих периода током лета и ране јесени.

Ови налази наглашавају значај континуираног праћења еколошких фактора у комбинацији са анализом микробне динамике како би се боље разумели механизми који утичу на сезонске флукуације микроорганизама. Даља истраживања би могла укључити анализу специфичних климатских параметара током сваке године, што би омогућило прецизније одређивање кључних фактора који регулишу бројност микроорганизама у датом екосистему.

7. 3. Дискусија о моделима утицаја свих истражених варијабли

У овом истраживању анализирани су односи између активности дехидрогеназе у земљишту (DHA), температуре земљишта (Soil T), влажности земљишта (SWC) и интензитет дисања земљишта (Rs) током три вегетационе сезоне (2014, 2015. и 2017. године) коришћењем линеарних и полиномијалних регресионих модела. Циљ анализе био је да се утврди у којој мери физичко-хемијски услови у земљишту модулишу биохемијску и микробиолошку активност, као и да се идентификује евентуална сезонска или међугодишња варијабилност у интензитету ових односа (Графикони 65–69).

Резултати показују да се однос између температуре земљишта и активности дехидрогеназе (Графикони 65) значајно разликује у зависности од године, што имплицира да утицај температуре није конзистентан, већ вероватно зависи од интеракције са другим абиотским факторима. Ранија истраживања (Brzezińska et al., 1998; Quilchano & Maraňón, 2002) сугеришу да се активност дехидрогеназе у земљишту повећава са повећањем температуре и влажности земљишта и да је повећање температуре за 10 °C повећало активност дехидрогеназе у просеку 2,6 и 4,6 пута. Приликом анализа података из 2014. године уочен је негативан линеарни тренд ($R^2 = 0,73$), уз побољшање модела када је примењена полиномијална регресија ($R^2 = 0,764$), што сугерише да DHA опада са порастом температуре земљишта, али не линеарно. Негативна веза овог истраживања може указивати на инхибицију ензимске активности при вишим температурама, вероватно услед смањене доступности воде или топлотног стреса микроорганизама. Супротно томе, у 2017. години забележена је позитивна линеарна корелација ($R^2 = 0.74$), док полиномијални модел бележи само маргинално побољшање ($R^2 = 0.77$), што имплицира да је у тој сезони температура била фактор који је стимулисао микробиолошку активност, вероватно у условима оптималне влаге. Најизраженији нелинеарни одговор уочен је 2015. године, где је полиномијални модел значајно надмашио линеарни ($R^2 = 0.86$ vs. 0.52), указујући на постојање температурног оптимума, након којег долази до пада DHA, што је у сагласности са ранијим истраживањима (Wolinska & Stepniewska, 2012). Ови налази потврђују сложеност одговора микробиолошких процеса на температурне флукуације, као и нужност коришћења нелинеарних модела приликом интерпретације биохемијских показатеља земљишта.

Анализа односа између температуре земљишта и интензитета дисања земљишта (Графикони 66) показује да Rs генерално позитивно корелира са температуром

земљишта, али уз изражену међугодишњу варијабилност. Ранија истраживања (Wildung et al., 1975; Стефановић К., 1985; Pilipović et al., 2011; Dacal et al., 2022) потврђују овај налаз. Године 2014. линеарни модел готово је у потпуности објаснио варијансу R_s ($R^2 = 0.96$), док полиномијални модел није додатно побољшао адаптацију. Овај налаз указује да су те године температуре биле доминантан регулатор респираторне активности. Насупрот томе, у 2015. години линеарни модел показује слабију корелацију ($R^2 = 0.24$), док полиномијални значајно повећава објашњену варијансу ($R^2 = 0.76$), указујући на могућ ефекат екстремних температура или лимитирајуће влажности који квари линеаран тренд. У 2017. години полиномијални модел поново показује бољу адаптацију ($R^2 = 0.89$), што подржава претпоставку да је R_s функција температуре земљишта, али у облику закривљене функције која вероватно рефлектује температурни оптимум за микробну респирацију.

Однос између влажности земљишта и активности дехидрогеназе (Графикони 67) такође указује на изразито нелинеаран карактер. У свим анализираним годинама линеарни модели су показивали ниску до умерену корелацију ($R^2 = 0.006 - 0.64$), док су полиномијални модели значајно боље објашњавали варијабилност ДНА ($R^2 = 0.641 - 0.92$). Ови резултати сугеришу да постоји оптималан садржај воде у земљишту при којем је активност дехидрогеназе најизраженија. Прекомерна влажност вероватно ствара анаеробне услове неповољне за аеробне микроорганизме, док недостатак воде лимитира микробни метаболизам. Најизраженији нелинеарни однос уочен је 2015. године ($R^2 = 0.92$), што може бити последица сезонских падавина, које су допринеле израженијим флукутацијама у влажности земљишта. Ови резултати су у складу са ранијим налазима (Quilchano & Maraño, 2002; Wolinska & Stepniewska, 2012; Tomar & Baishya, 2020), који указују на то да је активност земљишних ензима веома осетљива на хидролошки статус земљишта и да се оптимална микробиолошка активност дешава унутар уског опсега садржаја воде.

Однос између влажности земљишта и дисања земљишта (Графикони 68) такође потенцира важност водног режима као лимитирајућег фактора микробиолошке активности. Овај резултат кореспондира са ранијим истраживањима (Wildung et al., 1975; Guntiñas et al., 2013; Tomar & Baishya, 2020). У 2014. и 2017. години забележене су снажне позитивне корелације, при чему линеарни модели постижу $R^2 > 0.78$. Међутим, 2015. године линеарни модел бележи веома ниску корелацију ($R^2 = 0.15$), док полиномијални достиже знатно бољу објашњену варијансу ($R^2 = 0.74$), што сугерише присуство

оптималне тачке влажности изнад које долази до пада респирације, вероватно услед хипоксичних услова. Ови резултати подржавају концепт да микроорганизми захтевају одређени степен доступности кисеоника, који је условљен порозношћу и zasiћеношћу земљишта водом.

Најзад, анализа односа између активности дехидрогеназе и интензитета дисања земљишта (Графикони 69) указује на потенцијалну узајамну зависност ових биохемијских процеса, али у великој мери зависну од године и услова средине. У 2014. и 2015. години линеарни модели показују изузетно ниску корелацију ($R^2 = 0.004$ и 0.03), док су полиномијални модели знатно бољи ($R^2 = 0.76$ и 0.78), што указује на то да су односи нелинеарни и потенцијално подложни индиректним модулаторима. Године 2017. уочен је сигнификантан линеарни однос ($R^2 = 0.95$), што сугерише на то да су у тој години доминантни абиотски фактори утицали синхронно и пропорционално на оба процеса.

С обзиром на резултате свих анализираних година, може се закључити да су ДНА и Rs значајно повезани са температуром и влажношћу земљишта, али да те везе нису конзистентне између сезона. Интеракције између микробиолошке активности и абиотских фактора показују изражену нелинеарност, што потврђује нужност коришћења вишестепених (полиномијалних) модела у еколошким студијама земљишних процеса. Ове разлике указују на сложеност биогеохемијских интеракција у земљишту и на потребу да се ови процеси посматрају у ширем еколошком и климатском контексту, узимајући у обзир сезонске и годишње варијације које могу значајно утицати на микробиолошку динамику.

7. 3. 1. Упоредна дискусија и значај модела

У истраживању ове дисертације испитане су релације између температуре земљишта (Soil T), влажности земљишта (SWC), активности дехидрогеназе (DHA) и дисања земљишта (Rs) у три различите године (2014, 2015. и 2017). Добијени резултати (Графикони 65–69) указују на изражену нелинеарност еколошких интеракција, при чему полиномијални регресиони модели другог реда готово доследно надмашују линеарне моделе, што сугерише постојање оптималних услова за одређене биолошке функције у земљишту.

Анализа показује да ДНА може имати различит тренд у односу на температуру земљишта, у зависности од године. Године 2014. изражена је негативна корелација, док 2017. године доминира позитиван однос. Ово указује на интеракцију температуре са другим факторима, попут влаге, аерације и микробне активности, који могу модификовати ефекат температуре на ензимску активност.

ДНА показује јасан нелинеаран одговор на промене у влажности земљишта. У свим годинама примећен је оптимум, након којег активност опада, вероватно због преласка у анаеробне услове или инхибиције микробиолошке активности услед превелике влаге.

Респирација земљишта у највећем броју случајева позитивно корелира са температуром земљишта, али је у неким годинама примећен нелинеаран одговор, што може указивати на топлотни стрес при вишим температурама. Слично, у односу на влажност, R_s показује вршну тачку, иза које опада, што подржава идеју о постојању оптималне влажности за микроорганлизме.

Веза између ДНА и R_s варира од скоро непостојеће (2014) до врло снажне (2017), што имплицира да заједнички фактори средине истовремено утичу на оба процеса, али не увек директно пропорционално.

8. ЗАКЉУЧАК

Земљишни микробиолошки процеси представљају кључну компоненту циклуса угљеника и енергије у копненим екосистемима, при чему ензимске активности и респирација микроорганизама играју централну улогу у разградњи органске материје и ослобађању угљен-диоксида.

У овом истраживану број бактерија је показао изразито висок ниво у јесен 2015. и током 2017. године, док сви остали подаци одражавају блиске вредности. Актиномицете су најбројније током најранијих и последњих мерења сваке године, док је њихов број знатно мањи у периоду јун – септембар. Постоји јака корелација између промена у укупном броју актиномицета и нивоа активности ензима дехидрогеназе. Број гљива достиже врхунац у најранијим и најновијим мерењима сваке године, слично броју актиномицета, а значајно опада током топлих и сушних летњих месеци.

Уочене корелације између микробних популација и абиотичких услова наглашавају сложеност екосистема земљишта и њихову осетљивост на климатске варијације. Налази ове дисертације сугеришу да су микроорганизми у земљишту изложени стресу због врућег, сувог времена, што смањује микробну активност и утиче на активности дехидрогеназе.

Активност дехидрогеназе (DHA) често се користи као поуздан биоиндикатор укупне микробиолошке активности, док респирација земљишта (Rs) представља услове у којима се одвијају микробиолошки метаболички путеви. Анализа активности ензима дехидрогеназе (DHA) открила је значајно променљиве вредности током истраживања.

Досадашња истраживања указала су на постојање изражених нелинеарних односа између физичких карактеристика земљишта и микробиолошке активности, али је релативно мало радова квантификовало те релације у више сезона, користећи регресионе моделе различитих степена сложености. Имајући то у виду, циљ овог истраживања био је да се испита како се DHA и Rs мењају у функцији температуре и влажности земљишта у три вегетационе сезоне (2014, 2015. и 2017), са посебним акцентом на евалуацију линеарног и полиномијалног моделовања у интерпретацији ових односа.

Опсежна анализа спроведена током четворогодишњег периода, од 2014. до 2017. године, открила је замршене односе између климатских фактора и микробних заједница у земљишту, као и њихових активности.

Кључни налази указују на то да климатски услови, посебно варијације у температури и влажности ваздуха, значајно утичу на дистрибуцију и активност микроорганизама у земљишту, укључујући бактерије, актиномицете и гљиве. Активност ензима дехидрогеназе, који служи као индикатор микробне функције, наглашава виталну улогу фактора животне средине у обликовању здравља земљишта и микробне динамике. На активност ензима дехидрогеназе позитивно утичу земљишне бактерије и актиномицете, док ефекат гљива варира.

Резултати овог истраживања указују на изражену комплексност односа између активности дехидрогеназе у земљишту (DHA), интензитета дисања земљишта (Rs), температуре земљишта (Soil T) и влажности земљишта (SWC). Анализа регресионих модела у три различите године показала је да су ти односи у највећој мери нелинеарни и да их је значајно боље могуће описати полиномијалним (вишестепеним) него линеарним моделима. Посебно се истиче чињеница да и DHA и Rs показују оптимум у одговору на промене температуре и влажности, што указује на постојање граничних услова који фаворизују микробиолошку активност, док њихово прекорачење доводи до инхибиције.

Међугодишња варијабилност резултата потврђује да су ови процеси у великој мери подложни климатским и микроеколошким факторима, те да линеарне претпоставке о повезаности биолошких и физичко-хемијских параметара земљишта могу довести до превише поједностављених закључака. С обзиром на све наведено, увођење нелинеарних приступа и сезонска анализа представљају кључни корак у прецизнијем разумевању биохемијске динамике земљишних система и у процени утицаја климатских промена на земљишне микробиолошке функције.

Резултати истраживања ове дисертације јасно указују на то да је активност ензима дехидрогеназе најпоузданији метод оцењивања микробиолошке активности земљишта и праћења различите сезонске варијације бројности свих микроорганизама и процесе у земљишту.

Уочене корелације између микроорганизама и абиотичких услова наглашавају сложеност екосистема земљишта и њихову осетљивост на климатске варијације. На

пример, значајне варијације у броју микроорганизама током периода истраживања, посебно током екстремних сезонских услова, наглашавају потребу за сталним праћењем како би се предвидели еколошки одговори на климатске промене.

На крају, ова дисертација омогућава прецизније разумевање механизма који одређују ефикасност микробиолошких процеса у земљишту, што има значајне импликације за очување плодности, секвестрацију угљеника и прилагођавање агроекосистема климатским променама. Неговањем дубље везе између свести о клими и здравља земљишта можемо напредовати ка ублажавању утицаја климатских промена и обезбеђивању отпорности наших екосистема за будуће генерације.

Korišćena literatura

1. Andreeva I., Gabechaya V., Morev D., Samardžić M., Galić Z., Yaroslavtsev A.: How Landscapes and History Shape Copper in Vineyard Soils: Example of Fruška Gora Region, Serbia. *Land* 2025, 14, 96. <https://doi.org/10.3390/land14010096>.
2. Antić M., Jović N., Avdalović V. (1987): *Pedologija*, Naučna knjiga, Beograd.
3. Avdalović, V. (1972): *Geneza i osobine kiselih smeđih zemljišta SR Srbije*. Beograd: Šumarski fakultet, doktorska disertacija.
4. Benítez, T., A. Rincón, C.M. Limón, A. Codón, 2004: Biocontrol mechanism of *Trichoderma* strains. *International microbiology: the official journal of the Spanish Society for Microbiology*. 7. 249-60.
5. Berger T. W., Inselsbacher E., Zechmeister-Boltenstern S. (2010): Carbon dioxide emissions of soils under pure and mixed stands of beech and spruce, affected by decomposing foliage litter mixtures. *Soil Biology & Biochemistry* 42, 986–997.
6. Bošnjak Đ., Dragović S., Hadžić V., Babović V., Kostić N., Burlica Č., Đorović M., Pejković M., Mihajlović T.D., Stojanović S., Vasić G., Stričević R., Gajić B., Popović V., Šekularac G., Nešić Lj., Belić M., Đorđević A., Pejić B., Maksimović I., Karagić Đ., Lalić B., Arsenić I. (1997): *Metode istraživanja i određivanja fizičkih svojstava zemljišta*. JDPZ, Beograd.
7. Brooks, M.E.; Kristensen, K.; van Benthem, K.J.; Magnusson, A.; Berg, C.W.; Nielsen, A.; Skaug, H.J.; Mächler, M.; Bolker, B.M. glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *R J.* **2017**, *9*, 378–400.
8. Brzezińska M., Stępniewska Z., Stępniewski W. Soil oxygen status and dehydrogenase activity, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 30, Issue 13, 1998, Pages 1783–1790, ISSN 0038-0717, [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(98\)00043-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00043-1).
9. Buscot F. (2005). What Are Soils? In: Varma A., Buscot F. (eds) *Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions*. *Soil Biology*, vol 3. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-26609-7_1.

10. Carbonell, G., M.V. Pablos, P. García, C. Ramos, P. Sánchez, C. Fernández, J.V. Tarazona, 2000: Rapid and cost-effective multiparameter toxicity tests for soil microorganisms. *Science of The Total Environment*, Volume 247, Issues 2–3, pp 143–150. ISSN 0048-9697. doi: 10.1016/S0048-9697(99)00486-6.
11. Cencelj, J. (1966): Određivanje reakcije zemljišta, Hemijske metode ispitivanja zemljišta. u: *Priručnik za ispitivanje zemljišta*, knjiga 1, Beograd: JDPZ, 78–84.
12. Chodak, M., M. Gołębiewski, J. Morawska-Płoskonka, et al., 2014: Soil chemical properties affect the reaction of forest soil bacteria to drought and rewetting stress. *Ann Microbiol* 65, 1627–1637. doi: 10.1007/s13213-014-1002-0.
13. Cvjetičanin, R., Košanin, O., Novaković, M. (2005): Ekološke jedinice šuma hrasta kitnjaka u istraživanim sastojinama severoistočne Srbije. *Šumarstvo*, vol. 57, br. 3, 25–35.
14. D.G. Karpouzias, E. Kandeler, D. Bru, I. Friedel, Y. Auer, S. Kramer, S. Vasileiadis, I. Petric, N. Udikovic-Kolic, S. Djuric, F. Martin-Laurent (2014): A tiered assessment approach based on standardized methods to estimate the impact of nicosulfuron on the abundance and function of the soil microbial community, *Soil Biology & Biochemistry*, 75, (2014) 282–291.
15. Dacal M., Delgado-Baquerizo M., Barquero J. et al. (2022): Temperature Increases Soil Respiration Across Ecosystem Types and Soil Development, But Soil Properties Determine the Magnitude of This Effect. *Ecosystems* 25, 184–198. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00648-2>.
16. Deveau, A., G. Bonito, J. Uehling et al., 2018: Bacterial-fungal interactions: ecology, mechanisms and challenges. *FEMS Microbiol*; 42(3):335–352. doi:10.1093/femsre/fuy008.
17. Djordjevic T., Kašanin M., Gajica G., Popović Z., Matic R., Josic Lj., Milenković M., Lazarević A., Jovancicevic B. (2016): Fruška gora mountainous environments - Assessing the impact of geological setting and land use on soil properties. *Journal of the Serbian Chemical Society*. 81. 1–1. 10.2298/JSC151014001D.
18. Frąc, M., S.E. Hannula, M. Belka, M. Jędryczka, 2018: Fungal Biodiversity and Their Role in Soil Health. *Front. Microbiol.* 9:707. doi: 10.3389/fmicb.2018.00707.
19. Führer, E.; Horvath, L.; Jagodics, A.; Machon, A.; Szabados (2011): I. Application of new aridity index in Hungarian forestry practice. *Időjárás*, 115, 205–216.

20. Gabechaya V., Andreeva I., Morev D. Comparative Assessment of The Climatological Conditions on The Biological Activity of Ampelocenoses Soils Cultivated in The Wine-Growing Regions of The Southern Coast of Crimea and The Eastern Part of The National Park „Fruska gora”. *BIO Web Conf.* 85 01051 (2024). DOI: 10.1051/bioconf/20248501051.
21. Gavrilov, M.B.; Lukić, T.; Janc, N.; Basarin, B.; Marković, S. B. (2019): Forestry Aridity Index in Vojvodina, North Serbia. *Open Geosci*, 11, 367–377.
22. Guntiñas M., Gil-Sotres F., Leirós M., Trasar-Cepeda, C. (2013): Sensitivity of soil respiration to moisture and temperature. *Journal of soil science and plant nutrition*. 13. 445–461. 10.4067/S0718-95162013005000035.
23. Hadžić V., Sekulić P., Vasin J., Nešić Lj. (2005): Geološka osnova zemljišnog pokrivača Vojvodine. *Ekonomika poljoprivrede*. 2005 (52) 4 (429–438). UDK: 631.434:550.8(497.113).
24. Hajnal-Jafari T., Djuric S., Stamenov D., Vasić V., Hackenberger D. Microbial Activity in Forest Soil Under Beech, Spruce, Douglas Fir and Fir. *Contemp. Agric.* **2016**, 65, 33–38.
25. Hartig, F. DHARMA—Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level/Mixed) Regression Models. 2024. Available online: <https://cran.r-project.org/web/packages/DHARMA/index.html> (accessed on 10 January 2025).
26. Imberger, K.T., C.Y. Chiu, 2002: Topographical and seasonal effects on soil fungal and bacterial activity in subtropical, perhumid, primary and regenerated montane forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 34 (5), 711-720.
27. Jarak M., Milošević N., Milić V., Mrkovački N., Đurić S., Marinković J. (2005): Mikrobiološka aktivnost – pokazatelj plodnosti i degradacije zemljišta. *Ekonomika poljoprivrede*. 4/2005: 483-493.
28. Jarak, M., Đurić, S. (2006): Praktikum iz mikrobiologije, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
29. Jog, R.; Nareshkumar, G.; Rajkumar, S. Enhancing Soil Health and Plant Growth Promotion by Actinomycetes. In *Plant Growth Promoting Actinobacteria*; Subramaniam, G., Arumugam, S., Rajendran, V., Eds.; Springer: Singapore, 2016.
30. Jović N., Tomić Z., Jović D. (1991): Tipologija šuma. Beograd: Šumarski fakultet.
31. Kappen H. Bodenazidität. Berlin: *Springer Verlag*; 1929.

32. Kastori, R., I. Kádár, P. Sekulić, D. Bogdanović, N. Milošević, M. Pucarević, 2006: Uzorkovanje zemljišta i biljaka nezagađenih i zagađenih staništa. *Biljni lekar*, 34(2), 178-179, Novi Sad.
33. Knežević M., Babić V., Galić Z., Košanin O. (2011): Osobine zemljišta u šumama hrasta kitnjaka (*Quercetum montanum typicum* čer. et Jov. 1953) na području Fruške gore. *Glasnik Šumarskog fakulteta* 2011, br. 104, str. 97–108.
34. Košanin O., Knežević M. (2005): Proizvodni potencijal zemljišta u izdanačkim šumama kitnjaka, *Glasnik Šumarskog fakulteta* 92, Univerzitet u Beogradu – Šumarski fakultet, Beograd (87–97).
35. Košanin O., Knežević M. (2006): Edafski uslovi nekih hrastovih zajednica na silikatnim supstratima Srbije, *Šumarstvo* 4, UŠITS, Beograd (47–57).
36. Krasilnikov, N.A. *Biologija Otedeljnih Grup Aktinomicetov*, 1st ed.; Nauka: Moscow, USSR, 1965.
37. Kuzmanović A., Tamindžija D., Ninkov J., Vasin J., Djuric S., Milić S., Radnović D. Microbial enzymatic activities in soils of Vojvodina, Serbia: Insights into the relationship with chemical soil properties. *Arch. Biol. Sci.* **2024**, 76, 27–40.
38. Law, B. E., Thornton, P. E., Irvine, J., Anthoni, P. M., Van Tuyl, S. (2001). Carbon storage and fluxes in ponderosa pine forests at different developmental stages. *Global Change Biology*, 7(7), 755-777. 10.1046/j.1354-1013.2001.00439.x.
39. Lenhard, G. (1956). Soil dehydrogenase activity as a measure of soil microbial activity. *Journal of Plant Nutrition, Fertilization, and Soil Science*, 73 (1), 1-11.
40. Lenth, R. emmeans: Estimated Marginal Means, Aka Least-Squares Means. R Package Version. 1.10.6-090003. 2025. Available online: <https://rvlenth.github.io/emmeans/> (accessed on 10 January 2025).
41. Lin, X.; Cao, L.; Xiong, J.; Zhang, R. Interactions of Denitrifying Bacteria, Actinomycetes, and Fungi on Nitrate Removal in Mix-Culturing Systems. *Water Air Soil Pollut.* **2012**, 223, 2995–3007.
42. Lopez-Mondejar, R., J. Vorískova, T. Vetrovský, P. Baldrian, 2015: The bacterial community inhabiting temperate deciduous forests is vertically stratified and undergoes seasonal dynamics, *Elsevier, Soil Biology & Biochemistry* 87 (2015) 43-50.

43. Maestre, F.; Delgado-Baquerizo, M.; Jeffries, T.; Eldridge, D.; Ochoa, V.; Gozalo, B.; Quero, J.; García-Gómez, M.; Gallardo, A.; Ulrich, W.; et al. Increasing aridity reduces soil microbial diversity and abundance in global drylands. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2015**, *112*, 15684–15689.
44. Marinković, J.; Miljaković, D.; Tintor, B.; Djordjevic, V.; Balesevic-Tubic, S.; Đukić, V.; Ceran, M. Soil microbial properties under different management systems in soybean production. *Zb. Matice Srp. Prir. Nauk.* **2020**, *138*, 41–49.
45. Milanovskij, E., Živanov, N., Ivanišević, P. (1991): Uloga organske materije u evoluciji morfologije kiselih smeđih zemljišta u šumama hrasta kitnjaka sa grabom (*Querceto-Carpinetum serbicum*, Rud) na nekim lokalitetima Fruške gore i Vršackog brega. U: *Zemljište kao prirodni resurs i faktor razvoja*, Sarajevo: Akademija nauka i umetnosti Bosne i Hercegovine, Posebna izdanja, knjiga XCVIII, Odeljenje prirodnih i matematičkih nauka, knjiga 15, 163–176.
46. Milosavljević, M., Stanojević, S., Katić, P., Todorović, N. (1973): Klimatske prilike Fruške gore. Novi Sad: Matica srpska, Monografije Fruške gore.
47. Milošević, N., D. Dozet, D. Bogdanović, J. Vasin, 2004: Korisni i štetni mikroorganizmi – indikatori zdravog zemljišta, III Međunarodna Eko-Konferencija, Zdravstveno bezbedna hrana, *Tematski zbornik radova*, 22-25. septembar 2004., Novi Sad, R. Srbija. 151-156.
48. Najdovski, B.; Djuric, S.; Pekeč, S.; Milović, M.; Orlović, S.; Pilipovic, A. Impact of Systematic Groups of Microorganisms on Dehydrogenase Activity in Soils Within *Quercetum montanum typicum* Forest Community. *Forests* **2025**, *16*, 322. <https://doi.org/10.3390/f16020322>
49. Nardi, S., Concheri, G., Pizzeghello, D., Sturaro, A., Rella, R., Parvoli, G. (2000): Soil organic matter mobilization by root exudates. *Chemosphere* *5*.
50. Pan C., Yuan F., Liu Y., Yu X., Liu J. (2025): Soil bacterial and fungal diversity and composition respond differently to desertified system restoration. *PLoS ONE* *20*(1): e0309188. doi: 10.1371/journal.pone.0309188.
51. Pan Y., Birdsey R. A., Fang J., Houghton R., Kauppi P. E., Kurz W. A., Phillips O. L., Shvidenko A., Lewis S. L., Canadell J. G., Ciais P., Jackson R. B., Pacala S., McGuire A. D., Piao S., Rautiainen A., Sitch S., Hayes D. (2011): A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science*, 2011; DOI: 10.1126/science.1201609.

52. Parkin T. B., Kaspar T. C. Temporal Variability of Soil Carbon Dioxide Flux: Effect of Sampling Frequency on Cumulative Carbon Loss Estimation. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 68, No. 4, 2004, pp. 1234-1241. doi:10.2136/sssaj2004.1234.
53. Pilipović A., Orlović S., Galić Z., Stojnić S., Borišev M., Župunski M. Disanje zemljišta u dve različite sastojine četinaru tokom vegetacije u periodu 2011-2013. *Topola*. 2014;(193-194):73-84.
54. Pilipović A., Orlović S., Galić Z., Stojnić S., Borišev M., Nikolić N. (2011): Rezultati monitoringa disanja zemljišta dve različite bukove zajednice u toku vegetacionog perioda. *Topola* No. 187/188 (2011) str. 65–75. UDK: 582.632.2:631.41(497.11).
55. Pochon, J.; Tardieux, P. *Techniques d'Analyse En Microbiologie Du Sol*, 1st ed.; Editions de la Tourelle: Paris, France, 1962.
56. Quilchano C., Maraňón, T. (2002): Dehydrogenase activity in Mediterranean forest soils. *Biology and Fertility of Soils*. 35. 102–107. 10.1007/s00374-002-0446-8.
57. Racz Z. (1971): Određivanje mehaničkog (teksturnog, granulometrijskog) sastava zemljišta. *Priručnik za ispitivanje zemljišta*, Knjiga V, Jugoslovensko Društvo za proučavanje zemljišta, Beograd.
58. Radivojević Lj., Šantrić Lj., Stanković-Kalezić R., Brkić D., Janjić V. (2003): Uticaj metribuzina na brojnost i aktivnost nekih grupa zemljišnih mikroorganizama (Effects of metribuzin on the abundance and activity of some groups of soil microorganisms). *Pesticidi*, 18, 99-107.
59. Radivojević Lj., Šantrić Lj., Stanković-Kalezić R. (2007): Pesticidi u zemljištu: delovanje na mikroorganizme (pregledni rad). Institut za pesticide i zaštitu životne sredine. Beograd. 15-21.
60. Raich, J. W. and Schlesinger, W. H. (1992): The Global Carbon-Dioxide Flux in Soil Respiration and Its Relationship to Vegetation and Climate. *Tellus Series B—Chemical and Physical Meteorology*, 44, 81–99. <http://dx.doi.org/10.1034/j.1600-0889.1992.t01-1-00001.x>.
61. Šantrić Lj., Radivojević Lj., Gajić Umiljendić J., Sarić Krsmanović M., Đurović-Pejčev R. (2018): The effects of nicosulfuron and glyphosate on microbial activity of different soils. *Planta Danina*, 36, e018159989. doi: 10.1590/S0100-83582018360100103.

62. Škorić, A., Filipovski, G., Ćirić, M. (1985) Klasifikacija zemljišta Jugoslavije. Sarajevo: Akademija nauke i umetnosti Bosna i Hercegovina, Posebna izdanja, knjiga 13.
63. Solanki A.C., Gurjar NS, Sharma S., Wang Z., Kumar A., Solanki M.K., Kumar Divvela P., Yadav K., Kashyap B.K. (2024): Decoding seasonal changes: soil parameters and microbial communities in tropical dry deciduous forests. *Front. Microbiol.* 15:1258934. doi: 10.3389/fmicb.2024.1258934.
64. Stefanović, V. (1977): Fitocenologija sa pregledom šumskih fitocenoza Jugoslavije. Udžbenik, IGKRO „Svjetlost”, OOUR Zavod za udžbenike, Sarajevo.
65. Subhani A., Chang-Yong H., Zheng-Miao X., Min L., El-Ghamry A. Impact of Soil Environment and Agronomic Practices on Microbial/Dehydrogenase Enzyme Activity in Soil. *Pak. J. Biol. Sci.* **2001**, 4, 333–338.
66. Tabatabai M.A. (1982): Soil enzymes. In A. L. Page (Ed.), *Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and microbiological properties*, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. Pp 903-948. Madison, WI, USA.
67. Tang J., Baldocchi D.D., Xu L. (2005) Tree Photosynthesis Modulates Soil Respiration on a Diurnal Time Scale. *Global Change Biology*, 11, 1298-1304. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00978.x>
68. Thalmann, A. Zur methodic derestimung der Dehydrogenaseaktivität und Boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC). *Landwirtsch. Forsch.* **1968**, 21, 249–258
69. Tintor B., Milošević N., Sekulić P., Vasin J. Zastupljenost mikroorganizama i dehidrogenazna aktivnost poljoprivrednih zemljišta Vojvodine. *Tematski Zb. EKO-Konf. Zdr. Bezbedna Hrana* **2006**, 1, 107–112.
70. Tomar, U., Baishya, R. Seasonality and moisture regime control soil respiration, enzyme activities, and soil microbial biomass carbon in a semi-arid forest of Delhi, India. *Ecol Process* **9**, 50 (2020). <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00252-7>.
71. Tomić Z., Rakonjac Lj. (2013): Šumske fitocenoze Srbije. *Priručnik za šumare, ekologe i biologe*. Univerzitet Singidunum, Fakultet za primenjenu ekologiju Futura, Beograd.
72. Torsvik V., Øvreås L., 2002: Microbial diversity and function in soil: from genes to ecosystems. *Curr Opin Microbiol.*, 5(3):240-5. doi: 10.1016/s1369-5274(02)00324-7. PMID: 12057676.

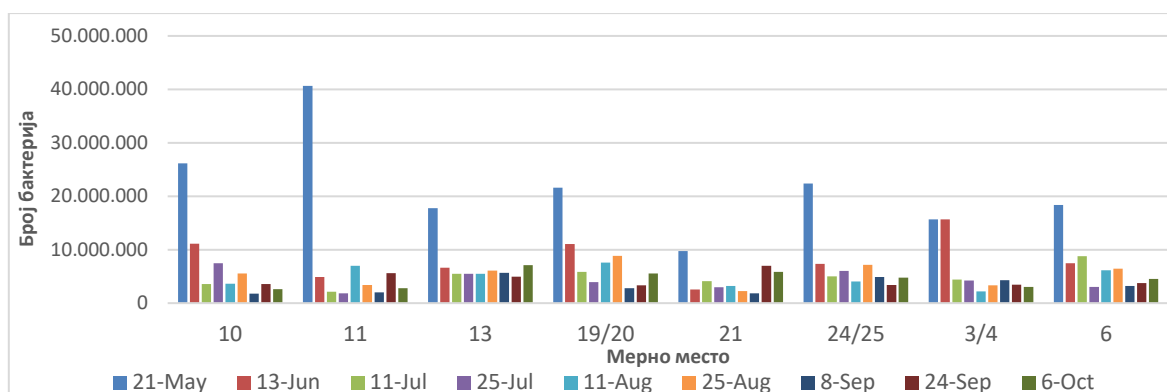
73. Vasic, V.; Djuric, S.; Jafari-Hajnal, T.; Orlovic, S.; Vasic, S.; Pajnik, L.P.; Galović, V. The microbiological response of forest soils after application of nicosulfuron, imazamox and cycloxydim. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* **2019**, *16*, 2305–2312.
74. Vasin, J.; Ninkov, J.; Milić, S.; Zeremski, T.; Marinković, J.; Sekulić, P.; Hansman, Š.; Živanov., M. *Unapređenje Kvaliteta Zemljišta pod Voćnjacima i Rasadnicima (Voća i Vinove Loze) u Republici Srbiji*; Univerzitet u Novom Sadu—Institut za Ratarstvo I Povrtarstvo: Novi Sad, Serbia, 2014; pp. 4–83.
75. Wildung R.E., Garland T.R., Buschbom R.L. (1975): The interdependent effects of soil temperature and water content on soil respiration rate and plant root decomposition in arid grassland soils, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 7, Issue 6, Pages 373–378, ISSN 0038-0717, [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(75\)90052-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(75)90052-8).
76. Wolinska, A.; Stepniewska, Z. (2012): Dehydrogenase Activity in the Soil Environment. In *Dehydrogenases*; InTech: London, UK.
77. Zaietes, O., Poch, R. M. (2016): Micromorphology of organic matter and humus in Mediterranean mountain soils. *Geoderma*, 272: 83–92.
78. Živković, B.M., Nejgebauer, V.K., Tanasijević, Đ., Miljković, N., Stojković, L., Drezgić, P. (1979): Zemljišta Vojvodine. Novi Sad: Institut za poljoprivredna istraživanja.
79. Živković, M. (1966)a Određivanje hidrolitičke kiselosti zemljišta po metodu Kappen-a – hemijske metode ispitivanja zemljišta. u: *Priručnik za ispitivanje zemljišta*, Beograd: JDPZ, knjiga 1, 91–93.
80. Živković, M. (1966)b: Određivanje supstitucione kiselosti zemljišta – hemijske metode ispitivanja zemljišta. u: *Priručnik za ispitivanje zemljišta*, Beograd: JDPZ, knjiga, 86–88.
81. Бабић, В. (2015): Климатске карактеристике Фрушке горе. *Шумарство* 4. Удружење шумарских инжењера и техничара Србије и Шумарски факултет Универзитета у Београду. 99–107. UDK 630*111.82(497.113 Fruška gora).
82. Говедарица, М., Јарак, М. (1995): Микробиологија земљишта. Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет, Институт за ратарство и повртарство, Нови Сад.
83. Јанковић М., Стефановић К. (1969): Основне карактеристике и динамика земљишног дисања у неким шумским биоценозама на Фрушкој гори. *Acta Bot. Croatica*, 28:171–190.

84. Јарак, М., Чоло, Ј. (2007): Микробиологија земљишта. Пољопривредни факултет у Новом Саду, Нови Сад.
85. Јовић Н., Кнежевић М. (1990): Земљишта у шумама Фрушке горе. *Земљиште и биљка*, серија А, Унија Биолошких научних друштава Југославије, бр 9/2, (99–104).
86. Основа газдовања шумама за газдинску јединицу „Поповица – Мајдан – Змајевац” на подручју ЈП Национални парк „Фрушка гора”, за период 2017 – 2026. године. Обрађивач: „Шума план”, Бања Лука, 2017. године. У тексту: (Основа газдовања шумама ГЈ „Поповица – Мајдан – Змајевац”, 2017).
87. Плана развоја шума у Националном парку Фрушка Гора за период 2015 – 2024. година. Београд, 2015. У тексту: (План развоја шума, 2015).
88. План управљања подручјем Националног парка Фрушка гора за период 2020 – 2029. година. ЈП „Национални парк Фрушка гора”, Сремска Каменица, 2019. У тексту: (План управљања, 2019).
89. Просторни план подручја посебне намене „Фрушка гора”. Обрађивач: Јавно предузеће за просторно и урбанистичко планирање и пројектовање „Завод за урбанизам Војводине”, Нови Сад, 2018. У тексту: (Посебни план, 2019).
90. Семан В. (2016): Микробиолошка активност шумског земљишта и њен утицај на минерализацију органске материје. Мастер рад. УНС Пољопривредни факултет.
91. Службени гласник Републике Србије, бр. 84/15.
92. Стефановић К. (1985): Еколошка студија продукције угљен-диоксида у неким листопадним шумама Фрушке горе. Гласник Института за ботанику и ботаничке баште Универзитета у Београду, *Bot. Serbica* 19: 230, 191–231.
93. Тодоровић М., Симић Д., Стојановић М. (1985): Микробиологија са практикумом. Научна књига, Београд.
94. Томић З. (2013): Природне шумске заједнице Националног парка „Фрушка гора” у свјетлу најновијих синтаксономских и екосиставних принципа. Хрватска мисао, Матица хрватска Сарајево, часопис за умјетност и знаност, издато у част проф. ем. др Владимира Бауса у пригоди 75. обљетнице живота и рада (25–43).

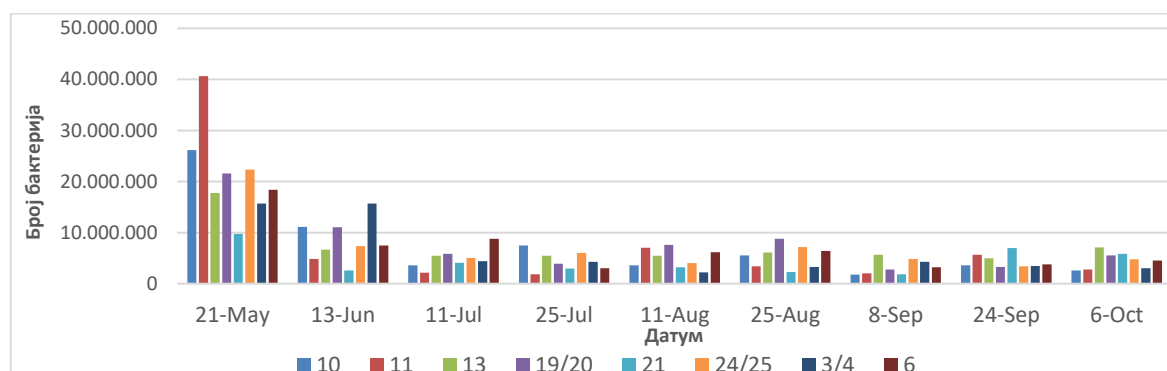
95. Хадровић С. (2015): Акумулација угљеника и азота у органској простирци, шумском земљишту и шумској биомаси. Докторска дисертација. Универзитет „Унион – Никола Тесла“, Београд. Факултет за екологију и заштиту животне средине. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
96. NASA POWER DAV service v2.4.6 (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>, приступљено 20. децембра 2024. године).
97. Званична веб страница Националног парка „Фрушка гора” (<https://www.npfruskagora.co.rs/cir/prirodne-vrednosti/>, приступљено 20. децембра 2024. године).

ПРИЛОЗИ

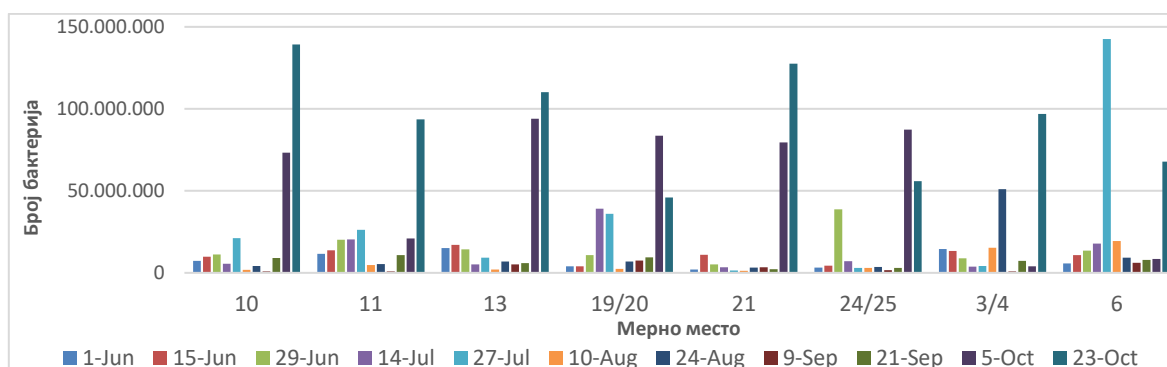
Прилог 1. Укупан број бактерија у земљишту по годинама



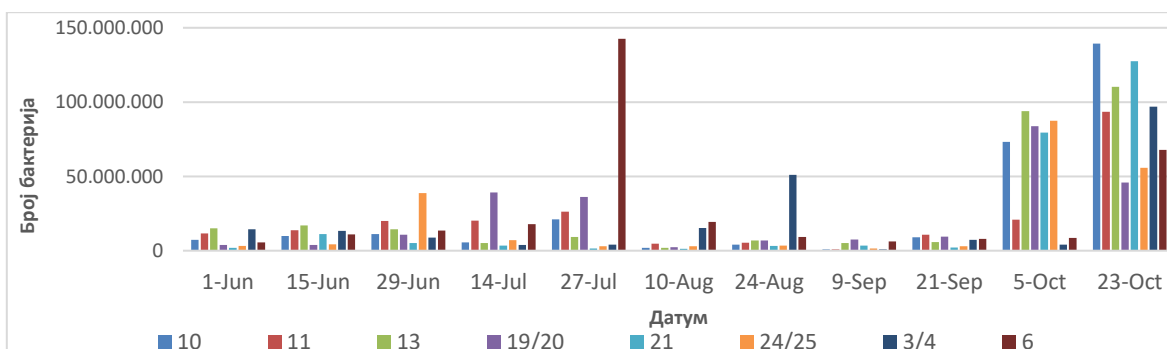
Графикон 1. Укупан број бактерија у 2014 г. у зависности од места узимања узорка



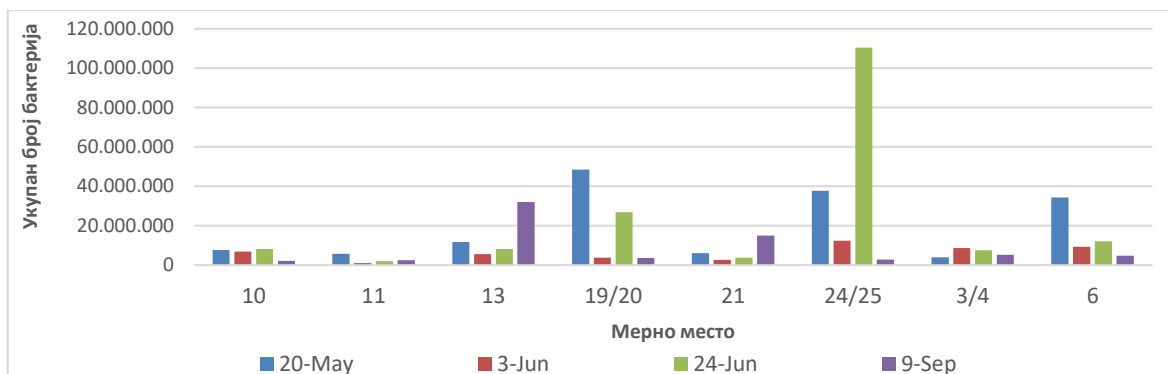
Графикон 2. Укупан број бактерија у 2014 г. у зависности од времена узимања узорка



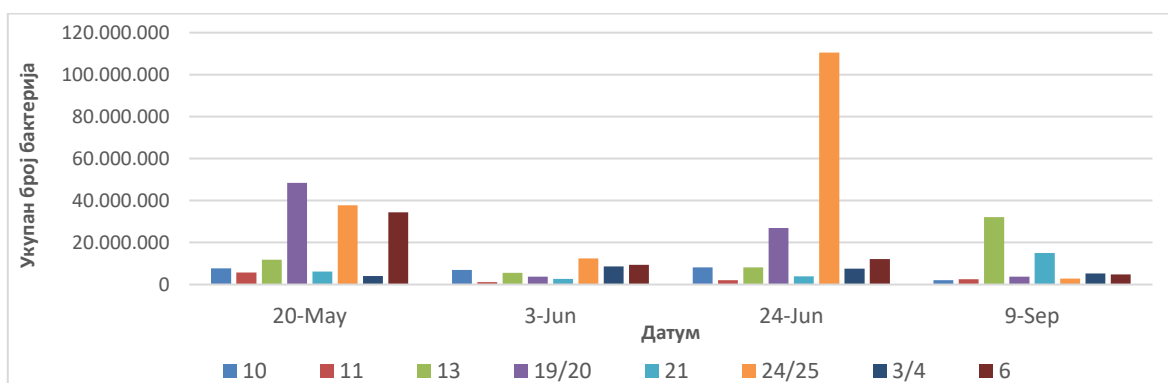
Графикон 3. Укупан број бактерија у 2015 г. у зависности од места узимања узорка



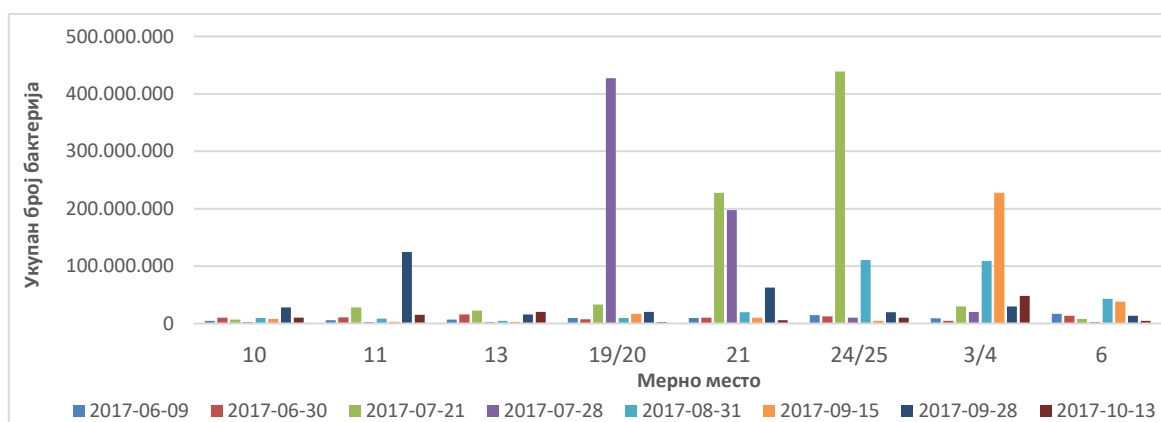
Графикон 4. Укупан број бактерија у 2015 г. у зависности од времена узимања узорка



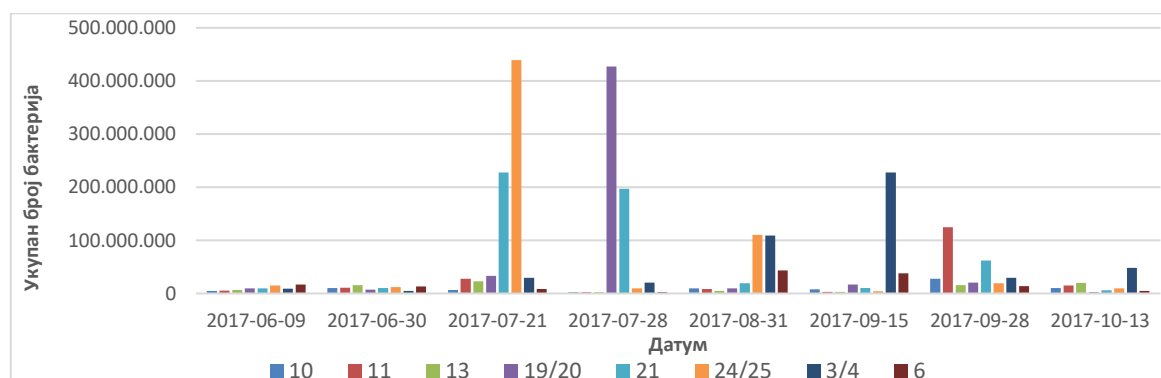
Графикон 5. Укупан број бактерија у 2016 г. у зависности од места узимања узорка



Графикон 6. Укупан број бактерија у 2016 г. у зависности од времена узимања узорка

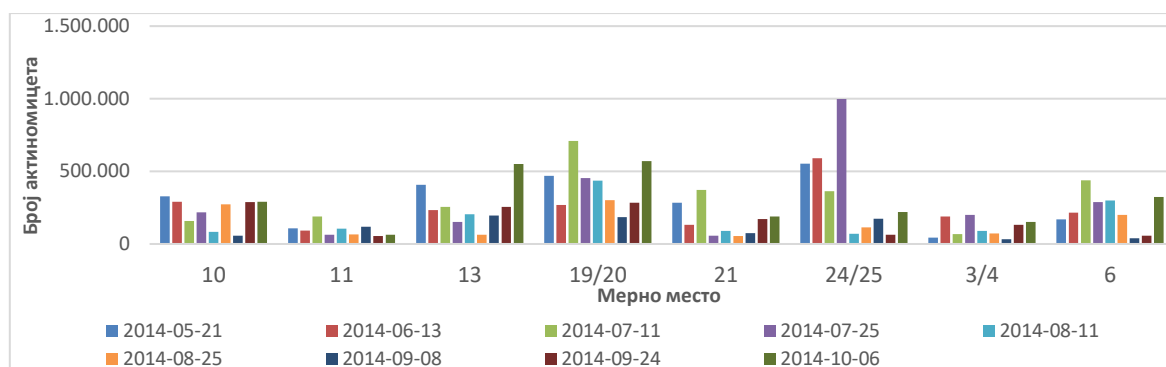


Графикон 7. Укупан број бактерија у 2017 г. у зависности од места узимања узорка

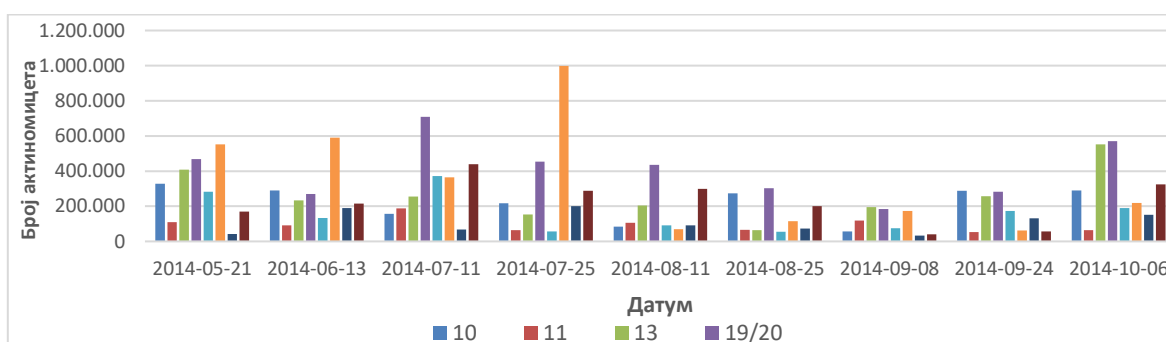


Графикон 8. Укупан број бактерија у 2017 г. у зависности од времена узимања узорка

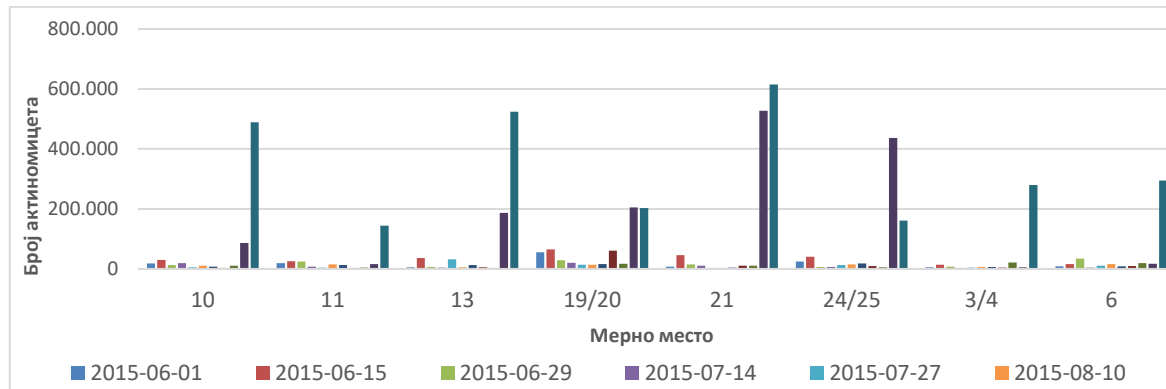
Прилог 2. Укупан број актиномицета у земљишту по годинама



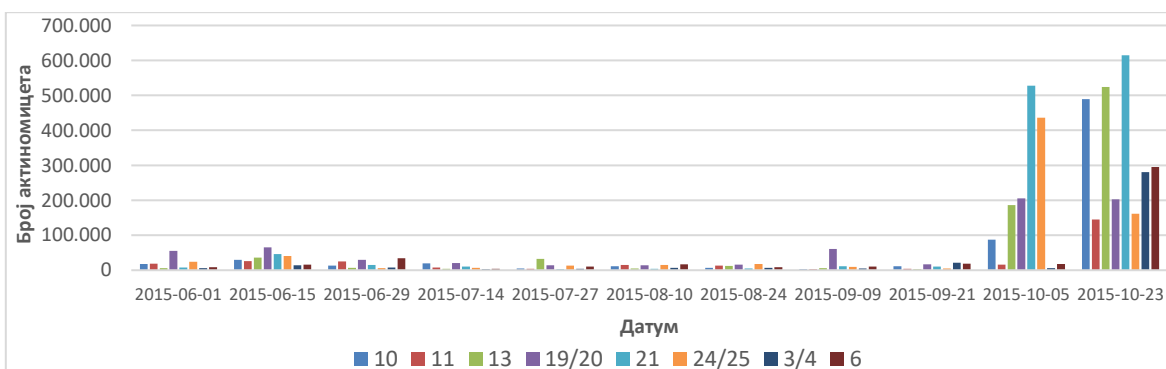
Графикон 9. Укупан број актиномицета у 2014 г. у зависности од места узимања узорка



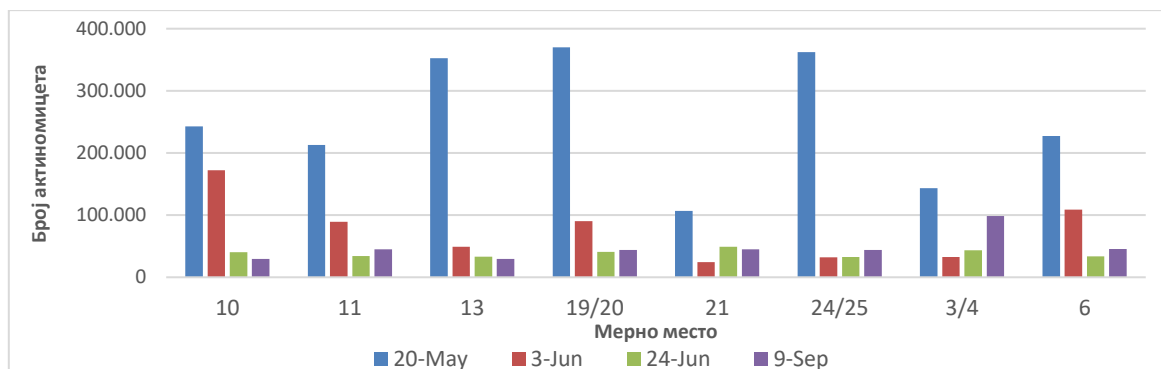
Графикон 10. Укупан број актиномицета у 2014 г. у зависности од времена узимања узорка



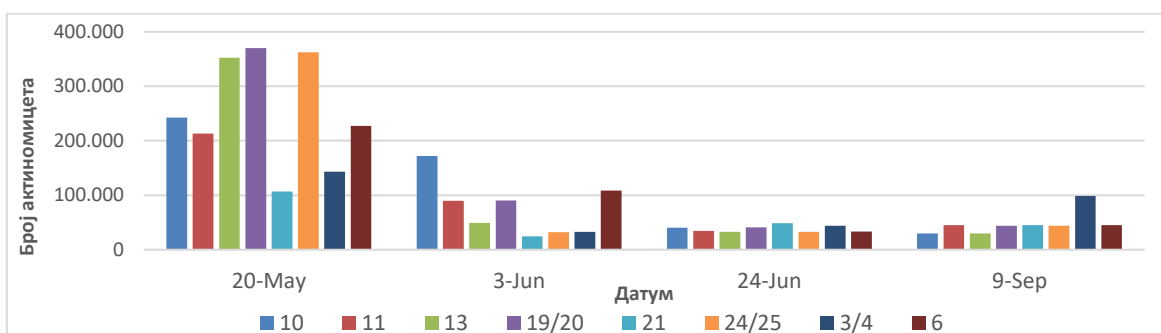
Графикон 11. Укупан број актиномицета у 2015 г. у зависности од места узимања узорка



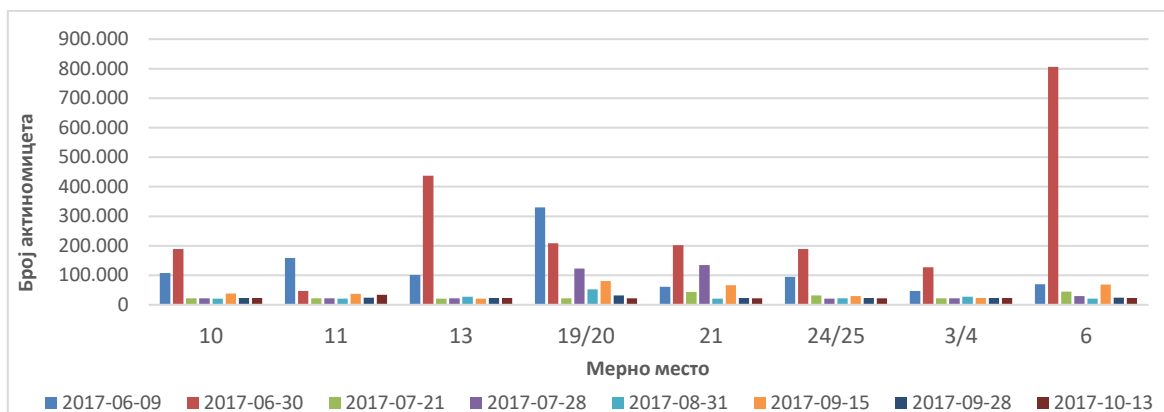
Графикон 12. Укупан број актиномицета у 2015 г. у зависности од времена узимања узорка



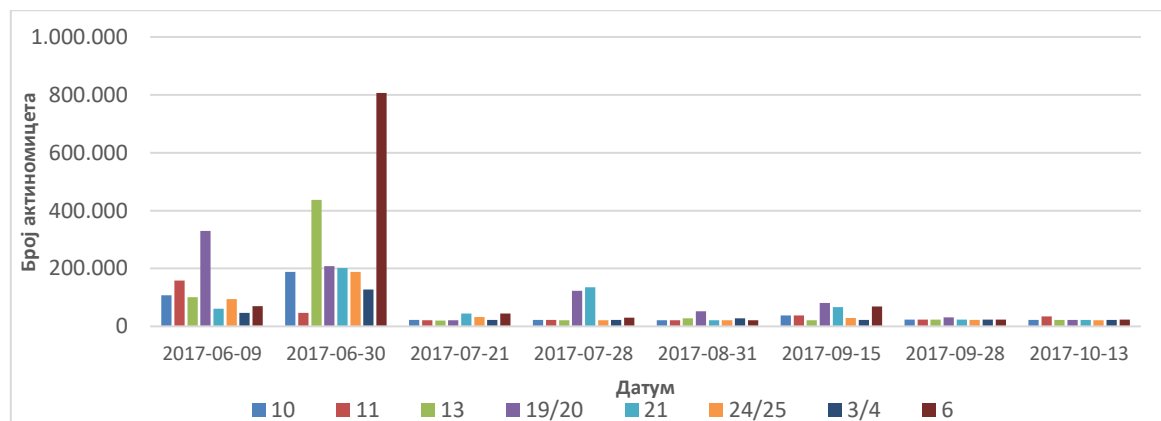
Графикон 13. Укупан број актиномицета у 2016 г. у зависности од места узимања узорак



Графикон 14. Укупан број актиномицета у 2016 г. у зависности од времена узимања узорак

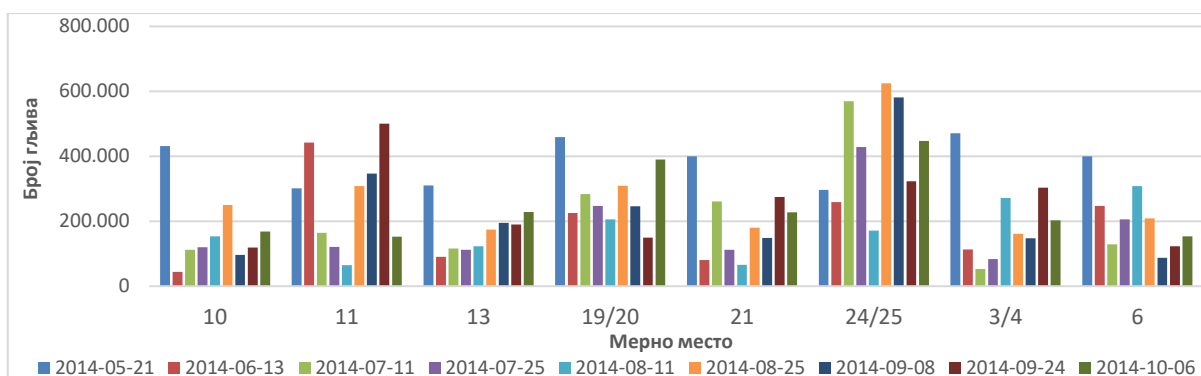


Графикон 15. Укупан број актиномицета у 2017 г. у зависности од места узимања узорак

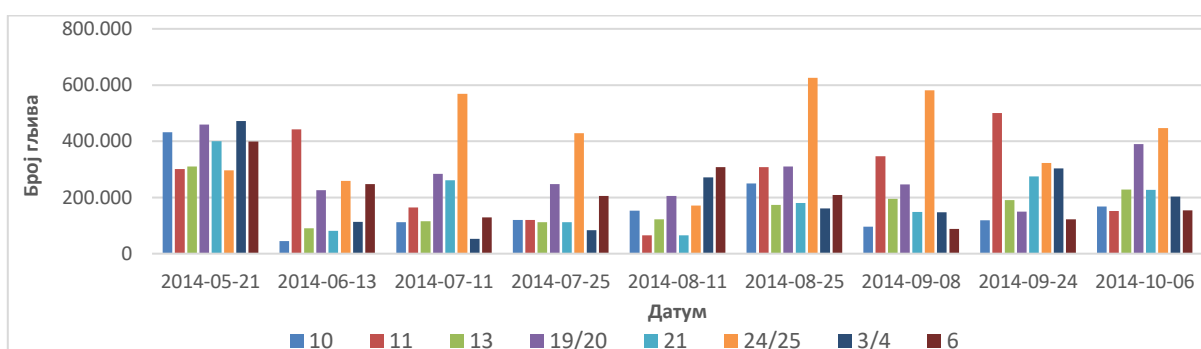


Графикон 16. Укупан број актиномицета у 2017 г. у зависности од времена узимања узорак

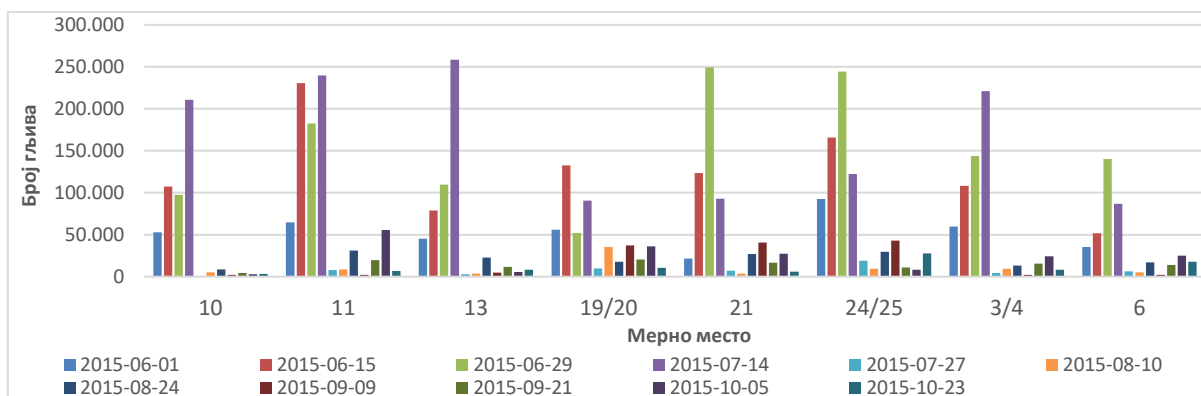
Прилог 3. Укупан број гљива у земљишту по годинама



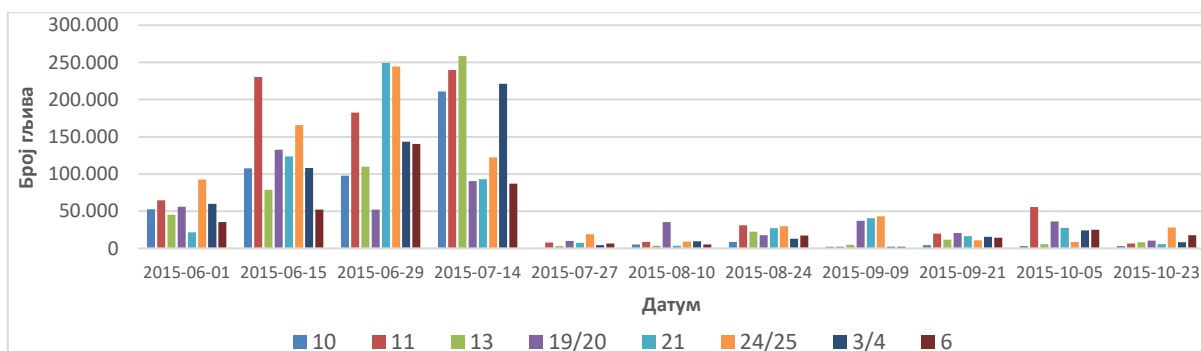
Графикон 17. Укупан број гљива у 2014 г. у зависности од места узимања узорка



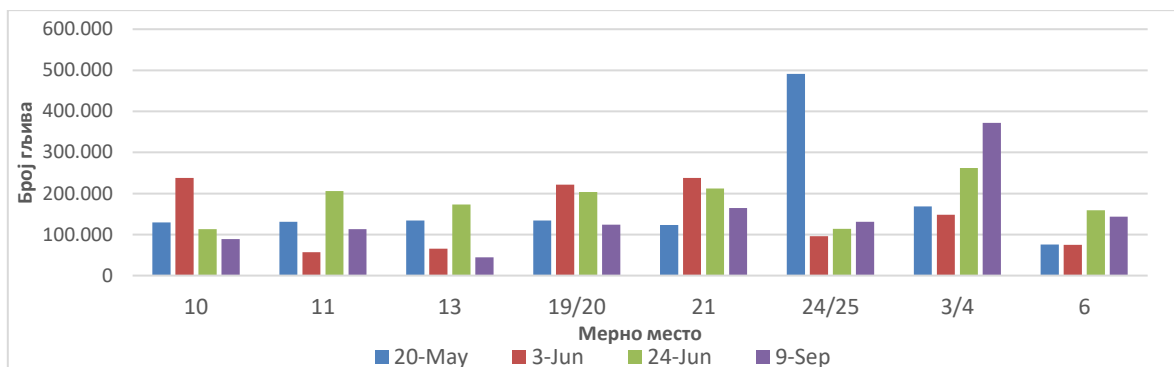
Графикон 18. Укупан број гљива у 2014 г. у зависности од времена узимања узорка



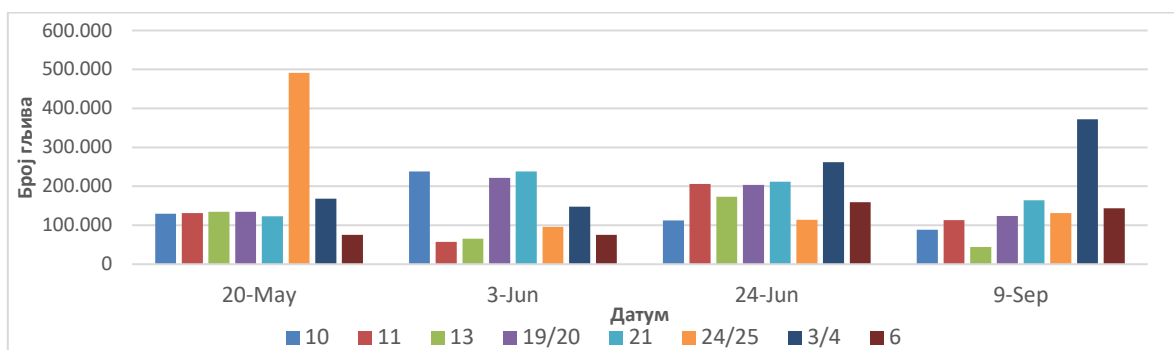
Графикон 19. Укупан број гљива у 2015 г. у зависности од места узимања узорка



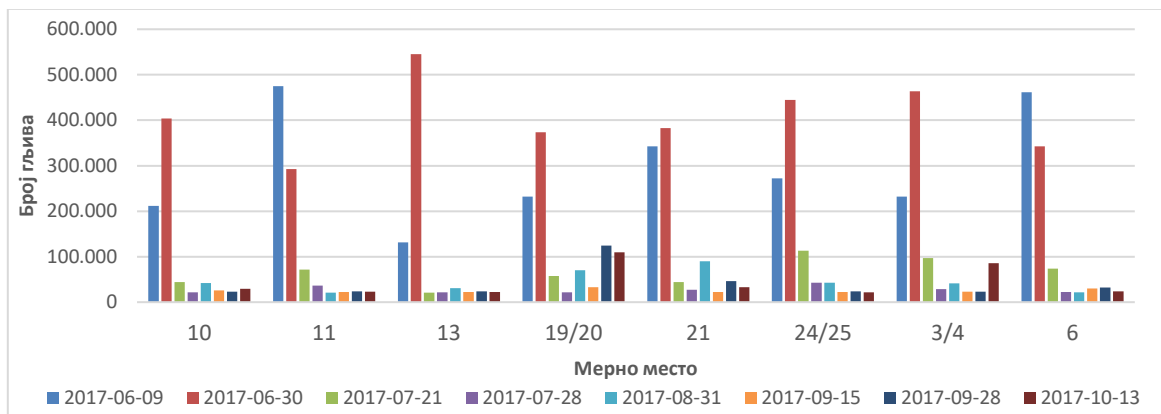
Графикон 20. Укупан број гљива у 2015 г. у зависности од времена узимања узорка



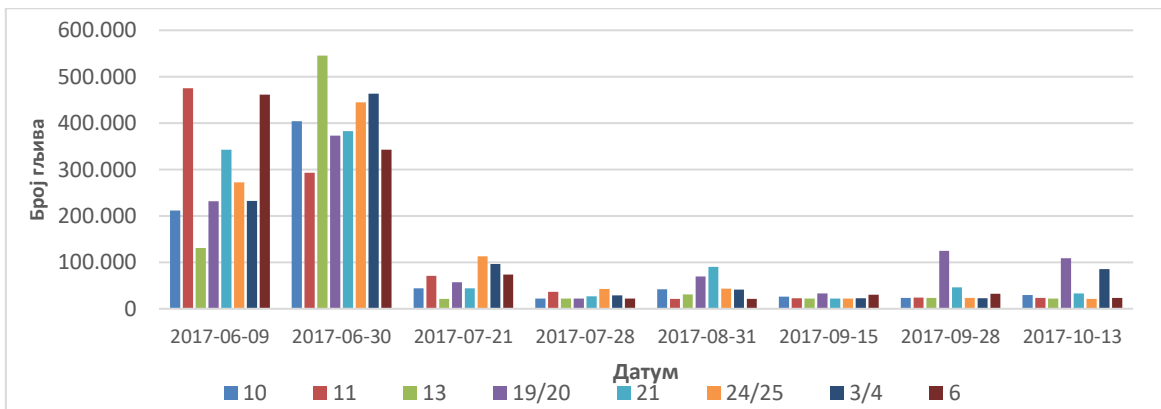
Графикон 21. Укупан број гљива у 2016 г. у зависности од места узимања узорака



Графикон 22. Укупан број гљива у 2016 г. у зависности од времена узимања узорака

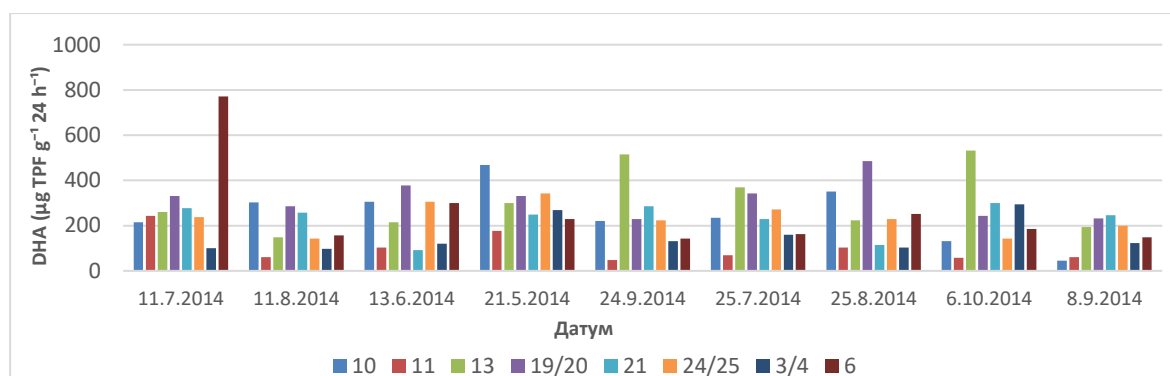


Графикон 23. Укупан број гљива у 2017 г. у зависности од места узимања узорака

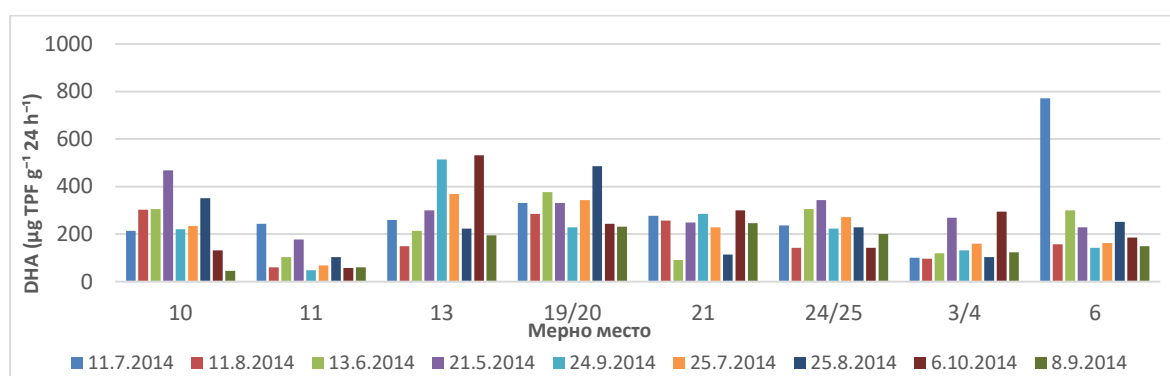


Графикон 24. Укупан број гљива у 2017 г. у зависности од времена узимања узорака

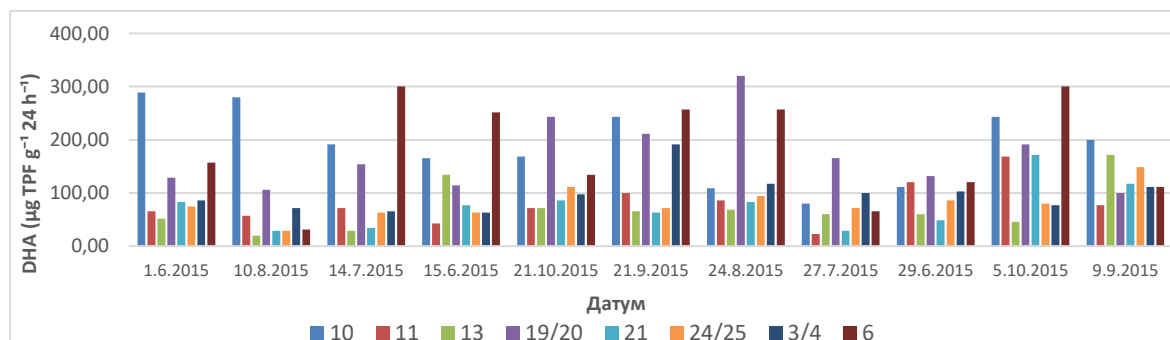
Прилог 4. Активност ензима дехидрогеназе по годинама



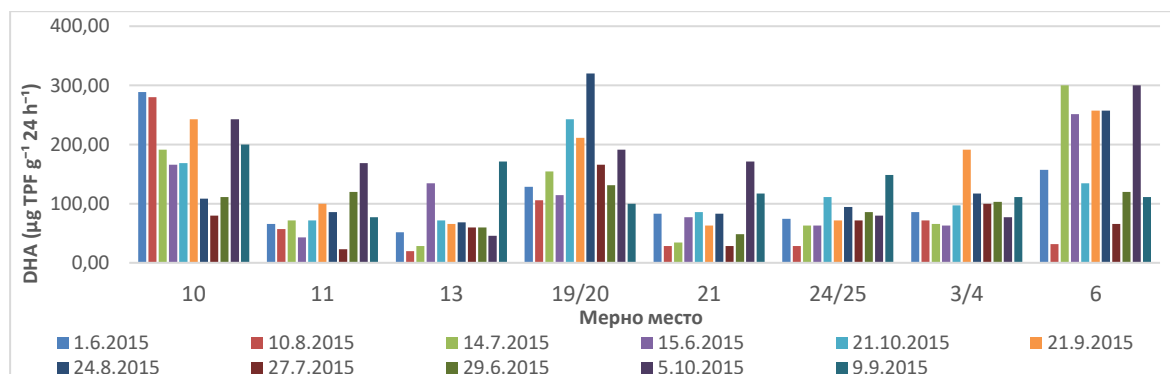
Графикон 25. Активност ензима дехидрогеназе у 2014 г. по датуму на свако мерно место



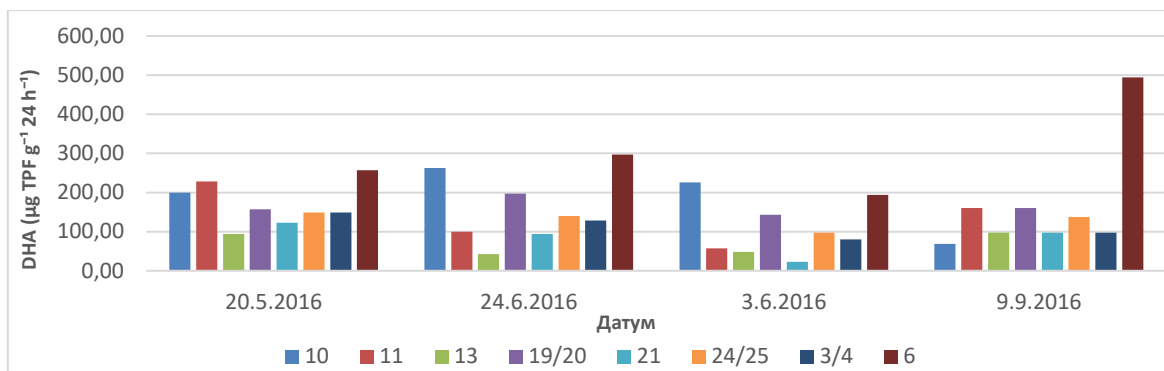
Графикон 26. Активност ензима дехидрогеназе у 2014 г. по мерном месту за сваки датум мерења



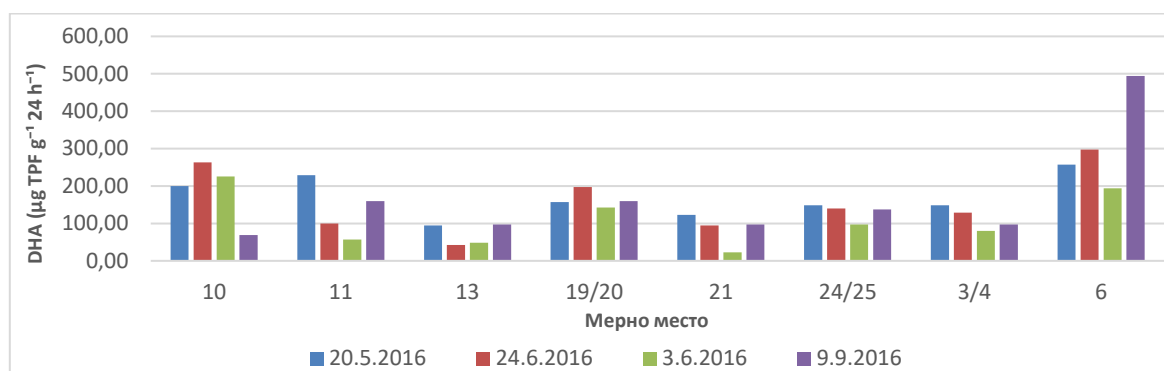
Графикон 27. Активност ензима дехидрогеназе у 2015 г. по датуму на свако мерно место



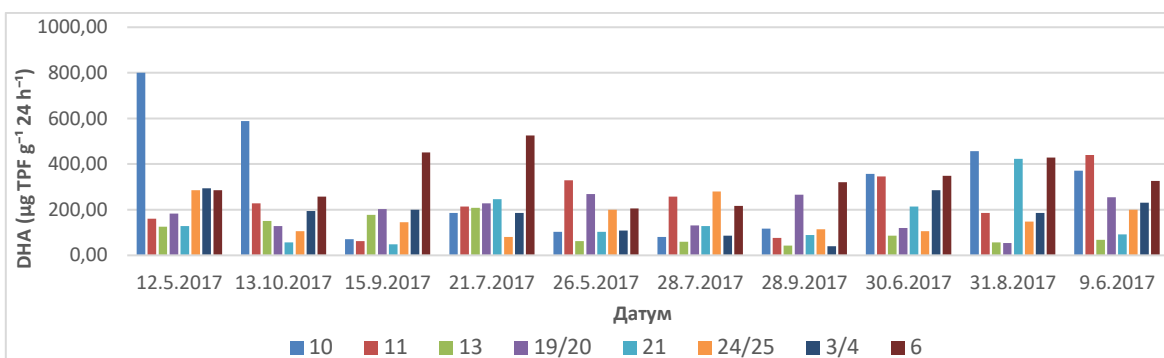
Графикон 28. Активност ензима дехидрогеназе у 2015 г. по мерном месту за сваки датум мерења



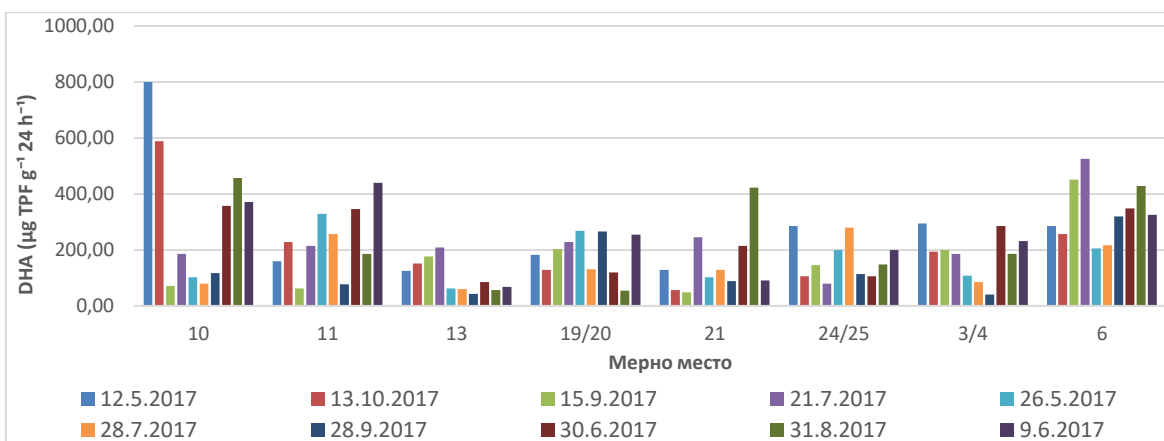
Графикон 29. Активност ензима дехидрогеназе у 2016 г. по датуму на свако мерно место



Графикон 30. Активност ензима дехидрогеназе у 2016 г. по мерном месту за сваки датум мерења



Графикон 31. Активност ензима дехидрогеназе у 2017 г. по датуму на свако мерно место



Графикон 32. Активност ензима дехидрогеназе у 2017 г. по мерном месту за сваки датум мерења

Прилог 5. Податци из 2016. године

